Incitel

Congresso de Iniciação Científica do Inatel

XXXII Edição do Congresso de Iniciação Científica do Inatel

08 a 10 de junho

ISSN 2359 - 6457

Nós sempre vamos ter a ciência conosco. Algumas coisas vão desaparecer, mas sempre vai haver ciência, engenharia e tecnologia.

E sempre, sempre vai haver matemática. Tudo é física e matemática.

Katherine Johnson

Katherine Johnson

Cientista espacial norte-americana. Ela fez contribuições fundamentais para a aeronáutica e exploração espacial dos Estados Unidos, em especial em aplicações da computação na NASA.

Apoio: FAPEMIG · CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico · SBC Sociedade Brasileira de Computação

Realização: Inatel

Mensagem da coordenação

Foi com grande satisfação que recebemos vocês, jovens pesquisadores, de forma Online, para o Incitel 2020, evento promovido pelo Instituto Nacional de Telecomunicações. Este encontro tem como principal objetivo a troca de ideias, informações e experiências, nas diversas áreas da ciência.

Com o isolamento social imposto pela pandemia de COVID-19, o INCITEL 2020 teve que ser remodelado para que acontecesse de forma virtual. Trabalhamos arduamente para que o evento não fosse adiado e que mantivesse a estrutura proposta.

A organização de um congresso é bastante trabalhosa e, portanto, gostaria de agradecer às alunas e estagiárias Aline Adami Souza Dias e Gabriele Antunes de Carvalho Miranda, à Laís de Souza, ao Raphael Sander de Souza Pereira, à ao pessoal da Assessoria de Comunicação e Marketing pelo enorme esforço dedicado a este projeto.

Profª. Karina Perez Mokarzel Carneiro
Coordenadora Geral – Incitel 2020

I373

Incitel 2020 – Congresso de Iniciação Científica do Inatel (2020: Santa Rita do Sapucaí - MG)

Anais do 32º Congresso de Iniciação Científica do Inatel – Incitel, 08 a 10 de junho 2020, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil. Publicado por Karina Perez Mokarzel Carneiro (Org.). – Santa Rita do Sapucaí - MG: Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, 2020.

Modo de acesso: http://www.inatel.br/incitel/anais-incitel (Anual)
ISSN 2359-6457

216 p. il.

1. Engenharia – I. Título. II. CARNEIRO, Karina Perez Mokarzel. III. Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL.

CDU – 621

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário da Instituição
Paulo Eduardo de Almeida CRB6-2718

Catálogo Sistemático

Engenharia Biomédica	CDU – 57.089
Engenharia da Computação	CDU – 004.41
Engenharia de Telecomunicações	CDU – 621.39
Engenharia de Controle e Automação	CDU – 681.5
Engenharia de Produção	CDU – 658.5
Empreendedorismo	CDU – 658.3

SESSÕES

Sessão Técnica I – Biomédica I

Jogo sério para reabilitação de membros superiores.....1
Caio Felipe Botinhoni e Esp. Filipe Bueno

Comparação de Tecnologias para um Sistema de Localização de Cadeira de Rodas em Ambiente Indoor.....5
Ana Letícia Ribeiro, Giovana Renata, Thaís de Cássia, Esp. Filipe Bueno e Prof. Filipe Loyola.

Aprimoramento do Protótipo de Mão Robótica Controlada por Eletromiografia 9
Lívia Cipriano, Vitor Guilherme, Ana Beatriz e Esp. Filipe Bueno.

Sessão Técnica II – Automação I

HVDC - High Voltage Direct Current Estudos e Simulações Iniciais.....13
Bruno Montibeller, Michael Spricigo, Marconi Januário, Kleyton Hoffmann e Jean P. Prigol.

Proposta de Comunicação Industrial Envolvendo Rede PROFINET IO e Sistema Supervisório em uma Aplicação Controlável 19
Prof. Alexandre Baratella, Lucas Sales e Matheus Guerra.

Projeto de Implantação de Geração Solar Fotovoltaica na UNOESC Campus de Joaçaba.....25
Alex G. Zuffo, Elizabeth Fonseca, Gabriel Chies, Kleyton Hoffmann, Jean P. Prigol, Marconi Januário e Renato Scortegagna.

Desenvolvimento e montagem de um conversor CC-CA em ponte completa para acionamento de um motor monofásico 31
Alex G. Zuffo, Elizabeth Fonseca, Jean P. Prigol, Renato Scortegagna e Kleyton Hoffmann.

Sessão Técnica III – Computação I

Sistema Para Gerenciamento de Vazamento de Gases Residenciais 37
Thiago Carvalho de Almeida e Prof. Carlos Alberto Ynoguti.

Analise de Correlação entre Flutuações Cambiais Reais e Moeda Virtual de um MMORPG 40
Rubens Cividati, Isabella Capistrano e Prof. Marcelo Vinícius Cysneiros.

Comparação de Métodos de Decisão Multicritério na Priorização de projetos 46
Douglas Tavares Martins e Prof. Guilherme Marcondes.

Sessão Técnica IV – Telecomunicações I

Estudo de sensor óptico para detecção de batimento de asas de insetos para aplicações IoT 49
Gustavo Fernandes Moreira e Prof. Guilherme Marcondes.

Sistema de sensoriamento de corrente elétrica utilizando IoT 54
Ítalo Augusto Tacca, João Pedro Dias, Eliza Aparecida, Prof. Marcelo Marques e Prof. Antônio Alves.

Controle de Dispositivos Residenciais utilizando IoT 58
Ana Clara dos Santos Rosa, Arielli Ajudarte, Eliza Aparecida, Prof. Marcelo Marques e Prof. Antônio Alves.

Smart Bike Inatel 63
Yara Caroline Tavares, Thamer Reis Leme, Pedro Henrique Carmo, Eliza Aparecida, Prof. Marcelo Marques e Prof. Antônio Alves.

Sessão Técnica V – Biomédica II

Braço Robótico Para Ensino da Engenharia 66
Bruce Carnavos, Vinícius Seiji Otani e Esp. Filipe Bueno.

Aprimoramento e validação de um jogo interativo para a reabilitação das mãos.....70
Maria Clara Nascimento, Mariana Fernandes, Thaís de Cássia Couto, Profa. Elisa Rennó, Esp. Filipe Bueno e Prof. Filipe Loyola.

Cicloergômetro adaptado para atividade hemodialítica 74
Emerson Assis do Couto, Kaique da Silva, Leonardo Garcia Ferraz, Rodrigo Propato Guerra, Profa. Elisa Rennó e Esp. Filipe Bueno.

Sessão Técnica VI – Automação II

Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica Proveniente de um Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado à Rede 78
Thalita Kely Pereira, Márcio Wladimir Santana e Fábio Domingues de Jesus

Estudo de Adequação das Instalações Elétricas do CEFET/MG Campus Nepomuceno à Norma Regulamentadora 10.....84
Allan Vinícius Pereira, Márcio Wladimir Santana e Juliana Vilela,

Planta Didática de Temperatura Utilizando Elementos Industriais 89
Eduardo Henrique Teixeira, Prof. Egídio Raimundo e João Pedro Garcia Siécola.

Sessão Técnica VII – Computação II

A 3D Modeling Process to be Applied in an Industrial Virtual Reality Training Platform.....95
Lucas Sales de Oliveira Almeida, Matheus Vinícius Cirino e Silva, Prof. Alexandre Baratella, Prof. João Paulo Carvalho e Prof. Renzo Mesquita.

Ensino de Programação em Escolas de Ensino Médio por meio do Projeto Programação 1.0: Novos Resultados e Perspectivas.....99
Rafaela de Moraes Papale, Larissa Alitto Ribeiro, Vanessa Swerts, João Gustavo Rogel, Esteferson Junior Miguel, Esp. Marcelo Henrique Gonçalves, Juan Carlos Noceli, Renan Dias Faria e Prof. Renzo Mesquita.

Uma Proposta Lúdica para Conscientização dos Malefícios Causados pelas Drogas - Uma História do Projeto Tô Ligado.....103
Aguinaldo de Souza Júnior, Guilherme Corrêa e Prof. Renzo Mesquita.

Sessão Técnica VIII – Telecomunicações II

Aplicação de Inteligência Artificial no Projeto de Antenas 109
Letícia Duarte Bernardes, Lucas Feroldi Pereira e Prof. Arismar Cerqueira.

Estudo de estruturas geométricas na distribuição das linhas de campo elétrico de um espectrômetro de massa.....113
Matheus de Souza Magalhães e Prof. Felipe Beltrán Mejía.

Estudo Sobre Diferentes Dispositivos de Captação de Energia por Radiofrequência para Internet das Coisas.....117
Marcelo Amorim Silva, Luís Otávio Fernandes, Willian Dedonio Cezar, Thiago Franceli Carvalho e Prof. Samuel Baraldi Mafra.

Aplicação da Blockchain em problemas de Engenharia de Telecomunicações 122
Pedro Lopes de Oliveira, Murilo Dourado, Guilherme P. Aquino, Alessandra C. Domiciano e Francisco A. S. do Carmo.

Sessão Técnica IX – Biomédica III

Aro Magnético Para Deficientes Auditivos.....128
Stefany Mariane Pereira Rezende, Phellype Augusto Pereira e Esp. Filipe Bueno Vilela.

Estudo de Método não Invasivo para Monitoração da Pressão Sanguínea 132
Gabriele Maria Silva, Tulio Wilian Caproni, Profa. Elisa Rennó Carneiro Déster e Esp. Filipe Bueno Vilela.

Desenvolvimento de goniômetro eletrônico para interpretação e comparação de feedback em biomecânica 137
Leandro Coutinho de Oliveira, Esp. Filipe Bueno Vilela e Profa. Elisa Rennó Carneiro Déster.

Sessão Técnica X – Automação III

Estudos Práticos Sobre Robôs Trekking.....143
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Prof. Egídio Raimundo Neto, Nicole Escobar Alves, Thaís Escobar Alves e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

Desenvolvimento de um Robô para Competições na Categoria Mini-Sumô 500g 148
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Prof. Egídio Raimundo Neto, Lucas de Oliveira Saldanha, Vinícius Lemos de Aguiar e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

Sistemas Robóticos para Competições nas Categorias de Sumô 3Kg.....152
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Danilo de O. Palma, Darlan B. Ajlune, Prof. Egídio Raimundo Neto, José Marcolino R. Neto, Marina R. Barba, Matheus L. de Aguiar e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

Sistema de Controle para Robôs Aplicados no IEEE Very Small Size Soccer (VSSS) 158
Prof. Alexandre Baratella Lugli, Prof. Egídio Raimundo Neto, João Victor de O. G. Ribeiro, Stefany Rodrigues Lau e Prof. Wanderson Eleutério Saldanha.

Sessão Técnica XI – Computação III

Development of 2D and 3D Game Assets to be Used in an Educational Game 163
Luciano Matheus Corrêa, Gabriel Pivoto Ambrósio, Katia Esper Izar Verniano e Prof. Renzo Paranaíba Mesquita.

Detecção Online de Distúrbios de Qualidade de Energia Elétrica Utilizando Redes Neuro-Fuzzy Evolutivas.....168
Danielle Abreu Fortunato, Márcio Wladimir Santana e Israel Teodoro Mendes.

Softwares para o desenvolvimento visual da mídia: Uma pesquisa sobre ferramentas da computação gráfica e suas utilidades 174
João Pedro Machado Ferreira, Aguinaldo de Souza Júnior e Prof. Renzo Paranaíba Mesquita.

Sessão Técnica XII – Telecomunicações III

Desenvolvimento de um Circuito de Medição e Controle para Luminárias Públicas LED Utilizando o Smart Plug da Pixel Ti.....180
Nathan Ribeiro da Cunha Azevedo e Prof. Carlos Alberto Ynoguti.

Comparações na Recuperação de Áudio entre a Modulação Delta e a Modulação Delta Adaptativa.....185
Gabriel Carvalho Mendes e Prof. Rausley Adriano Amaral de Souza.

Elaboração de um caderno de experimentos práticos sobre Firewall para uso no laboratório de segurança de redes do Inatel 190
Nathália D. Magalhães, Ítalo de Rezende, Alessandra C. Domiciano, Prof. Guilherme P. Aquino e Esp. Francisco A. S. do Carmo.

Elaboração de um caderno de experimentos práticos para uso no laboratório de segurança de redes do Inatel.....194
Maria Tereza Yassin, Alessandra C. Domiciano, Guilherme P. Aquino e Esp. Francisco A. S. do Carmo.

Sessão Técnica XIII – Computação IV

A Proposal of a Game Concept and 3D Modeling Objects to be used in a Virtual Reality Game to Practice Computer Engineering Fundamentals 198
João Pedro Giacometti de Souza, Vinícius Mússio Aires e Prof. Renzo P. Mesquita.

A Review about Two Different Methods to be Applied in Face Recognition in order to Count the Flow of People.....203
Vitor Cusma Vendrami e Prof. Renzo Paranaíba Mesquita.

Arduino Challenge.....207
Guilherme Miguel, Gustavo Aguiar, Rebeca Ribeiro e Sávio Leite.

Desafios na preparação de competições de programação 212
Adson F. dos Santos e Esp. Luciano do Vale Ribeiro.

Jogo sério para reabilitação de membros superiores

Caio F. B dos Reis

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel

caiofelipe@get.inatel.br

Filipe B. Vilela

Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel

Filipe.bueno@inatel.br

***Abstract*- When acquiring a motor deficiency, physical limitation becomes evidente, hindering the individual in daily and social activities, as well as affecting his autonomy. In an attempt to assist in this matter, a game was developed capable of supporting upper limbs. Using KinectV2, the patient's movements are captured and transformed into useful information, such as angulation, time of progession, among others, so that the treatment can become more fun.**

***Index Terms*- Game, rehabilitation, upper limbs.**

***Resumo*- Ao adquirir uma deficiência motora, torna-se evidente a limitação física, dificultando o indivíduo nas atividades cotidianas e sociais, além de afetar sua autonomia. Na tentativa de ajudar nesse assunto, foi desenvolvido um jogo capaz de dar suporte a membros superiores. Utilizando-se do KinectV2, os movimentos do paciente são captados e transformados em informações uteis, como a angulação, tempo de progressão, entre outros, de forma que o tratamento possa se tornar mais divertido.**

***Palavras chaves*- Jogo, reabilitação, membros superiores.**

I. INTRODUÇÃO

Devido a problemas no sistema nervoso, a capacidade motora de pessoas que sofreram problemas no sistema nervoso causado por traumas, como quedas na infância, doenças degenerativas ou acidentes, torna-se deficitárias, impedindo a realização de tarefas diárias do indivíduo. [1] Em casos como esse, uma das principais formas de terapia, deriva-se da fisioterapia, que a partir de exercícios específicos para o problema do paciente proporciona uma melhoria na qualidade de vida. Após uma longa sessão de fisioterapia, fica evidente que a monotonia somada ao cansaço físico pode deixar o paciente desconfortável, com isso, jogos como *Drunk Painting Simulator* e *Space Shooter for Stroke Patient*, foram desenvolvidos para auxiliar no tratamento, de forma que motive e ajude na coordenação motora do usuário. [2]

A questão de envolver um jogo que utiliza de ferramentas de interação como o Kinect na reabilitação vem tornando-se uma técnica amplamente aplicada na reabilitação. De acordo com Reidner S. Cavalcante "Quanto mais motivado o paciente se sentir para realizar o tratamento, menores serão as chances de esse desistir do processo de reabilitação e maiores serão suas evoluções". [3, 4,5]

Visto a necessidade de jogos sérios para a saúde, foi proposto um projeto capaz de atuar na área de reabilitação de membros superiores. A proposta inicial dessa versão foi revisar todo o conteúdo do jogo e arrumar bugs encontrados, como problemas de jogabilidade e de código. Como também fornecer algo que o profissional fisioterapeuta pode-se utilizar para o cuidado com o paciente. Assim, foi desenvolvido um *feedback* de angulatura de braço, após o final de todo o processo do jogo.[6]

A princípio, o desenvolvimento do jogo foi realizado por Tuissi D. M et al, para indivíduos que foram afetados negativamente nos membros superiores. Possuía a denominação de *Galaxy Motion V2*, inspirado no clássico *Space Invaders*.[7]

II. METODOLOGIA

Inicialmente foram feitos ajustes no algoritmo a fim de acrescentar um de feedback, que indicam:

- As posições onde a nave foi movida.
- Pontuação.
- Distância percorrida.
- Tempo de jogo.
- Angulação realizada pelo paciente.

Para o desenvolvimento do jogo, foram considerados os seguintes parâmetros de interesse: movimentação de uma nave, desviar de cometas que aparecem na tela e capturar todos os astronautas para pontuar, tendo 10 pontos em cada captura. Caso não seja possível desviar de um cometa, o jogador perderá 10 pontos do sua *Health Points* (HP), que inicialmente será de 100. Na tela (Figura 1) também aparecerá gasolinas, que irão repor a *HP* perdido pelo jogador, caso ele capture o objeto. A movimentação da nave é a partir do *KinectV2*.

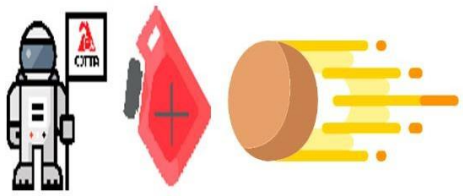


Fig. 1. Representação do astronauta, gasolina e cometa

A princípio o jogador visualizará na tela dois elementos (Figura 2) de inicialização ("*Play*"), opções ("*Options*") e sair do jogo ("*Quit*"). Em opções (Figura 2), o instrutor encontrará alteração do volume do jogo. Ao possuir poucas escolhas, a tela de início torna-se limpa, facilitando o paciente na ingressão a ambientação virtual.

Fig. 2. Representação da tela inicial do jogo Galaxy Motion V2

Após a inicialização do jogo, ao apertar o "*Play*", a interface de menu principal (Figura 3) aparecerá, nele o profissional colocará o nome do paciente e outros parâmetros.

Visando ajudar o paciente na movimentação, foi criado o parâmetro "raio de jogo", com ele o raio em que objetos apareceram na tela, poderá diminuir ou aumentar, sendo assim, alterando a amplitude em que a pessoa movimentará os membros.

O parâmetro "articulação", caracteriza qual membro o paciente irá utilizar para jogar, com auxilio do *KinectV2*, haverá a detecção dos membros selecionados.

Fig. 3. Representação do Menu principal

O tempo de jogo varia conforme a necessidade do profissional e do paciente. A velocidade do cometa é representada em cm/s, não possuindo limitação.

Ao iniciar o jogo (Figura 4), aparecerá na tela parâmetros como tempo, vida e placar na tela virtual, como também elementos do jogo, com isso o jogador poderá se adequar ao ambiente virtual com uma maior facilidade.

Fig. 4. Representação da interface do jogo

Ao pausar (Figura 5), aparecerão na tela as opções de voltar ao menu principal (Figura 2) ou sair do jogo("*Quit*").

Fig. 5. Representação do menu pause

Os dados adquiridos após o processo serão transferidos para um arquivo conforme o profissional desejar, possuindo parâmetros de todos os pacientes, de acordo com o nome inserido no menu principal (Figura 3).

Em versões anteriores, foram criados arquivos de *feedback* que informavam a posição *frame* por *frame*. Entretanto, o feedback proposto anteriormente para a posição *frame* por *frame* foi substituído, para que não fosse necessário o uso do *Matlab®* para ver a posição da nave. Com isso, após várias analises, com a utilização das posições de *frames* e com o cálculo do arco tangente dos coeficientes, foram transcritos os ângulos da nave, consequentemente também dos membros do paciente.

Outros tópicos que foram modificados referem-se aos limites de tela, onde na última versão ao movimentar a

nave, a mesma saia dos limites, dificultando a dinâmica de jogo. Foram testadas duas abordagens para solução do problema, sendo uma com o Unity® e outra com recursos de C#.

Houve a realização de alguns testes com quatro alunos do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), de diversos cursos, que não possuíam problemas motores, tendo respostas positivas, a partir de perguntas formuladas pelos aplicadores. Os testes realizados mostraram que o projeto respondeu bem, de acordo com o proposto.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Galaxy Motion V2 indica a progressão do usuário conforme o tempo e movimentação. A efetividade dos *feedbacks* melhorou com a inclusão dos ângulos (Figura 6), que demonstram assim, a amplitude do movimento realizado pelo membro do paciente, de acordo com a angulação feita.

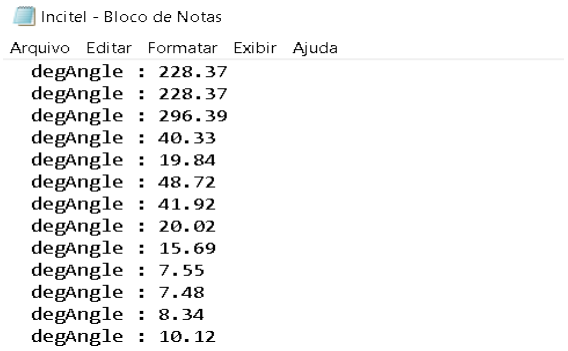


Fig. 6. *Feedback* dos ângulos

Além disso, o jogo ainda demonstra o *feedback* do desempenho do jogador (Figura 7), mostrando a distância, sendo esse parâmetro o deslocamento da nave, o tempo de jogo e velocidade em cada momento, a partir da quantidade de movimento do membro do paciente.

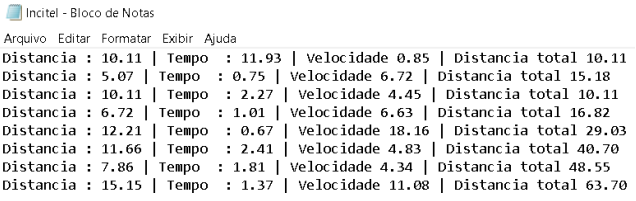


Fig. 7. *Feedback* do jogador

Outro resultado obtido foi a modificação da câmera, que agora está fixada na nave, utilizando-se do código de posicionamento (Figura 8).

```
if (pos.x >= LimitXRight.position.x) {
pos = new Vector3 (LimitXRight.position.x,pos.y, pos.z);}
if (pos.x <= LimitXLeft.position.x) {
pos = new Vector3 (LimitXLeft.position.x,pos.y, pos.z);}
 if (pos.y >= LimitYTop.position.y) {
pos = new Vector3 (pos.x,LimitYTop.position.y, pos.z);}
if (pos.y <= LimitYBottom.position.y) {
 pos = new Vector3 (pos.x,LimitYBottom.position.y, pos. z);}
```

Fig. 8. Código limite de tela

Com o sistema concluído, a próxima etapa será a submissão ao Comitê de Ética em Pesquisas (CEP), a fim de iniciar testes em voluntarios que possuem alguma limitação motora.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentadas neste trabalho todas as correções feitas sobre a última versão, como bugs (falhas na programação) e melhorias, utilizando o *Unity®* com a linguagem C#.

Com a correta integração do *KinectV2*, diversos pacientes poderão obter uma melhoria na movimentação motora dos membros superiores de forma divertida e segura, com o acompanhamento do profissional da saúde.

REFERÊNCIAS

[1] K. C. Raimundo, et al, “Análise cinemática e eletromiografia do alcance em pacientes com acidente vascular encefálico.” Fisioter.Mov, Curitiba, v. 24, n. 1, p. 87-97, jan./mar. 2011.

[2] F. G. Fernandes, et al, “Adaptação de jogos sérios para crianças com deficiência física nos membros superiores.” V Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2016), Uberlândia, MG, 24-27 outubro, 2016.

[3] Reidner S. Cavalcante, “Desenvolvimento de Um Jogo Sério para Reabilitação de Amputados de Membros Superiores.” Dissertação (Mestrado), Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia elétrica - UFU, Uberlândia, MG, 2018.

[4] E. M. Guimaraes, and M. A. S. N. Nunes, “Prospecção em jogos sérios para reabilitação de pacientes pós-avc”. revista GEINTEC, vol. 3, pp. 147-156, 2013.

[5] G. Ramalho Costa, “Desenvolvimento de um jogo sério para a reabilitação da marcha humana.” Monografia de Conclusão de Curso (Bacharel), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2018.

[6] P. H. C. Pinto, B. R. F. Mafra e F. B. Vilela, et al, “Jogo sério para reabilitação de membros superiores.”. Congresso de iniciação cientifica do Inatel (INCITEL), Santa Rita do Sapucaí, MG, 2019.

[7] D. M. Tuissi, et al, “*Serious games using upper limb adjustable support for rehabilitation*.” XXVI Congresso de Engenharia Biomédica, Rio de Janeiro, RJ, 21-25 outubro, 2018.

Caio Felipe Botinhoni dos Reis, graduando em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Cientifica pelo Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel.

Filipe Bueno Vilela, graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.

Comparação de Tecnologias para um Sistema de Localização de Cadeira de Rodas em Ambiente *Indoor*

Ana Leticia Ribeiro de Oliveira Bacha
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
ana_leticia@geb.inatel.br

Giovana Renata Giaretta
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
giovanagiaretta@geb.inatel.br

Thaís de Cássia Couto
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
thaiscouto@geb.inatel.br

Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
filipe.bueno@inatel.br

Filipe Loyola Lopes
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
filipeloyola@geb.inatel.br

***Abstract*— One of the greatest difficulties found in a health care system is the control of its assets, since there is highly mobile equipment in the hospital environment arranged by the hospital throughout the workflow. The lack of knowledge of the exact location of some equipment, such as the wheelchair, directly affects the process of medical assistance to the patient. The development of the project aims to serve the Galeão Air Force Hospital (HFAG), which is one of the many hospitals that face such difficulties related to the dispersion of wheelchairs. The study and comparison of Bluetooth and RFID technologies was carried out aiming at locating equipment in an indoor environment, and subsequently promoting management, reducing expenses with the acquisition of resources already acquired, but lost, stolen or lost for future applications.**

***Index Terms*— Indoor environment, Bluetooth, wheelchair, RFID.**

***Resumo*— Uma das maiores dificuldades encontradas em um sistema de assistência à saúde é o controle de seu patrimônio, visto que há equipamentos de alta mobilidade no âmbito hospitalar dispostos pelo hospital durante todo o fluxo de trabalho. A ausência de conhecimento da localização exata de alguns equipamentos, como a cadeira de rodas, prejudica diretamente no processo de assistência médica ao paciente. O desenvolvimento do projeto visa atender o Hospital de Força Aérea do Galeão (HFAG), que é um dos muitos hospitais que enfrentam tais dificuldades relacionadas a dispersão de cadeiras de rodas. Realizou-se o estudo e comparação de tecnologias *Bluetooth* e RFID visando a localização de equipamentos em ambiente *indoor*, e posteriormente promover o gerenciamento, a diminuição dos gastos com a aquisição de recursos já adquiridos, porém extraviados, roubados ou perdidos para futuras aplicações.**

***Palavras chave*— Ambiente *indoor*, Bluetooth, cadeira de rodas, RFID.**

I. Introdução

Uma das maiores dificuldades em ambientes hospitalares é o rastreio da localização dos equipamentos e instrumentos utilizados durante o fluxo de trabalho. Ao longo do atendimento aos pacientes, alguns instrumentos médicos são apartados ou deixados em locais aleatórios, dificultando o processo de consulta em casos de emergência [1]. Os gastos anuais de recursos para a reposição de equipamentos desaparecidos, extraviados, obsoletos e roubados são exorbitantes para os estabelecimentos de assistência à saúde [2]. Após mapear sobre estabelecimentos de assistência à saúde que sofrem com a dispersão de equipamentos médicos, o Hospital de Força Aérea do Galeão (HFAG) demonstrou necessidade de um sistema de localização de cadeira de rodas, por se tratar do equipamento que mais desaparece nesse ambiente hospitalar, possuindo mobilidade e consequentemente, um alto índice de mudança de localização [3].

Há diversas tecnologias que podem ser utilizadas na localização, como *Radio Frequency Identification* (RFID), que recorre às ondas de rádio para comunicar com etiquetas e, como o *Bluetooth Low Energy* (BLE), que possuem *tags* denominadas *Beacons*, que são pequenos dispositivos que emitem sinais de rádio em intervalos definidos [4].

A RFID é uma tecnologia que tem como princípio a associação de um objeto a uma etiqueta eletrônica RFID exclusiva, em que a existência da etiqueta é constatada automaticamente pelo leitor RF, apresentando grandes vantagens quando comparada com outros meios de identificação. Num sistema de identificação por radiofrequência, as *tags* podem ser lidas pelo leitor a distâncias consideráveis quando comparado com as distâncias de leitura das restantes em soluções de identificação [5].

Além do RFID, o *Beacon* é outra alternativa que garante precisão para identificação do local de determinado objeto de interesse, emitindo um número identificador único ao Sistema Operacional, exigindo uma estrutura robusta, porém com consumo de energia menor. Além disso, possui versatilidade, assumindo formatos variados, como crachás e cartões, e podendo ser encontrados em quase todos os *smartdevices* (dispositivos inteligentes), por fazer uso da tecnologia *Bluetooth* para comunicação entre *tag* e leitor [4].

Portanto, esse projeto visa o estudo teórico e a aplicação prática de técnicas de rastreamento, visando monitorar e localizar cadeiras de rodas disponíveis em um hospital de grande porte, como do HFAG, de modo que contemple

as determinações definidas de desempenho, de consumo de energia, de custo de implantação e de blindagem a ruídos encontrados no ambiente hospitalar, para que opere conforme exigido pela demanda.

II. Metodologia

Um estudo sobre as tecnologias existentes de rastreamento em ambiente *indoor* (ambiente fechado) foi realizado para a escolha do melhor método a ser utilizado para aplicação à cadeira de rodas em hospitais, visando o conhecimento prévio das técnicas e dispositivos já empregados para o rastreio, garantindo o conhecimento do alcance de cada tecnologia, o desempenho perante as interferências e o custo de implementação.

Para a validação do projeto proposto, a ideia e concepção devem ser validadas por especialistas e profissionais envolvidos na área, logo, o protótipo será submetido primeiramente no ambiente educacional do CDTTA, localizado no Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), e posteriormente, atendendo a demanda e validando-o em um ambiente hospitalar real, utilizando 25 cadeiras de rodas como amostras.

A. Desenvolvimento do Hardware

A tecnologia escolhida inicialmente foi a de *Bluetooth Low Energy*, por se tratar de dispositivos compactos quando comparados ao rastreamento por *Wi-Fi*, de baixo consumo de energia, fácil uso e implementação. Os componentes utilizados foram 2 módulos *Bluetooth* LE HM-10 (Figura 1) com o firmware integrado, para atuar como *Beacon*, além do STM32, para realizar a configuração desses módulos, ajustando a potência que cada um deveria emitir e o nome definido para cada um.

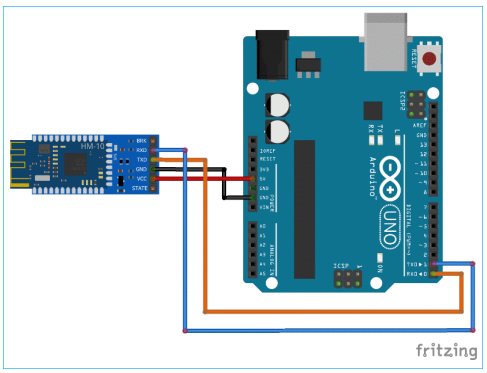


Fig. 1. Conexão do Módulo HM-10.

Para que o circuito do HM-10 seja implantado em uma cadeira de rodas, uma caixa de pequeno porte foi impressa em uma impressora 3D que se encontra no CDTTA (Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva) utilizando filamento de Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) de cor preta (Figura 2). Essa caixa é responsável por receber todos os componentes necessários da técnica *Bluetooth* que serão anexados ao equipamento, como as baterias, módulo e placa de circuito impresso (PCI), oferecendo proteção e consistência, facilitando ocultá-la no equipamento que se deseja rastrear.

Para análise da tecnologia RFID, foi utilizado os módulos RF transmissor e receptor que operam na faixa de 433 MHz, com modulação AM (Modulação em Amplitude), além dos 2 microcontroladores Arduino UNO e MEGA, para realizar o controle do sistema de comunicação.

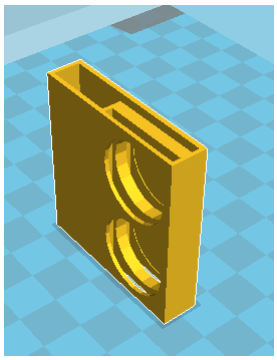


Fig. 2. Caixa impressa em 3D.

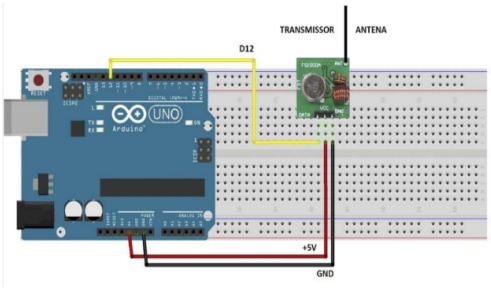


Fig. 3. Conexão do Módulo Transmissor.

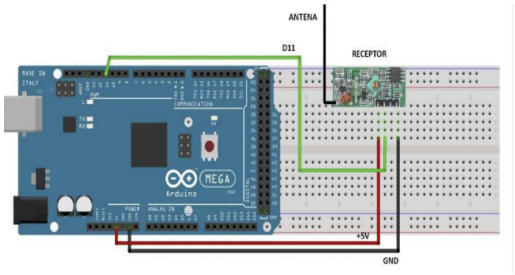


Fig. 4. Conexão do Módulo Receptor

As Figuras 3 e 4 ilustram a conexão dos módulos *Bluetooth*, do transmissor RF e do receptor RF com seus respectivos microcontroladores Arduino representados através do software “Fritzing”.

B. Testes do protótipo

Para a verificação do desempenho das tecnologias apresentadas, foram realizados testes de alcance máximo e potência dissipada. Para a tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE), escolhida inicialmente, realizou-se testes compreendendo 2 *Bluetooth* LE HM-10 atuando como *Beacon* e o microcontrolador STM32 responsável pela configuração deles. O desenvolvimento deu-se da seguinte maneira: o primeiro componente HM-10 foi configurado com uma potência fixa e recebeu a nomeação de “EQUIP01” através da *interface* de configuração do STM32, utilizando a plataforma Arduino. Foi utilizado o Arduino UNO para a realização do teste.

Com as configurações finalizadas, o componente foi associado à uma bateria de celular, para facilitar a sua locomoção e funcionamento. Instalou-se em 4 celulares de marcas e modelos diferentes, o aplicativo “BLE Scanner 4.0”, responsável por realizar a leitura das *tags* próximas, mostrando a potência do sinal em decibel (dB). Ocorreu o mesmo processo para o teste com o segundo componente HM-10, sendo nomeado “EQUIP02”.

Para a segunda tecnologia abordada, RFID, utilizou-se os módulos RF transmissor e receptor que operam na faixa de 433 MHz, com modulação AM. O teste aconteceu da seguinte forma: conectou-se os módulos transmissor e re-

ceptor em um microcontrolador Arduino, separadamente. Na tela serial da IDE do Arduino foi possível visualizar a conexão entre os módulos, através da mensagem enviada e a mensagem recebida.

Para ambas as tecnologias foram mensurados seus alcances máximos, e mínimo para o RF, analisando sua eficiência de propagação e precisão.

III. Resultados

A validação da ideia ocorreu submetendo a proposta às bancas de especialistas compostas por profissionais da área, como Engenheiros Biomédicos e professores, que estiveram presentes no Desafio de Aplicações Bio-Tech (BMEBioBrazil – 2019) que aconteceu no mês de Maio em Curitiba – PR e na Feira Tecnológica do Inatel (FETIN 2019) que foi realizada no mês de Setembro, avaliando sua possível prototipagem e evolução.

De acordo com os testes realizados com o *Bluetooth Low Energy*, à medida que o celular com o aplicativo se distanciava do *beacon*, a potência medida do sinal, em módulo, aumentava, até atingir determinada distância à qual o sinal era perdido, não sendo mensurado. Chegou-se ao resultado de que todos os dispositivos celulares utilizados apresentaram perda do sinal após 5600 centímetros (56 metros) de distância do módulo BLE. Os resultados mensurados em relação ao "EQUIP01" podem ser visualizados na Tabela 1.

TABELA I
TESTE DE ALCANCE MÁXIMO UTILIZANDO BLE.

	Potência (dB)				
Modelo do dispositivo	Ponto inicial	1400 cm	2800 cm	4200 cm	5600 cm
Iphone 7	-47	-94	-91	-95	-95
Iphone 5s	-47	-82	-89	-95	-93
Iphone 4	-55	-86	-89	-94	-96
Samsung Gran Prime	-63	-98	-98	-100	-100

Com os testes do RFID chegou-se à uma distância máxima aproximada de 2000 centímetros (20 metros) entre os módulos, até que a comunicação fosse interceptada. Verificou-se que para o perfeito funcionamento dos módulos seria necessário a instalação de antenas tanto no transmissor quanto no receptor de aproximadamente 15 cm.

IV. Discussões

A modo de comparação de tecnologias para rastreio, objetivando identificar qual apresenta melhor desempenho para ser aplicado posteriormente em ambiente hospitalar real, escolheu-se a RF. O sistema mostrou-se relativamente simples, de fácil implementação e capaz de responder com precisão sua localização e com uma distância máxima de comunicação suficiente para salas de ambientes hospitalares. Com os componentes de baixo custo utilizados, o projeto ainda é acessível a instituições de saúde de menor porte.

V. Considerações Finais

De acordo com os estudos e testes realizados abrangendo as tecnologias de comunicação *Bluetooth* e RF, as mesmas apresentaram resultados diferentes quanto submetidas à critérios, como consumo de energia, custo de implementação, precisão de localização, além de alcance máximo e mínimo viável. Assim, constatou-se que um protótipo será criado de acordo com as exigências da instituição parceira (HFAG), localizado no Rio de Janeiro-RJ, fazendo uso do método de localização RF que atenderá as necessidades do Hospital de localização de cadeiras de rodas, evitando gastos excessivos com equipamentos extraviados.

Como próximos passos para o projeto, serão realizados mais testes abordando a questão de obstáculos de comunicação, analisando possíveis interferências e perda de informações. Também contará com a elaboração do aplicativo responsável por armazenar as informações dos módulos, facilitando à visualização e arquivamento de dados, sendo checados quando necessário. Os locais para instalações das antenas e leitores RF serão calculados para garantir um melhor resultado.

Referências

[1] PIVOTO, A. Diego. IRON, Crishna. "Aplicabilidade do RFID no Meio Hospitalar". Disponível em: <https://www.inatel.br/biblioteca/pos-seminarios/seceb/2017-5/9682-aplicabilidade-do-rfid-no-meio-hospitalar/file>. (Acesso em 25/11/2019).

[2] DRESCH, Antonio; EFROM, Danny R.; GRUMOVSKI, Dieison. "Controle de Patrimônio por sistema Wireless (RFiD) System control of property through RFID". *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838*, v. 1, n. 1, p. 47-57, 2008. (Acesso em: 04/01/2020)

[3] Hospital da Força Aérea do Galeão. Disponível em: <http://www2.fab.mil.br/hfag/>. (Acesso em 30/11/2019).

[4] RECK, Marcelo Sala. "Beacons BLE-Bluetooth Low Energy-design e análise de um sistema de localização indoor". 2017. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/2455?show=full>. (Acesso em: 04/12/2019).

[5] PEREIRA, Matheus Jacon; MOLINA, Miguel Ângelo Tancredi; AVANÇO, Leandro. "LOCALIZACAO INDOOR BASEADA EM SISTEMAS RFID PARA O AMBIENTE INDUSTRIAL E DE LOGÍSTICA". Disponível em: <https://abmproceedings.com.br/en/article/localizacao-indoor-baseada-em-sistemas-rfid-para-o-ambiente-industrial> (Acesso em: 08/12/2019).

Autores

Filipe Bueno Vilela, graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica "FMC".

Filipe Loyola Lopes, graduado em Engenharia Biomédica pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações e mestre em Engenharia Biomédica pela UFABC - Universidade Federal do ABC. Lecionou nos cursos de graduação e pós-graduação lato sensu do INATEL, onde atuou com pesquisa e desenvolvimento no CDTTA - Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva e na orientação de estágio aplicado a Engenharia Clínica. Entre 2017 e 2019 trabalhou na coordenação do programa de especialização em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica do INATEL. Foi pesquisador voluntário do

grupo Biomecânica e Forense da UNIFESP - Universidade Federal de São Paulo. Atualmente é Tecnologista de Campo no INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, vinculado ao LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia na área de instrumentação eletrônica, realizando padronização de processos e sistemas, planejamento e execução da manutenção preventiva, corretiva e integração de sensores e dispositivos de telemetria. Possui experiência nas áreas de instrumentação, equipamentos odonto-médico-hospitalares, tecnologia assistiva e engenharia clínica.

Ana Leticia Ribeiro de Oliveira Bacha, graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Estagiária em Engenharia no Hospital das Clínicas Samuel Libânio (HCSL) e pesquisadora de Iniciação Científica no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) no projeto "Track Hosp: Sistema de Localização de Cadeira de Rodas em Ambiente *Indoor*".

Giovana Renata Giaretta, graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Estagiária em Engenharia na ACG Capsules (ACG do Brasil) e pesquisadora de Iniciação Científica no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) no projeto "Track Hosp: Sistema de Localização de Cadeira de Rodas em Ambiente *Indoor*".

Thaís de Cássia Couto, graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), pesquisadora de Iniciação Científica no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) nos projetos "Three Move: Jogo Interativo para Reabilitação do Movimento de Pinça" e "Track Hosp: Sistema de Localização de Cadeira de Rodas em Ambiente *Indoor*".

Aprimoramento do Protótipo de Mão Robótica Controlada por Eletromiografia

Lívia Cipriano Magalhães, Vitor Guilherme da Silva Costa, Ana Beatriz Simões Fontana, Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
liviacipriano@geb.inatel.br, vitorguilherme@geb.inatel.br, ana.beatriz@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

***Abstract*—The physical disability of upper limbs, caused by amputation or genetic malformation, compromises motor and sensory function of individuals affected by a total or partial alteration of the limb. In order to artificially replace the limb to restore the quality of life of these people, a prototype of a robotic hand controlled by electromyography (EMG) was developed that has a sensing system. EMG detects the individual's intention to move through muscle activity and is used as a reference to activate the movement control strategy. Resistive force sensors modulate the individual movement of the fingers, preventing any captured objects from being crushed. The prototype was developed at the Assistive Technology Development and Transfer Center (CDTTA) on a continuous basis, with the aim of standardizing its manufacture so that it becomes an active and reproductive hand prosthesis.**

***Index Terms*—Physical disability, electromyography, hand prosthesis, sensing.**

***Resumo*—A deficiência física de membros superiores, causada por amputação ou má formação genética, compromete funções motoras e sensoriais de indivíduos acometidos por uma alteração total ou parcial do membro. Com intuito de substituir artificialmente o membro para restaurar a qualidade de vida dessas pessoas, foi desenvolvido um protótipo de mão robótica controlado por eletromiografia (EMG) que conta com um sistema de sensoriamento. A EMG detecta a intenção de movimento do indivíduo pela atividade muscular e é utilizada como referência para ativar a estratégia de controle da movimentação. Os sensores força resistivos modulam a movimentação individual dos dedos da mão, evitando que haja esmagamento de qualquer objeto capturado. O protótipo foi desenvolvido no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) de maneira contínua, com o objetivo de padronizar sua confecção para que se torne uma prótese de mão ativa e reprodutiva.**

***Palavras chave*—Deficiência física, eletromiografia, prótese de mão, sensoriamento.**

I. Introdução

A mão humana é uma parte essencial do corpo para manipulação de objetos e alimentos, auxiliando o desenvolvimento dos seres humanos. Pessoas que não possuem esse membro, seja por má formação ou por amputação, têm dificuldades na execução das atividades cotidianas [1]. Para aumentar a autoestima das pessoas que possuem algum tipo de deficiência física que envolva a falta de algum membro, ou de parte dele, são necessárias próteses mecânicas com tecnologia embarcada. Assim, essas pessoas teriam uma melhor qualidade de vida e uma maior independência em suas atividades diárias, como comer e escovar os dentes [2].

Um estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em parceria com o Ministério da Saúde, realizado pela Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), afirma que 6,2% dos brasileiros têm algum tipo de deficiência, dentre estas, considerou-se a auditiva, visual, física e intelectual. Quanto à deficiência física, 1,3% declara tê-la, sendo 1,6% homens e 1,0% para mulheres. No Brasil, 0,3% da população nasceu com deficiência física, e 1,0% a adquiriu por doença ou acidente. Segundo os dados da pesquisa, 46,8% da população que apresenta deficiência física refere que possuía grau intenso ou muito intenso de limitações, ou ainda não realizava as atividades cotidianas. E 18,4% dessa população frequentava o serviço de reabilitação [3].

Na tentativa de reproduzir as funções dos seres humanos com perfeição para que possam ser empregues a favor da humanidade, a tecnologia trouxe avanços nas áreas da robótica e da eletrônica. As principais aplicações em robótica surgiram por volta de 1960 e eram voltadas basicamente para a indústria e exército [4]. O aumento do desenvolvimento tecnológico deve possibilitar uma maior autossuficiência aos usuários de próteses para os incluir de forma adequada ao meio social [2].

Atualmente existem próteses de mão muito sofisticadas, mas de elevado valor financeiro, o que as tornam inacessíveis para quase a totalidade das pessoas. Esforços têm sido dedicados no desenvolvimento de próteses com menor custo, de fácil manufatura e de sensível aplicabilidade. Neste contexto, a manufatura por extrusão de material, comumente conhecida como impressão 3D, tem sido uma forte e eficaz aliada na obtenção desta meta [1].

A alta complexidade individual anatômica, cinesiológica e biomecânica deve ser considerada ao se pensar em um recurso de Tecnologia Assistiva, área que desenvolve capacidades funcionais das pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, auxiliando na qualidade de vida e inclusão social. Portanto, a impressora 3D é uma alternativa que torna possível confeccionar as adaptações personalizadas com medidas precisas [3].

A forma natural de acionamento muscular ocorre através de mecanismos eletroquímicos oriundos do encéfalo, medula espinhal ou nervos periféricos. Como a amputação impede a transmissão de potenciais de ação ao membro inexistente, o sinal da eletromiografia (EMG) pode ser utilizado para se detectar a intenção de movimento do indivíduo, representada pela atividade muscular. A partir desta análise é possível ativar a estratégia de controle de um dispositivo [5].

A EMG é amplamente utilizada para uma melhor compreensão do envolvimento neuromuscular em resposta ao exercício. Essa técnica também pode ser entendida como a quantificação dos sinais elétricos da musculatura esquelética, representada pela tensão elétrica ao longo do tempo. Trata-se

de um método não invasivo [6].

As mãos robóticas vêm sendo desenvolvidas no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA), como projetos de Iniciação Científica, desde o início de 2015. Até o ano de 2019, foram desenvolvidas cinco versões da mão robótica. O primeiro protótipo foi desenvolvido a partir da adaptação de um projeto de robô humanoide de fonte aberta INMOOV [7]. O segundo protótipo foi impresso a partir de um escaneamento de uma mão real, desenvolvido em parceria com a Universidade Federal de Goiás Unidade Catalão e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Esse último deu origem a terceira e quarta versão com melhorias no modelo anatômico.

Diante disso, o presente trabalho apresenta o quinto protótipo da Kapti, uma mão robótica controlada por eletromiografia, de baixo custo, confeccionada por impressora 3D e com acionamento individual dos dedos. O objetivo desse trabalho é padronizar a confecção da Kapti para que se torne uma prótese ativa e reprodutiva, com a função de adaptar-se a diferentes anatomias e substituir artificialmente a parte faltante do corpo, conferindo independência, qualidade de vida e autoestima ao usuário.

II. METODOLOGIA

A. *Eletromiografia*

As próteses mioelétricas são controladas pelos pacientes através de contrações musculares do braço, gerando sinais mioelétricos, resultados da soma de diversos potenciais de ação de uma unidade motora, da ordem de microvolts que são captados por eletrodos fixados à pele. Esse sinal é amplificado e filtrado durante sua captação e então, enviado ao controlador eletrônico da prótese [1,8].

O controlador da prótese interpreta os sinais recebidos e comanda os servo-motores para realizarem as preensões conduzidas pelo paciente, executando movimentos de flexão ou extensão [1,8]. A precisão de reconhecimento dos padrões utilizando somente a eletromiografia é de 61,86% [8].

Para amplificar os valores obtidos nas coletas, utiliza-se da amplificação diferencial. Para tal, o sistema de coleta é composto por dois eletrodos para captação do sinal e um eletrodo posicionado em um local neutro (eletrodo de referência) [6,9].

O algoritmo de detecção de contração foi baseado no deslocamento de duas amplitudes ao longo do sinal. Foi aplicada uma transformação do valor gerado da média aritmética dos sinais, resultando em um parâmetro comparado com o limiar de referência. Quando este limiar é excedido, a atividade muscular é considerada detectada [10].

A placa de aquisição do sinal mioelétrico foi desenvolvida por uma equipe de pesquisa do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Ela é responsável por enviar os dados captados ao micro controlador, Arduino Lilypad 328, que faz o acionamento dos servo-motores. Os códigos *Wiring* necessários foram elaborados na plataforma Arduino versão 1.8.12.

Realizaram-se testes, primeiramente, para ajuste de angulação dos servo-motores. Depois, para verificação de acionamento dos movimentos de abertura e fechamento de cada dedo individualmente. E então, ocorreu a integração entre as partes mecânica e elétrica da Kapti com o controle pela EMG.

B. *Sensoriamento*

Nas falanges mediais e distais dos dedos há sensores de força resistivos Pololu 0.25". Esses são capazes de produzir uma variação de resistência quando é aplicada uma pressão sobre eles. Quanto maior a pressão exercida sobre os sensores, menor é a variação de resistência entre eles. Assim, é possível retornar aos motores o momento exato de interromper a execução do movimento ao segurar algum objeto.

Isto auxiliará os usuários a terem mais controle de seus movimentos e evitarem, por exemplo, a quebra de um copo de vidro por causa da força aplicada ao mesmo [11]. A conexão dos sensores ao micro controlador é realizada por linhas condutivas que podem transportar corrente e sinais.

C. *Funcionalidade do Protótipo*

Fez-se necessária uma edição no modelo 3D da mão robótica, no programa de modelagem Blender, que proporcionou um espaço amplo para encaixe dos motores. Isso possibilitou a criação de um modelo de fixação dos servo-motores que não permita seu desencaixe interno ao exercer os movimentos de fechamento e abertura dos dedos, como pode-se observar na Figura 1. O protótipo foi impresso utilizando filamento de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) em cor preta.

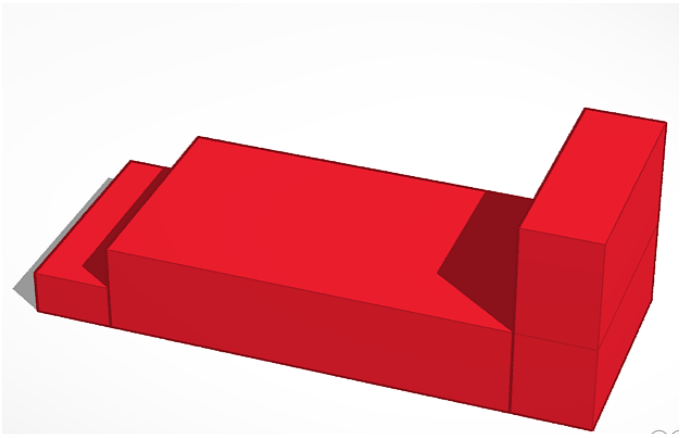


Fig. 1. Modelo de encaixe para fixação dos servo-motores.

A Kapti contém cinco mini servo-motores *High Powered, High Torque Metal Gear*, Adafruit. Para alimentá-los, buscou-se isolar o protótipo da rede elétrica, utilizando células de baterias de *notebook* de 19 Volts [V] e 3,5 Amperes [A]. As células se encontram em um suporte fixado a um bracelete juntamente com o módulo regulador de tensão LM2596, um conversor DC-DC com a tensão de saída ajustada em 5 [V].

O bracelete foi costurado em malha com poliamida em sua composição. Tal malha foi escolhida por ser aplicada em confecções de materiais esportivos, ou seja, respiráveis. Estudos afirmam que o tecido apresenta um bom gerenciamento de umidade, por meio da rápida transferência de líquido da superfície interna para a externa, garantindo maior conforto ao

usuário [12]. Esta característica se faz necessária pelo contato direto e a pressão na pele, exercida por velcros adesivos, para fixação ao braço saudável.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A representação do circuito elétrico da Kapti se encontra na Figura 2, onde pode-se identificar as portas digitais do Lilypad selecionadas para o servo-motor referente a cada dedo indicado pelas retas coloridas. Já as portas analógicas do Lilypad, selecionadas para os sensores de força resistivo Pololu 0.25" posicionados nas falanges dos dedos, são indicadas pelos pequenos círculos com as mesmas cores das linhas a fim de referenciar os dedos. Além disso, existem as ligações do *VCC* e *GND* dos cinco servo-motores, sendo que os *GNDs* dos sensores são interligados em comum.

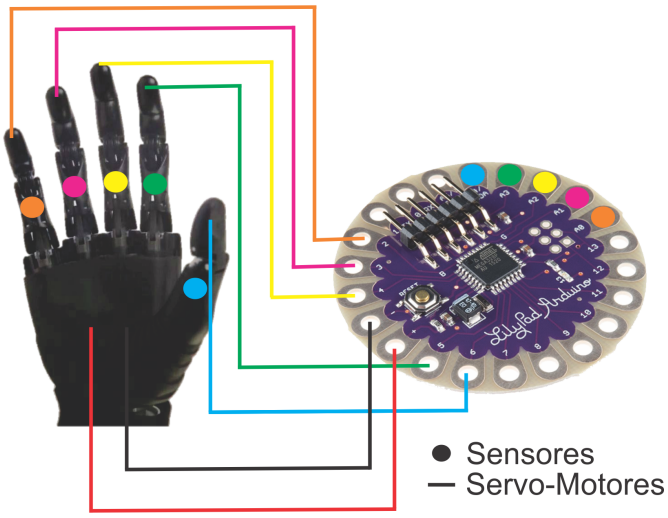


Fig. 2. Representação do circuito elétrico da Kapti.

O modelo 3D do dorso da mão robótica foi modificado, no programa de modelagem Blender, para facilitar a fixação dos servo-motores em seu interior. O resultado obtido pode ser visualizado na Figura 3. Essa modificação e a reorientação das ligações do sistema eletrônico tem como objetivo consolidar a padronização da Kapti.

Todos os documentos técnicos do projeto foram revistos de forma a simplificar a reprodutibilidade da mão robótica. Sabe-se que as versões anteriores foram direcionadas à prova do conceito e desenvolvidas de forma majoritariamente artesanal. Essa nova versão, todavia, foi orientada para sua fácil reprodução quando transferida para a indústria ou para disseminação do conhecimento.

Na Figura 4, é possível observar como se dá posicionamento dos eletrodos de superfície no braço do usuário para a aquisição do sinal. Para a realização dos testes, dois eletrodos diferenciais foram posicionados no ponto motor do músculo bíceps braquial com uma distância de dois centímentros entre suas regiões centrais, e o eletrodo de referência foi fixado no dorso da mão. Também, pode-se perceber que os fios dos eletrodos são conectados ao protótipo para que o sinal biológico seja processado e então, ocorra a abertura ou fechamento dos dedos.

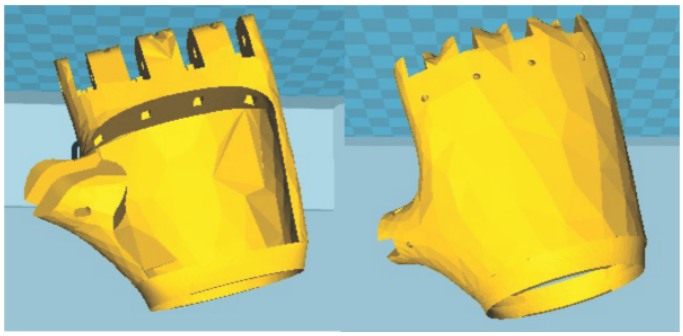


Fig. 3. Modelo 3D do dorso da Kapti.

Fig. 4. Representação do posicionamento dos eletrodos no braço.

O dispositivo MyoWare Muscle Sensor que era responsável pela captação do sinal biológico de EMG na versão anterior desse protótipo, foi substituído por uma placa de aquisição fabricada no próprio CDTTA. Essa alteração resultou em dimuição dos custos e tornou o projeto mais funcional, abrindo possibilidade para sua aplicação de forma mais autônoma e prática.

O sinal gerado pela eletromiografia pode ser observado utilizando a ferramenta Plotter Serial disponível no Arduino IDE®. A Figura 5 apresenta o sinal sendo registrado e uma contração do músculo representada pelo aumento da amplitude. Quando essa amplitude é maior que o limiar de força do usuário a atividade muscular é identificada. Assim, a Kapti realiza os movimentos pré-determinados das falanges impressas.

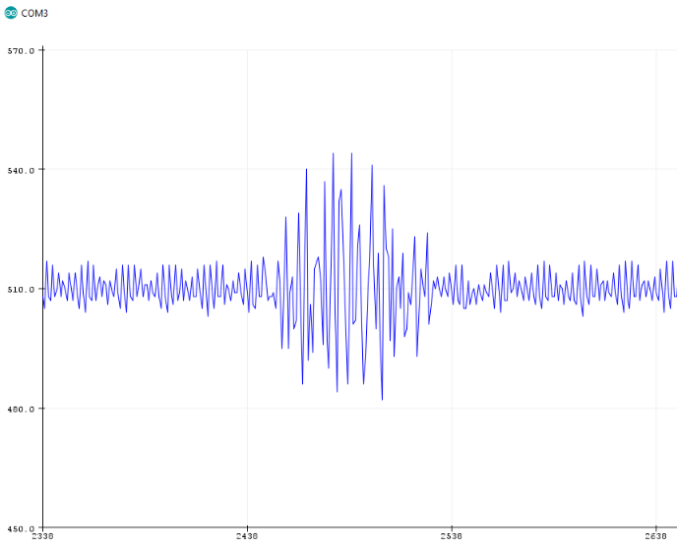


Fig. 5. Representação do sinal eletromiográfico.

IV. CONCLUSÃO

A Kapti utiliza a eletromiografia como método de ativação e controle. O sinal mioelétrico é captado pelos eletrodos na superfície do músculo. Assim, a partir da contração e do relaxamento muscular, faz-se a interpretação do sinal e aciona-se ou não os motores responsáveis pela movimentação da mão. Pode-se concluir, que a Kapti é eficaz na transdução do sinal mioelétrico responsável pelo controle de seus movimentos.

A utilização da impressão 3D para sua fabricação possibilita a reprodutibilidade do projeto, o que aumenta a confiabilidade do processo. Para implementação futura, propõe-se a adaptação do protótipo como uma prótese por meio da utilização de um protocolo de comunicação sem fio para que o sinal captado seja processado e enviado a distância, de forma a realizar o acionamento dos motores.

O próximo passo, é adicionar um sistema de alerta via indicação luminosa e vibração a partir do sensoriamento de umidade, temperatura e pressão. Assim, ocorrerá a identificação de situações que podem causar danos físicos a prótese, como excesso de calor ou exposição a líquidos.

Além disso, pretende-se realizar a parametrização do protótipo por meio de aspectos antropométricos a fim de adaptar a prótese aos diferentes tipos de anatomia. Dessa forma, será possível transformar a Kapti em uma prótese ativa ajudando pessoas com deficiência física a ter mais autonomia e qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

[1] G. F. Neto. “Modelagem e Desenvolvimento de Prótese de Mão Mecatrônica com Acionamento Individual de Dedos”, Dissertação de Mestrado. *Universidade Federal de Goiás Regional Catalão, Catalão, GO*. 2017.

[2] G. L. Carvalho, “Proposta de um método de projeto de prótese de membros superiores com a utilização da engenharia e análise do valor”, p. 2-166. 2004.

[3] Júnior, J. L. R.; Cruz, L. M. de S.; Sarmanho, A. P. S. Impressora 3D no Desenvolvimento de Pesquisas com Próteses. *Revista Interinstitucional Brasileira de Terapia Ocupacional. Rio de Janeiro*. V. 2, n. 2, p. 398-413, 2018.

[4] Souza, A. F. de; Garcia, M. A. G.; Cruz, S. M. da; Santos, R. V. do E. ROBÓTICA: Conceitualização e Linguagens de Programação. *Revista Conexão Eletrônica. Três Lagoas, MS* . V. 15, n. 1, p. 950-959, 2018.

[5] I. G. Rosa, “Detecção Automática de Contração Muscular Utilizando a Eletromiografia de Superfície”, Tese de Pós-graduação. *Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ*. 2005.

[6] Correa, C. S.; Costa, R.; Pinto, R. S. d. Utilização de Diferentes Técnicas para o Controle do Posicionamento dos Eletrodos de Superfície na Coleta do Sinal Eletromiográfico. *Revista Acta Brasileira do Movimento Humano*. V. 2, n. 2, p. 5-13, 2012.

[7] G. Langevin, “Hand and Forarm - InMoov Open Source 3D Printed Life-Size Robot”. [Online]. Disponível: http://www.inmoov.fr/hand-andforarm. Último acesso: jan. 2019.

[8] O. A. Gomes, “Sistema de aquisição de sinais de eletromiografia com comunicação sem fio”. Trabalho de conclusão de curso. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná.* 2016.

[9] C. F. Amorim, “Eletromiografia de superfície como ferramenta de quantificação aplicada no estudo da reabilitação motora e funcional”, Tese de Doutorado. *Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP*. 2009.

[10] A. B. S. Fontana, et. al, “Comparação do controle de uma mão robótica por botões capacitivos e eletromiografia”. . *Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, MG*. 2019.

[11] L. Sundfeld, J. L. C. Nogueira, S. V. Arêdes, L. S. Júnior, L. F. W. Barbosa, “Estudo e Desenvolvimento de uma Prótese de Mão Humana Robótica de Baixo Custo para Crianças”,Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, p. 323-326. *Universidade do Vale do Paraíba.*

[12] L. S. Souza, C. Borelli, “Estudo da integração de sensores aos têxteis esportivos” . *5º Congresso Científico Têxtil e Moda*. vol. 1, n. 5, pp.184-194, 2017.

AUTORES

Ana Beatriz Simões Fontana Graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnica em eletrônica pela Escola Técnica de Eletrônica “FMC”. Estagiária do Centro de Desenvolvimento de Competência e Inovação (CIDC) do Inatel.

Lívia Cipriano Magalhães Graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnica em eletrônica pela Escola Técnica de Eletrônica “FMC”. Estagiária do Centro de Desenvolvimento de Competência e Inovação (CIDC) do Inatel.

Vitor Guilherme da Silva Costa Graduando em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnico em eletrônica pela Escola Técnica de Eletrônica “FMC” (ETE-FMC). Co Founder Managing Director na NewHospital e Diretor de marketing na ONG ViverFeliz.

Filipe Bueno Vilela Graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.

HVDC - High Voltage Direct Current Estudos e Simulações Iniciais

Bruno Montibeller, Michael Spricigo, Marconi Januário, Kleyton Hoffmann, Jean Patrick Prigol
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC
montibeller67@gmail.com, michael.spricigo@gmail.com, marconi.januario@unoesc.edu.br,kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br, jean.prigol@unoesc.edu.br

***Resumo*—Este artigo contém informações sobre estudos de sistemas HVDC para compreensão de seu funcionamento. É apresentado a estrutura deste sistema e suas características, a transmissão, os componentes com suas funções e simulações utilizando o software MatLab-Simulink.**

***Palavras chave*—Componentes, Estrutura, Funcionamento, Sistemas HVDC, Simulações.**

***Abstract*—This article contains informations about studies in HVDC systems to understand how it works. Is presented the structure about this structures, operation, components and functions, transmission and simulations using the software MatLab-Simulink.**

***Index Terms*—Conmponents, HVDC Systems, Operation, Structure, Simulations.**

I. Introdução

Apesar dos sistemas de corrente alternada serem predominantes, outra face do mercado de energia está crescendo, assim como a demanda de energia elétrica que atingiu valores consideráveis nas últimas décadas. Somente em 2019 o consumo total no país foi de 482 mil GWh e já existem estimativas de aumento de carga no SIN (Sistema Interligado Nacional), de quase 4 por cento ao ano até 2024 de acordo com a CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) [1].

Para isso os sistemas HVDC (*High Voltage Direct Current* ou Alta Tensão em Corrente Contínua) são desenvolvidos e apresentam soluções para problemas encontrados na transmissão a longas distâncias em HVAC (*High Voltage Alternating Current* ou Alta Tensão em Corrente Alternada), que ocasionam custos elevados. Para calcular a diferença entre estes tipos são considerados, estações de conversão, a linha de transmissão e as perdas capitalizadas agravadas por fenômenos como os efeitos corona e pelicular [3]. As relações de custo são observadas na Figura 1[2].

Um ponto positivo para a corrente contínua presente nas linhas de transmissão, é o menor tamanho das torres, que reduz impactos ambientais e favorece a estética. Esta redução também ocorre com os condutores, utilizados em menor quantidade, com diâmetro inferior para uma mesma tensão, mas com maior potência transmitida, sendo em transmissão comum, com cabos aterrados ou submarinos [3].

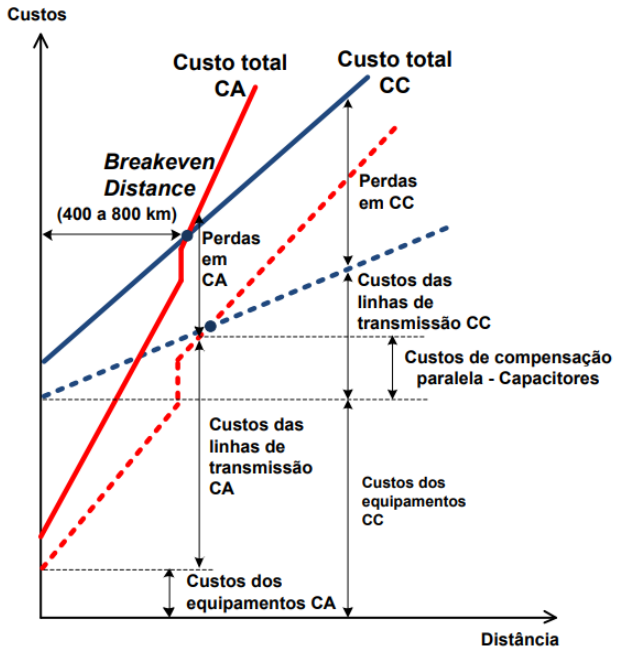


Fig. 1. Representação da distância transmitida x custo de transmissão.[2]

II. Desenvolvimento

São apresentados nesta seção, a estrutura do HVDC de maneira simples, as partes fundamentais em que se divide e por que são necessárias.

A. Apresentação dos sistemas HVDC

Tratando-se de maneira básica os sistemas HVDC, geralmente atuam em intermédio de dois sistemas AC. Sendo este sistema composto por um retificador, a linha de transmissão que conecta dois pontos a longas distâncias e um inversor como pode-se observar na Figura 2 [4].

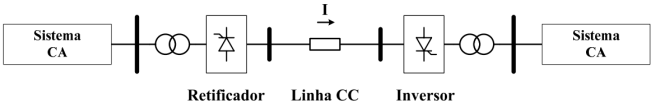


Fig. 2. Diagrama simplificado do sistema HVDC [4].

Observa-se também a representação da conexão Xingu-Estreito, no modelo demonstrado na Figura 3 [5].

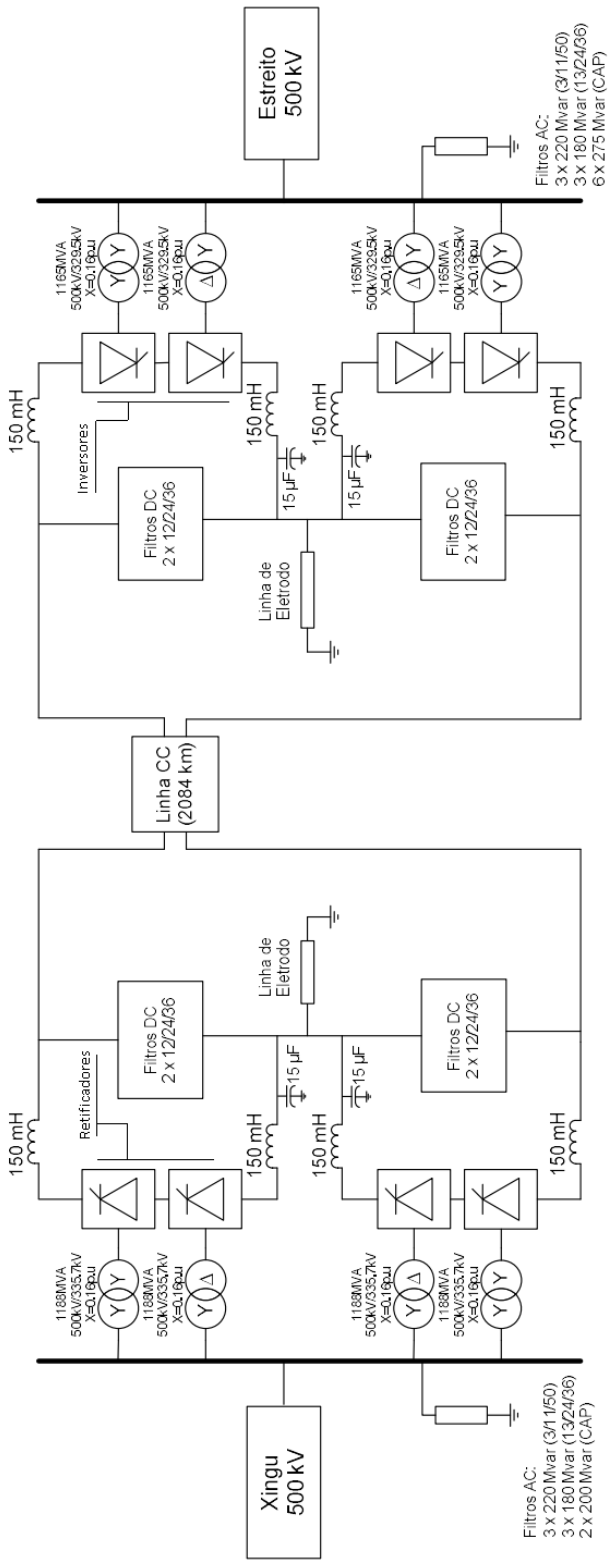


Fig. 3. Diagrama base sistema HVDC [5].

Este modelo transmite em uma linha de corrente contínua de 800KV, o retificador recebe a energia do primeiro sistema CA, a converte para CC, transmite por uma certa distância, que é recebida por um inversor e realiza o processo contrário, convertendo novamente para CA. Entre os conversores e os sistemas AC, há transformadores responsáveis pelo ajuste da tensão.

B. Partes de um sistema HVDC

Retificadores e Inversores: também conhecidos por *converters* (conversores), são algumas das partes mais importantes do HVDC. Eles realizam as conversões entre correntes alternada e contínua, com deslocamentos de fase, para atuação em 6 ou 12 pulsos, através de conexões com válvulas de tiristor.

Transformadores: realizam as elevações e reduções de tensões necessárias, antes e depois das conversões CA/CC e CC/CA. Geralmente monofásicos e possuem reatâncias fundamentais para comutação.

Válvulas de Tiristores: é o resultado da associação em série e em grupo de tiristores. Os tiristores são feitos de silício monocristalino de alta pureza, no formato de espessos discos com mais de 125 mm de diâmetro, funcionam como *swithches* (comutadores ou interruptores), capazes de bloquear mais de 8 kV de tensão e conduzir 4 kA de corrente. Geralmente organizados em série e paralelo para geração de 12 pulsos, o que ajuda a diminuir o *ripple* (ondulação causada pelo chaveamento das fases alternadas) e também aproveitar melhor tensão eficaz. Alguns modelos possuem ativação por feixe de fótons, o que ajuda amentar a velocidade e diminuir a complexidade do tiristor [3].

Reatores de Alisamento: podendo ser isolados a ar ou óleo, são montados em série no circuito da linha de transmissão e desempenham importantes papéis, prevenindo contra a corrente intermitente do *ripple*, limitado a corrente contínua em caso de falhas, previne o circuito em corrente contínua de ressonância a harmônicas de baixa frequência, assim como as correntes dessas harmônicas.

Filtros de Harmônicas: Utilizados na corrente alternada e também na contínua, absorvem correntes harmônicas geradas pelo conversor, impedindo que sigam para a rede CA. Possuem potência reativa para compensar a demanda do conversor e limitam interferências em linhas de comunicação, as vezes acopladas a de transmissão [3].

III. RESULTADOS

São apresentados nesta seção as simulações estudadas, quais seus componentes e seus devidos parâmetros, funções e os valores obtidos. Também é explicado de maneira breve, o que acontece durante a simulação, ao decorrer de um período de tempo observado de 0,8 segundos.

A. Simulação

A simulação do sistema HVDC foi realizada utilizando a ferramenta Simulink, presente no programa MatLab e desenvolvido pela empresa MATHWORKS. Foi utilizado um modelo base, previamente disponibilizado no banco de dados da MATHWORKS, denominado power_hvdc.mdl, que é montado como um sistema monopolar de 6 pulsos, com conexão de 500 MW, em tensão de 250 kV e corrente de 2 kA, que é conectada a uma rede CA de tensão de 315 kV e potência de 5000 MVA, apresentado na Figura 4 [6].

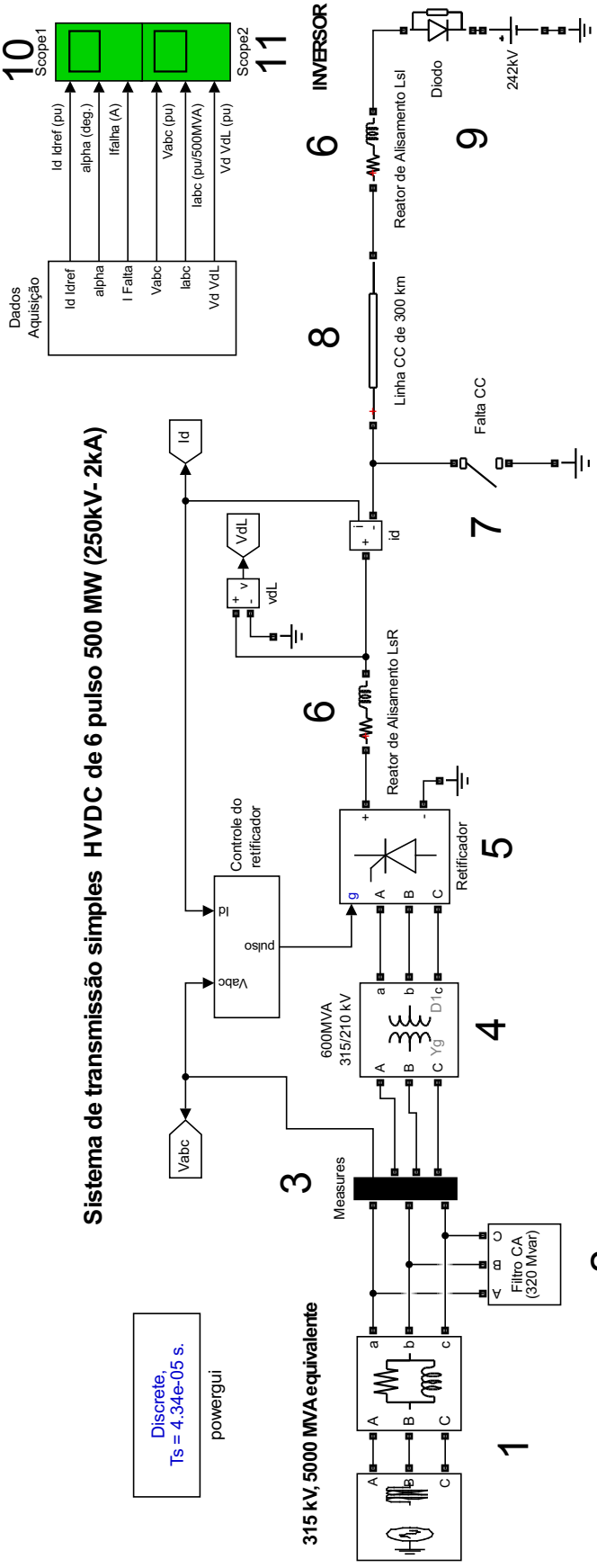


Fig. 4. Modelo utilizado nas simulações [6].

B. Descrição dos componentes da simulação Figura 4

Os componentes descritos a seguir são baseados no modelo da Mathworks [6].

1. Gerador CA: representado por fonte com resistor e indutor em série.

2. Bloco de filtros: para corrente alternada, contem banco de capacitores, filtro passa alta e passa faixa.

3. Bloco que realiza medições.

4. Transformador: atua com potência nominal de 600 MVA, reduz a tensão para o retificador de 315 kV para 210 kV.

5. Retificador: converte a corrente de CA para CC e é controlado por um controlador, que recebe os valores de corrente da linha CC e tensão da CA, fornecendo a angulação certa para alterar o chaveamento das chaves.

6. Reator de alisamento: responsável por reduzir a ondulação na CC e proteger as válvulas, com 0,5 Ohm de resistência e 0,5 H de indutância.

7. Falha CC: aplicada propositalmente na saída do retificador, conectada diretamente ao aterramento, para simular a reação do circuito a um possível cenário extremo, onde surge um pico de corrente.

8. Linha CC de 300 km.

9. Inversor: simplificado somente por um diodo em série a uma fonte de tensão CC.

10. Monitor 1: apresenta em função do tempo, as correntes da linha, da falha e a angulação utilizada no retificador.

11. Monitor 2 exibe as tensões e correntes do gerador trifásico e também a tensão da linha CC.

b.1) Monitor 1

Baseado na descrição da Mathworks [6], este elemento apresenta os dados resultantes na simulação, que foram analisados durante o processo, entre eles corrente de linha (Id), medida na saída do retificador, corrente de referência $(Idref)$, a angulação *alpha* que o controlador envia ao retificador, para fazer o chaveamento e a corrente da falha (Ifault), observados na Figura 5 [4]. Há uma divisão de 5 momentos durante os 0,8 segundos simulados. No primeiro momento, de 0 até 0,3 segundos, surge e se estabiliza a corrente em 0,5 pu, equivalente a 1 kA, esta segue a corrente de referência, mostrada pela linha vermelha. Também há a angulação inicialmente fixada a 60 graus para manter a corrente. No segundo momento de 0,3 até 0,5 segundos, a angulação cai para 20 graus e a corrente é elevada até 1,1 pu, atingindo os 2,2 kA. No terceiro momento de 0,5 até 0,55, a falha é então aplicada e a corrente chega a um pico de mais de 4 kA, a corrente da linha sofre o mesmo efeito, ultrapassando 1,9 pu (3,8 kA). Assim como a angulação que chega a 120 graus, mas para simular uma reação de segurança a falha, no quarto momento de 0,55 até 0,57, o controlador força uma angulação de 165 graus por 20 milissegundos, para desativar o retificador. Já no quinto momento a partir de 0,57 segundos, a falha é retirada e o sistema é ativado novamente voltando ao normal, porém a angulação permanece em um pequeno período de 60 milissegundos com a angulação baixa, para que a corrente se eleve novamente de uma maneira mais suave, afim de atingir os 2,2 kA novamente [6].

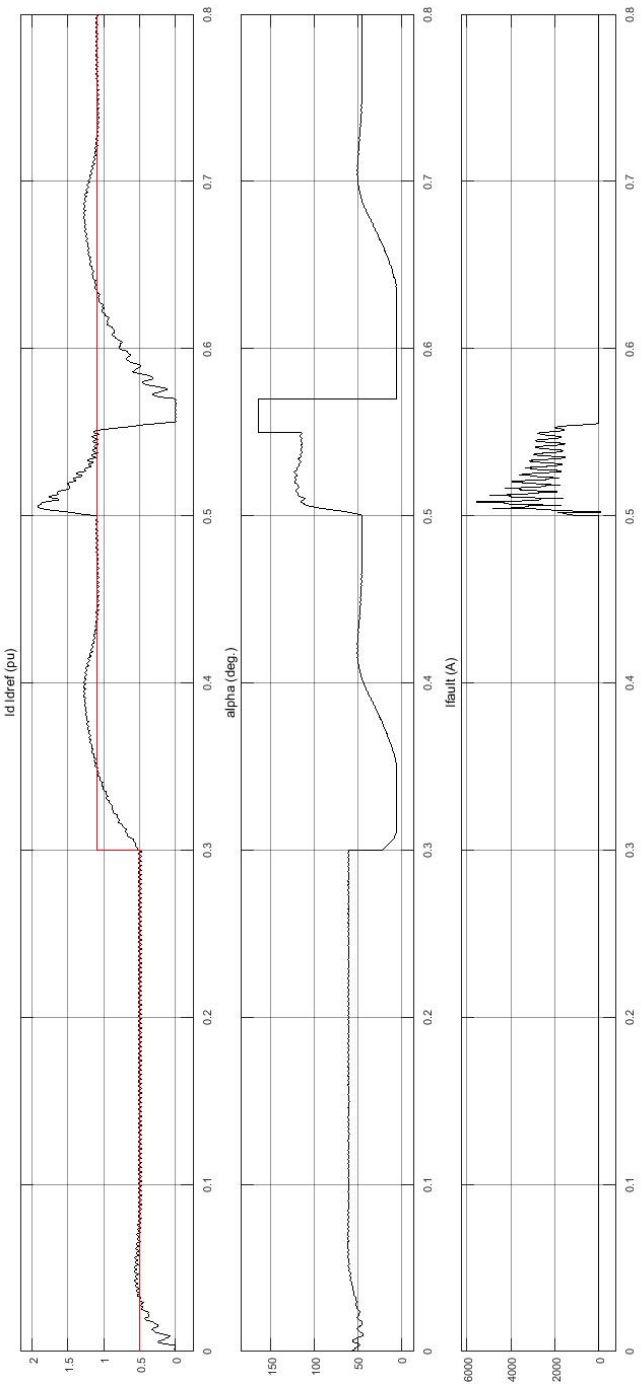


Fig. 5. Gráficos da simulação no Monitor 1 [4].

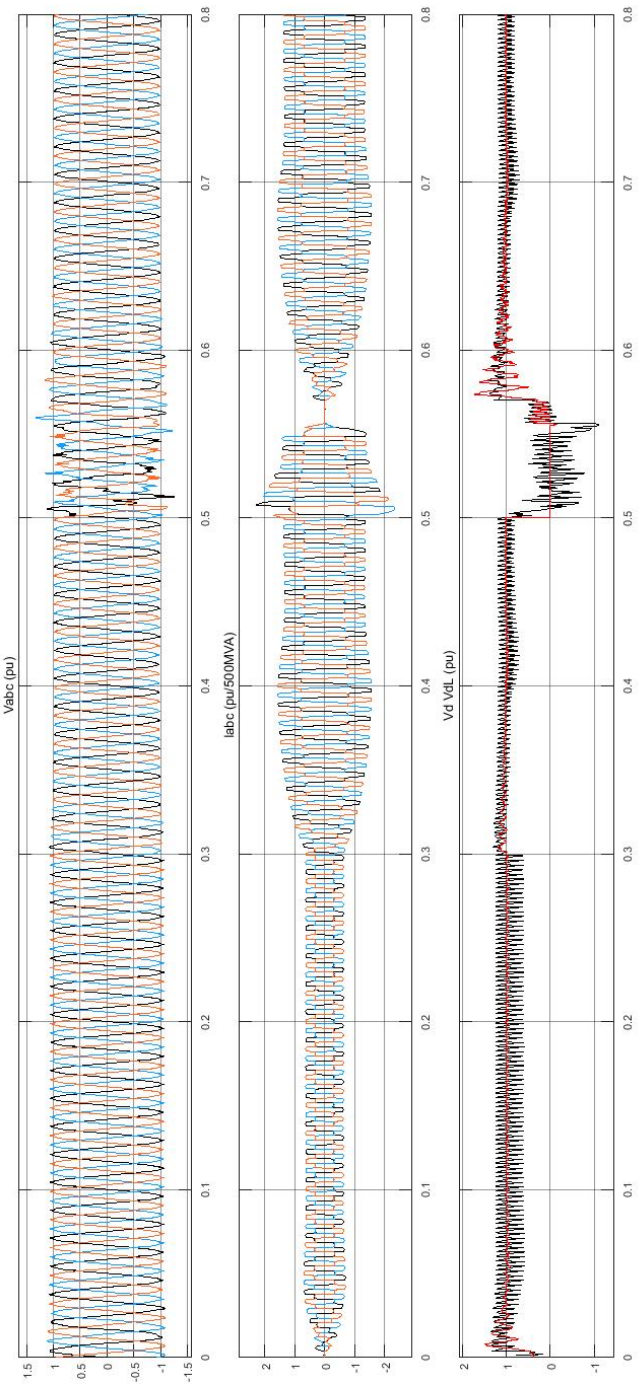


Fig. 6. Gráficos da simulação no Monitor 2 [4].

b.2) Monitor 2

Os mesmos momentos observados no Monitor 1 se repetem no Monitor 2 Figura 6 [4]. Este por sua vez, exibe as tensões das fases do gerador (Vabc) e suas correntes (Iabc), que seguem no ritmo da corrente da linha CC e também a tensão na linha CC (VdL), que também possui uma tensão de referência (Vd), representada pela linha vermelha. Desta maneira é possível notar como as tesões do gerador são constantes, variando apenas suas correntes e como todas as partes são brevemente afetadas pela falha, no momento 4.

C. Simulação com relé

Após os estudos realizados com a primeira simulação, decidiu-se aprimorá-la e implantar um relé de proteção, para que em caso de possíveis falhas ou acidentes, o sistema fosse desativado, evitando que opere com corrente muito acima da nominal. O relé é acionado por uma porta lógica com comparador, que identifica quando a corrente na linha de transmissão contínua, ultrapassa um valor definido de 2,7 kA. Esta simulação modificada é exibida na Figura 6 [4].

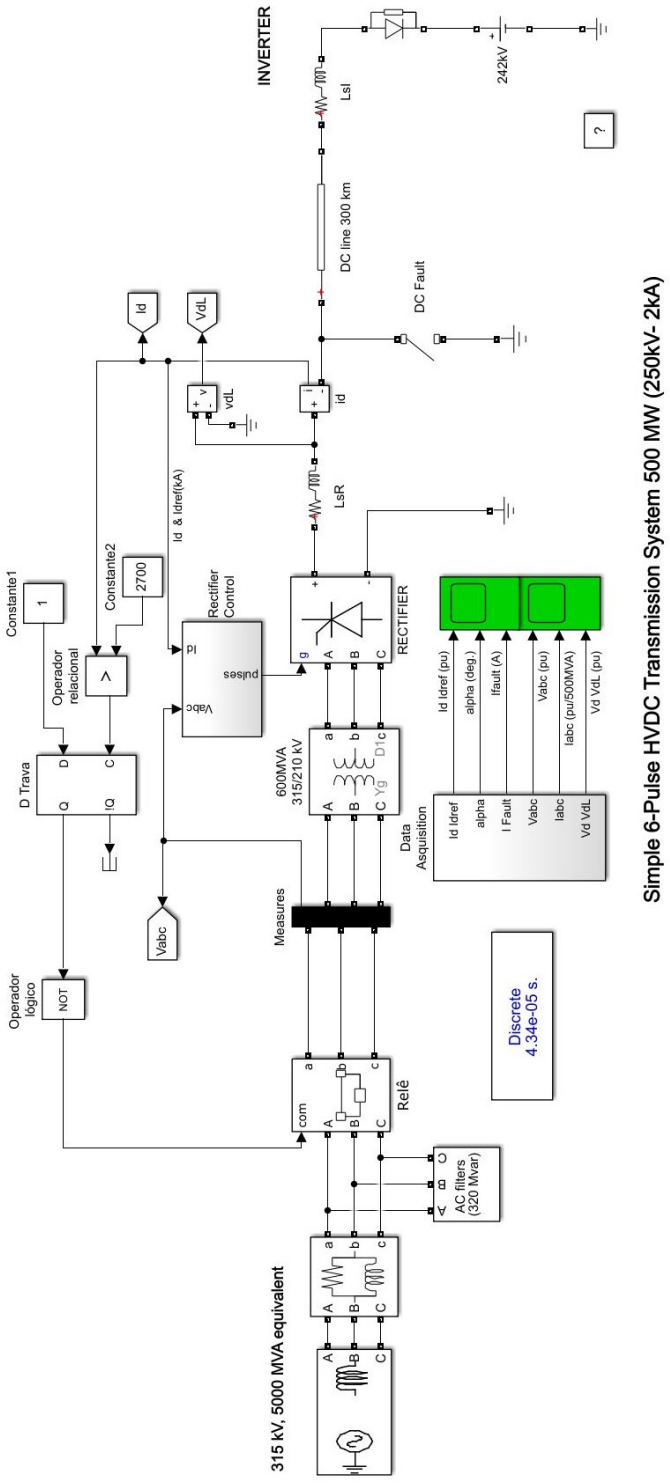


Fig. 7. Simulação com relé de proteção [4].

A simulação ocorre do mesmo modo até o início do terceiro momento, quando em 0,55 segundos a falha é ativada. Porém, desta vez o novo sistema com relé identifica o pulso de corrente elevada, desativa a conexão e impede a passagem de energia logo após a saída do gerador, deste modo as medições de tensões param de ser exibidas no gráfico, pois já não há energia chegando ao bloco de medições, assim como a tensão da linha que se torna a mesma da falha. Momento representado na Figura 9 [4]. As correntes exibidas são remanescentes do retificador, a falha permanece ativa e essa energia restante do retificador é consumida aos poucos pela parte que simula o inversor, como mostrado na Figura 8 [4].

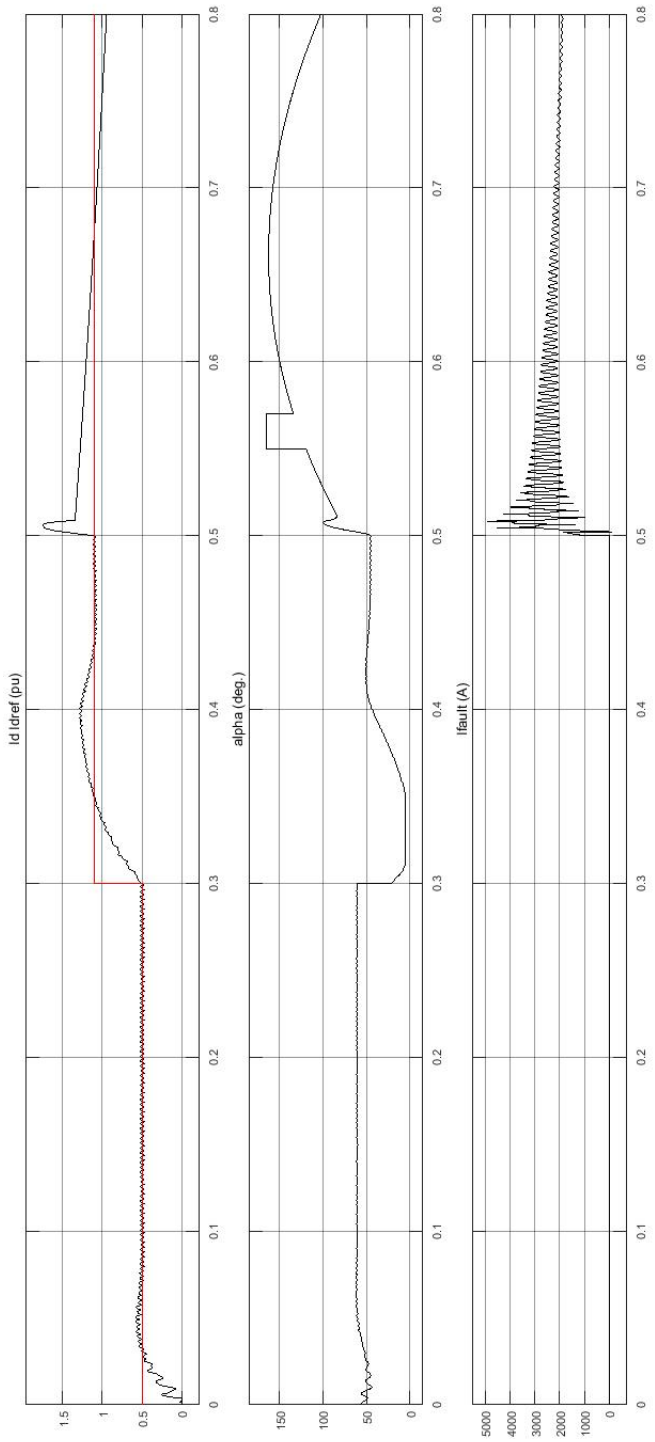


Fig. 8. Monitor 1 da simulação com relé [4].

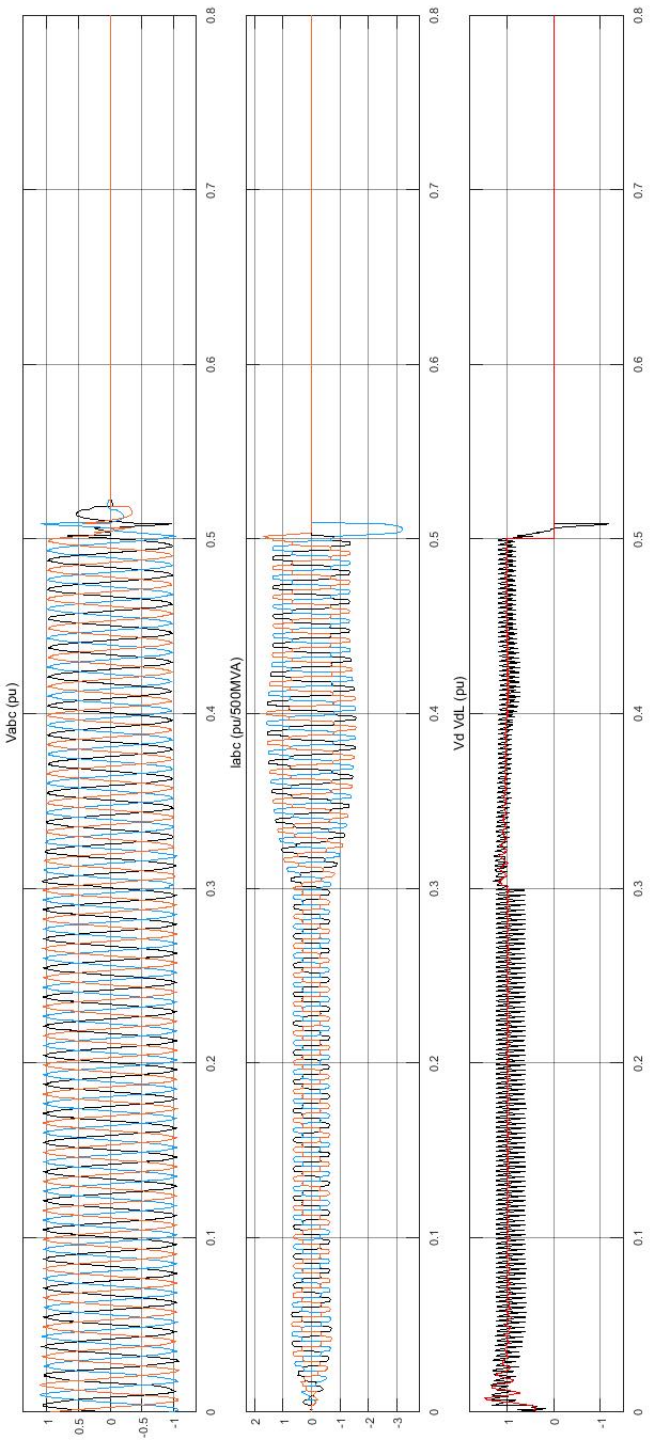


Fig. 9. Monitor 2 da simulação com relé [4].

IV. Conclusão

Percebe-se que é constante a criação e a transição para novos sistemas HVDC, que há anos se demonstram mais eficientes que os de alternada, junto disto, o desenvolvimento de tecnologias mais eficazes por parte de grandes multinacionais, que pode tornar este processo menos custoso e mais prático. Sistemas assim podem apresentar diferenças, quando contabilizados a longo prazo, para países de grande porte como Brasil, que possui a maior linha HVDC do mundo ou até continentes como a Europa, que possui linhas cruzando fronteiras, como a ligação entre Escócia e Irlanda do Norte [3]. Situações assim demonstram a importância desses sistemas para o mercado de energia, que já é bem consolidado, mas permanece em expansão, tendo suas exigências de conhecimento para que continue sendo desenvolvido, com qualidade e estabilidade afim de atender a crescente demanda mundial.

Referências

[1] EPE e Empresa de Pesquisa Energética. *Previsão de carga para o Planejamento Anual da Operação Energética ciclo 2016 (2016-2020)*. Rel. técn. Rio de Janeiro: EPE, ONS e CCEE, 2020, p. 29.

[2] José Dickson Araújo de Oliveira. *Avaliação da Operação do Sistema HVDC de Interligação do Complexo do Rio Madeira à Região Sul do Sistema Elétrico Brasileiro*. Rel. técn. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2015, p. 102.

[3] Siemens. "High Voltage Direct Current Transmission and Protection - Proven Technology for Power Exchange". Em: *Advancements in Power System Protection Pt. II* (2016), p. 49. ISSN: 00203386. DOI: 10.4018/978-1-5225-0884-7.les6.

[4] Michael Spricigo. *HVDC: ESTUDOS E SIMULAÇÕES INICIAIS*. Rel. técn. Joaçaba: Unoesc, 2019, p. 65.

[5] Fernando Cattan Jusan, Eduardo De M Brandi, Sun Zheng e Igor Leitão Spinelli. *Belo Monte HVDC Transmission System - Dynamic Performance Study for 800 kV, 4000 MW, Xingu to Estreito Interconnection in PSCAD and RTDS*. Rel. técn. Rio de Janeiro, 2018, p. 13.

[6] MathWorks. *Simple 6-Pulse HVDC Transmission System*. URL: https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/simple-6-pulse-hvdc-transmission-system.html?s{_}tid=srchtitle.

Proposta de Comunicação Industrial Envolvendo Rede PROFINET *IO* e Sistema Supervisório em uma Aplicação Controlável

Alexandre Baratella Lugli
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratella@inatel.br

Lucas Sales de Oliveira Almeida
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
lucassales@gea.inatel.br

Matheus Guerra Pinto
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
matheusguerra@gea.inatel.br

***Abstract*— Given the current context of the 4.0 Industry, this paper has the purpose to present a theoretical study over industrial networks and supervisory systems. It's given to the study a practical appeal, which brings industrial automation concepts that are applied nowadays. Moreover, a range of pieces of equipment is integrated into one process connected to a real-time supervisory system. In this scenery, a metallurgical industry application is presented whose objective is to maintain the quality and execute engravings on gold ingots. Through this example characteristics, configurations and definitions of industrial communication, as well as monitoring, analysis and control of the network are highlighted in the manufacturing process.**

***Index Terms*— Industrial Automation, Industrial Networks, PROFINET, Programmable Logic Controller, Supervisory Systems.**

***Resumo*— Dado o atual contexto de Indústria 4.0, esse trabalho tem como propósito apresentar um estudo teórico sobre as redes industriais e sistemas supervisórios. É dado ao estudo um apelo prático, que traz conceitos de automação industrial que são aplicados atualmente. Não obstante, diversos equipamentos são integrados em um só processo conectado a um sistema supervisório em tempo real. Neste cenário é apresentada uma aplicação industrial na área metalúrgica, cujo objetivo é manter a qualidade de barras de ouro e efetuar gravações nas mesmas. Por meio deste, são apresentadas as características, configurações e definições da comunicação industrial, bem como o monitoramento, análise e controle da rede evidenciados no processo fabril.**

***Palavras chave*— Automação Industrial, Controlador Lógico Programável, PROFINET, Redes Industriais, Sistemas Supervisórios.**

I. INTRODUÇÃO

Em busca de métodos para aumentar e otimizar o processo produtivo, impulsionados pelo crescimento populacional do século XVIII e XIX, novas tecnologias foram inseridas na produção. O uso de inovações nas fábricas culminaram na chamada 1ª Revolução Industrial, caracterizada pelo uso de máquinas a carvão e a vapor nas linhas de produção. Posteriormente, o uso da eletricidade, do aço e da computação culminaram na 2ª e 3ª Revoluções Industriais. Atualmente, com o foco em conectividade, discute-se a 4ª Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, que promete integrar as novas tendências tecnológicas na indústria, alcançando altos níveis de automação [1].

Nota-se, como fator relevante no cenário da automação industrial, o surgimento de *Programmable Logic Controller* (*PLC*) ou Controladores Lógicos Programáveis (CLP). Pode-se definir um CLP como um computador dedicado e reprogramável, onde sensores e atuadores são conectados a cartões de entrada e saída. Sua função foi substituir os painéis de relés, cuja principal dificuldade era a alteração de uma lógica implementada e o alto consumo de energia [2]. Uma pesquisa feita por [3] revela que o mercado continua a crescer e que este é o método mais utilizado para o controle de maquinário atualmente.

Dado o cenário de Indústria 4.0, nota-se a necessidade do aumento da interconexão entre os dispositivos utilizados em ambientes fabris. Para atender essa necessidade, surgiram redes industriais como a PROFIBUS, PROFIBUS *DP* (*Decentralized Peripherals*), PROFINET, entre outras [2]. Para a aplicação desenvolvida neste trabalho, foi utilizado como padrão o protocolo PROFINET.

Os complexos sistemas de automação industrial atigiram níveis que desafiam a intuição humana, consequentemente, sistemas que permitam a visualização do processo como um todo tornam-se necessários. Tais sistemas são conhecidos como: Supervisórios ou *SCADA* (*Supervisory Control and Data Acquisition*) [4]. Aliado aos sistemas supervisórios, a implantação conjunta de redes industriais se faz presente, de forma que a comunicação entre dispositivos e a monitoração do processo possa ser feita. Este trabalho tem como objetivo a implantação de um sistema que atenda aos requisitos de uma aplicação industrial que utiliza do conceito de PROFINET e de sistemas supervisórios.

Para cumprir o objetivo proposto, a Seção II evidencia conceitos sobre o protocolo de rede industrial PROFINET. Na Seção III são apresentadas as definições e a metodologia utilizadas pelo sistema supervisório. A Seção IV denota as análises dos resultados obtidos neste trabalho. Finalmente, na Seção V, são apresentadas as principais conclusões obtidas.

II. REDE PROFINET

A fim de interpretar e analisar a rede PROFINET, segmentou-se esta seção em: descrição, topologias, modelos de operação e PROFINET *IO* (*Input/Output*).

A. Descrição

O PROFINET é o padrão aberto da *Ethernet* Industrial do PROFIBUS e PROFINET *International* (PI) para automação. Baseado na *Ethernet* Industrial, usa padrões *TCP/IP* (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) e *IT* (*Information Tecnology*). O PROFINET está padronizado segundo as normas IEC 61158 e IEC 61784, que estão relacionadas às redes industriais e sistemas de tecnologia da informação [5].

B. Topologias

Conforme a Figura 1, observa-se que o PROFINET permite o uso de topologias em estrela, árvore, anel e linha, sendo esta a mais comum entre as redes industriais. Como no protocolo *Ethernet*, uma infraestrutura de rede pode consistir em várias subseções com diferentes topologias simples ou híbridas.

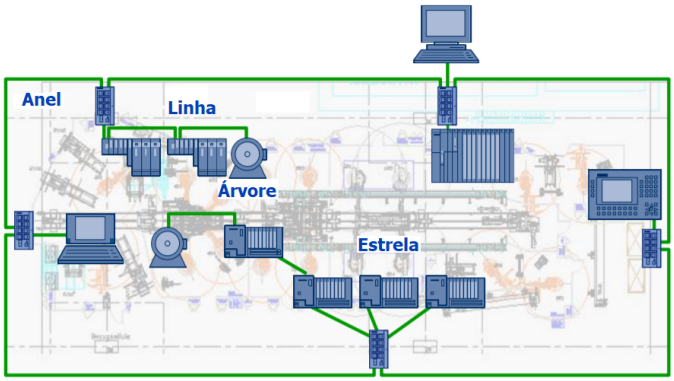


Fig. 1. Panorama da tecnologia PROFINET. [6]

C. Modelos de operação

O PROFINET pode operar de três modos distintos, conforme a Figura 2.

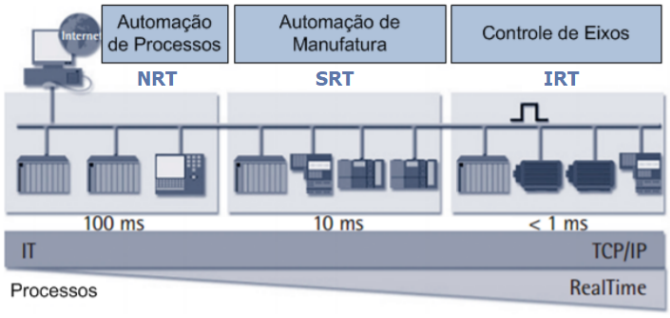


Fig. 2. Diferentes tipos de processos e sua criticidade. [7]

A primeira maneira baseia-se na arquitetura *TCP/IP* pura, utilizando *Ethernet* na camada um e dois, o *IP* na camada três e o *TCP* ou *UDP* na camada quatro. Essa arquitetura é chamada de *Non-Real Time* (*Non-RT*), pois seu tempo de processamento se aproxima dos 100 ms [8].

A segunda maneira baseia-se no chamado *Soft Real Time* (*SRT*), caracterizando-se por ser um canal que interliga diretamente a camada da *Ethernet* à aplicação. Com a eliminação de vários níveis de protocolo, há uma redução no comprimento das mensagens transmitidas, necessitando de menos tempo para transmitir as informações na rede [8].

A terceira maneira baseia-se no conceito de *Isochronous Real Time* (*IRT*), para aplicações em que o tempo de resposta é crítico e deve ser menor do que 1 ms [8].

D. PROFINET IO

A rede *Ethernet* Industrial PROFINET *IO* descreve um modelo de dispositivo que é baseado em características essenciais do PROFIBUS *DP*, incluindo canais para cada elemento alocado na rede. Ele opera diretamente com os elementos de campo, realizando leituras de sensores, atualizações dos sinais de saída e controle de diagnósticos da rede. As características dos dispositivos de campo são descritas via arquivo *GSD* (*General Specification Default*) em uma base *XML* (*Extensible Markup Language*) [8].

O arquivo *GSDML* (*GSD* em uma base de programação *XML*) acompanha todos os elementos da rede PROFINET *IO* e descreve as principais características de cada um deles. Ele deve ser fornecido pelo fabricante do equipamento e instalado no *software* de configuração da rede [8].

O PROFINET *IO* possui três tipos de dispositivos básicos, sendo eles: controlador, módulos de campo e sistema de supervisão. As funções de cada elemento estão descritas a seguir e podem ser visualizadas na Figura 3.

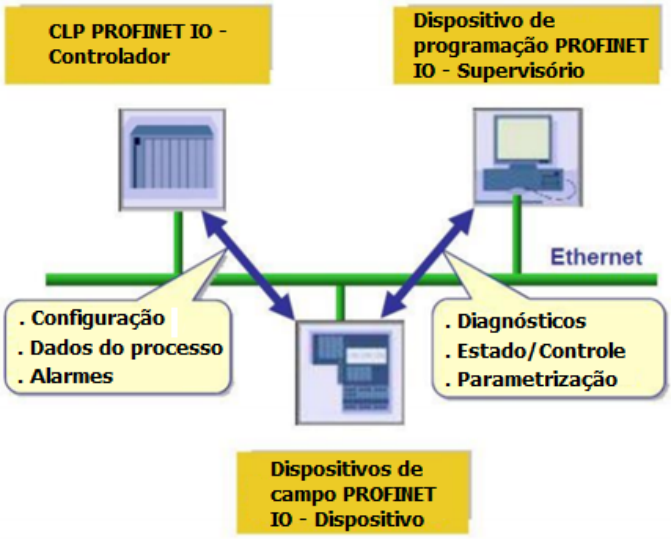


Fig. 3. Caminhos de comunicações para o PROFINET *IO*. [9]

- Controlador: contém a imagem do processo e o programa do usuário. Ativo na comunicação, parametriza e configura os dispositivos conectados. Também executa a troca cíclica/acíclica de dados, bem como o processamento de alarmes com os dispositivos de campo [5].

- Módulo de campo: transmite os dados de processo para o controlador e assinala estados críticos do sistema (diagnósticos e alarmes) de acordo com o protocolo PROFINET. Um dispositivo pode trocar dados com múltiplos controladores como um dispositivo compartilhado [5].
- Sistema de supervisão: pode ser um dispositivo de programação (*Programming Device - PD*), um computador pessoal (*Personal Computer - PC*) ou um dispositivo de Interface Homem-Máquina (IHM) ou *Human Machine Interface* (*HMI*) para fins de comissionamento ou diagnóstico. Pode assumir temporariamente a função de um controlador [5].

O telegrama da rede PROFINET *IO* é mostrado na Figura 4 e segue a estrutura do formato *Ethernet* IEEE 802.3. A grande diferença está no campo *Frame ID* , no qual é possível distinguir se o quadro é *IRT*, *SRT* ou *Non-RT*, de acordo com os dois *bytes* do campo. Cada valor deste campo define a maneira como as mensagens serão trafegadas na rede. A quantidade mínima de *bytes* deste telegrama é setenta e dois, contando cabeçalho, informação e verificação de erro [8].

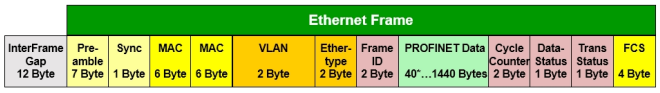


Fig. 4. Telegrama da rede PROFINET *IO*. [9]

III. SISTEMA SUPERVISÓRIO

Os sistemas de supervisão de processos industriais, também conhecidos como sistemas *SCADA*, permitem monitorar e rastrear informações de um processo produtivo ou instalação física. Essas informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados para, posteriormente, serem apresentados ao usuário. O objetivo principal é proporcionar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o, em tempo real, todos os eventos de importância da planta [10]. Incorporado ao sistema *SCADA*, tem-se a IHM.

Uma IHM é um *hardware* industrial composto, normalmente, por uma tela de cristal líquido e um conjunto de teclas para navegação ou inserção de dados, que utilizam um *software* proprietário para sua programação. Geralmente é utilizada em automação no chão de fábrica, instalada na estação de trabalho, traduzindo sinais vindos do CLP para sinais gráficos [11].

Os sistemas de supervisão de processos industriais automatizados desempenham três atividades básicas:

- Supervisão: incluem-se todas as funções de monitoramento do processo, por exemplo, gráficos de tendências de variáveis analógicas ou digitais [12];
- Operação: possui vantagem de substituir as funções da mesa de controle, otimizando os procedimentos de ligar e desligar equipamentos ou sequências de equipamentos, ou ainda mudar o modo de operação dos equipamentos de controle [12];
- Controle: os algoritmos de controle são executados em uma unidade de processamento autônomo (CLP) [12].

Um sistema de supervisão é caracterizado por cinco tópicos:

- Aquisição de dados: é um procedimento que envolve a coleta e transmissão de dados de instalações industriais, eventualmente remotas, até as estações centrais de monitoramento [12].
- Acesso aos dados: a visualização de dados consiste na apresentação de informações através da IHM, geralmente utilizando animações capazes de simular a evolução dos estados do processo controlado na indústria. Os sistemas *SCADA* permitem visualizar os dados lidos na fase de aquisição, além de fornecer previsões e tendências do processo produtivo [12].
- Alarmes e eventos: visando garantir maior segurança no processo, um sistema de supervisão é capaz de gerar alarmes a partir da ocorrência de algum evento específico. Os alarmes são classificados por níveis de prioridade em função da sua gravidade [12].
- Tolerância a falhas: para atingir níveis aceitáveis de tolerância a falhas, é usual a existência de informação redundante na rede de comunicação e de máquinas utilizadas como sistema de recuperação (*backup*) situadas dentro e fora das instalações das indústrias [12].
- Estrutura funcional: um sistema de supervisão em um ambiente industrial automatizado é composto por quatro elementos: processo físico, *hardware* de controle, *software* de supervisão e rede de comunicação [12].

Os sistemas *SCADA* utilizam dois modos de comunicação:

- *Polling*: comunicação designada por mestre/escravo, visto que a estação central (*Master*) tem o controle absoluto das comunicações, efetuando sequencialmente a leitura dos dados de cada estação remota (*Slave*), que apenas responde à estação central após a recepção de um pedido, ou seja, em *half-duplex* [11].
- Interrupção (*Report by Exception*): a estação remota monitora os seus valores de entrada e, quando detecta alterações significativas ou valores que ultrapassem os limites definidos, inicia comunicação com a estação central e a consequente transferência de dados [11].

Um exemplo de ferramenta *HMI/SCADA* é a Elipse E3, plataforma para aplicações avançadas e distribuídas, ideal para sistemas de missão crítica e centros de controle. Esta é uma ferramenta para monitoramento e controle de processos, oferecendo escalabilidade e constante evolução para diversos tipos de aplicações, desde simples IHMs até complexos centros de operação em tempo real [13].

O Elipse *SCADA* possui três módulos para sua operação: Configurador, *Runtime* e *Master*. O módulo ativo é definido a partir de um dispositivo de proteção (*hardkey*) que é acoplado ao computador. Enquanto que os módulos Configurador e *Master* foram especialmente desenvolvidos para a criação e o desenvolvimento de aplicativos, o módulo *Runtime* permite apenas a execução destes. Neste módulo, não é possível qualquer alteração no aplicativo por parte do usuário [14].

IV. RESULTADOS

O desenvolvimento do projeto foi dividido na análise do problema proposto e na elaboração de uma solução para a mesma. Estes itens serão evidenciados detalhadamente a seguir.

A. *Cenário em análise*

O problema proposto trata-se de um exemplo prático de automação industrial. Os requisitos de projeto são: o uso do protocolo PROFINET *IO* para comunicação entre módulos de fabricantes diferentes (B&R [15] e Siemens [16]), a construção de um supervisório em um *desktop* conjuntamente a uma IHM e o uso de equipamentos industriais, como inversor de frequência, motor, conversor de tensão, acessórios pneumáticos, sensores, entre outros.

Visando atender todos os requisitos de projeto, foi proposto uma aplicação industrial na área metalúrgica, tendo como finalidade o processo de qualidade de barras de ouro, bem como a gravação das peças processadas, a verificação da pesagem e a metodologia de empacotamento.

O diagrama em blocos e a visualização tridimensional simplificada do processo podem ser observados nas Figuras 5 e 6, respectivamente.

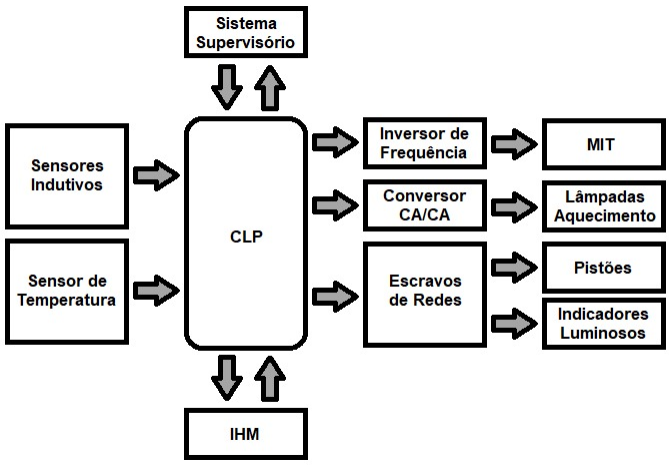


Fig. 5. Diagrama em blocos do processo.

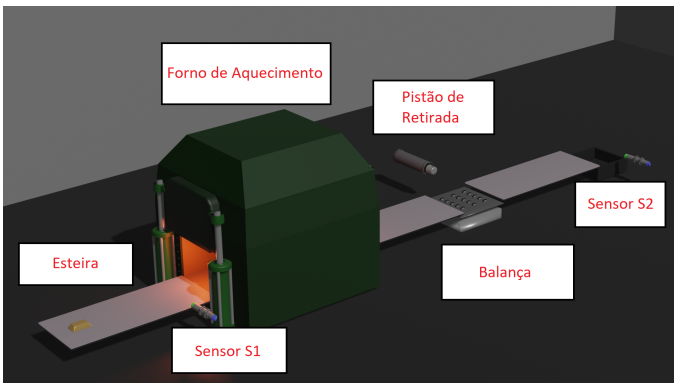


Fig. 6. Visualização tridimensional do projeto proposto.

O processo tem início com o acionamento de uma botoeira que libera a entrada dos lingotes e permite a movimentação de uma esteira movida por uma Máquina de Indução Trifásica (MIT). Sua rotação inicial é de 1200 rotações por minuto (RPM) e, é controlada por um inversor de frequência conectado ao controlador do sistema. Três sensores indutivos são utilizados para monitorar a posição dos lingotes, um antes da entrada do forno, um no interior do forno e outro ao final do processo.

O sensor na entrada do forno de aquecimento tem como finalidade reduzir a velocidade do motor para 400 RPM, diminuindo a aceleração do lingote no interior do forno. Dentro deste, um segundo sensor indica que o lingote está posicionado corretamente para a gravação, fazendo com que a esteira pare. Nesta etapa, o sistema obterá a temperatura ideal do forno, entre 500 e 700ºC, por meio de um controlador CA/CA que entrega uma determinada tensão a uma carga resistiva, levando-a a aquecer. Nota-se que é possível alterar o valor da potência na carga por meio do ângulo de disparo dos tiristores do controlador CA/CA, sendo este controlado pelo CLP. Os valores de temperatura são entregues ao controlador do sistema através de um sensor de temperatura localizado no interior do forno.

Quando a temperatura está fora da faixa desejada, entende-se como solução o aquecimento ou o resfriamento do forno, portanto é necessária realizar a alteração do ângulo de disparo. Contudo, a utilização do ângulo apenas em 180º ou 0º pode ocasionar um aquecimento ou resfriamento severo, assim, opera-se com uma transição tênue do ângulo, seguindo uma linearidade. Na situação em que a temperatura se encontra abaixo do desejado, o sistema rege a Equação 1 para realização do controle, caso contrário, quando ultrapassa do estipulado, o processo atende a Equação 2.

$$\alpha(Temperatura) = 0.1 \cdot Temperatura \tag{1}$$

$$\alpha(Temperatura) = 0.1 \cdot Temperatura + 60 \tag{2}$$

Após a efetuação da gravação no lingote, o motor retorna a velocidade de 1200 RPM e o mesmo passa por uma balança, de modo que seu peso ideal é de 1 kg com uma margem de erro de 1,5% para cima ou para baixo. Estando fora da faixa, um pistão irá retirá-lo da linha de produção para que seja reprocessado e, novamente, inserido ao início do sistema. Caso contrário, o lingote irá prosseguir para o final da linha, sendo contabilizado por um sensor indutivo. Ao atingir a contagem de 20 lingotes, um alarme sonoro é acionado indicando ao operador que deve ser feita a retirada dos produtos e realizado o empacotamento, para que, em seguida, seja inserido um novo recipiente, possibilitando o reinício do processo. Feito isso, uma botoeira deve ser acionada liberando o funcionamento novamente e zerando a contagem.

O fluxograma apresentado na Figura 7 retrata o processo descrito de uma forma visual, possibilitando observar a lógica utilizada na programação e a decisão tomada pelo controlador do sistema diante cada circunstância.

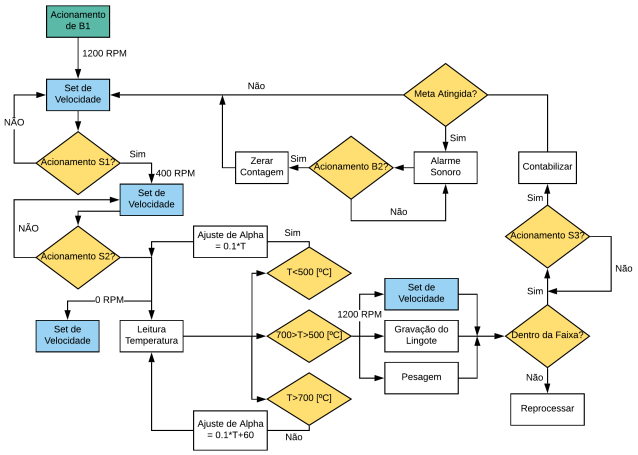


Fig. 7. Fluxograma do processo.

Durante a operação, as informações são enviadas a uma IHM de campo e ao supervisório em um computador, conforme visualizadas nas Figuras 8 e 9, respectivamente. A IHM de campo permite ao operador visualizar o histórico da temperatura de forma gráfica e realizar a inicialização ou o desligamento do sistema. Através do supervisório, o operador tem acesso ao valor da velocidade da esteira, temperatura do forno, peso na balança, número de lingotes processados e potência utilizada no forno em porcentagem, bem como as decisões tomadas pelo sistema. Existem, como mecanismos de monitoramento, equipamentos luminosos para indicar que o lingote está no forno e, ainda, alertar sobre a pesagem do lingote na balança. Além disso, foi previsto o evento de uma parada de emergência, de forma que o operador pode paralisar todo o sistema em qualquer estado, tanto ao pressionar o botão de emergência quanto ao acionar os botões de desligar encontrados na IHM ou no supervisório.

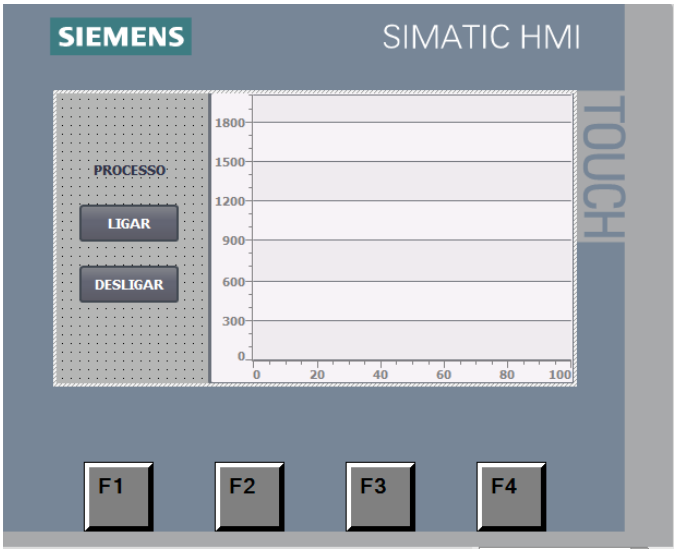


Fig. 8. Tela da IHM instalada em campo.

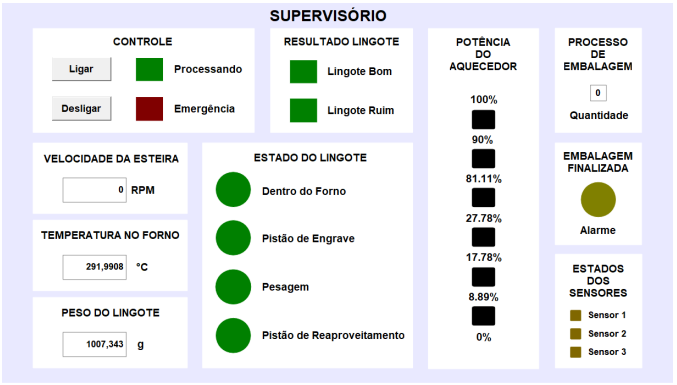


Fig. 9. Tela do sistema supervisório desenvolvido.

A Tabela I apresenta os equipamentos utilizados, bem como sua finalidade e quantidade.

TABELA I
TABELA DE COMPONENTES DE PROJETO

Equipamento	Utilizaçao	Quant.
Botoeira verde	Inicializar, reinciar	2
Botoeira vermelha	Desligamento	1
Buzzer	Alarme Sonoro	1
Sensor Indutivo	Monitorar posição	3
Sensor LM-35	Monitorar temperatura do forno	1
Potenciômetro 10 [KΩ]	Medição de peso	1
Máquina de Indução Trifásico	Movimentação da Esteira	1
Inversor de frequência	Controle da velocidade	1
Interface homem máquina	Promover visualização e controle	1
Pistão de simples ação	Remoção para reprocessar	1
Pistão de dupla ação	Gravação de lingote	1
Conversor CA/CA	Aquecimento do forno	1

B. *Solução proposta*

O sistema de controle desenvolvido utilizou os conceitos de automação industrial, redes industriais e sistemas supervisórios. O equipamento fundamental para realizar o controle de todas as funções do processo foi um Controlador Lógico Programável Siemens S7 1200 CPU 1214C que operou como mestre na rede PROFINET *IO*. Para atingir o objetivo final as tarefas foram divididas em:

- Configuração das características do projeto no ambiente TIA Portal, onde foram inseridos todos os equipamentos e módulos presentes no desenvolvimento da rede industrial;
- Configuração da rede (*network view*) e da topologia (*topology view*), apresentadas nas Figuras 10 e 11, respectivamente. Utilizadas para definir as conexões físicas entre os equipamentos, módulos, controlador e supervisório;
- Programação em linguagem *LADDER*, realizada em partes para a execução de testes e aprimoramento do processo industrial;
- Integração de componentes e equipamentos para implementação real e industrial do sistema, realizando todas ligações cabeadas;
- Desenvolvimento da tela de monitoramento, comunicação e interação do sistema supervisório.

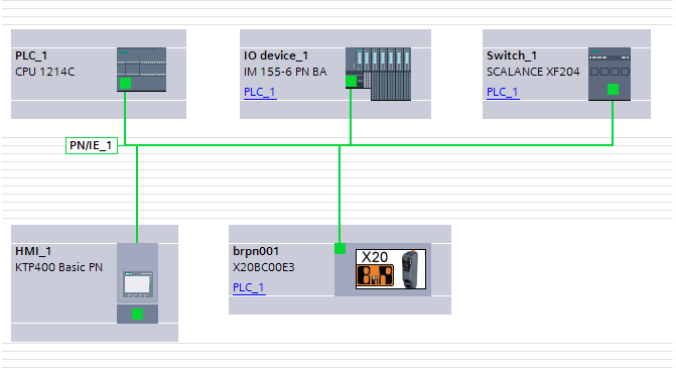


Fig. 10. *Network view* do sistema.

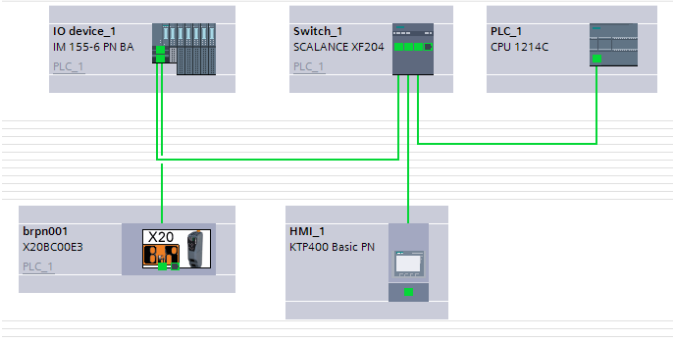


Fig. 11. *Topology view* do sistema.

O resultado final da comunicação industrial obtida pela interação de todos os equipamentos pode ser visualizado na Figura 12. Através desta, identifica-se na parte superior da bancada acessórios pneumáticos, conversor CA/CA e caixa de lâmpadas, representada como forno. Já na parte inferior, encontra-se inversor de frequência, CLP, escravos de rede, tela do sistema supervisório, sensores e indicadores luminosos para alertar algumas partes críticas do processo.

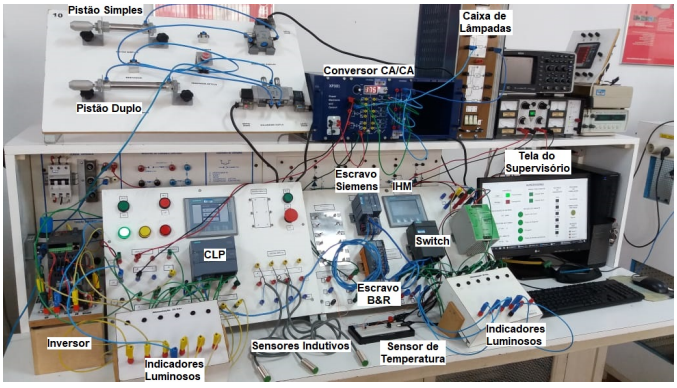


Fig. 12. Montagem final do sistema proposto.

V. CONCLUSÃO

A rede industrial PROFINET *IO* é amplamente utilizada na área de automação industrial. O objetivo deste trabalho foi realizar uma aplicação envolvendo um processo industrial, com o intuito de associar a comunicação entre módulos de dois equipamentos de fabricantes diferentes com interfaces de supervisório e IHM.

A partir dos experimentos realizados, conclui-se que o método apresenta um tempo de resposta adequado para os comandos inseridos externamente e internamente pelo controlador. Constatou-se, na prática, que a associação ao sistema envolvendo todos os elementos apresentou boa comunicação no processo e funcionamento apropriado dos atuadores presentes.

Uma possível melhoria para implementar ao processo seria a inserção de uma plataforma supervisório *mobile*. Desta forma, seria possível o monitoramento das variáveis de processo presentes no sistema independentemente da localidade, não ficando vinculado somente a um *desktop* na indústria.

REFERÊNCIAS

[1] R. Sakurai and J. D. Zuchi, "As revoluções industriais até a industria 4.0," *Revista Interface Tecnológica*, vol. 15, no. 2, pp. 480–491, 2018.
[2] C. CASSIOLATO, "Redes industrias." Disponível em <http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/redes-industriais>. Acesso em Janeiro de 2020.
[3] Mordor Intelligence, "Programmable Logic Controller (PLC) Market: Growth, Trends, Forecast (2020-2025)." Disponível em <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/programmable-logic-controller-plc-market>. Acesso em Janeiro de 2020.
[4] L. A. Jurizato and P. S. R. Pereira, "Sistemas supervisórios," *Network-Technologies,Nova Odessa*, vol. 1/2, no. 1/2, pp. 105–114, 2002/2003.
[5] M. Popp, *Comunicação Industrial com o PROFINET*. São Paulo, PI Brasil, 1 ed., 2018.
[6] "Panorama da Tecnologia PROFINET." Disponível em <http://www.profibus.org.br/images/arquivo/panorama-da-tecnologia-profinet-5432dde8a5d90.pdf>. Acesso em Janeiro de 2020.
[7] V. d. S. L. Oliveira, *PROTOCOLO DE COMUNICAC AO PROFINET PARA REDES DE AUTOMAC AO*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
[8] A. B. Lugli and M. M. D. Santos, *Redes industriais para automação industrial*. Saraiva Educação SA, 1 ed., 2010.
[9] "4 More PROFINET Myths and the Much Better Realities," 2014. Disponível em <http://us.profinet.com/4-profinet-myths-much-more-better-realities>. Acesso em Janeiro de 2020.
[10] M. COELHO, "Apostila de sistemas supervisórios," *Curso superior de tecnologia em automação e controle de processos industriais contínuos. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia de São Paulo campus Cubatão*, 2010.
[11] C. C. d. Moraes and P. d. L. Castrucci, "Engenharia de automação industrial," *Rio de Janeiro: LTC*, p. p295, 2001.
[12] R. B. d. Souza, "Uma arquitetura para sistemas supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo," Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.
[13] E. Software, "Elipse E3," 2018. Disponível em <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/>. Acesso em Janeiro de 2020.
[14] Elipse Software, "Elipse SCADA Tutorial," 2005. Versão 2.27, Disponível em <http://www.politecnica.pucrs.br/~filipi/scada/scadatutorial_BR.pdf>. Acesso em Janeiro de 2020.
[15] B&R Perfect in Automation, "B&R Home Page," 2005. Disponível em <https://www.br-automation.com/>. Acesso em Janeiro de 2020.
[16] Siemens Engenhosidade para vida, "Siemens Home Page," 2020. Disponível em <https://new.siemens.com/br/pt.html>. Acesso em Janeiro de 2020.

Projeto de Implantação de Geração Solar Fotovoltaica na UNOESC Campus de Joaçaba

Alex G. Zuffo, Elizabeth A. G. Fonseca, Gabriel Chies, Kleyton Hoffmann, Jean P. Prigol,
Marconi Januário, Renato G. Scortegagna
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC
alex.zuffo@unoesc.edu.br, elizabeth.fonseca@unoesc.edu.br, gabriel.chies@unoesc.edu.br, kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br,
jean.prigol@unoesc.edu.br, marconi.januario@unoesc.edu.br, renato.scortegagna@unoesc.edu.br

***Abstract*—Seizing the opportunity for installation of solar photovoltaic systems in the current Brazilian scenario, this project was developed with the purpose of installing on-grid photovoltaic plants on six power consumer units owned by FUNOESC group. The power generation design is presented, which took into account energy bills and local solar radiation data. It is also described the determination method of the main system components: inverters, arrays, electric conductors and protection devices. In the end, is presented the result of the economic investment analysis, that indicated a payback time of about eight years.**

***Index Terms*—Distributed Generation, Economic Investment Analysis, Photovoltaic System Sizing, Solar Photovoltaic Energy.**

***Resumo*—Aproveitando o cenário nacional oportuno para a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica, este projeto foi desenvolvido com o objetivo de instalar usinas fotovoltaicas *on-grid* em seis unidades consumidoras administradas pelo grupo FUNOESC. É apresentado o dimensionamento da potência de geração, que levou em conta dados de faturas e irradiação solar local. Também é descrita a metodologia de determinação dos componentes principais do sistema: inversores, arranjos, condutores e dispositivos de proteção. Ao final, é apresentado o resultado da análise econômica do investimento, que indicou um tempo de retorno de oito anos.**

***Palavras chave*—Análise Econômica de Investimento, Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída.**

I. Introdução

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no ano de 2012, criou o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, possibilitando e incentivando a geração distribuída de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Nesse cenário, a geração solar fotovoltaica é a que mais cresce atualmente [1].

Seguindo essa tendência, com a premissa de reduzir gastos com faturas de energia elétrica das unidades consumidoras pertencentes à Fundação da Universidade do Oeste de Santa Catarina (FUNOESC) e administradas pela unidade de Joaçaba, foi desenvolvido um projeto para dimensionamento de usinas solares fotovoltaicas conectadas à rede (*on-grid*), responsáveis por gerar a energia utilizada por cada unidade consumidora. Além de economia nas faturas, o sistema traz benefícios ambientais – pois constribui para diminuir a utilização de fontes não renováveis de energia – e também sociais e estratégicos, visto que as usinas podem ser integradas ao ensino e à pesquisa, auxiliando no processo de formação de profissionais. Outras universidades já implementaram sistemas parecidos, que funcionam como um laboratório vivo e sustentável [2].

As atividades realizadas incluem leitura de normas técnicas, análise prévia dos dados de seis diferentes unidades, desenvolvimento de projetos executivos, refinamento dos dados obtidos e análise de viabilidade econômica do sistema. Este artigo limita-se a descrever o processo de dimensionamento da potência e da configuração do gerador fotovoltaico, e apresenta ao final o resumo da análise econômica.

II. Critérios de projeto

Essa seção tem por objetivo apresentar informações básicas e considerações realizadas no desenvolvimento do projeto.

A. Normas utilizadas

Os projetos de usinas geradoras foram elaborados de acordo com as seguintes normas e resoluções:

- Resolução normativa nº 482 de 2012, ANEEL: estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. [3].
- Resolução normativa nº 687 de 2015, ANEEL: altera a Resolução Normativa nº 482 e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. [4].
- PRODIST Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição da ANEEL de 2017 [5].
- Manual de procedimentos da CELESC – requisitos para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrica da CELESC distribuição. [6].
- ABNT NBR 5410:2004 – versão corrigida 2008 – Instalações elétricas de baixa tensão. [7].
- Norma Regulamentadora - NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. [8].

B. Unidades consumidoras contempladas

As unidades consumidoras (UC's) do grupo FUNOESC contempladas por esse projeto são:

- I - Ambulatório Médico Universitário (AMU) de Joaçaba
- II - UNOESC Joaçaba Administrativo
- III - UNOESC Joaçaba Campus 1
- IV - UNOESC Joaçaba Campus 2
- V - UNOESC Campos Novos
- VI - UNOESC Capinzal

As UC's de I a V pertencem ao grupo A4 (todas têm tensão de fornecimento de 23,1 kV). Por isso, têm seu consumo de ponta e fora de ponta faturados separadamente, e por conseguinte seu dimensionamento de geração é diferente do

adotado para a unidade VI, que é do grupo B (atendida em baixa tensão) e tem uma tarifa única de energia [9].

De acordo com o Módulo 3 do PRODIST [5], as unidades do grupo A devem instalar no máximo a demanda contratada; se o consumidor quiser instalar uma potência maior, deverá solicitar um aumento de demanda na concessionária local de energia – que não deve ultrapassar 92% da potência do transformador instalado [10]. E mesmo que toda a energia faturada seja compensada pelo gerador fotovoltaico, o valor da demanda contratada ainda será cobrado pela concessionária.

Para consumidores do grupo B, praticamente toda a energia faturada pode ser compensada, salvo pelo custo de disponibilidade (CD), que ainda deve ser cobrado pela concessionária. Como a unidade VI é atendida em tensão trifásica, o custo de disponibilidade é de 100 kWh [5], e é descontado nos cálculos.

C. Irradiação Solar

A irradiação solar que incide em cada cidade (também chamada de "horas de sol pico", HSP), necessária ao dimensionamento do gerador fotovoltaico, foi obtida através do programa SunData, criado pelo Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito [11]. Foram adotados como base os valores obtidos para o plano horizontal (inclinação de 0° N), nos quais devem ser aplicados fatores de correção relativos à inclinação do telhado (α) e ao desvio azimutal (β), de acordo com a Equação 1 [12].

$$\mathrm{HSP}' = \mathrm{HSP} \cdot \alpha \cdot \beta \tag{1}$$

O fator α é obtido através de tabelas de fatores de correção de radiação para superfícies inclinadas (também chamado de fator K) [13]. O fator β é retirado da Figura 1, um ábaco característico da região que relaciona a inclinação do telhado ao desvio azimutal [12]. Quando há partes de telhados disponíveis para a instalação com características de azimute diferentes, é considerada a média entre os fatores obtidos para cada parcela da cobertura.

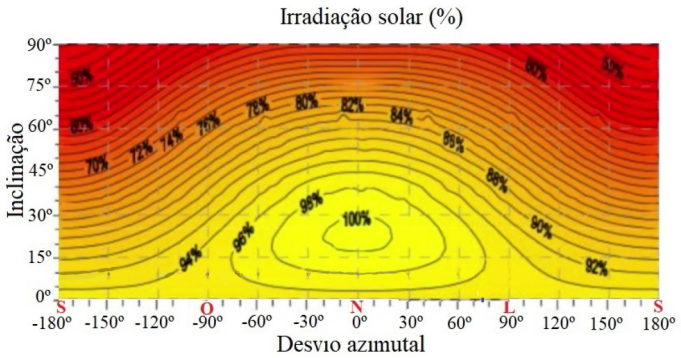


Fig. 1. Ábaco de correção relacionando inclinação e desvio azimutal.

D. Fatores de rendimento da geração

Como todos os equipamentos utilizados não são ideais e existem variações no ambiente que modificam a operação do sistema como um todo, são considerados alguns fatores de rendimento importantes antes, durante e depois da conversão fotovoltaica. São eles [12, 14]:

- Sombreamento (k_{somb}): causado por objetos ao redor ou sobre as placas.
- Sujeira (k_{suj}): acúmulo de sujeira sobre os módulos, como poeira e fezes de pássaros.
- Tolerância de potência (k_{tol}): é levado em consideração quando o módulo possui tolerância negativa de potência.
- *Mismatching* (k_{miss}): irregularidades de fabricação das placas.
- Temperatura (k_{temp}): a eficiência do módulo diminui com o aumento da temperatura.
- Cabeamento CC (k_{CC}): perda de potência por efeito Joule no circuito em corrente contínua (CC).
- SPMP (k_{SPMP}): perda durante ou entre os períodos de rastreamento do ponto de máxima potência do módulo fotovoltaico.
- Conversão CC/CA (k_{inv}): eficiência do inversor utilizado.
- Cabeamento CA (k_{CA}): perda de potência por efeito Joule no circuito em corrente alternada (CA).

E. Módulo fotovoltaico utilizado

O módulo fotovoltaico utilizado em todos os projetos é o "KuMax (1000 V / 1500 V) High Efficiency Mono Module CS3U-370M", da fabricante Canadian Solar. Os dados dos módulos são dispostos na Tabela I.

TABELA I
DADOS DO MÓDULO FOTOVOLTAICO UTILIZADO

Tipo	Mono cristalino
Potência nominal (P_{mpp})	370 Wp
Tensão no ponto de máxima potência (V_{mpp})	39,6 V
Corrente no ponto de máxima potência (I_{mpp})	9,35 A
Tensão de circuito aberto (V_{oc})	47,4 V
Corrente de curto circuito (I_{sc})	9,85 A
Coeficiente de temperatura de P_{max} (γ)	-0,37 $\frac{\%}{°C}$
Coeficiente de temperatura de V_{oc} (β)	-0,29 $\frac{\%}{°C}$
Coeficiente de temperatura de V_{mpp} (β)	-0,29 $\frac{\%}{°C}$
Coeficiente de temperatura de I_{sc} (α)	0,05 $\frac{\%}{°C}$
Temperatura nominal de operação	42 ± 2°C

III. Desenvolvimento

Nesta seção são abordadas as etapas do desenvolvimento do projeto, que abrangem o recolhimento de dados e o dimensionamento do sistema – potência de geração e equipamentos. O processo de dimensionamento será descrito através da unidade consumidora IV – UNOESC Joaçaba Campus 2.

A. Irradiação solar média

Para a UC IV, localizada em Joaçaba, o programa SunData [11] fornece a média de horas de sol pico de 4,51. O fator α da Equação 1, correspondente ao fator de correção da inclinação do telhado, foi considerado igual a 1,05 para todas as unidades, pois essa é a média dos valores de radiação mensal para uma superfície inclinada em 10° na latitude de 27°. Para compor o fator β foram levados em conta os telhados disponíveis para a alocação dos módulos, que têm azimutes de 35°, -55° e -145°. Os fatores individuais são 0,96, 0,96 e 0,93, respectivamente, resultando em um β final de 0,95. Desse modo, a irradiação solar média corrigida é de

$$\mathrm{HSP}' = \mathrm{HSP} \cdot \alpha \cdot \beta = 4{,}499$$

B. Dimensionamento da geração

Foram analisadas as faturas de energia referentes aos doze meses de 2018, a fim de estabelecer perfis de consumo e tarifação. Foram desconsideradas tarifas extras, como a ultrapassagem da demanda, por exemplo.

A UC IV possui um consumo médio de 6161,45 kWh em horário de ponta e de 32866,73 kWh fora de ponta. A demanda contratada é de 190 kVA.

Para calcular a geração ideal em kWp nas unidades do grupo A, utilizam-se os dados de consumo nas Equações 2 até 5.

$$G_{fp} = \frac{C_{fp}}{\text{HSP}' \cdot \frac{365}{12}} \quad (2) \qquad f_{adj} = \frac{\text{TEFP}}{\text{TEP}} \quad (4)$$

$$G_p = \frac{\frac{C_p}{f_{adj}}}{\text{HSP}' \cdot \frac{365}{12}} \quad (3) \qquad G_{total} = G_{fp} + G_p \quad (5)$$

C_{fp} e G_{fp} são consumo e geração fora de ponta, C_p e G_p consumo e geração de ponta e f_{adj} um fator de ajuste que relaciona as tarifas de energia de ponta (TEP) e fora de ponta (TEFP). Esse fator é utilizado para compensar o consumo no período de ponta, pois considera-se que toda a geração fotovoltaica ocorre no período fora de ponta [10]. Neste projeto, $f_{adj} = 0{,}6289$. Ao aplicar nessas equações os dados anteriores, obtém-se

$$G_{fp} = \frac{32866{,}73}{4{,}499 \cdot \frac{365}{12}} = 240{,}190 \qquad G_p = \frac{\frac{6161{,}45}{0{,}6289}}{4{,}499 \cdot \frac{365}{12}} = 71{,}586$$

o que resulta em uma geração ideal total G_{total} de 311,777 kWp.

No caso da UC VI, que é do grupo B, utiliza-se a Equação 6, na qual C e G são consumo e geração do grupo B e CD é o custo de disponibilidade, nesse caso de 100 kWh.

$$G = \frac{C - \text{CD}}{\text{HSP}' \cdot \frac{365}{12}} \quad (6)$$

Estes valores desconsideram as perdas nos equipamentos utilizados e na própria conversão fotovoltaica, que diminuem a capacidade de geração do sistema e por isso devem ser compensadas. Os fatores de rendimento utilizados, conforme descritos na Seção II-D, são apresentados na Tabela II.

TABELA II
COEFICIENTES DE PERDA UTILIZADOS PARA A UC IV

Coef. de perda	Descrição	Valor adotado
k_{somb}	Análise via SketchUp	0,98
k_{suj}	Limpeza regular	0,95
k_{tol}	Sem tolerância negativa	1
k_{mis}	Valor estimado	0,98
k_{temp}	Valor calculado	0,94
k_{CC}	Valor estimado	0,98
k_{SPMP}	Valor estimado	0,98
k_{inv}	Valor calculado	0,979
k_{CA}	Valor estimado	0,99
$\boldsymbol{\eta_{global}}$		$\mathbf{0{,}807}$

O valor k_{inv} para as unidades com mais de um inversor é uma média dos rendimentos de cada um. O valor k_{temp} foi obtido para cada cidade, utilizando as Equações 7 até 11 [12].

$$\Delta_T = (0{,}034 \cdot G) - 4 \quad (7)$$

$$T_r = T_a + \Delta_T \quad (8)$$

$$T_c = T_r - T_{ref} \quad (9)$$

$$L^\circ C_{peak} = T_c \cdot C_{temp} \quad (10)$$

$$R^\circ C_{peak} = 100\% + L^\circ C_{peak} \quad (11)$$

Para a cidade de Joaçaba considera-se uma irradiância de G de 800 $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$,temperatura de referência T_{ref} de 25°C, temperatura ambiente T_a de 18°C e coeficiente de temperatura C_{temp} de $-0{,}37\frac{\%}{°\text{C}}$. Obtém-se assim

$$\Delta_T = (0{,}034 \cdot 800) - 4 = 23{,}2°\text{C}$$
$$T_r = 18 + 23{,}2 = 41{,}2°\text{C}$$
$$T_c = 41{,}2 - 25 = 16{,}2°\text{C}$$
$$L^\circ C_{peak} = 16{,}2 \cdot (-0{,}37) = -5{,}994\%$$
$$R^\circ C_{peak} = 100 - 5{,}994 = 94{,}006\%$$

ou seja, $k_{temp} = 0{,}94$.

Após a obtenção do rendimento global η_{global} da conversão, com a Equação 12 calcula-se a potência de geração objetivo, para de fato compensar todo o consumo de energia.

$$G_{obj} = \frac{G_{total}}{\eta_{global}} \quad (12)$$

A UC IV tem, assim, uma geração objetivo de

$$G_{obj} = \frac{311{,}777}{0{,}807} = 386{,}52 \text{ kWp}$$

Embora a geração objetivo tenha sido calculada para todas as unidades, em algumas ela não pode ser instalada, pois ultrapassa o limite de geração de acordo com a demanda e o transformador instalado em cada unidade. Nesses casos, a geração objetivo passa a ser a potência limitada pela concessionária. É o que acontece na unidade IV, que está sendo analisada. O transformador instalado é de 300 kVA, e por isso a demanda máxima de potência é de 276 kVA, limitando a geração objetivo em $G_{final} = 276$ kWp.

C. Dimensionamento dos inversores e arranjos

Para o dimensionamento dos inversores utilizados, a potência de cada unidade foi dividida de modo que cada inversor tivesse entre 80 e 105% da sua capacidade nominal utilizada [11].

Na unidade IV, os módulos podem ser instalados em apenas dois dos três blocos que compõem o *campus*. O Bloco 7 tem espaço para 380 placas (140,6 kWp), e por isso optou-se por utilizar três inversores de 50 kW. Já o Bloco 8 comporta 240 placas (88,8 kWp), e desse modo foram utilizados dois inversores de 20 kW e um de 50 kW. O total de módulos fotovoltaicos utilizados no projeto foi de 620, tendo uma potência nominal instalável de 229,4 kWp – inferior ao valor de G_{final} obtido anteriormente.

Com os inversores escolhidos, parte-se para a determinação dos arranjos a serem conectados em seus rastreadores do ponto

de máxima potência (MPPT - *Maximum Power Point Tracking*). Para tal, consideram-se as variações de tensão (V_{oc} e V_{mpp}) e corrente (I_{sc} e I_{mpp}) em função da variação de temperatura de operação. Elas são calculadas de acordo com as Equações 13 e 14 [15].

$$V'(T) = V_{stc} \cdot \left[1 + \frac{\beta}{100}(T - 25)\right] \tag{13}$$

$$I'(T) = I_{stc} \cdot \left[1 + \frac{\alpha}{100}(T - 25)\right] \tag{14}$$

O Programa ALTENER [16] apresenta -10 e 70°C como valores de temperatura mínima e máxima. No entanto, por ser uma placa de baixa temperatura nominal de operação, foi decidido utilizar -7 e 60°C. Os parâmetros α, β, $\mathrm{V_{stc}}$ e $\mathrm{I_{stc}}$ são retirados da Tabela I. STC refere-se a *Standard Test Conditions*, ou condições padrão de teste, que consideram a temperatura de teste de 25°C. Por exemplo, a tensão de circuito aberto a 60°C é

$$\begin{aligned} V'_{oc}(T_{max}) &= V_{oc,stc} \cdot \left[1 + \frac{\beta}{100}(T - 25)\right] \\ &= 47{,}4 \cdot \left[1 - \frac{0{,}29}{100}(60 - 25)\right] \\ &= 42{,}59 \text{ V} \end{aligned}$$

Os resultados para as quatro variáveis de interesse são exibidos na Tabela III.

TABELA III
TENSÕES E CORRENTES DO MÓDULO FOTOVOLTAICO CORRIGIDAS PELA TEMPERATURA

	T_{min} (−7°C)	T_{max} (60°C)
Tensão de circuito aberto (V'_{oc})	51,80	42,59
Tensão no ponto de máxima potência (V'_{mpp})	43,27	35,58
Corrente de curto circuito (I'_{sc})	9,69	10,02
Corrente no ponto de máxima potência (I'_{mpp})	9,20	9,51

Para determinar o número máximo de séries no MPPT, divide-se a corrente máxima de entrada do MPPT pela corrente máxima do módulo (ou seja, $I'(T_{max})$). São utilizadas as Equações 15 e 16, sendo $I_{cc_{max}(inv)}$ e $I_{mpp(inv)}$ as correntes máximas de entrada do MPPT. É utilizado o menor dos dois resultados arredondado para baixo.

$$N_{max_{séries}(I_{sc})} = \frac{I_{cc_{max}(inv)}}{I'_{sc}(T_{max})} \tag{15}$$

$$N_{max_{séries}(I_{mpp})} = \frac{I_{mpp(inv)}}{I'_{mpp}(T_{max})} \tag{16}$$

Para o inversor de 50 kW, $I_{cc_{max}} = I_{mpp} = 100$ A. Desse modo,

$$N_{max_{séries}(I_{sc})} = \frac{100}{10{,}02} = 9{,}98$$

$$N_{max_{séries}(I_{mpp})} = \frac{100}{9{,}51} = 10{,}51$$

e o número máximo de séries na entrada do MPPT é 9.

O número máximo de módulos em uma série é determinado pelas Equações 17 e 18, nas quais $V_{mpp(inv)}$ e $V_{cc_{max}(inv)}$ são respectivamente a máxima tensão de operação e a máxima tensão absoluta na entrada CC do MPPT. É utilizado o menor dos dois resultados arredondado para baixo.

$$N_{max_{módulos}(V_{oc})} = \frac{V_{cc_{max}(inv)}}{V'_{oc}(T_{min})} \tag{17}$$

$$N_{max_{módulos}(V_{mpp})} = \frac{V_{mpp_{max}(inv)}}{V'_{mpp}(T_{min})} \tag{18}$$

Para o inversor de 50 kW, $V_{mpp_{max}} = 950$ V e $V_{cc_{max}} = 1000$ V. Assim,

$$N_{max_{módulos}(V_{oc})} = \frac{1000}{51{,}80} = 19{,}31$$

$$N_{max_{módulos}(V_{mpp})} = \frac{950}{43{,}27} = 21{,}95$$

e o número máximo de módulos em uma conexão deve ser 19.

Por fim, o número mínimo de módulos em série é calculado pela Equação 19, na qual $V_{mpp_{min}}$ é a tensão mínima de operação. Utiliza-se o resultado arredondado para cima.

$$N_{min_{módulos}} = \frac{V_{mpp_{min}(inv)}}{V'_{mpp}(T_{max})} \tag{19}$$

No inversor de 50 kW, $V_{mpp_{min}} = 360$ V. Logo

$$N_{min_{módulos}} = \frac{360}{43{,}27} = 10{,}12$$

e o número mínimo de módulos em série deve ser 11.

O mesmo método foi aplicado ao inversor de 20 kW, que tem dois MPPT's, e resultou em um máximo de duas séries por MPPT com 8 a 19 placas cada uma.

Todos os arranjos respeitaram os limites estabelecidos nesses cálculos. Nos inversores de 50 kW do Bloco 7 da UNOESC Joaçaba Campus 2 (UC IV) foram utilizados dois arranjos 7x18 (sete séries de dezoito módulos) e um 8x16, totalizando os 380 módulos que cabem no telhado. No Bloco 8, o inversor de 50 kW foi conectado num arranjo 8x17, enquanto os dois inversores de 20 kW receberam arranjos de 2x13 em cada MPPT, totalizando as 240 placas.

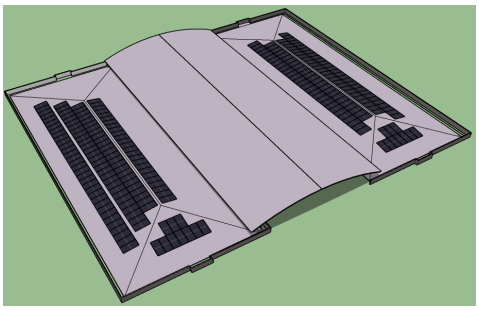
Na Figura 2 são exibidos os projetos desenhados e simulados no SketchUp da UC IV, Blocos 7 e 8, com 380 e 240 módulos fotovoltaicos, respectivamente.

D. Dimensionamento dos condutores e da proteção

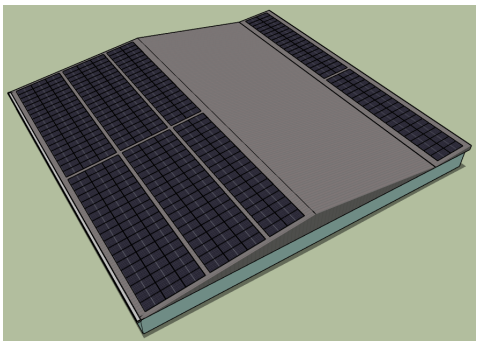
Os condutores utilizados na instalação devem suportar o nível máximo de corrente imposto pelo sistema e ainda manter uma queda de tensão dentro do limite estabelecido pela norma ABNT NBR 5410, que é de 4% [7].

Para os circuitos CC – conexão entre os módulos e as *string boxes* e entre estas e os inversores – foi considerada a utilização de condutores específicos para instalação fotovoltaica, que suportam ações do ambiente (como raios U.V., por exemplo). Além disso, 6 $\mathrm{mm^2}$ foi tomada como seção mínima padrão, aumentando-a conforme o resultado dos cálculos. Para os circuitos CA – dos inversores aos quadros de distribuição existentes nas unidades – foram utilizados condutores unipolares.

A seção transversal mínima foi calculada de acordo com a Equação 20, enquanto o comprimento máximo permitido pela



(a) Bloco 7.



(b) Bloco 8.

Fig. 2. Coberturas da UNOESC Joaçaba Campus 2.

queda de tensão desse condutor (em km) foi calculado através da Equação 21 [7].

$$I_{max} = \frac{I'_{mpp}\left(T_{max}\right)}{\mathrm{FCT} \cdot \mathrm{FCNC}} \tag{20}$$

$$L_{max} = \frac{\Delta V\% \cdot V_{max}}{I_{max} \cdot \Delta V} \tag{21}$$

FCT e FCNC são fatores de correção de temperatura e de número de circuitos, respectivamente, determinados através da norma ABNT NBR 5410 [7]; ΔV é a queda de tensão no cabo, determinado através de tabelas de fabricantes (dado em $\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A \cdot km}}$); $\Delta V\%$ é a queda de tensão estipulada pela norma (4%); e V_{max} se refere à tensão do arranjo na corrente máxima, calculada pela Equação 22.

$$V_{max} = V'_{mpp}\left(T_{max}\right) \cdot N_{módulos} \tag{22}$$

Houve necessidade de buscar junto ao setor de manutenção os diagramas unifilares das instalações existentes para determinar o agrupamento de circuitos e o médoto de instalação dos condutores, para escolher os fatores de agrupamento e de temperatura adequados.

Nas *string boxes* CC foram instalados fusíveis 10A/1000Vcc para cada ponto de conexão com as séries de módulos, um dispositivo de proteção contra surtos (DPS) CC Classe 2 - 40 kA - 1000 Vcc e um disjuntor bipolar de curva C para seccionar as entradas CC dos inversores, com a capacidade adequada a cada caso. Para proteção e seccionamento dos circuitos CA, foram utilizados DPS CA 4P Classe 2 - 20 kA - 275 Vca e disjuntores tripolares de curva C com capacidade determinada separadamente para cada inversor. Também foram descritas as modificações necessárias aos quadros de distribuição já instalados, quando necessário, para respeitar e garantir a correta coordenação e seletividade da proteção.

E. Panorama geral da instalação

Na Tabela IV são exibidos os dados dos geradores fotovoltaicos instalados nas seis unidades consumidoras contempladas pelo projeto.

TABELA IV
PANORAMA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA POR UNIDADE CONSUMIDORA

UC	Nº de placas instaladas	Geração final (kWp)	Geração mensal (kWh)
I	136	50,32	5728,89
II	167	61,79	5847,66
III	974	360,38	35416,86
IV	620	229,4	25320,13
V	360	133,2	14522,95
VI	102	37,74	3997,30
Total	**2359**	**872,83**	**90833,79**

IV. ANÁLISE FINANCEIRA

Para análise financeira do investimento foram considerados o custo de instalação, a economia gerada mensalmente, fatores de depreciação da geração e aumento do preço por kWh mensal. Com isso, foram calculados *payback* (tempo de retorno do investimento) simples e descontado.

A. Custo de instalação

Segundo a ANEEL [17], o custo médio por kWp de um sistema para compensação local é de R$ 5.500,00. Entretanto, foi solicitado um orçamento a uma empresa especializada na área de instalação de painéis fotovoltaicos, e ela cobrou o equivalente a R$ 3.700,00 por kWp. Optou-se por adotar um valor médio de R$ 4.500,00 por kWp para a análise financeira.

B. Economia mensal

Para a tarifa de energia das unidades, a compensação foi considerada segundo os seguintes critérios:

- Se a energia gerada for inferior ao consumo fora de ponta, a compensação desta é parcial e corresponde à energia gerada.
- Se a energia gerada for superior ao consumo fora de ponta, este é compensado integralmente. O excedente de energia é então utilizado para compensar o consumo de ponta.
- Se o excedente de energia, depois de aplicado o fator de ajuste da Equação 4, for inferior ao consumo de ponta, este é compensado parcialmente. Caso contrário, é compensado integralmente.

Para a tarifa de demanda, nas unidades em que ela se aplica:

- Se a demanda já contratada for maior que a geração final obtida, a demanda permanece com o valor contratado.
- Se houver necessidade de aumentar a demanda para garantir a capacidade máxima de geração, o novo valor de demanda contratada é a potência de geração final (Tabela IV).

A nova tarifa foi calculada somando as tarifas de energia e demanda, conforme descrito acima. Descontando esse valor das tarifas médias mensais referentes a 2018, obtém-se a economia mensal.

C. Outros parâmetros relacionados

No momento em que o projeto estava sendo realizado, a ANEEL garantia que consumidores que instalassem usinas até o final de 2019 permaneceriam no sistema antigo de compensação por 25 anos [17]. Essa também é a validade dos módulos utilizados, e por isso é o tempo de análise considerado. Foi utilizada uma taxa de juros de 6,5%, que correspondia à taxa SELIC no período de realização dos projetos.

Também é considerada uma redução de geração anual, pois com o passar do tempo os módulos solares perdem eficiência. Normalmente é adotada uma porcentagem de 1,2% para o primeiro ano e 0,7% para os seguintes.

Além disso, ao passar dos anos a tarifa de energia aumenta. Durante o ano de 2018, foi observada uma diferença de cerca de 20% entre as tarifas de Janeiro e Dezembro. Para finalidade de cálculo adotou-se o valor de 10% a.a.

D. Taxa Interna de Retorno e payback

A análise financeira resultou em uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 20%, um *payback* simples de 6,29 anos e um *payback* descontado de 7,87 anos. Ou seja, o investimento seria compensado em 7,9 anos e depois disso restariam aproximadamente 17 anos de lucros com a usina fotovoltaica (considerando que o prazo de validade do sistema é de 25 anos). No entanto, esse resultado não leva em consideração os gastos com manutenção do sistema ou limpeza dos módulos fotovoltaicos. Por consequência, o período de retorno de investimento pode ser maior que o esperado.

V. Conclusão

O projeto de dimensionamento de usinas fotovoltaicas contemplou seis unidades consumidoras que pertencem ao grupo FUNOESC. Foram analisadas as faturas de energia e, com elas, o perfil de consumo de cada unidade. A irradiação solar média das cidades que abrigam as UC's foi obtida e corrigida. Foi estimado o rendimento global da geração, e então foi calculada a potência do gerador fotovoltaico de cada unidade consumidora. Foram determinados os inversores utilizados, os arranjos a serem conectados a cada inversor, os condutores de interligação e os equipamentos de proteção dos circuitos. Foi determinado, por fim, o tempo de retorno de investimento, que resultou em menos de 8 anos. Esse resultado indica que é boa a viabilidade da implementação, visto que o sistema tem uma vida útil estimada em 25 anos.

Referências

[1] Luis Colaferro. *Energia Solar no Brasil: Um panorama para [Você] entender tudo*. BlueSol Energia Solar. Jul. de 2018. URL: https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/.

[2] *Projeto Campus Sustentável*. Unicamp. URL: http://www.campus-sustentavel.unicamp.br/.

[3] *Resolução Normativa nº 482*. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Abr. de 2012.

[4] *Resolução Normativa nº 687*. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Nov. de 2015.

[5] *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST*. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. 2017.

[6] *Requisitos para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição*. Celesc Distribuição S.A. 2018.

[7] *ABNT NBR 5410: instalações elétricas em baixa tensão*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. ISBN: 9788507005629. URL: https://books.google.com.br/books?id=V38pYAAACAAJ.

[8] E. Saraiva. *Segurança e Medicina do Trabalho*. Editora Saraiva, 2018. ISBN: 9788547231736. URL: https://books.google.com.br/books?id=GdRiDwAAQBAJ.

[9] *Resolução Normativa nº 414*. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Set. de 2010.

[10] Vinicius Ayrao. *Como calcular FV para clientes do Grupo A*. Dez. de 2016. URL: https://viniciusayrao.com.br/como-calcular-fv-para-clientes-do-grupo-a/.

[11] *Potencial Solar - SunData v 3.0*. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito - CRESESB. 2018. URL: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&.

[12] Vinícius Biscaro. *Projeto de um sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede*. Trabalho de Conclusão de Curso. Joaçaba, 2018.

[13] *Fatores de Correção da Radiação por Inclinação (k)*. BlueSol Energia Solar. 2014. URL: http://www.bluesol.com/downloads/HSP-e-FatorK.xls.

[14] *Energy Yield and Performance Ratio of Photovoltaic Systems*. Green Rhino Energy. 2016. URL: http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_energy_yield.php.

[15] Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Mar. de 2014. URL: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf.

[16] Programa ALTENER. *Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projecto e instalação*. Portugal, jan. de 2004. URL: https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf.

[17] *Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012: Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL*. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Dez. de 2018. URL: https://www.aneel.gov.br/documents/656877/18485189/6+Modelo+de+AIR+-+SRD+-+Gerao+Distribuida.pdf.

Desenvolvimento e montagem de um conversor CC-CA em ponte completa para acionamento de um motor monofásico

Alex G. Zuffo, Elizabeth A. G. Fonseca, Jean P. Prigol, Renato G. Scortegagna, Kleyton Hoffmann
Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC
alex.zuffo@unoesc.edu.br, elizabeth.fonseca@unoesc.edu.br, jean.prigol@unoesc.edu.br, renato.scortegagna@unoesc.edu.br, kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br

***Abstract*—Frequency converters have become popular over the past few years, mainly because of its advantages over equipment control. This article presents the design and realization of a single-phase full-bridge inverter prototype with an output LC filter, used to run a 50 Hz motor. Unipolar modulation was used to control the switches. Voltage control loop was not implemented. The prototype achieved good efficiency and low harmonic distortion, validating the method adopted for this project.**

***Index Terms*—DC-AC Converter, Frequency Inverter, LC Filter, Total Harmonic Distortion.**

***Resumo*—Conversores de frequência têm se popularizado ao longo dos últimos anos, principalmente devido às suas vantagens sobre o controle de equipamentos. Esse artigo apresenta o projeto e realização de um protótipo de inversor em ponte completa monofásico com filtro LC de saída, que aciona um motor CA de 50 Hz. Foi utilizada modulação unipolar para o controle das chaves. Nenhuma malha de controle de tensão foi implementada. O protótipo apresentou boa eficiência e baixa taxa de distorção harmônica, validando o método utilizado nesse projeto.**

***Palavras chave*—Conversor CC-CA, Distorção Harmônica Total, Filtro LC, Inversor de Frequência.**

I. Introdução

Segundo WEG [1], o acionamento de motores de indução utilizando conversores de frequência (popularmente chamados de inversores) vem ganhando mais espaço na indústria. Eles também começaram a ser comercializados para residências em equipamentos nomeados como *inverter*, que incluem geladeiras, lavadoras de roupas e ar-condicionados, por exemplo.

A utilização de conversores de frequência acarreta vantagens como controle de velocidade, diminuição no custo de manutenção das máquinas (pois possibilita a substituição de motores em corrente contínua, CC, que têm alto valor agregado) e economia no consumo de energia elétrica [1]. Percebendo a importância dos inversores de frequência na atualidade, esse artigo aborda o desenvolvimento, simulação, montagem e validação de um inversor monofásico em ponte completa para acionamento de um motor de corrente alternada 50 Hz e 30 V eficazes. O motor possui dois enrolamentos e utiliza um capacitor para defasagem de fase [2]. Não é aplicado nenhum tipo de sistema de controle nesse protótipo.

II. Fundamentação Teórica

A. Conversor CC-CA

Conversores CC-CA são responsáveis por transformar potência de uma fonte contínua (CC) em uma fonte alternada (CA), simétrica e com valor médio igual a zero [3]. Essa fonte pode ser monofásica ou trifásica, e existem diversas opções de topologias e formas de chaveamento. O foco deste trabalho é o inversor monofásico em ponte completa.

A topologia citada é mostrada na Figura 1, junto com suas etapas de funcionamento ao acionar uma carga RL [3]. Ela é composta por dois pares de chaves com diodos de roda livre operando em antiparalelo. Nas etapas (a) e (c), a carga recebe a tensão da fonte ($+E$ e $-E$, respectivamente).

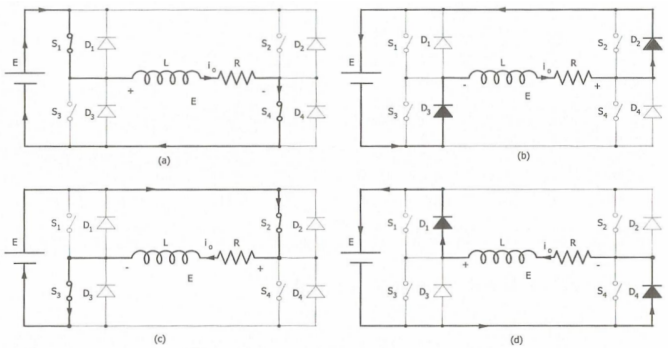


Fig. 1. Topologia e funcionamento do inversor em ponte completa.

As chaves S_1 e S_3 não podem ser acionadas ao mesmo tempo, e nem S_2 e S_4, pois causariam um curto-circuito na fonte de alimentação [4]. É necessário, portanto, implementar um tempo morto (*dead-time*) entre o chaveamento das duas chaves no mesmo braço. Essas são as etapas (b) e (d), que ocorrem logo após as chaves serem abertas. Nelas, os diodos de roda-livre entram em condução, originando um caminho para a corrente no indutor da carga.

Quando um inversor é utilizado para alimentar um motor elétrico de indução, toma-se cuidado para manter o torque constante na ponta do eixo, para que a carga não perca potência na mudança de velocidade. Para isso, é necessário manter uma relação linear entre a frequência e a tensão de alimentação [1].

B. PWM senoidal

O controle da tensão de saída é feito geralmente através de técnicas de defasagem ou modulação [3]. Nelas, o tempo de condução das chaves é controlado a fim de obter determinados comportamentos da tensão na carga. Essas técnicas geram componentes harmônicas na saída, que dependem da frequência de comutação das chaves. Quando deseja-se que tais componentes permaneçam distantes da fundamental, para

facilitar a filtragem, utiliza-se a modulação por largura de pulso (PWM) [4].

A modulação por largura de pulso senoidal (PWM senoidal ou SPWM) consiste na comparação entre uma onda moduladora senoidal, que estabelece a frequência fundamental na carga, e uma onda portadora triangular de alta frequência, que regula a comutação das chaves. A largura dos pulsos ao longo do tempo segue uma lei senoidal [3].

Há dois tipos principais de modulação SPWM: bipolar e unipolar. A modulação bipolar (também chamada de modulação a dois níveis) entrega dois níveis de tensão à carga, $+E$ e $-E$, enquanto a unipolar (a três níveis) aplica também o potencial 0 [3, 4].

Os parâmetros principais que definem um PWM senoidal são:

- taxa de modulação de amplitude, m_a: define a amplitude da senoide moduladora em relação à portadora, e também indica a tensão de pico de saída em relação à amplitude contínua da entrada $\left({}^{V_{out,pk}}/_{V_{in}}\right)$ [4];
- taxa de modulação de frequência, m_f: razão entre as frequências da portadora e da moduladora $\left({}^{f_{tri}}/_{f_{sin}}\right)$ [4].

C. Conteúdo harmônico

No meio industrial, o conteúdo harmônico da tensão de saída dos inversores é rigorosamente controlado, pois a eficiência das máquinas elétricas influencia diretamente no preço final do produto. Sabendo que os motores elétricos compõem a maioria dos equipamentos dentro de uma fábrica, existem normas internacionais para limitar o conteúdo harmônico inserido na carga. A Norma CEI/IEC 61000-3-2, por exemplo, estabelece que a taxa de distorção harmônica total (THD) máxima da tensão alternada na saída do inversor é de 5% e que o harmônico mais importante não pode ultrapassar 3% [3].

O tipo de modulação adotada influencia na ordem das harmônicas geradas na carga. O chaveamento bipolar gera componentes na frequência do comutação, enquanto a modulação unipolar resulta em harmônicas de ordem duas vezes maior $(2m_f)$. Isso configura uma vantagem da modulação unipolar: ela mantém o conteúdo harmônico ainda mais longe da fundamental e permite a utilização de componentes menores para a construção de um filtro. Esta é uma das grandes preocupações em relação ao chaveamento, pois a presença de harmônicas ocasiona perdas adicionais na carga, provocando aquecimentos inesperados no equipamento e possíveis queimas [3].

O espectro de frequência da modulação unipolar é dado na Figura 2 [4].

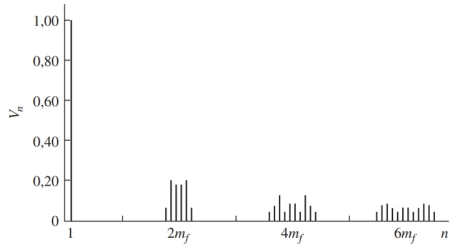


Fig. 2. Componentes harmônicas da modulação unipolar em relação à frequência fundamental.

D. Filtros

Segundo Martins e Barbi [3], existe uma grande variedade de topologias de filtros que podem ser utilizadas para atenuar os harmônicos que aparecem na tensão alternada de saída dos inversores. Uma das mais simples é o filtro LC da Figura 3, que será o utilizado. Apesar de ser a mais simples, essa topologia é eficaz e atende de maneira satisfatória a necessidade do projeto.

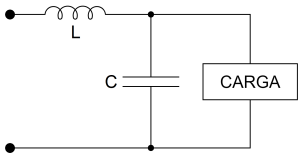


Fig. 3. Topologia de um filtro LC.

O projeto do filtro sugerido por Martins e Barbi [3] considera a carga como uma resistência pura; caso ela possua também uma impedância complexa, deve ser considerado seu módulo. Em seguida, é necessário respeitar alguns critérios para garantir que o filtro não afete a frequência fundamental e nem a tensão nominal desejada:

- o fator de amortecimento ζ deve ser maior que 0,707 para evitar amplificações de harmônicos em baixa frequência – mais precisamente, na frequência de corte f_o [3];
- a frequência de corte deve ser posicionada uma década abaixo da frequência de chaveamento e ser, no mínimo, 30 vezes maior que a frequência fundamental [3];
- é necessário garantir que tensão e corrente fundamentais não sejam atenuadas pelo filtro. Para isso, deve-se verificar a influência do capacitor e do indutor de filtragem nas componentes fundamentais de corrente e tensão, respectivamente.

Tendo isso em mente, o capacitor e o indutor podem ser calculados através das Equações 1 e 2.

$$C_f = \frac{1}{4\pi\zeta f_o R_o} \tag{1}$$

$$L_f = \frac{1}{\left(2\pi f_o\right)^2 R_o} \tag{2}$$

III. Desenvolvimento

A. Definição dos parâmetros do SPWM

Devido às vantagens da modulação unipolar em relação à bipolar, a primeira foi a escolhida para o projeto. A alimentação do circuito é feita em 50 V, pois a tensão de pico de saída deve ser $30\sqrt{2} = 42{,}426$ V. Dessa forma, a modulação da amplitude deve ser

$$m_a = \frac{42{,}426}{50} = 0{,}8485$$

Hart [4] apresenta uma metodologia para o cálculo do m_f de acordo com a máxima distorção harmônica de corrente desejada. Para esse trabalho, no entanto, a taxa de modulação de frequência foi definida pensando no filtro de saída, cujo cálculo é apresentado na Seção III-B.

B. Dimensionamento do filtro LC de saída

Como citado anteriormente, a frequência de corte deve acontecer uma década antes da frequência de chaveamento e deve ser pelo menos 30 vezes maior que a frequência fundamental. Sendo assim, o corte deve ocorrer em, no mínimo, $30 \cdot 50 = 1{,}5$ kHz. Considerando essa informação e com a intenção de diminuir o valor dos componentes (principalmente o do indutor), decidiu-se utilizar a frequência de chaveamento na carga de 40 kHz, resultando em uma frequência de comutação nas chaves de 20 kHz e um m_f de $^{20\text{k}}/_{50} = 400$.

Dessa forma, a frequência de corte deve ser $f_o = 4$ kHz, e o coeficiente de amortecimento 1,0. Para manter a metodologia apresentada, é considerado que a carga é puramente resistiva, sendo $R_o = |Z_1|$. A resposta do filtro não deve ser tão diferente nesse caso, pois as medições da impedância do motor indicaram que seu fator de potência é 0,994 – quase uma carga resistiva.

Com esses dados, utilizam-se as Equações 1 e 2 para calcular os componentes do filtro: elas resultam em um capacitor $C_f = 526{,}295$ nF e um indutor $L_f = 3{,}008$ mH. A metodologia de conferência de parâmetros apresentada por Martins e Barbi [3] indica que esses componentes resultam em um filtro que não interfere significativamente na tensão e na corrente da carga.

O capacitor é facilmente obtido através de associações. No entanto, o indutor não é de valor comercial e, por isso, foi projetado através dos cálculos disponibilizados por Illa Font e Alves [5]. O núcleo utilizado foi de ferrite tipo E, modelo NEE-30/15/14. Foram utilizadas 117 espiras de condutor de cobre 22 AWG. O entreferro foi ajustado manualmente, para conseguir os 3 mH projetados. Os dados de corrente foram obtidos através da simulação do circuito, apresentada a seguir.

C. Simulação

A simulação do inversor, com filtro e carga, foi feita no *software* PSIM, da Powersim. A Figura 4 exibe o circuito de geração de PWM unipolar. O gerador de onda triangular tem frequência de 20 kHz e varia de -1 a 1, e a fonte senoidal tem amplitude igual a m_a e frequência 50 Hz.

As senoides original e invertida são comparadas com a portadora triangular, e cada comparador aciona duas chaves do mesmo braço. O circuito do inversor é mostrado na Figura 5. A saída aciona a carga e o filtro exibidos na Figura 6. A carga é representada por dois ramos RL em paralelo, e um deles possui um capacitor para defasagem de fase. O filtro LC é formado pelos componentes L_f e C_f.

As simulações indicaram que o motor consome uma corrente menor que 1 A de pico.

D. Componentes utilizados e placas desenvolvidas

Foram desenvolvidas duas placas, separando componentes de potência e de controle. Na placa de potência estão as chaves e os *drivers* de acionamento, o filtro LC, um sensor de corrente e saídas para a alimentação do motor. Na placa de controle foi posto o microcontrolador utilizado, um *trimpot* para ajuste de *setpoint* de frequência e entradas para medição de corrente, tensão e velocidade do motor, para que a placa possa ser utilizada caso o projeto seja expandido posteriormente.

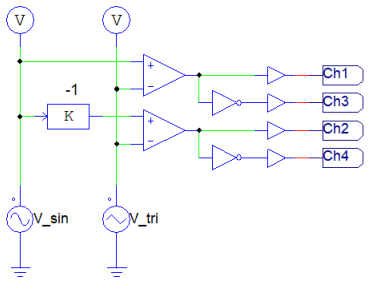


Fig. 4. Circuito gerador de PWM para as chaves.

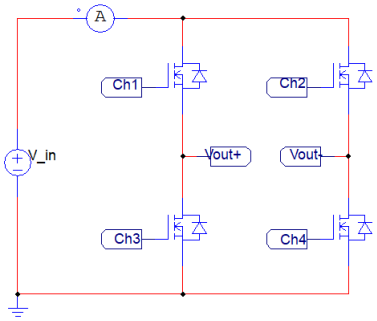


Fig. 5. Circuito do inversor.

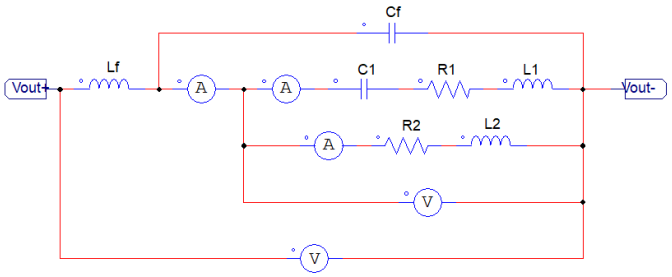


Fig. 6. Circuito da carga com o filtro LC.

Dentre os componentes de potência disponíveis em laboratório, foram especificados como chaves dois transistores MOSFET IRF740 para um braço e dois MOSFET IRF840 para outro braço. O IRF740 tem tensão V_{DS} de 400 V, I_D de 10 A e $R_{DS(on)}$ de aproximadamente 0,5 Ω [6]. Já o IRF840 possui V_{DS} de 500 V, I_D de 8 A e $R_{DS(on)}$ de aproximadamente 0,85 Ω [7]. As resistências são altas se comparadas às de chaves melhores, o que gera mais perdas de chaveamento, mas as especificações são suficientes para as necessidades do projeto.

Para acionar as chaves foram utilizados dois *drivers* de acionamento IR2110, um para cada braço do inversor. Esses circuitos integrados (CI's) acionam duas chaves, *low* e *high side* [8], e podem fornecer a tensão V_{DS} necessária para acionar os MOSFETs escolhidos. O circuito de acionamento é quase o mesmo provido pelo *datasheet* do CI, salvo alguns capacitores que não foram adicionados. Todos os diodos utilizados são ultra rápidos, de modelo MUR160, capazes de conduzir 1 A e com tensão de pico reversa máxima de 600 V [9].

Para fazer o gerenciamento e controle do PWM das chaves, foi utilizado um microcontrolador STM32F103C6T8, da STMicroelectronics. Ele possui arquitetura ARM, frequência máxima de processamento de 72 MHz e opera com 3,3 V

[10, 11]. Para a geração do PWM são utilizados dois canais do *Timer 1*, cada um com duas saídas complementares. A frequência foi ajustada em 20 kHz, e o *duty-cycle* é modificado ao longo do tempo através de uma *lookup table* que simula uma senoide. Um tempo morto de 10 ns é implementado fisicamente pelo IR2110, por isso não foi ajustado via *software*. No microcontrolador também foram programadas rampas de subida e descida com tensão proporcional à frequência, que são utilizadas nos momentos de energização e desenergização do motor.

Para a medição de corrente foi adicionado na placa de potência um transdutor de corrente LTS 15-NP, cuja faixa de medição é até ±15 A e pode ser ajustado para medir até ±5 A. É alimentado em 5 Vcc, mas a faixa de tensão de saída é 2.5 ± 0.625 V [12], o que não representa perigo à entrada analógica do STM32 – que, novamente, opera em 3,3 V.

IV. Resultados Experimentais

A. Placas desenvolvidas

O circuito desenvolvido foi inicialmente testado em *protoboard*. O funcionamento foi validado, mas percebeu-se a presença de algumas componentes harmônicas amplificadas próximas à frequência de ressonância do filtro. Optou-se por substituir o capacitor para um com o dobro do valor, e a partir da mudança o problema cessou.

O desenvolvimento das placas de circuito impresso foi feito no *software* EAGLE, da Autodesk. O circuito de potência foi organizado em uma placa dupla face. Já o circuito projetado para o controle foi alocado em apenas uma face. As placas prontas e soldadas de potência e de controle são exibidas na Figura 7. Houve um cuidado especial nas soldas, que, caso sejam mal feitas ou frias, podem ser fonte de ruídos (por causa da alta frequência) e de resistências entre a trilha e o componente.

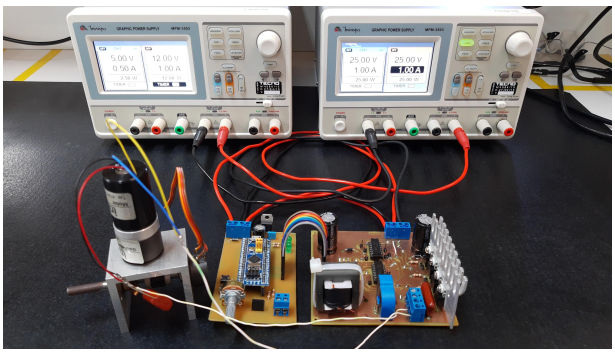


Fig. 7. Placas de controle e de potência desenvolvidas.

B. Formas de onda da saída do conversor

O PWM unipolar, quando modulado utilizando uma portad'ora triangular, mantém na carga uma frequência de chaveamento que é o dobro da utilizada para as chaves. No entanto, simular uma onda triangular simétrica na configuração do PWM não é usual. O modo mais comum é o *counter up*, no qual o contador varia de 0 à resolução máxima e é resetado, formando uma dente de serra. Outro modo de configurar o timer é utilizar um *counter down*, no qual o contador inicia no máximo, vai ao mínimo e reseta para o máximo novamente. Para simular uma onda triangular, é necessário utilizar os dois modos simultaneamente, que são condensados no modo *center aligned*, resultando em uma forma de onda simétrica.

Durante boa parte dos testes foi utilizada a configuração com a dente de serra, pois acreditava-se que a diferença não seria significativa na resposta do conversor. Os resultados apresentados a seguir mais algumas simulações comprovaram o contrário. Por isso, foram realizadas medições com as duas configurações de PWM. Elas foram feitas depois que os protótipos foram testados e validados, através de um osciloscópio digital da Tektronix, modelo TPS2024.

Nas Figuras 8 e 9 são exibidas comparações entre a tensão chaveada pelo inversor e a tensão que alimenta a carga após a filtragem, com o PWM gerado por dente de serra e triangular, respectivamente. O m_a é o mesmo para ambos os casos. O m_a de 0,8485 calculado anteriormente não foi suficiente para atingir os 30 V eficazes necessários à carga, e por isso ele foi ajustado para 0,9.

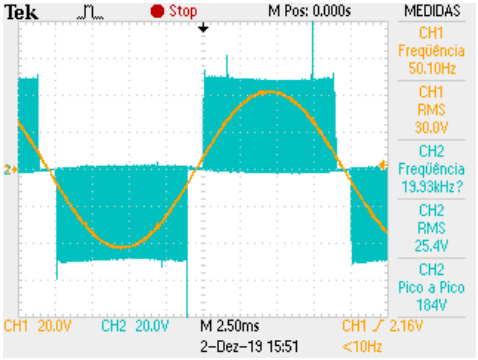


Fig. 8. Forma de onda de saída com filtro (CH1) e sem filtro (CH2) a 20 kHz.

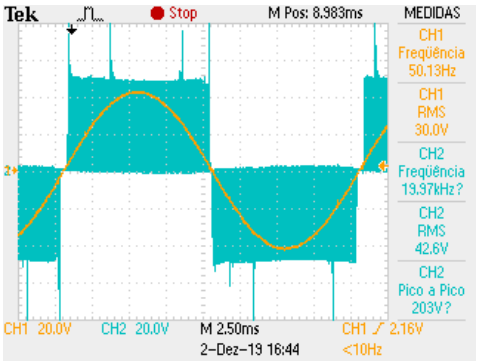


Fig. 9. Forma de onda de saída com filtro (CH1) e sem filtro (CH2) a 40 kHz.

Fica clara eficiência do filtro de saída, que mantém uma senoide quase perfeita e uma boa relação entre tensões de pico e eficaz – indício de que há baixa presença de harmônicas no sinal, mesmo com o chaveamento em 20kHz na carga. Esse resultado também valida o procedimento de cálculo do filtro.

Foram obtidas através do menu matemático do osciloscópio as Transformadas Rápidas de Fourier (FFT) dos sinais de tensão de saída do inversor, antes de passarem pelo filtro, com o chaveamento com onda dente de serra e triangular. As medições são exibidas nas Figuras 10 e 11.

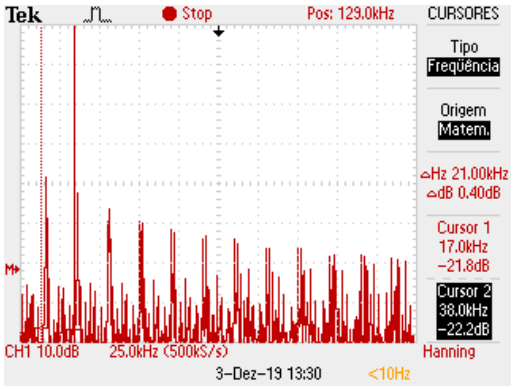


Fig. 10. FFT da tensão chaveada pelo inversor antes do filtro, com modulação com portadora dente de serra.

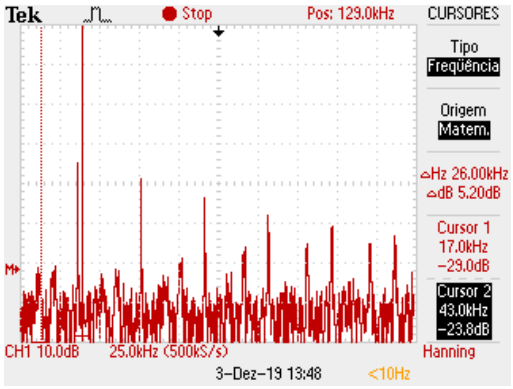


Fig. 11. FFT da tensão chaveada pelo inversor antes do filtro, com modulação com portadora triangular.

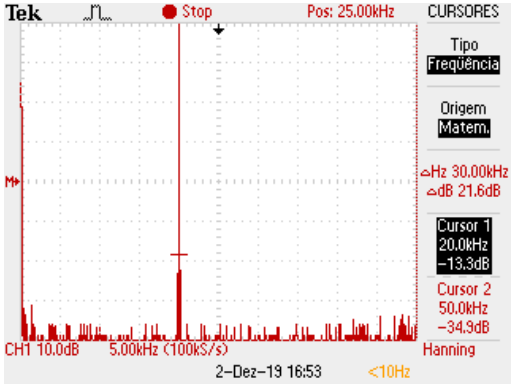


Fig. 12. FFT da tensão após o filtro, com modulação com portadora dente de serra.

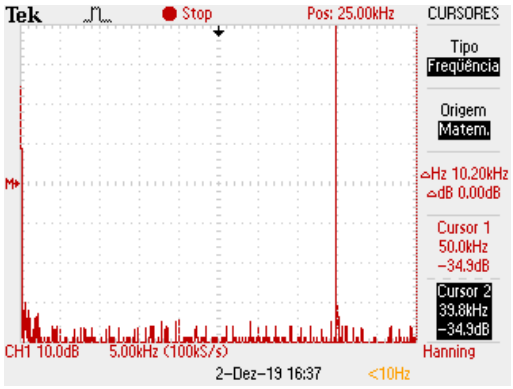


Fig. 13. FFT da tensão após o filtro, com modulação com portadora triangular.

Como esperado, utilizar uma onda dente de serra na geração do PWM gerou harmônicas na frequência de chaveamento (20 kHz), enquanto o modo simétrico do *center aligned* (onda triangular) resultou em harmônicos múltiplos de 40 kHz. Isso comprova que a não utilização da onda triangular invalida a principal vantagem da modulação unipolar, que é o aumento da ordem da harmônica principal. O filtro remove boa parte dessas componentes, como demonstrado nas Figuras 12 e 13.

As componentes harmônicas principais permanecem visíveis, porém muito atenuadas. Também é notável que a componente em 40 kHz da Figura 13 é menor que a de 20 kHz da Figura 12. Isso indica que o chaveamento correto, utilizando o modo *center aligned*, diminui a THD de tensão e de corrente na carga.

C. Medição de rendimento

Utilizando um analisador de potência Yokogawa WT500, foi medido o rendimento do conversor CC-CA desenvolvido. Também foi realizada a comparação de formas de onda de entrada e saída de tensão e corrente, além de medição de taxa de distorção harmônica total. As medições com esse analisador foram feitas apenas com o chaveamento utilizando dente de serra (com harmônicas em 20 kHz), tendo seu resultado estendido à modulação com portadora triangular – considerando as medições de FFT obtidas anteriormente.

Na Figura 14 são exibidas as formas de onda de tensão e corrente supracitadas, e na Figura 15 foi dado destaque à forma de onda de saída.

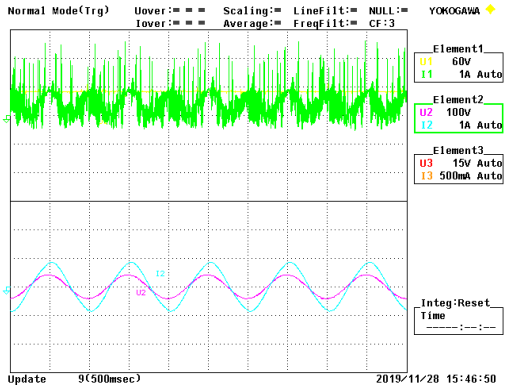


Fig. 14. Formas de onda de tensão e corrente de entrada e saída do conversor desenvolvido.

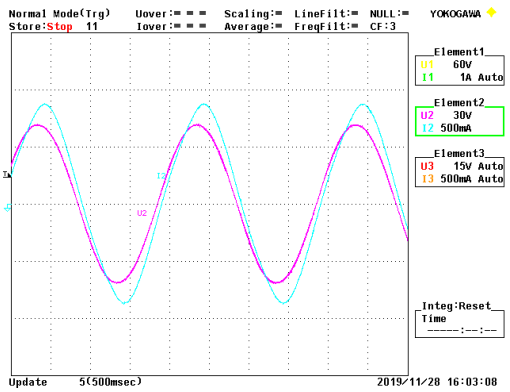


Fig. 15. Formas de onda de tensão e corrente de saída do conversor.

Na Tabela I são apresentados os dados medidos pelo analisador de potência.

TABELA I
DADOS DA MEDIÇÃO DE EFICIÊNCIA COM O ANALISADOR DE POTÊNCIA WT500.

Dados	Valor medido
Tensão eficaz de entrada - $V_{in,rms}$ [V]	49,976
Tensão eficaz na carga - $V_{out,rms}$ [V]	29,348
Corrente eficaz de entrada - $I_{in,rms}$ [A]	0,6371
Corrente eficaz na carga - $I_{out,rms}$ [A]	0,6260
Potência de entrada - P_{in} [W]	22,130
Potência de saída - P_{out} [W]	17,939
Rendimento - η [%]	81,062
THD_v [%]	0,720
THD_i [%]	4,588

O rendimento não tão alto pode ser justificado por alguns fatores: o primeiro e mais crítico é a resistência dos MOSFET's de $0{,}5\ \Omega$ e $0{,}85\ \Omega$ ($R_{DS(on)}$), que são muito altas comparadas às de outras chaves que existem no mercado. Um segundo indício de perdas é a presença de picos de tensão na saída do conversor antes do filtro, observáveis nas Figuras 8 e 9. Esses picos de tensão geram picos de corrente, que aumentam as perdas nas chaves. Uma solução para esse problema e para aumentar a eficiência do inversor é a utilização de circuitos *snubber*, cujo objetivo é diminuir as perdas devido ao chaveamento. Um terceiro e não menos importante fator é o *design* da placa, que influencia bastante no desempenho ao trabalhar com altas frequências, pois as trilhas podem virar indutâncias e capacitâncias não previstas no projeto e atrapalhar o desempenho.

O resultado da THD foi o mais notável, visto que o filtro foi projetado para harmônicas iniciando em 40 kHz e não em 20 kHz. Utilizando o chaveamento correto, deduz-se que esses valores diminuam ainda mais, tendo em vista a atenuação na componente harmônica perceptível nas Figuras 12 e 13.

Foram notados também os picos de corrente de entrada demandados pelo conversor, devido ao chaveamento em alta frequência. Isso deixa clara a necessidade de utilizar filtros na entrada do inversor para que as harmônicas geradas não diminuam a qualidade de energia da rede.

V. CONCLUSÃO

O circuito desenvolvido para o conversor CC-CA monofásico de ponte completa foi validado em simulação, montagem em *protoboard* e placa de circuito impresso. O filtro calculado atendeu muito bem às expectativas e manteve os níveis de distorção harmônica em limites aceitáveis.

A eficiência do conversor não foi aceitável para padrões comerciais. No entanto, ela foi alta considerando os componentes utilizados e o tamanho das trilhas. O rendimento pode ser melhorado em trabalhos futuros se forem adicionados circuitos *snubber* e se for feito *design* otimizado para a placa. Sugere-se também a adição de capacitores em paralelo com os braços, para que o acionamento das chaves seja facilitado.

Outra sugestão é a adição de um módulo de medição da tensão na carga, para que esta possa ser controlada pelo microcontrolador. Essa medição deve isolar entrada e saída, para não haver conflito de diferentes referências. Também pode ser desenvolvida uma maneira de realizar a leitura da velocidade ou mesmo da posição do eixo, para que estas também possam ser controladas.

Outro ponto de melhoria é a alimentação do circuito do conversor. Não é usual e nem prático utilizar fontes de corrente contínua, e por isso sugere-se a adição de um conversor CA-CC na entrada – que pode ser, por exemplo, um retificador PFC (com correção de fator de potência).

REFERÊNCIAS

[1] *Guia Técnico - Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM*. WEG. Jan. de 2016. URL: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h35/h10/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-50029351-brochure-portuguese-web.pdf.

[2] *Präzisions-Wechselstrom-Servomotoren (Ferraris)*. Inelta. MEGATRON GmbH.

[3] Denizar Cruz Martins e Ivo Barbi. *Eletrônica de potência: introdução ao estudo dos conversores CC-CA*. Florianópolis: Edição dos autores, 2005.

[4] Daniel W. Hart. *Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos*. Porto Alegre: AMGH, 2015.

[5] Carlos Henrique Illa Font e Ricardo Luiz Alves. "Projeto Físico de Indutores e Transformadores". Diss. de mestr. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, mar. de 2002.

[6] *IRF740, SiHF740 Power MOSFET*. Vishay Siliconix. Mar. de 2011. URL: http://www.vishay.com/docs/91054/91054.pdf.

[7] *IRF840, SiHF840 Power MOSFET*. Vishay Siliconix. Mai. de 2016. URL: https://www.vishay.com/docs/91070/sihf840.pdf.

[8] *IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF: High and Low Side Driver*. Internactional Rectifier. Mar. de 2019. URL: https://www.infineon.com/dgdl/ir2110.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c80333167e.

[9] *MUR140 - MUR160: 1.0A Super-fast Rectifier*. Diodes Incorporated. URL: https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds30112.pdf.

[10] *STM32F103x8, STM32F103xB: Medium-density performance line ARM®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. interfaces*. STMicroelectronics. Ago. de 2015. URL: https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf.

[11] *RM0008 Reference manual: STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx advanced Arm®-based 32-bit MCUs*. STMicroelectronics. Dez. de 2018. URL: https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/59/b9/ba/7f/11/af/43/d5/CD00171190.pdf/files/CD00171190.pdf/jcr:content/translations/en.CD00171190.pdf.

[12] *Current Transducer LTS 15-NP*. LEM. Set. de 2017. URL: https://www.lem.com/sites/default/files/products_datasheets/lts_15-np.pdf.

Sistema Para Gerenciamento de Vazamento de Gases Residenciais

Thiago Carvalho de Almeida, Carlos Alberto Ynoguti
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
thiago.carvalho@gea.inatel.br, ynoguti@inatel.br

***Abstract*—This article presents a new approach to the problem of leakage of residential gas (natural gas and liquefied petroleum gas) through the use of IOT. It addresses research on the problem, solutions found so far and how this solution can be improved.**

***Index Terms*—Leakage, Liquefied Petroleum Gas, Natural Gas, Sensing.**

***Resumo*—Este artigo apresenta uma nova abordagem para o problema de vazamento de gás residencial (gás natural e gás liquefeito de petroleo) através da utilização do IOT. Aborda pesquisas sobre o problema, soluções encontradas até o momento e como essa solução pode ser melhorada.**

***Palavras chave*—Gás Liquefeito de Petroleo, Gás Natural, Sensoreamento, Vazamento.**

I. Introdução

O gás liquefeito de petróleo (GLP) teve seu primeiro registro em 1910 nos Estados Unidos da América[1]. Começou a ser utilizado inicialmente para o corte de aço, mas não demorou a ser usado em residências através do fogão a gás. Apesar de trazer muito conforto, é preciso ter atenção ao ter um sistema a gás. Segundo pesquisas realizadas em 2015, o corpo de bombeiros havia registrado 4.055 casos de acidentes por decorrência de vazamento de gás LP no estado de São Paulo[2].

Sistemas que usam do GLP e do gás natural (GN) precisam de uma instalação correta para diminuir as chances de vazamento[3], porém mesmo com boa instalação, ainda há possibilidade de ocorrer algum acidente. São muitos os locais que podem ocorrer a vazão de gás. Desde o botijão, passando pela borboleta, mangueiras, e até mesmo o fogão pode ter uma saída no qual o gás irá vazar. Também é possível os usuários esquecerem o fogão ligado, o fogo se apagar devido ao vento e o gás começar a acumular no local podendo assim explodir ou causar asfixia.

Detectar o vazamento de gás com rapidez é um fator crucial para evitar acidentes e tragédias, pois assim pode-se combater de forma consciente o acúmulo de gás e evitar sua ignição. Desta forma, o objetivo desse trabalho é desenvolver um produto capaz de detectar vazamentos de GLP e GN antes que ocorra o perigo da ignição ou explosão, e comunicar com o usuário o estado do sensor utilizando um broker MQTT.

II. Soluções

O mercado brasileiro oferece algumas soluções para o problema. O sensor AFDG2 da Abafire é o sensor com maior destaque que pode ser encontrado a venda. O mesmo conta com uma sensibilidade suficiente para captar uma concentração de 3% do limite inferior de explosividade (também conhecido como LIE, informa a concentração mínima de gás para que ocorra combustão. No caso do gás LP são 1800 ppm e para o gás natural são 6500 ppm), sendo assim mais que o suficiente para evitar acidentes em casos de vazamento. Apesar de ótima precisão, o produto possui limitação quanto a interface com o usuário. Ele utiliza uma sirene e um relé em sua saída. A sirene é disparada e o relé atracado no momento em que o gás atinge uma concentração de 20% do LIE .

Apesar de possuir uma saída relé, o sistema não consegue comunicar por si só com o usuário se ele não estiver ao alcance da sirene. A implementação do IOT no produto, além de melhorar a vizualição do estado do sensor e facilitar a instalação de um sistema de segurança automatizado também garantirá que o usuário consiga ter conhecimento do vazamento em qualquer lugar com acesso à internet.

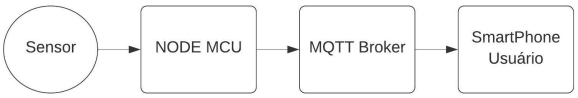


Fig. 1. Diagrama de comunicação

O diagrama em blocos na Figura 1 mostra como o sistema é integrado. Diferente do método utilizado atualmente que usa uma sirene como principal comunicador, o sensor mandará as informações para o broker MQTT através do módulo Wifi contido no NodeMCU. Essa modificação permitirá que o usuário tenha controle do estado do sensor através de um smartphone ou algum dispositivo conectado à internet. A permissão para coletar as informações dos sensores pode ser concedida para diversos usuários, não limitando-se apenas aos moradores.

III. Sensores

Os sensores devem passar por algumas condições para serem considerados. Um importante critério para a escolha dos sensores é a não captação de fumaça. Esse critério foi utilizado para evitar falsos positivos, uma vez que é comum a ocorrêcia de fumaça em cozinhas. Usando esse critério, conseguimos filtrar dois sensores que serão avaliados posteriormente com o decorrer da pesquisa. Parâmetros como precisão, tempo de resposta, sensibilidade e custo benefício serão considerados para a escolha do sensor. Ambos datasheets apontam a necessidade da calibração dos sensores. Sem a calibração é possível medir de maneira binária a presença de gás, porém não é possível distinguir a concentração do mesmo. Somente saber se há presença de gás não é interessante pois aumenta as chances de um falso positivo e também não mostra a gravidade do

vazamento, dificultando a tomada de decisão para solucionar o problema.

Ambos sensores escolhidos são sensores eletro-catalíticos. Esses sensores são construídos de uma bobina de fio de platina aquecido eletricamente. Primeiro, o aparelho é coberto com uma base de cerâmica e, depois, ganha um revestimento final do catalisador de paládio ou ródio disperso em substrato de tória. O elemento principal da estrutura é um pequeno sensor chamado de pérola, pellistor ou siegistor. Quando um gás combustível se mistura ao ar sobre a superfície do elemento catalítico quente, acontece uma combustão. O calor emitido aumenta a temperatura da pérola, que altera a resistência da bobina. Essa alteração faz com que o sensor catalítico emita um sinal, que será interpretado por um dispositivo digital ou amplificado, para que um conversor analógico/digital faça a leitura. Para atender aos requisitos de segurança, esses dispositivos são montados numa carcaça metálica resistente, protegida por uma tela metálica[4].

A. *MQ-5*

Fig. 2. Sensor MQ-5

Na Figura 2 acima pode-se ver o primeiro sensor escolhido para testes. O MQ-5 faz parte de uma família de sensores para gás. Esses sensores de detecção modernos e de baixo custo para gás combustível, são do tipo eletro-catalítico. O sensor se mostrou capaz de detectar rapidamente a presença de gás e possui um preço muito acessível comparado aos outros do mercado.

B. *SGAS-711*

Fig. 3. Sensor SGAS 711

O segundo sensor escolhido para testes foi o SGAS-711 (Figura 3). Apesar de possuir um preço mais elevado, foi levado em consideração por ter uma qualidade melhor e para que seja comparado com o sensor MQ-5 caso o mesmo não consiga atender a todos os requisitos.

IV. NODE

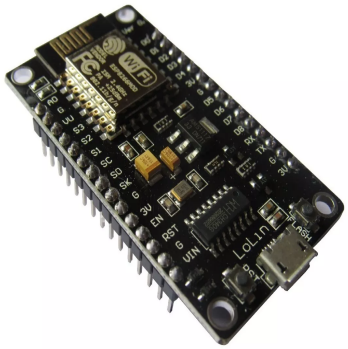


Fig. 4. Node MCU

Como microcontrolador foi utilizado o módulo WiFi ESP8266 NodeMCU (Figura 4). Este inclui um microcontrolador, 128KBytes de RAM, suporte interno a serviços de comunicação serial como SPI, I2C e UART, 16 pinos GPIO digitais, uma entrada analógica[5]. A escolha deu-se pela facilidade da aplicação do IOT por meio de seu módulo Wifi, deixando bastante simples a publicação dos tópicos no MQTT *Broker*.

V. MQTT

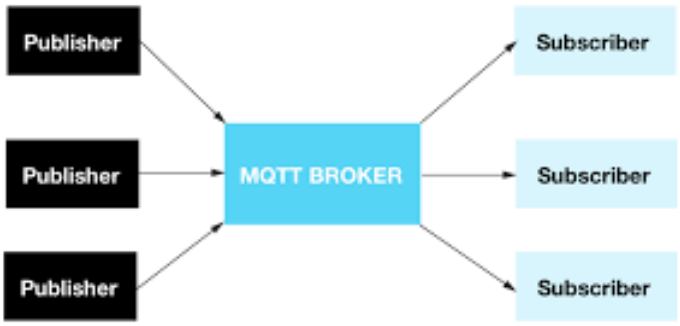


Fig. 5. Funcionamento MQTT

Message Queuing Telemetry Transport(MQTT) é um protocolo de máquina para máquina. Foi criado para ser um protocolo extremamente leve que usa um sistema de *publish/subscribe* para transmitir as informações. Esta ferramenta será utilizada para transmitir os dados do NodeMCU para o usuário.

A conecção do Node com o *broker* MQTT faz com que o sistema tenha um tamanho mínimo, não dependa de grande quantidade de banda para transmitir informações, porém garante qualidade e eficiência na distribuição dos dados coletados para um ou vários usuários.

VI. CONCLUSÃO

Após implementar os sensores no arduíno, testamos o tempo de resposta do mesmo. Ao colocar uma saída de gás no sensor, ele detecta quase que de imediato o vazamento. Apesar de dois sensores com qualidade muito diferente, não mostraram diferença significante quanto o tempo de resposta. No momento

este foi o único teste que foi possível fazer com o sensor. Uma câmara está sendo desenvolvida para a calibração dos sensores. A ideia inicial é comparar a sensiblidade dos dois com os sensores presente no mercado. Após a verificação da sensibilidade e da precisão dos sensores, será escolhido um para continuar o desenvolvimento.

Mais ensaios serão necessários para a validação do protótipo. Testes em ambiente controlado serão realizados para definir a localização ideal do sensor, levando em consideração as diferentes densidades dos dois gases (o gás LP possui densidade de 2,50 kg por metro cúbico, já o gás natural possui uma densidade de 0,71 kg por metro cúbico). A densidade afetará diretamente no posicionamento dos dois sensores, sendo necessário realizar testes para saber o melhor posicionamento do sensor para cada gás.

REFERÊNCIAS

[1] Piotr Złoty. *History of LPG - the first 100 years*. URL: https://gazeo.com/up-to-date/news/2013/History-of-LPG-the-first-100-years,news,6662.html (acesso em 19/03/2013).

[2] Felipe Wagner. *Estatísticas Impressionantes – Histórico De Acidentes Com Gás*. URL: https://www.rwengenharia.eng.br/acidentes-com-gas/ (acesso em 10/06/2015).

[3] Portal do Governo. *Alerta: saiba como evitar acidentes com o botijão de gás*. URL: http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/alerta-saiba-como-evitar-acidentes-com-o-botijao-de-gas/ (acesso em 09/08/2019).

[4] Contech. *Saiba como funcionam os principais sensores para detecção de gás*. URL: http://contechind.com.br/blog/2017/06/23/saiba-como-funcionam-os-principais-sensores-para-deteccao-de-gas/ (acesso em 23/06/2017).

[5] Last Minute Engineers. *Insight Into ESP8266 NodeMCU Features Using It With Arduino IDE*. URL: https://lastminuteengineers.com/esp8266-nodemcu-arduino-tutorial/.

Análise de Correlação entre Flutuações Cambiais Reais e Moeda Virtual de um MMORPG

Rubens Cividati
Instituto Nacional de Telecomunicações
rubenscividati@gec.inatel.br

Isabella Capistrano
Instituto de Química
Universidade Estadual de Campinas
prof.isabellacapistrano@gmail.com

Marcelo V. C. Aragão
Instituto Nacional de Telecomunicações
marcelovca90@inatel.br

***Abstract*—This work proposes the collection of data from the MMORPG World of Warcraft's virtual currency and real-world exchange rates variations in order to perform a correlation analysis, to identify similarities and differences between these contexts and to point out possible explanations for such relationships. The collection methodology, the adopted metrics and the results of the processing are detailed. Subsequently, each analysis scenario is presented and discussed and, finally, suggestions for future research are proposed.**

***Index Terms*—Correlation analysis, foreign exchange, MMORPG, statistics, virtual economy, World of Warcraft.**

***Resumo*—Este trabalho propõe a coleta de dados de uma moeda de economia virtual do MMORPG World of Warcraft e de variações das taxas de câmbio do mundo real com o propósito de realizar uma análise de correlação, identificando semelhanças e diferenças entre estes contextos e apontando possíveis explicações para tais relações. São detalhados a metodologia de coleta, as métricas adotadas e os resultados do processamento. Posteriormente, cada cenário de análise é apresentado e discutido e, por fim, são propostas sugestões para pesquisas futuros.**

***Palavras chave*—Análise de correlação, câmbio, economia virtual, estatística, MMORPG, World of Warcraft.**

I. Introdução

World of Warcraft (comumente referenciado como WoW) é um MMORPG (do inglês, *Massively Multiplayer Online Role-Playing Game*)[1] lançado em 2004 pela Blizzard Entertainment. Em 2013, foi o MMORPG mais jogado do mundo, contando com mais de 100 milhões de contas [1].

Esse jogo bastante rico – tanto culturalmente, com sua vasta e detalhada história de fundo, quanto academicamente, por apresentar um ambiente de interações entre jogadores similar a uma sociedade real – vem dando espaço para a realização de estudos sobre o comportamento humano, tal como feito por Oultram [2] sobre a primeira pandemia evidenciada dentro de um ambiente virtual, conhecida também como *Corrupted Blood incident* [2].

Há várias ferramentas *online* com a finalidade de melhorar a experiência do jogador. Elas são normalmente dispostas na forma de aplicativos móveis, aplicações *web* ou *websites*. Algumas dessas aplicações são famosas e bastante utilizadas pelos jogadores de World of Warcraft, tais como MurlocNews (página de notícias sobre os jogos da Blizzard Entertainment), Classic Raider (mostra os equipamentos dos personagens), Wowhead (enciclopédia de itens, missões e guias escritos e comentados por jogadores), WoWWiki (descrição de histórias e fatos ocorridos no jogo), WoWpop (contagem e estatísticas sobre a quantidade de jogadores por servidor), The Undermine Journal (dados sobre todos os itens que já passaram pela Casa de Leilões), WoW Token Info e WoWTokenPrices (ambos mostram o preço da ficha de jogo – WoW Token).

Dentre as ferramentas mencionadas, destacam-se aquelas relacionadas à Casa de Leilão do jogo (vide Figura 1), um local onde os jogadores conseguem realizar transações – como a compra e venda de equipamentos e/ou recursos para aprimoramento de personagem – de forma simplificada. Tais leilões são realizados entre indivíduos, criando um movimentado sistema econômico no mundo virtual.

Fig. 1. Exemplo da interface da Casa de Leilões do WoW [3]

Segundo dados oficiais da Blizzard, "existem muitos vendedores e lojas por toda Azeroth[2], mas a maior parte do comércio acontece entre jogadores em Casas de Leilão". Em 2013 aconteceram 2,8 milhões de trocas diárias na Casa de Leilões, o que remete a duas vezes a quantidade de transações no eBay na *Cyber Monday*[3] em 2009 [4].

Dentre todos os itens disponíveis para a compra e venda na Casa de Leilões, um se destaca: a Ficha de WoW (normalmente referenciada como WoW Token). Este item é o único que pode ser comprado com dinheiro real no valor total de U$20.00 (vinte dólares americanos). Sua finalidade é:

- Renovar a mensalidade do jogo (o que normalmente é feito com um plano de inscrição mensal, trimestral ou semestral pago com dinheiro real);

[1]Jogo de interpretação de personagens no qual há interação entre grandes quantidades de jogadores desempenhando papeis diversos – como atacande, defensor ou suporte, por exemplo – no contexto da aventura.

[2]Mundo virtual no qual se passam as aventura em World of Warcraft.

[3]Dia correspondente à segunda-feira após o Dia de Ação de Graças, no qual lojas oferecem promoções para impulsionar vendas.

- Ser comercializada por um valor em ouro, dinheiro virtual que circula no jogo;
- Ser trocada por US$15.00 (quinze dólares americanos) de saldo na loja da Battle.net[4].

Como foi dito, a WoW Token pode ser comercializada por dinheiro real, tornando-se, portanto, o único item capaz de influenciar o preço do ouro de World of Warcraft. Segundo uma reportagem da CNN[5], "o dinheiro virtual de World of Warcraft é 6,8 vezes mais valorizado do que a moeda da Venezuela, o bolívar venezuelano" [5].

O preço da WoW Token varia de acordo com cada região geográfica (por exemplo, seu preço na região das américas é mais barato se comparado à região europeia). As regiões existentes no jogo são: Américas, Europa, Coreia e China.

O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma ferramenta para coletar e correlacionar dados dos contextos econômicos real (isto é, flutuações de taxas de câmbio de moedas do mundo real) e virtual (ou seja, variação do preço em ouro da WoW Token em diversas regiões do planeta), tirando proveito das aplicações e fontes de dados mencionadas no início desta seção.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: na seção II são apresentados os trabalhos relacionados ao tema, que serviram de motivação e referência para o desenvolvimento deste. Na seção III a proposta é explicada detalhadamente, bem como a forma como o trabalho foi conduzido. Na sequência, a seção IV aponta quais tecnologias foram utilizadas e como foram aplicadas. Em seguida, a seção V descreve os resultados obtidos e algumas das possíveis justificativas para eles. Por fim, na seção VI são apresentadas as considerações finais e propostas para trabalhos futuros.

II. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos relacionados à análise de dados, de aspectos econômicos e do comportamento humano em economias virtuais foram relevante à elaboração do presente artigo.

Em "*The ideal elf: Identity exploration in World of Warcraft*", Bessière, Seay e Kiesler [6] constataram que uma parcela dos jogadores de World of Warcraft avaliados são mais propensos a criar personagens mais parecidos com uma versão idealizada deles próprios do que adotar uma representação mais condizente com a realidade.

Em "*Corporate ideology in World of Warcraft*", Rettberg, Corneliussen e Rettberg [7] afirma que alguns jogadores abordam a casa de leilões de forma científica, conseguindo estimar preços de itens, aproveitar diferenças de fuso horário para realizar compras e vendas em condições mais favoráveis e, em última instância, manipular o mercado interno do jogo.

Em "*World of Warcraft: the viability of massively multiplayer online role-playing games as platforms for modeling and evaluating perfect competition*", Kosminsky [8] realizou uma mineração de dados da casa de leilão (tanto de servidores específicos quanto de maneira geral) e da população de jogadores, na procura de correlações e *insights* sobre a economia do jogo. O autor concluiu que "a economia virtual do World of Warcraft em muitos aspectos, comporta-se como um mercado do mundo real altamente competitivo e, de fato, se aproxima do ideal de concorrência perfeita".

Em "*Explaining purchasing behavior within World of Warcraft*", Guo e Barnes [9] propuseram um modelo teórico para entender os fatores que influencicam na compra de itens em mundos virtuais, como no de World of Warcraft. O estudo descobriu que "jogadores com alto status social e posição tendem claramente a investir na compra de itens virtuais avançados, gastando quantias consideráveis de dinheiro para manter suas posições de liderança".

Por fim, um estudo na área de análise de dados, intitulado "*Previsão de Resultado Empresarial utilizando Inteligência Artificial*", propôs a previsão de resultados aplicados nas áreas financeira e contábil utilizando inteligência artificial [10]. Este trabalho trouxe ideias relevantes para a continuação deste artigo, que serão apresentadas na seção VI.

III. Proposta

O objetivo deste trabalho consiste, em primeiro lugar, na coleta de dados da WoW Token tendo como fonte de dados o *site WoWTokenPrices* [11] e coleta da flutuação das moedas Euro, Real brasileiro, Renminbi e o Won sul-coreano, todas estas com base no Dólar americano, utilizando como fonte de dados o *site* exchangeratesapi [12]. Em seguida, dá-se o desenvolvimento de uma ferramenta para analisar e apontar correlações entre o contexto econômico virtual, ou seja, variação do preço em ouro da WoW Token, e o preço real, flutuação da taxa de câmbio.

O trabalho foi dividido em duas partes. A primeira tem o foco na configuração de um servidor Linux para realizar a rotina da coleta de dados automaticamente com a frequência de vinte minutos, totalizando 72 coletas diárias; a segunda é voltada para o tratamento e análise dos dados coletados, aplicando as técnicas relevantes para correlacionar o contextos econômicos reais e virtual.

A. Coleta de Dados

Como já citado, existem vários *sites* que disponibilizam dados sobre a compra e venda de itens na Casa de Leilões como, por exemplo, o The Undermine Journal [13], pois conta com todo o acervo de itens do jogo. Como o objetivo deste trabalho é estudar a WoW Token, decidiu-se por utilizar o *site* WoWTokenPrices [11] justamente pela facilidade proporcionada para coleta dos dados referentes a este item em particular.

A coleta de dados foi feita de maneira autônoma por um servidor Linux, com o sistema operacional Ubuntu Server na sua versão 18.04.4 LTS (do inglês, *Long-Term Support*). Este sistema operacional foi escolhido por possuir suporte a longo prazo, ser gratuito, ser de simples utilização e de fácil configuração. O servidor foi apelidado de "Azerothserver", uma breve homenagem ao mundo de World of Warcraft.

O servidor foi utilizado na plataforma Google Cloud, pois ela disponibiliza uma quantidade de créditos gratuitos para serem consumidos em seus recursos no prazo de um ano. O Azerothserver foi configurado para coletar dados a partir de um *script* escrito em Python e armazenar os dados a cada vinte

[4]Plataforma da Blizzard Entertainment que contempla diversos jogos além do World of Warcraft e permite a compra de títulos, serviços e produtos diversos. Disponível em https://us.shop.battle.net/.

[5]Canal de notícias através de televisão por assinatura estadunidense.

minutos, persistindo os dados no Google Drive (sistema de armazenamento em nuvem do Google).

A coleta de dados foi feita ininterruptamente durante o período de 01/07/19 até 31/12/19, correspondendo ao segundo semestre de 2019. Foram coletadas 72 amostras diárias, durante 180 dias consecutivos (ou seja, seis meses).

Os dados armazenados foram divididos em duas tabelas, uma dedicadas às cotaçÕes das moedas reais e outra para o preço do WoW Token nas quatro regiões do jogo.

B. Análise de Correlação

Com os dados coletados, foi possível aplicar algoritmos de análise de dados. Entretanto, uma etapa de pré-processamento (mais especificamente, normalização) foi realizada utilizando o método *MinMaxScaler*.

Normalização com *MinMaxScaler* é um dos mais utilizados algoritmos para normalização de dados, distribuindo suas magnitudes para um valor na faixa de 0 a 1. Este algoritmo funcionará melhor se a distribuição dos dados não for gaussiana ou o desvio padrão for muito pequeno. No entanto, ele é sensível a discrepâncias de dados, conhecidos como *outliers*. [14]

Com os dados normalizados, foram utilizados três medidas de correlação, sendo elas:

- Coeficiente de correlação de Pearson;
- Coeficiente de correlação de postos de Kendall;
- Coeficiente de correlação de postos de Spearman.

Todas essas três medidas fornecem um índice que varia de -1 a $+1$, no qual 0 indica nenhuma correlação entre dois conjuntos de dados em questão. Índices de correlação -1 ou $+1$ implicam em uma exata correlação linear. Correlações positivas indicam que ambos valores estão diretamente ligados, como por exemplo, quando x aumenta; y também aumenta. Em contrapartida, um índice negativo de correlação indica que ambos os valores estão inversamente ligados, como por exemplo, quando x aumenta; y diminui.

Todavia, como valores modulares extremos (0 ou 1) dificilmente são encontrados na prática, é importante discutir como interpretar a magnitude dos coeficientes. Para Cohen [15], valores entre $0,10$ e $0,29$ podem ser considerados pequenos; valores entre $0,30$ e $0,49$ podem ser considerados como médios; e valores entre $0,50$ e 1 podem ser interpretados como grandes. Dancey e Reidy [16] apontam para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte). Seja como for, o certo é que quanto mais perto de 1 (independente do sinal) maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. No outro oposto, quanto mais próximo de 0, menor é a força dessa relação.

b.1) Coeficiente de correlação de Pearson

Também chamado de "coeficiente de correlação produto-momento" ou simplesmente de "ρ de Pearson", é usado quando as duas variáveis em estudo são normalmente distribuídas, ou seja, para cada valor de x existe um valor de y. Esse coeficiente é afetado por valores extremos, que podem exagerar ou diminuir a força do relacionamento e, portanto, é inapropriado quando uma ou ambas as variáveis não são normalmente distribuídas. [17] Para uma correlação entre x e y, o coeficiente de correlação de Pearson da amostra é dado pela Equação (1):

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt[2]{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\,\sqrt[2]{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \tag{1}$$

Na equação, x_i e y_i é o valor de x e y para a posição i nos respectivos conjuntos de dados.

b.2) Coeficiente de correlação de postos de Spearman

Esta medida, frequentemente chamada de "ρ de Spearman" ou simplesmente "r_s, é apropriada quando as variáveis apresentam quantidades iguais [18]. Para calcularmos uma correlação entre os valores de x e y, antes deve-se ordenar de forma crescente ambos os valores, ranqueando do menor para o maior. O novo conjunto de dados para x é indicado como u, e o conjunto de dados para y é indicado como v. A fórmula para calcular o coeficiente de correlação de Spearman é dada na Equação (2):

$$r_s = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n}(u_i - v_i)^2}{n^3 - n} \tag{2}$$

Na equação, n é a quantidade de pares de x e y.

b.3) Coeficiente de correlação de postos de Kendall

Esta medida, comumente chamada de coeficiente tau de Kendall ou simplesmente denotada por τ, é utilizada para medir a força de relação entre duas variáveis, x e y [18]. Pode ser calculada pela Equação (3):

$$\tau = \frac{\sum_{i<j} sign(x_j - x_i)sign(y_j - y_i)}{(n^2 - n)/2} \tag{3}$$

Na equação, n é a quantidade de pares de x e y e $sign(x_j - x_i)$ é +1 se $x_j > y_i$, e -1 se $x_j < x_i$.

No contexto do experimento, cada moeda real foi emparelhada com sua respectiva região, ou seja:

- Real brasileiro com a região americana;
- Euro com a região europeia;
- Renminbi com a região da China;
- Won sul-coreano com a região da Coreia.

A representação gráfica de tais séries de dados emparelhadas, bem como os respectivos coeficientes de correlação e discussões de resultados são apresentados na seção V.

Na seção a seguir, são apresentadas todas as tecnologias relevantes para a realização deste trabalho.

IV. Tecnologias Utilizadas

Para que o trabalho fosse realizado de forma consistente, várias tecnologias foram utilizadas em conjunto para atingir o objetivo proposto. As ferramentas utilizadas no desenvolvimento são listadas nas subseções a seguir.

A. SQLite

O SQLite é uma biblioteca em linguagem C que implementa um mecanismo de banco de dados SQL (do inglês, *Structured Query Language*). Ela foi escolhido por ser portátil, compacta, fácil de se usar, eficiente, rápida, independente, confiável e completa [19].

B. Python

Python é uma linguagem de programação interpretada de alto nível, multiparadigma, com semântica dinâmica, podendo atuar de forma orientada a objetos possuindo uma grande comunidade de desenvolvedores, tendo sua licença livre [20]. A linguagem possui diversos pacotes auxiliares que facilitam a prototipação e desenvolvimento do projeto. A seguir, uma relação dos pacotes utilizados:

- Matplotlib: uma biblioteca abrangente para criar visualizações estáticas, animadas e interativas [21].
- Numpy: utilizado para a manipulação de dados científicos. Provê um módulo para manipulação de vetores multidimensionais e funções de álgebra linear [22] [23].
- Pandas: fornece estruturas de dados rápidas, flexíveis e expressivas, desenvolvidas para trabalhar com dados relacionais ou etiquetados de forma fácil e intuitiva. Seu objetivo é ser uma interface fundamental de alto nível para realizar testes práticos e análises de dados reais [24].
- SciPy: fornece rotinas numéricas fáceis de usar e eficientes, como integração numérica, interpolação, otimização, álgebra linear e estatística [25].
- Statsmodels: disponibiliza classes e funções para as estimativas de diversos modelos estatísticos [26].

V. Discussão dos Resultados

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados das coletas e medições de correlação realizadas.

A tabela I mostra as três medidas de correlação calculadas para todos os cenários experimentais. Estes valores serão úteis no acompanhamento das análises feitas na sequência.

TABELA I
CORRELAÇÃO ENTRE WOW TOKEN E MOEDAS REAIS (POR REGIÃO)

Região	Moeda	Pearson	Kendall	Spearman
Américas	Real brasileiro	0,81	0,47	0,65
Europa	Euro	0,55	0,28	0,46
China	Renminbi	0,74	0,36	0,56
Coreia	Won sul-coreano	-0,10	-0,05	-0,09

A seguir, são exibidos os valores mínimos e máximos assumidos pela WoW Token (em ouro – vide tabela II) e pelas moedas reais (tomando como referência o dólar americano – vide tabela III). Tais informações fornecem uma noção de magnitude mais fiel às variações ocorridas, permitindo que os valores normalizados possam ser interpretados corretamente.

TABELA II
VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DA WOW TOKEN (EM OURO)

Região	Valor mínimo	Valor máximo
Américas	124.886	217.216
Europa	168.887	300.741
China	194.593	336.611
Coreia	236.742	379.322

TABELA III
VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DAS MOEDAS REAIS

Moeda	Valor mínimo	Valor máximo
Real brasileiro	3,73	4,26
Euro	0,88	0,92
Renminbi	6,84	7,18
Won sul-coreano	1153,89	1223,67

No restante desta seção, são apresentados os gráficos das Figuras 2, 3, 4 e 5, que ilustram os valores normalizados da WoW Token e das moedas reais para cada região. As correlações (ou ausência delas) são apontadas em cada caso, bem como possíveis justificativas para tais ocorrências.

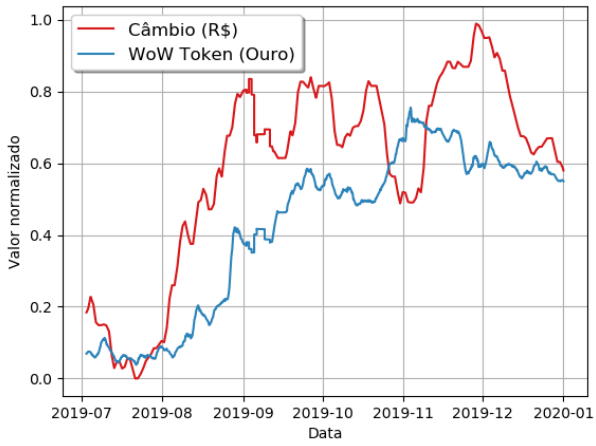


Fig. 2. Variação da WoW Token (ouro) e do Real brasileiro (Américas)

Observando o comportamento do gráfico sobre flutuação da WoW Token com o Real brasileiro, representado na Figura 2, é possível deduzir que quando a economia real cresce, o preço da WoW Token o acompanha. Esse fato se aplica para o intervalo de meses de julho até meados de outubro. Contudo, no final de outubro até a metade do mês de novembro, pode-se observar uma correlação inversa, ou seja, o Câmbio em R$ diminui e o preço da WoW Token sobe.

Eventos ocorridos no Brasil em novembro que podem ter influenciado o Real brasileiro incluem a decepção com o mega leilão de petróleo [27] e a soltura do ex-presidente Lula [28].

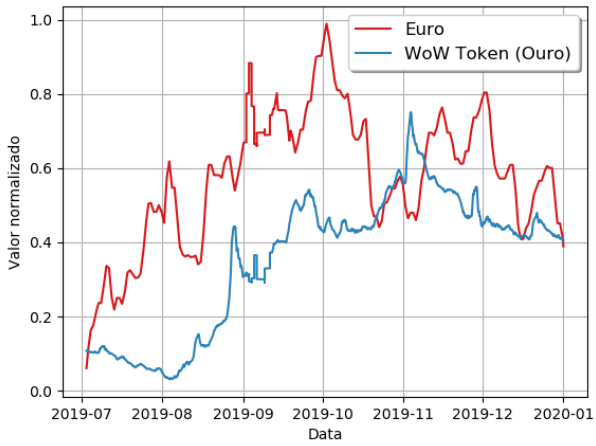


Fig. 3. Variação da WoW Token (ouro) e do Euro (Europa)

No gráfico referente aos dados do Euro e da região da Europa é possível perceber que, de um modo geral, de julho até a metade de outubro, há uma correlação crescente entre a moeda real e a moeda virtual. Logo em seguida, do final de outubro até metade de novembro, percebe-se uma correlação negativa: o valor do Euro cai e o preço da WoW Token aumenta.

Alguns eventos ocorridos na Europa durante o mês de agosto que podem ter influenciado no valor do Euro incluem

as discussões sobre o Brexit e a suspensão do parlamento britânico por 5 semanas [29] e a renúncia do premiê da Itália e mais uma mudança no governo romano [30].

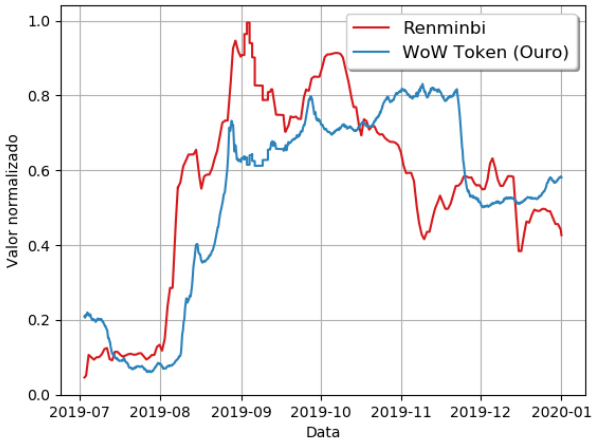


Fig. 4. Variação da WoW Token (ouro) e do Renminbi (China)

A curva vista no gráfico da variação da WoW Token na região da China com o Renminbi, representado pela Figura 4, possui um alto índice de correlação. No primeiro trimestre de dados, observa-se que a moeda virtual se comporta como se fosse uma sombra da moeda real, tendo suas variações bem similares ao Renminbi. A partir da metade do mês de outubro, até o final de novembro, percebe-se uma correlação inversa.

Eventos representativos da variação da moeda chinesa no mês de novembro novembro incluem a recuperação da atividade fabril da China em novembro [31] e a guerra comercial com os Estados Unidos e queda nas exportações [32].

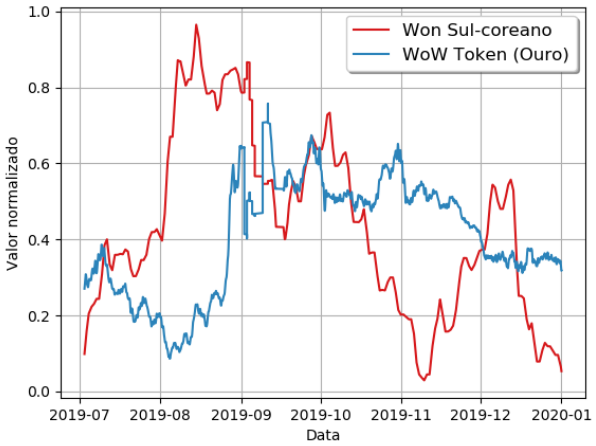


Fig. 5. Variação da WoW Token (ouro) e Won sul-coreano (Coreia)

Na Figura 5, que retrata a oscilação do Won sul-coreano com o preço da WoW Token na região da Coreia, é exibido um comportamento diferente dos demais gráficos. A primeira característica notável é que os valores da moeda virtual variam muito mais em relação as anteriores apresentadas. A segunda é que a magnitude do défice encontrado no mês de novembro é bem grande. A terceira é que os índices de correlação, além de serem bem próximos de zero, apresentam valores negativos.

É importante ressaltar que, durante o mês de novembro daquele ano, aconteceu a conferência anual da Blizzard, a BlizzCon (vide Figura 6). Nela foi anunciada um novo pacote de expansão[6] para o jogo, denominado "Shadowlands" [33]. Esse fato pode ter aumentado o números de jogadores ativos no jogo, consequentemente valorizando o preço da moeda virtual (o que pode ser observado em todos os gráficos).

Fig. 6. Imagem promocional da BlizzCon 2019 [34]

VI. Conclusão

Diversos trabalhos propuseram o estudo de economias virtuais, presentes em jogos *online*, com o intuito de identificar diferenças e semelhanças e estabelecer correlações significativas com economias reais.

Este artigo propõe a coleta de dados sobre a variação do preço ficha do jogo World of Warcraft (WoW Token) em quatro regiões do mundo e de taxas de câmbio de moedas reais. Para tal, foi desenvolvida uma ferramenta em Python que, após seis meses de execução, produziu uma base de dados abrangente.

Utilizando medidas estatísticas – mais especificamente, coeficientes de correlação de Pearson, de postos de Spearman e de postos de Kendall – para avaliar numericamente a relação entre a moeda virtual e as moedas reais, observa-se que tal correlação pode ser considerada forte em alguns casos, da ordem de até $0,81$. Em um caso específico, ao analisar o Won sul-coreano, percebeu-se uma relação negativa e de magnitude próxima a zero. Também foram levantadas hipóteses sobre eventos que podem ter influenciado na variação dos valores.

Como sugestões para trabalhos futuros, são propostos os seguintes pontos:

- Utilização de uma série temporal maior, para a obtenção de resultados ainda mais significativos;
- Levar em conta, além do preço da WoW Token e das taxas de câmbio das moedas reais, a cotação das ações da Blizzard Entertainment – isto é, a variação do ativo ATVI.
- Realização de análise de regressão, utilizando modelos estatísticos como o ARIMA (do inglês, *AutoRegressive Integrated Moving Average*) [35] ou baseados em aprendizado de máquina, como LSTM (do inglês, *Long Short-term Memory*) [36], com o intuito de "prever" (estimar) valores das séries temporais;
- Desenvolvimento de uma plataforma para exibição dos *insights* obtidos com a análise de regressão aos jogadores, fornecendo, por exemplo, dicas de quando um item em particular deve ser comprado e/ou vendido para maximização de lucro e/ou minimização de prejuízo.

[6]Adição que agrega novos mapas, missões, itens e aventuras a um jogo.

REFERÊNCIAS

[1] Blizzard Entertainment. *World of Warcraft - 1º Infográfico Oficial - Blizzard Entertainment*. Dez. de 2013. URL: https://bit.ly/blizz-infog.

[2] Stuart Oultram. "Virtual plagues and real-world pandemics: Reflecting on the potential for online computer role-playing games to inform real world epidemic research". Em: *Medical Humanities* 39.2 (2013), pp. 115–118. ISSN: 1468215X. DOI: 10.1136/medhum-2012-010299.

[3] WoW Farming. *Taking Over the Auction House*. 2011. URL: http://tomswowfarming.blogspot.com/2011/03/taking-over-auction-house.html.

[4] Blizzard Entertainment. *Ficha de WoW - World of Warcraft — Loja Blizzard*. 2020. URL: https://bit.ly/blizz-wowtoken.

[5] Andrea Diaz. *'World of Warcraft's' virtual gold is seven times more valuable than Venezuela's real money*. Mai. de 2018. URL: https://bit.ly/wow-bolivar.

[6] Katherine Bessière, A. Fleming Seay e Sara Kiesler. "The ideal elf: Identity exploration in world of warcraft". Em: *Cyberpsychology and Behavior* 10.4 (2007), pp. 530–535. ISSN: 10949313. DOI: 10.1089/cpb.2007.9994.

[7] Scott Rettberg, H G Corneliussen e J W Rettberg. "Corporate ideology in World of Warcraft". Em: *Digital culture, play, and identity: A World of Warcraft reader* (2008), pp. 19–38.

[8] Eli Kosminsky. "World of Warcraft: the viability of massively multiplayer online role-playing games as platforms for modeling and evaluating perfect competition". Em: *Journal For Virtual Worlds Research* 2.4 (2009).

[9] Y U E Guo e Stuart J Barnes. "Explaining purchasing behavior within World of Warcraft". Em: *Journal of Computer Information Systems* 52.3 (2012), pp. 18–30.

[10] Lucas Lopes e Filipe Campos. "Previsão de Resultado Empresarial utilizando Inteligência Artificial". Instituto Nacional de Telecomunicações, 2019.

[11] WhoisGuard Protected. *WoWTokenPrices*. 2020. URL: https://wowtokenprices.com/.

[12] Madis Väin. *Exchange Rates API*. 2019. URL: https://github.com/exchangeratesapi/exchangeratesapi.

[13] G. Dombroski. *The Undermine Journal*. 2020. URL: https://theunderminejournal.com/.

[14] Hale, Jeff. *Scale, Standardize, or Normalize with Scikit-Learn*. 2019. URL: https://bit.ly/tds-data.

[15] Jacob Cohen. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Academic press, 2013. DOI: 10.4324/9780203771587.

[16] Christine P. Dancey e John Reidy. *Statistics without maths for psychology*. Pearson Education, 2011, p. 648. ISBN: 9780273726029.

[17] Mavuto M Mukaka. "A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research". Em: *Malawi medical journal* 24.3 (2012), pp. 69–71.

[18] Stephen Kokoska e Daniel Zwillinger. *CRC Standard Probability and Statistics Tables and Formulae, Student Edition*. CRC Press, 2000. DOI: 10.1201/b16923.

[19] Michael Owens. *The definitive guide to SQLite*. Apress, 2010, pp. 1–440. ISBN: 1590596730. DOI: 10.1007/978-1-4302-0172-4.

[20] Guido Van Rossum et al. "Python Programming Language." Em: *USENIX annual technical conference*. Vol. 41. 2007, p. 36.

[21] J D Hunter. "Matplotlib: A 2D graphics environment". Em: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), pp. 90–95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55.

[22] Travis E Oliphant. *A guide to NumPy*. Vol. 1. Trelgol Publishing USA, 2006.

[23] Stéfan van der Walt, S Chris Colbert e Gael Varoquaux. "The NumPy array: a structure for efficient numerical computation". Em: *Computing in Science & Engineering* 13.2 (2011), pp. 22–30.

[24] Wes McKinney. "Data Structures for Statistical Computing in Python". Em: *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. Ed. por Stéfan van der Walt e Jarrod Millman. 2010, pp. 51–56.

[25] Pauli Virtanen et al. "SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python". Em: *Nature Methods* 17 (2020), pp. 261–272. DOI: https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2.

[26] Skipper Seabold e Josef Perktold. "statsmodels: Econometric and statistical modeling with python". Em: *9th Python in Science Conference*. 2010.

[27] Filipe Andretta. *Sem concorrência, com domínio da Petrobras, leilão arrecada 2/3 do previsto*. 2019. URL: https://bit.ly/uol-petrobras.

[28] Felipe Amorim e Bernardo Barbosa. *Por 6 votos a 5, STF veta prisão em 2a instância; Lula pode ser solto*. 2019. URL: https://bit.ly/uol-stf-lula.

[29] Thiago Melo. *Brexit: Parlamento britânico suspenso por cinco semanas*. 2019. URL: https://bit.ly/dw-brexit.

[30] Lucas Ferraz. *Premiê da Itália renuncia, culpa Salvini e afunda país em incerteza*. 2019. URL: https://bit.ly/uol-premie-italia.

[31] Yawen Chen e Se Young Lee. *Atividade fabril da China volta a crescer em novembro*. 2019. URL: https://bit.ly/uol-china-fabril.

[32] RFI. *Exportações chinesas registram queda em novembro em plena guerra comercial com EUA*. 2019. URL: https://bit.ly/g1-china-eua.

[33] Blizzard Entertainment. *A nova expansão, World of Warcraft®: Shadowlands, foi anunciada!* 2019. URL: https://bit.ly/blizz-shadowlands.

[34] Blizzard Entertainment. *BlizzCon 2019*. 2019. URL: https://blizzcon.com/.

[35] Chris Chatfield. *Time-Series Forecasting*. Chapman e Hall/CRC Press, 2000, p. 280. ISBN: 1584880635.

[36] Sepp Hochreiter e Jürgen Schmidhuber. "Long short-term memory". Em: *Neural computation* 9.8 (1997), pp. 1735–1780.

Comparação de Métodos de Decisão Multicritério na Priorização de projetos

Douglas Tavares Martins
Instituto Nacional de Telecomunicações
douglasmartins@gec.inatel.br

Guilherme A. Barucke Marcondes
Instituto Nacional de Telecomunicações
guilherme@inatel.br

***Resumo*—Este artigo apresenta o desafio enfrentado por empresas no momento de selecionar seus projetos. Em geral, não há recursos suficientes para executar todos e o tomador de decisão deve escolher qual executar. Porém, a escolha não é simples, pois envolve diversos critérios, que podem ser conflitantes entre si. Para apoiar esta decisão, os métodos de decisão multicritério podem ser usados. Este trabalho apresenta dois destes métodos e um exemplo de aplicação. Permitindo a comparação ao final.**

This article addresses the challenge faced by companies when selecting their projects. In general, there are not enough resources to execute all and the decision maker must choose which one to run. However, the choice is not simple, as it involves several criteria, which can be conflicting with each other. To support this decision, multicriteria decision methods can be used. This work presents two of these methods and an application example. Allowing comparison at the end.

***Index Terms*—decision making, multi-criteria decision methods, TOPSIS, VIKOR**

I. Introdução

Muitas empresas enfrentam um grande desafio no momento de selecionar seus projetos. Em geral, há restrições de recursos e nem todos os projetos podem er executados [1], [2].

Na tomada de decisão, muitos critérios, em geral conflitantes, devem ser considerados. Uma ferramenta que pode auxiliar os tomadores de decisão na priorização de projetos são os Métodos de Decisão Multicritério (MCDM, do inglês *Multicriteria Decision Methods*).

Existem alguns MCDM apresentados na literatura. Este trabalho propõe a comparação na aplicação de dois destes métodos: Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) e Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). Estes métodos são encontrados em vários trabalhos na literatura [3], [4].

VIKOR é um método para resolver problemas de decisão com critérios conflitantes e assume que existe uma solução de compromisso aceitável para a resolução de conflitos [4]. Apresenta como resultado uma lista de aternativas priorizadas, considerando os critérios definidos para seleção.

TOPSIS baseia-se na definição da solução ideal (mesmo que não factível) e escolhe a alternativa com a menor distância euclidiana comparada a ela [4].

Para exemplificar a aplicação destes métodos e a comparação dos resultados, são usados oito projetos hipotéticos, com seus parâmetros também escolhidos hipoteticamente.

Como exemplos para os parâmetros mencionados podem ser citados: Tempo de retorno após o investimento inicial, risco de prejuízo a longo prazo, rentabilidade, entre outros.

II. Métodos de Decisão Multicrtitério (MCDM)

A. TOPSIS

O método TOPSIS consiste em uma sequência de cálculos que levam em consideração os critérios referentes à seleção de projetos e o peso desses critérios para o tomador de decisão.

Em tabelas de análise são apresentados múltiplos projetos com seus respectivos valores para cada critério. Esses valores são usados para calcular o valor matemático chamado Vetor Normalizado, que se trata de um modulo matemático utilizado como referência em todos os demais cálculos.

O próximo passo é a divisão entre os valores das células e os valores do vetor normalizado e a multiplicação desse pelo peso do critério determinado pelo tomador de decisão que resulta em uma nova tabela de análise chamada de Tabela de Valor de Desempenho.

Oriundos das tabelas geradas anteriormente, novas ferramentas e valores de comparação são criados. Estes são chamados Valor Ideal Positivo de Solução (V_j^+) e Valor Ideal Negativo de Solução (V_j^-). O processo de obtenção desses valores é totalmente analítico e apresentado em [5].

Nesse passo, os valores de cada critério dos projetos e Valores Ideais de Solução são levados em consideração e as distâncias euclidianas (S_i^+ e S_i^-) são calculadas por meio das equações [5], [6]:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(V_{ij} - V_j^+)^2} \tag{1}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}(V_{ij} - V_j^-)^2} \tag{2}$$

Em que:

- m é o número de alternativas;
- V_{ij} é o valor do critério j para a alternativa i.

Para concluir os procedimentos o valor final Π_i de desempenho é calculado por meio da equação (3) [5], [6]:

$$\Pi_i = \frac{S_i^-}{(S_i^+) + (S_i^-)} \tag{3}$$

Quanto maior o valor de Π_i, melhor é a alternativa.

B. VIKOR

Oriundos de uma tabela com valores de critérios e qualidades de diferentes opções de projetos, valores das melhores e piores células de critério são analisados. Essa análise é baseada na consideração que determina se o valor em questão é benéfico e, se sim, ele se trata do maior ou do menor dos valores de critério da tabela. O melhor valor benéfico é chamado de V_j^+ e o pior valor benéfico é chamado de V_j^- [5].

Os valores descobertos nessa etapa são chamados de valores médios e são calculados através da equação (4) [5]:

$$S_i = \sum_{j=1}^{J} w_j * \frac{|V_j^+ - V_{ij}|}{|V_j^+ - V_j^-|} \tag{4}$$

em que:

- V_{ij} é o valor da alternativa i para o critério j;
- w_j is o peso do critério j.

Dos valores calculados, os melhores e piores são tomados e analisados. O *gap* máximo de cada alternativa i é calculado por [5]:

$$R_i = \max_j \frac{|V_j^+ - X_{ij}|}{|V_j^+ - V_j^-|} \tag{5}$$

Os valores finais calculados nesse método são obtidos pela equação a seguir [5]:

$$Q_i = \nu \frac{S_i - S^+}{(S^-) - S^+} + (1 - \nu) \frac{R_i - R^+}{R^- - R^+} \tag{6}$$

em que:

- $S^+ = \min_i S_i$ ou $S^+ = 0$ *gap* zero, ou seja nível desejado;
- $S^- = \max_i S_i$ ou $S^- = 1$ pior nível;
- $R^+ = \min_i S_i$ ou $R^+ = 0$ *gap* zero, ou seja nível desejado;
- $R^- = \max_i S_i$ ou $R^- = 1$ pior nível;
- ν é a superioridade do critério (se nenhuma ênfase em S ou R, seu valor é $0,5$).

Os valores S, R and Q são ordenados de forma decrescente, gerando três *rankings*. A solução de compromisso é a alternativa a^1, melhor *rankeada* na lista Q, se as condições seguintes forem satisfeitas [5]:

Condição 1 - Vantagem Aceitável

$$Q_{a^2} - Q_{a^1} \leq DQ \tag{7}$$

em que:

- a^2 é a alternativa na segunda posição no *ranking* Q;
- $DQ = \frac{1}{1-I}$ e I o número de alternativas.

Condição 2 - Estabilidade Aceitável

Alternativa a^1 deve ser a melhor *ranqueada* entre os valores de S e/ou R.

III. Exemplo Numérico

Os métodos TOPSIS e VIKOR são exemplificados usando oito projetos hipotéticos considerando três critérios de seleção:

- **Melhora na Competitividade (peso - 0,5):** capacidade do projeto em trazer melhora na competitividade da empresa no mercado em que atua (de 1 - pior a 4 - melhor);
- **Potencial de Mercado (peso - 0,3):** capacidade do projeto melhorar a participação da empresa no mercado (de 1 - pior a 4 - melhor);
- **Grau de Inovação (peso - 0,2):** quão inovador o projeto é (de 1 - pior a 4 - melhor).

A avaliação, de cada um destes critérios, para estes projetos é apresentada na Tabela I:

Tabela I
Características dos Projetos.

	Características		
Project	Competit..	Pot. Mercado	Inovação
A	1	3	4
B	4	2	1
C	3	1	2
D	2	4	3
E	1	4	1
F	1	2	3
G	3	2	1
H	4	3	1

Aplicando o método TOPSIS, o *ranking* final dos projetos fica como apresentado na Tabela II.

Tabela II
TOPSIS

Projetos	**Valores TOPSIS**	*Ranking*
A	0,37	6
B	0,63	2
C	0,48	5
D	0,52	3
E	0,34	7
F	0,25	8
G	0,50	4
H	0,68	1

Neste caso, o projeto melhor *rankeado* é o H e o pior *rankeado* o F.

Aplicando, sobre os mesmos projetos e usando os mesmos critérios, o método VIKOR, o resultado é apresentado na Tabela III.

Neste caso, o projeto melhor *rankeado* é o H e o pior *rankeado* o A.

Apesar de haver divergências nos *rankings*, ambos indicam o projeto H como o mais indicado para ser executado, segundo os critérios estabelecidos para a decisão.

Tabela III
VIKOR

Projetos	**Valores VIKOR**	*Ranking*
A	0,82	8
B	0,36	3
C	0,49	5
D	0,61	6
E	0,43	4
F	0,67	7
G	0,29	2
H	0,25	1

IV. Conclusão

As empresas, com frequência, enfrentam o desafio de escolher projetos a serem desenvolvidos. Para esta decisão, é importante que haja o apoio de ferramentas que tornem mais objetiva a escolha.

Os métodos de decisão multicritério (MCDM) podem apoiar a escolha. Dois destes métodos, apresentados neste trabalho, são de fácil aplicação e bastante usados na literatura: VIKOR e TOPSIS.

Aplicando estes métodos em um exemplo hipotético de oito projetos, em ambos os casos, o projeto melhor *rankeado* foi o H, que seria o mais indicado para execução, segundo os critérios definidos. Supondo que entre os critérios definidos o mais importante deles (com maior peso) fosse ”Retorno a curto prazo”e o menos importante fosse ”Risco de desvalorização”, poderia-se afirmar que a combinação dessas características e outras avaliadas ao longo dos procedimentos das metodologias foi a melhor possível para o líder do ranking em relação aos demais e que por vezes um projeto muito valioso em uma características pouco valorizadas se encontra em desvantagem em relação a um projeto em alta quanto a uma característica muito valorizada mas o oposto disso nas menos valorizadas, tomando como perspectiva de análise tais metodologias. Porém, comparando-se ambos os *rankings* obtidos, percebe-se que eles divergem nas demais posições.

Investigar melhor estas divergências é um trabalho futuro recomendado.

Referências

[1] M. Abbassi, M. Ashrafi, and E. S. Tashnizi, “Selecting balanced portfolios of R&D projects with interdependencies: A Cross-Entropy based methodology”, Technovation, Volume 34, Issue 1, pp. 54-63, 2014

[2] C. C. Dutra, J. L. D. Ribeiro, and M. M. Carvalho, “An economic-probabilistic model for project selection and prioritization”, International Journal of Project Management, Volume 32, Issue 6, pp. 1042-1055, 2014

[3] Mojtaba Sadatrasool , Ali Bozorgi-Amiri and Abolghasem Yousefi-Babadi, “Project manager selection based on project manager competency model: PCA–MCDM Approach,” Journal of Project Management, Volume 1 Issue 1 pp. 7-20 2016

[4] S. Sadi-Nezhad, “A state-of-art survey on project selection using MCDM techniques”, Journal of Project Management, Volume 2, Issue 1, pp. 1-10, 2017

[5] G. H. Tzeng, and J.J. Huang, Multiple attribute decision making: methods and applications. Chapman and Hall/CRC, 2011.

[6] R. A. Krohling, and V. C. Campanharo, Fuzzy TOPSIS for group decision making: A case study for accidents with oil spill in the sea, Expert Systems with Applications, 2011

Estudo de sensor óptico para detecção de batimento de asas de insetos para aplicações IoT

Gustavo Fernandes Moreira, Guilherme Augusto Barucke Marcondes
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
gustavo_fernandes@get.inatel.br, guilherme@inatel.br

***Abstract*—In Brazil, the main disease transmitter mosquito is Aedes Aegipt and there are several efforts to contain it. However, it still doesn't exist a reliable method of monitoring their population and localization. Therefore, we studied the viability of an optoelectronic sensor capable of detecting these mosquitoes for an IoT implementation. Thus, making better chances to avoid this disease. Through the studies of mosquito wingbeats bibliography and research of various sensing methods, we proposed a model circuit. We projected, constructed and tested the printed circuit boards containing each circuit. We tested each block part by part and together, in order to reproduce scenarios that the sensor will encounter. In the end, due to the difficulty of real tests with the mosquitoes, we tested the prototype with assistance of a spinner helix that simulate the insects wingbeats.**

***Index Terms*—detection, IoT, mosquitos, optoeletronic, sensor, wingbeats**

***Resumo*—No Brasil, o principal inseto transmissor de doenças é o Aedes Aegipt e são muitos os esforços para combatê-lo. Porém, ainda hoje não existe um método confiável de monitorar sua população e localização. Por isso, estudou-se a viabilidade de um sensor óptico capaz de detectar tais mosquitos para implementação em cenários IoT, podendo fornecer métricas e mapear a população desses insetos. Maximizando, assim, o combate a essas doenças. Através de estudos da Bibliografia da área e pesquisa dos diversos métodos de sensoriamento, foi proposto um circuito modelo. Realizou-se o projeto, construção e teste das placas de circuito impresso contendo cada parte do circuito. Os testes foram realizados em cada bloco individualmente e em conjunto, visando reproduzir os cenários que o sensor encontrará. Ao final, devido à dificuldade de teste com insetos reais, testou-se o sensor com auxílio de uma hélice giratória que simula o batimento de asas dos mosquitos.**

***Palavras chave*—batimento de asas, detecção, IoT, mosquitos, optoeletrônico, sensor**

I. Introdução

O avanço das doenças transmitidas por mosquitos é uma preocupação no Brasil e no mundo. É estimado que anualmente mais de 700 000 (setecentas mil) pessoas perdem a vida devido a doenças transmitidas por mosquitos [1]. No Brasil, o Ministério da Saúde indica que, em 2016, mais de 475.000 (quatrocentas e setenta e cinco mil) pessoas tenham sido infectadas pela Dengue, principal doença no país cuja transmissão se faz através de um mosquito vetor [2].

Neste contexto, a utilização de soluções emergentes baseadas em Internet das Coisas (IoT) surge como uma abordagem inovadora e promissora na prevenção dessas doenças através do monitoramento, registro e análise de dados utilizando redes de sensores adequadas. Dessa forma, este trabalho apresenta os resultados obtidos na construção de um protótipo de sensor optoeletrônico para detecção do batimento de asas de mosquitos, que através dessa informação permite identificar a espécie do mesmo. O protótipo construído se baseou no apresentado em [3]. Neste trabalho de referência, os autores propõem a construção de um protótipo de sensor optoeletrônico. Dentre os resultados obtidos destaca-se a influência de interferências nas respostas do sensor.

A tarefa de analisar os mosquitos e fazê-los atravessar o campo de visão do sensor é bastante desafiadora. Desta forma, optou-se por simular o movimento de batimento de asas por meio de uma hélice giratória que é capaz de produzir uma reação semelhante à do mosquito nos sensores.

A composição do protótipo se dá por um conjunto de emissor e receptor de luz infravermelha, circuitos capazes de tratamento de sinal, um microcontrolador para processar as informações recebidas e realizar as funções IoT e um módulo de alimentação, seja por baterias ou por energia fotovoltaica. Para um mapeamento eficaz dos focos do Aedes Aegypti é necessário que a solução esteja devidamente distribuída em certa região. Por esse motivo, é ideal que o equipamento disponha de meios para sustentar seu consumo de energia sem uma fonte externa. Além disso, seu funcionamento foi concebido de forma a minimizar o consumo elétrico. O equipamento permanece em modo *standby* até que algum inseto cruze seu campo de detecção, quando o processamento é acionado e pode medir a frequência de batimento de asas. As informações obtidas são então armazenadas para que posteriormente seja feita a comunicação, diminuindo consideravelmente o consumo de energia elétrica se realizada periodicamente com intervalos de tempo grande. Inicialmente, foi planejada uma transmissão por dia.

II. Materiais e Métodos

Nesta sessão descreve-se os métodos utilizados na elaboração de um sensor optoeletrônico para detecção do batimento de asas de insetos e o desenvolvimento de um programa capaz de controlar o sensor e lidar com as informações recebidas. Apresenta-se também testes das diversas partes do sensor, buscando atingir uma alta confiabilidade na detecção da frequência de batimento de asas. O sensor é composto de emissores e receptores de luz infravermelha, filtros de frequência, circuito detector de envoltória, circuito conversor diferencial e conversor analógico-digital. Também está presente um microcontrolador para controle dos circuitos e processamento das informações. As partes integrantes do circuito foram montadas em placas de circuito impresso para facilitar o manuseio e aumentar a confiabilidade do sensor frente a outras alternativas, como utilização de uma matriz de contatos. As placas de circuito impresso foram projetadas utilizando-se

o software Altium Designer 18. Depois de projetadas, foram fabricadas utilizando o processo de corrosão devido à maior disponibilidade de materiais e equipamentos. O posicionamento e soldagem dos componentes se deu de forma manual.

A. Captura de sinal

Esta sessão apresenta os resultados obtidos na construção e testes relativos à captura do sinal de um inseto atravessando o campo de visão do sensor. Baseia-se no fato de um mosquito modular a luz incidente sobre ele. Dessa forma, cria-se uma fonte de luz que possa atingir o inseto, e alinhada à essa fonte, um dispositivo capaz de capturá-la. No sensor a placa emissora bem como a receptora foram posicionadas uma em frente à outra, com uma distância de 14cm para possibilitar a passagem do inseto.

a.1) Emissor infravermelho

Construiu-se um módulo com 24 LEDs infravermelhos TSHG5410 divididos em quatro linhas. O módulo é alimentado por um *driver* que converte o sinal de 3,3V gerado pelo microcontrolador em 12V. Dessa forma, é emitida uma luz infravermelha em alta frequência. O propósito de emitir uma luz com certa frequência é para que o sinal, após ser recebido, possa ser separado de sinais provenientes de outras fontes, estando imune a interferências luminosas. A frequência escolhida foi de 450kHz por estar distante da interferência luminosa local. O circuito emissor está apresentado na Figura 1. A placa contendo esse módulo possui 14cm de largura e 5cm de altura.

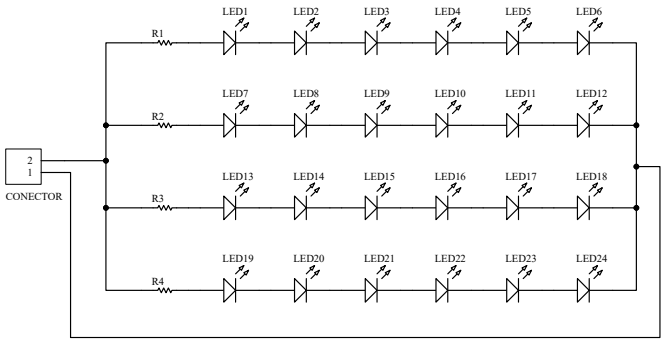


Fig. 1. Placa de emissor infravermelho

a.2) Fotodiodos

Contando com 22 fotodiodos TEMD5080X01 divididos em três linhas, recebe a luz do emissor infravermelho e a fração dela que foi modulada pelo inseto. É usado um amplificador de alta velocidade OPA380 para converter o sinal de corrente gerado pelos fotodiodos em sinal de tensão. O circuito foi construído em uma placa com as mesma dimensões do emissor infravermelho. Ao final, o campo de visão do sensor é limitado pelas dimensões do emissor, do receptor e de suas posições relativas, possuindo este 14cm de largura, 14 cm de comprimento e 5cm de altura.

B. Demodulação

O ambiente em volta do sensor pode gerar interferências em certas frequências e prejudicar a leitura do sinal de interesse. Portanto, faz-se necessária a distinção de interferências e ruídos do sinal do batimento de asas. O processo de demodulação tem essa função.

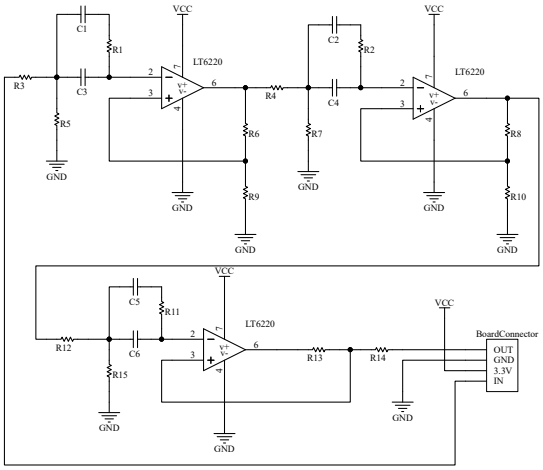


Fig. 2. Placa do filtro passa-faixa

b.1) Filtro passa-faixa

Em um primeiro estágio, há a filtragem do espectro, permitindo somente a passagem de uma faixa estreita que contém a frequência do emissor infravermelho. Para isso, construiu-se uma placa contendo um filtro ativo Bessel de três estágios. Devido à complexidade de projeto desse filtro, utilizou-se uma ferramenta *on-line* para essa função [4]. O diagrama elétrico deste circuito é apresentado na Figura 2.

b.2) Detector de envoltória

O circuito detector de envoltória, apresentado na Figura 3 é responsável por recuperar a mensagem contida no sinal recebido. Quando algum inseto passa através do campo de visão do conjunto emissor-receptor, gera uma modulação AM na luz. Nesse tipo de modulação, a mensagem, ou sinal desejado, está contido na envoltória, envelope, do sinal modulado. Usou-se o demodulador AD630 para realizar essa função. Sua escolha se deu por sua alta precisão e imunidade à ruídos comparado à outros demoduladores.

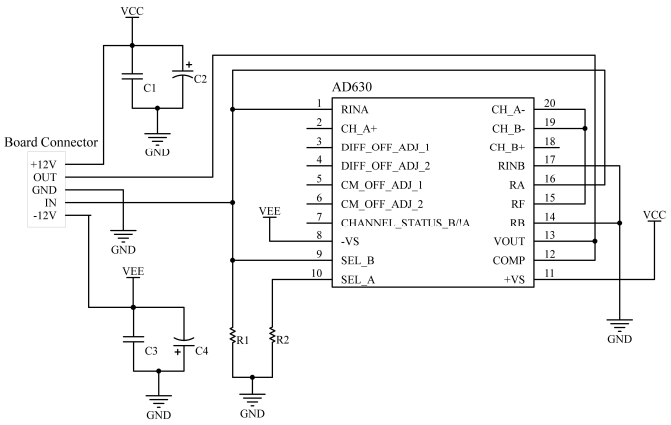


Fig. 3. Placa do detector de envoltória

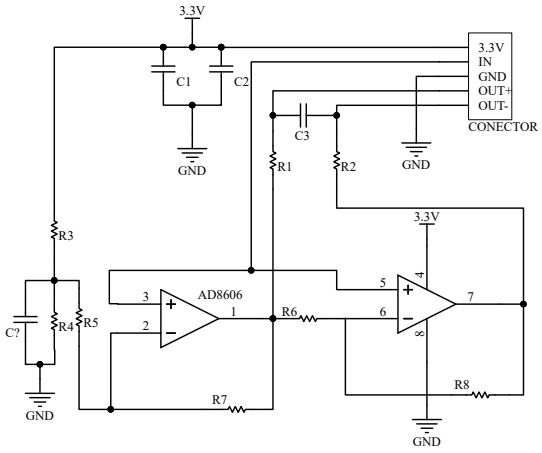


Fig. 5. Placa do circuito amplificador diferencial

b.3) Filtro passa-baixa

Tem o propósito de filtrar qualquer frequência indesejada que ainda exista no sinal, restando somente o sinal de batimento de asas. Para essa função utiliza-se um filtro ativo de topologia Sallen-Key de quatro estágios, tendo o último estágio ganho controlado por um resistor digital. O resistor digital é controlado pelo microcontrolador por meio de uma interface serial SPI, podendo regular o ganho do sinal para que mantenha um nível constante. O diagrama elétrico deste filtro é apresentado na Figura 4.

C. Digitalização

Para o microcontrolador processar as informações recolhidas é necessário converter o sinal analógico para digital. A fim de obter um sinal digital preciso e de alta confiabilidade, adotou-se como especificações mínimas de conversão uma definição de 12 bits e velocidade de conversão de 20k s/s.

c.1) Transformação para sinal diferencial

Realiza-se neste módulo, conforme circuito elétrico apresentado na Figura 5, a adequação das informações para serem digitalizadas. O valor médio e a fase do sinal de entrada são alterados segundo as equações 1, 2, 3 e 4.

$$OUT^{-} = -2.2 * IN + 5.28 \qquad [\mathrm{V}] \quad (1)$$

$$OUT^{+} = -OUT^{-} + 3.3 \qquad [\mathrm{V}] \quad (2)$$

$$OUT = OUT^{+} - OUT^{-} \qquad [\mathrm{V}] \quad (3)$$

$$OUT = -2.2 * IN - 1.98 \qquad [\mathrm{V}] \quad (4)$$

O valor final lido pelo conversor será a diferença entre as duas saídas. Dessa forma, aumenta-se a faixa de valores úteis na amostragem.

c.2) Conversor A/D

Após esse processo, o sinal diferencial é convertido para digital, usando um conversor A/D diferencial de 12 bits, cujo circuito é apresentado na Figura 6, com taxa de amostragem máxima de 100 mil amostras por segundo. Porém, para efeitos de economia de energia, a taxa de amostragem adotada foi de 10 mil amostras por segundo. Segundo o Teorema de Nyquist, a taxa de amostragem mínima deve ser de duas vezes a máxima frequência a ser amostrada, escolhida como 2kHz para poder englobar a maioria dos insetos. E foi adotada uma constante de cinco amostras por Hertz, para obter um sinal com maior definição. O conversor liga-se ao microcontrolador por meio de uma interface serial SPI, pela qual os dados são enviados.

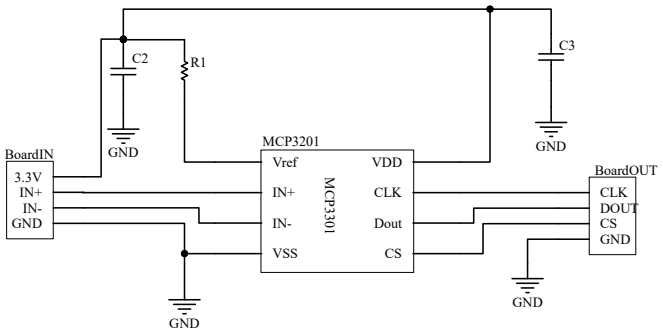


Fig. 6. Placa do conversor AD

D. Microcontrolador

O microcontrolador inicialmente escolhido para controlar o sensor foi um MSP430F5438. Porém, por falta de meios de desenvolver e testar o componente, foi escolhido um novo microcontrolador, um ATmega2560, por ser mais viável o desenvolvimento nessa plataforma. As atribuições do microcontrolador são controlar o ganho do sinal por meio do resistor variável, receber o sinal digitalizado do conversor A/D e executar um algoritmo de identificação da frequência do sinal. O programa desenvolvido em linguagem C permite ao dispositivo

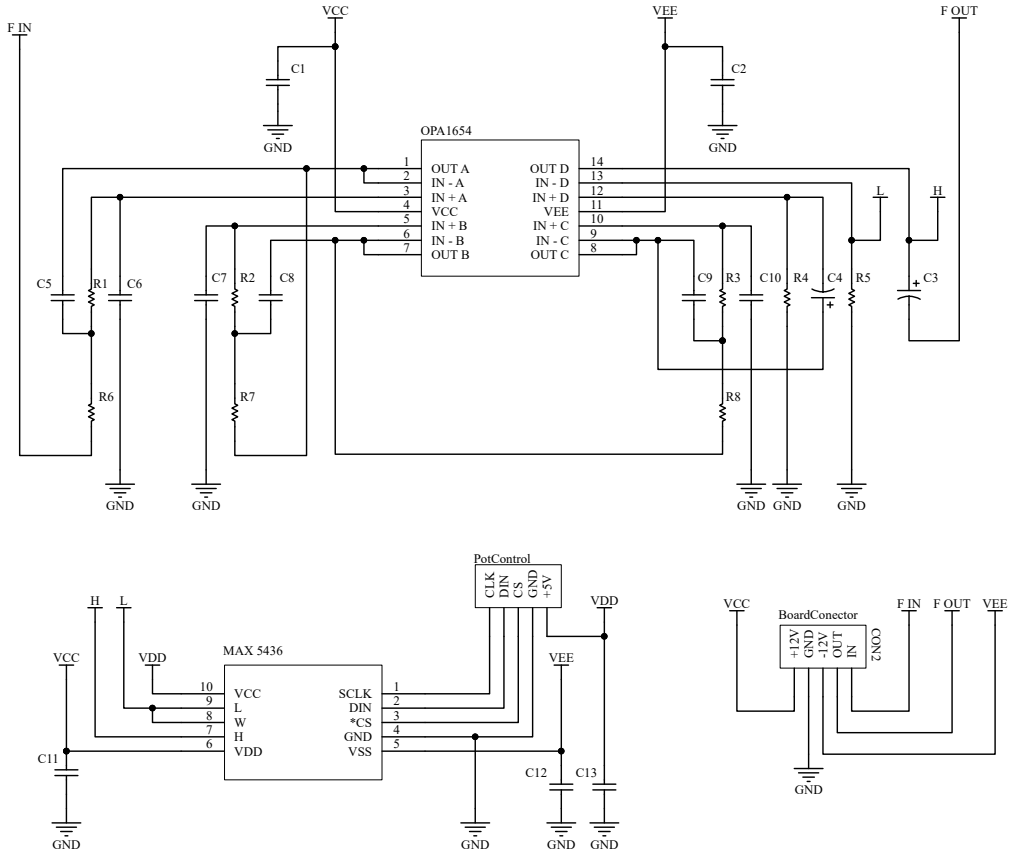


Fig. 4. Placa do filtro passa-baixa

manter-se em estado de baixo consumo de energia, onde há pouco processamento. Quando o sinal digitalizado recebido apresenta uma alteração em sua amplitude, o microcontrolador é despertado em cerca de 5 microssegundos e inicia o algoritmo de detecção de frequência. Esse mesmo algoritmo modifica o ganho do sinal recebido caso sua amplitude seja inadequada para a realização das medidas.

III. Testes

Foram realizados três tipos de testes. Os testes particulares avaliaram o funcionamento individual de cada circuito descrito na seção II. De acordo com o circuito, foi gerado um sinal na entrada por meio de um gerador de funções ou modulador AM. Dessa forma, analisando a saída do circuito e comparando com o que se era esperado, foi possível determinar seu correto funcionamento. A placa demoduladora apresentou sinal distinto do esperado em sua saída, portanto reconstruiu-se a placa. Em novo teste da placa, o sinal obtido correspondeu ao esperado. O filtro passa-baixa não apresentou sinal de saída no teste particular. Analisando a placa, descobriu-se uma falha na soldagem de um componente. Após os reparos, o teste do circuito foi satisfatório. Os outros circuitos não apresentaram falhas. Após, foi realizado o teste em conjunto, onde as placas individuais foram devidamente conectadas e o emissor e receptor foram posicionados um em frente ao outro. Para alimentar o *driver*, escolheu-se um sinal de 480Hz, que é próximo às frequência de batimento de asa de alguns insetos [5], modulado em AM por uma portadora de 450kHz. Essas frequências foram determinadas a fim de simular um comportamento real dos circuitos. Ao final, o microcontrolador detectou a frequência de 480Hz, como era esperado. Com o funcionamento individual e em conjunto dos circuitos verificado, foi possível simular o batimento de asas de um inseto através de uma hélice giratória e testar o funcionamento do sensor. Ao *driver* foi aplicado somente a portadora de 450kHz. A hélice de diâmetro de 7cm foi posicionada com seu eixo 1,75cm acima do conjunto emissor-receptor, de forma à ficar com 1,75cm dentro do campo de visão do conjunto. Sua velocidade de rotação foi ajustada para 4800 rpm, o que significa que a cada segundo são realizadas 80 rotações e como há 6 pás na hélice (com 1,5 mm de largura), ocorrem por volta de 480 obstruções por segundo no campo de visão do sensor, comportamento análogo ao bater de asas de um inseto. Assim, a modulação AM ocorre quando a hélice interfere na portadora sendo transmitida do emissor ao receptor. A figura 7 mostra a montagem para realização do teste. Na saída do receptor infravermelho foi observado o sinal modulado, como esperado. A figura 8 exibe a saída do filtro passa-baixa, referente ao movimento da hélice. Ao final, o microcontrolador foi capaz de identificar a frequência de 480Hz. Ao variar a velocidade da hélice até 16000 rpm, o microcontrolador foi capaz de identificar a frequência. O que equivale à uma velocidade de batimento de asas de 1600Hz. Para velocidades mais altas, o sensor não conseguiu identificar a frequência corretamente. Porém, como a maioria dos insetos têm frequência de batimento de asas abaixo de 1600Hz [5], não é necessário ter uma um sensor com capacidade de medições

maiores que essa frequência. Devido à natureza do conjunto emissor-receptor, não há diferença na medição de um objeto parado, no caso da hélice, para um objeto em movimento dentro do campo de visão, como um inseto.

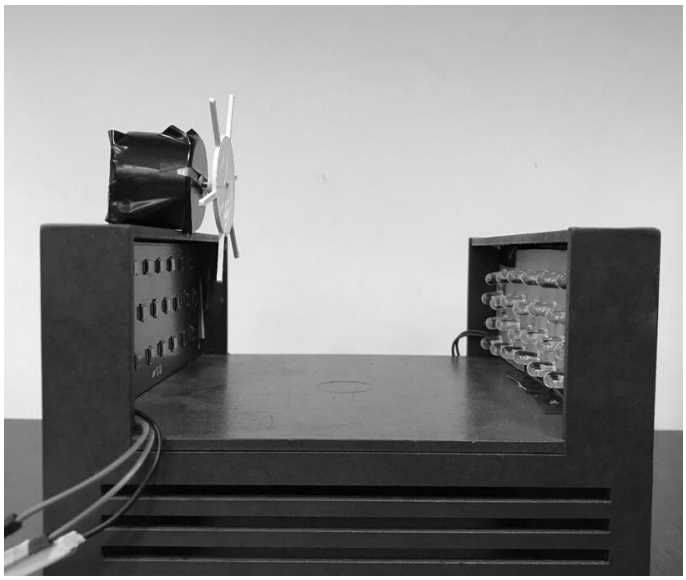


Fig. 7. Montagem do teste com a hélice giratória

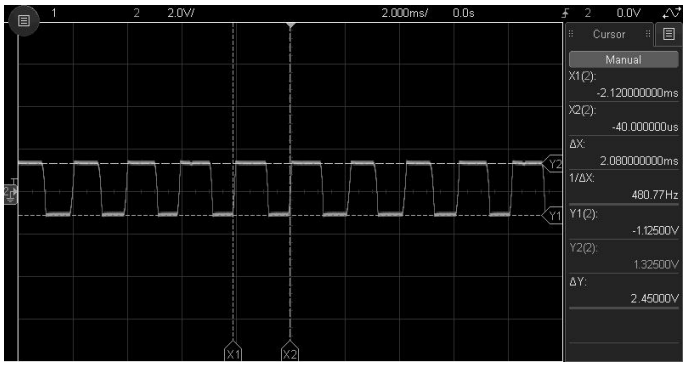


Fig. 8. Saída do filtro passa-baixa em teste com a hélice em 4800 rpm

IV. Conclusão e Trabalhos Futuros

Após a pesquisa, construção e testes do protótipo, constatou-se que essa alternativa é viável para detecção de batimento de asas de insetos e devido ao baixo consumo de energia, é capaz de integrar aplicações com recursos energéticos limitados. Também pela solução adotada, tem imunidade alta contra interferências luminosas externas, como iluminação artificial e luz solar. Dessa forma, abre-se um grande leque de possibilidades para construção de soluções IoT que utilizem essa abordagem. Como trabalho futuro, planeja-se um extenso teste envolvendo mosquitos reais para uma melhor adaptação e calibração do algoritmo detector de frequências bem como do circuito em geral. Também é planejado uma integração do sensor com um módulo de comunicação LORA e uso de um sistema de alimentação composto por placa fotovoltaica e baterias. Pretende-se construir uma solução que opere sem interferência humana, permaneça longos períodos sem estar conectado à rede elétrica e comunique-se a longas distância para análise das populações de insetos em determinadas regiões.

Referências

[1] gatesnotes.com. *The Deadliest Animal in the World*. URL: https://www.gatesnotes.com/Health/Most-Lethal-Animal-Mosquito-Week (acesso em 04/2019).

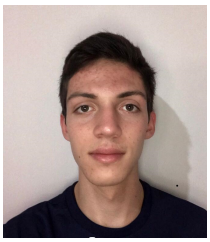
[2] Ministério da Saúde. *Boletim Epidemiológico*. URL: http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2017/marco/14/2017006-Monitoramento-dos-casos-de-dengue-febre-de-chikungunya-e-febre-pelo-virus-Zika-ate-a-Semana-Epidemiologica-7.pdf (acesso em 04/2019).

[3] I. Potamitis e I. Rigakis. "Large Aperture Optoelectronic Devices to Record and Time-Stamp Insects' Wingbeats". Em: *IEEE Sensors Journal* 16.15 (ago. de 2016), pp. 6053–6061. ISSN: 2379-9153. DOI: 10.1109/JSEN.2016.2574762.

[4] Analog Devices Inc. *Filter Design Tool — Filter Wizard — Analog Devices*. URL: https://tools.analog.com/en/filterwizard/ (acesso em 04/2019).

[5] G. E. A. P. A. Batista, Y. Hao, E. Keogh e A. Mafra-Neto. "Towards Automatic Classification on Flying Insects Using Inexpensive Sensors". Em: *2011 10th International Conference on Machine Learning and Applications and Workshops*. Vol. 1. 2011, pp. 364–369.

Autores



Gustavo Fernandes Moreira é estudante de Engenharia de Telecomunicações no Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel. Possui formação de Técnico de Telecomunicações (2018) pela Escola Técnica de Eletrônica - ETE FMC.

Guilherme Augusto Barucke Marcondes possui graduação em Engenharia Elétrica Ênfase Em Eletrônica e Telecom (1991) e Mestrado em Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (2005) e Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (2016). Possui também especialização em administração pela FEA/USP (1999). Atualmente é professor titular, coordenador dos cursos de Engenharia de Computação e de Engenharia de Software, Pró-Diretor de Graduação, Vice-Diretor e membro do conselho diretor do Instituto Nacional de Telecomunicações.

Sistema de sensoriamento de corrente elétrica utilizando IoT

Ítalo Augusto de Sousa Tacca, João Pedro Dias Antiquera,
Eliza Aparecida Crisóstomo Reis, Marcelo de Oliveira Marques,
Antônio Alves Ferreira Junior
italo_augusto@get.inatel.br joao_antiquera@get.inatel.br
elizaaparecida@get.inatel.br marcelo@inatel.br
antonia@inatel.br,
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

***Abstract*—This document presents the development of an smart sensing, using Internet of Things (IoT), to be implemented in the public space of the National Institute of Telecomunications (INATEL), will be demonstrated the progress, the challenges, as well as the solutions found.**

***Index Terms*—Charger, car, IoT, sensor.**

***Resumo*—Este documento apresenta o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento de corrente elétrica inteligente, utilizando Internet das Coisas (IoT), para ser implementado no espaço público do campus do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Serão demonstrados o progresso, desafios, assim como as soluções encontradas.**

***Palavras chave*—Corrente elétrica, IoT, sensor.**

I. Introdução

Os meios de transportes atualmente utilizados são altamente dependentes de combustíveis fósseis. A OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) estima que o número de veículos para transporte de passageiros tende a aumentar nas próximas décadas, gerando um grande problema para a humaninade, pois o petróleo, além de ser um recurso natural finito, é um grande poluente do meio ambiente.[1]

A substituição de veículos com motor a combustão por veículos elétricos é vista como uma solução para a redução da dependência de combustíveis fósseis, em consequência disso contribuem para a diminuição da concentração de gases causadores do efeito estufa, responsável pelo aquecimento do planeta.

Para alimentar tais veículos elétricos é de extrema importância possuir um rigoroso sistema de gerenciamento de energia elétrica, pois conhecer a quantidade de energia gasta por um dispositivo permite uma maior eficiência no dimensionamento dos recursos elétricos.

II. Desenvolvimento

A. Tipos de circuitos de sensoriamento de corrente

Os circuitos de sensoriamento se subdividem em duas categorias: o invasivo e o não invasivo. O primeiro realiza a medição através da abertura do circuito de alimentação da carga, e o segundo pode medir simplesmente através do acoplamento do sensor tipo ”alicate”no condutor. Figuras 1 e 2.

Como um carregador de carros elétricos é um dispositivo alimentado por correntes da ordem de dezenas de *Ampères*, devido à sua elevada potência, o sensor não invasivo apresenta-se como a melhor opção para a construção de uma aplicação, pois por não exigir a abertura do circuito, evita problemas de aquecimento de emendas elétricas, além de possibilitar uma instalação mais simples e rápida. Devido à essas características, o tipo não invasivo foi escolhido para compor o circuito de sensoriamento do sistema.

Fig. 1. Sensor de corrente elétrica invasivo [2].

Fig. 2. Sensor de corrente elétrica não invasivo [3].

B. Circuito desenvolvido

O modelo de sensor utilizado foi o YHDC SCT013-100, que pode medir correntes elétricas de 0 a 100A com uma saída em nível de corrente em uma faixa de 0 a 50mA. Para que a corrente seja mensurável por um dispositivo microcontrolado é necessário um circuito conversor do sinal de saída de nível de corrente para nível de tensão. Esse circuito pode ser montado com componentes resistivos e capacitivos como ilustrado na figura 3:

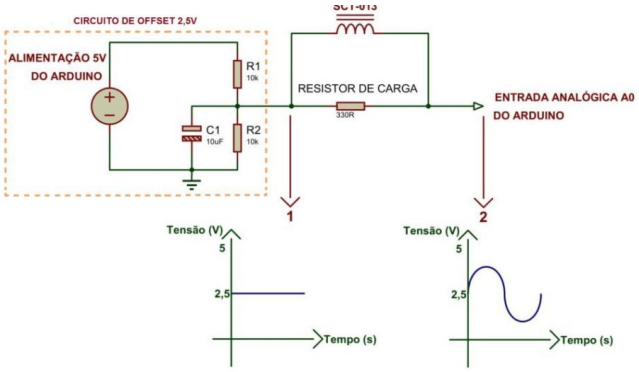


Fig. 3. Circuito construido para o funcionamento do sensor [4].

O circuito funciona da seguinte forma: o sinal de saída do sensor é uma corrente alternada de comportamento senoidal que ao passar por um resistor de carga produz diferença de potencial. Como o sistema microcontrolado mede somente sinais de corrente continua é necessário transformar o sinal AC do sensor em DC. Isso é feito montando um divisor de tensão com dois resistores de mesmo valor e adicionando um capacitor eletrolítico em paralelo a um deles. Ao ligar o resistor de carga ao ponto médio do divisor eleva-se o valor médio de tensão sobre a carga, resultando em um sinal de tensão senoidal com nível médio igual à metade da tensão de alimentação do circuito.

É necessário calibrar o circuito antes de colocá-lo em funcionamento, calculando o valor do resistor de carga de acordo com a faixa de corrente a ser medida, da seguinte forma:

$$Resistor\,(\Omega) = \frac{(Aref \times CT)}{(2\sqrt{2} \times Imax)} \quad (1)$$

Onde:

- Aref é a tensão de referência do microcontrolador,
- CT é o número de espiras da bobina do sensor (2000) e
- Imax é a corrente RMS máxima no condutor a ser medida.

Além disso é necessário ajustar os parâmetros de calibração na programação do microcontrolador. A faixa de corrente escolhida para a calibração dos testes é de até 10A. Porém, para utilização com um carregador de carros elétricos, deve-se calibrar para a faixa de até 100A. [5]

Após a definição do circuito a ser utilizado, desenvolveu-se uma placa de circuito impresso para acomodar os componentes e evitar problemas relacionados à mal contato, utilizando o *software Altium*. A figura 4 demonstra o *design* de PCB.

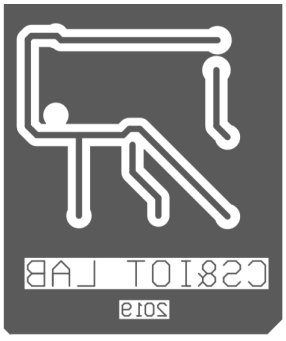


Fig. 4. PCB.

Para acomodar a placa com o circuito, desenvolveu-se uma caixa com as dimensões 13x13x7cm. O *software* utilizado foi o *SolidWorks* e a caixa foi confeccionada com material polimérico em uma impressora 3D.

C. Microcontrolador

Para que o sistema de sensoriamento se tornasse ”inteligente”, foi necessário implementar o circuito desenvolvido juntamente com um sistema microcontrolado, a fim de tratar as informações geradas pelo sensor e tomar as ações necessárias. O *Arduino* é uma plataforma educacional de prototipagem eletrônica com uma ampla linha de placas microcontroladas. Essas placas permitem uma rápida programação utilizando linguagem C/C++ e a mais popular entre elas é o *Arduino UNO*.

Inicialmente, devido ao baixo custo e alta disponibilidade optou-se pela utilização de um *Arduino UNO* para a aplicação de sensoriamento. Após a implementação da programação, notou-se instabilidades na operação do sistema causadas pela memória limitada do microcontrolador, por isso o *Arduino UNO* foi substituído por um *Arduino Mega*, que possui uma capacidade de memória superior, sendo capaz de operar o sistema com estabilidade e confiabilidade. Figura 5.

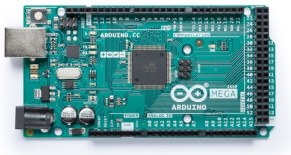


Fig. 5. *Arduino Mega [6].*

D. Interface HTML

Em sequência iniciou-se o desenvolvimento de uma aplicação de interação do usuário com o sistema. O Inatel possui uma plataforma de gerenciamento para a contrução de aplicações IoT denominada *SmartCampus*. Essa plataforma possui suporte à protocolos de comunicação entre dispositivos como HTTP (*HyperText Transfer Protocol*), amplamente utilizado em páginas da internet e MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), um protocolo *Machine-to-Machine* com ênfase em internet das coisas cujo uso vem crescendo rapidamente.

Para integrar o sistema ao *SmartCampus* implementou-se o protocolo MQTT no *Arduino* capaz de requisitar os dados de sensoriamento ao *SmartCampus* com protocolo HTTP e mostrar ao usuário que opera o sistema. O HTML é uma linguagem de programação desenvolvida na década de 1990 para a contrução de páginas na internet, atualmente é mantida pela W3C (*World Wide Web Consortium*).

E. Database of Things

A partir da necessidade de armazenar os dados obtidos pelo sensoriamento iniciou-se a implementação de um banco de dados em um servidor.

O conjunto LAMP é um pacote de software de código aberto para o desenvolvimento e implementação de aplicações

para Web de maneira simples. Ele é constituido pelo sistema operacional *Linux*, o servidor HTTP *Apache*, o banco de dados MYSQL e a linguagem de programação PHP.

Devido à facilidade de implementação do LAMP e à sua gratuidade, ele foi escolhido para a implentação do banco de dados com as aplicações *Web* desenvolvidas.[7]

O LAMP foi implementado em uma máquina virtual com o sistema operacional Ubuntu executando sobre a plataforma VMWARE, um software muito utilizado em servidores para virtualização. Após essa implentação, a página HTML desenvolvida foi modificada com código PHP para possibilitar que os dados recebidos do *SmartCampus* sejam enviados ao MYSQL.[8] A figura 6 demonstra todo o sistema de sensoriamento.

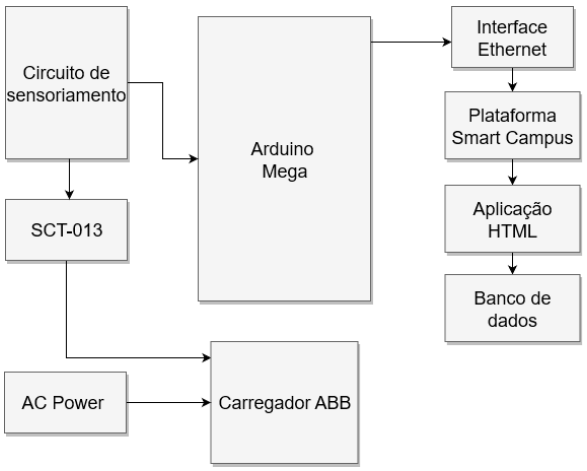


Fig. 6. Diagrama de blocos.

F. Demostração do teste realizado

Iniciando-se os teste, após acoplar o sensor SCT-013 a carga que se desejava medir, ligou-se o circuito utilizando uma fonte de 9V.Com o sistema calibrado, foi induzido a medir a própria corrente consumida ao funcionar. Isso é possível acoplando o alicate do sensor em um dos condutores do cabo que alimenta todo o circuito. Figura 7.

Fig. 7. Cirtuito de teste.

Em sequência realizou-se a checagem das leituras na plataforma do *SmartCampus* e na página *Web*, onde é possível ver uma tabela com 3 colunas, divididas em potência (W), corrente (A) e consumo (R$), referentes aos gastos energéticos do dispositivo. Figura 8.

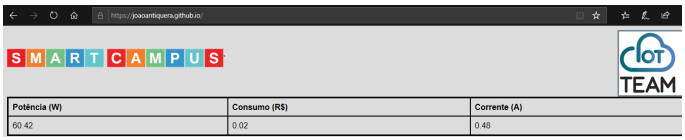


Fig. 8. Aplicação HTML.

Enquanto os dados coletados podem ser acessados tanto pelos gráficos do *SmartCampus*, quanto pela página Web, o histórico de todas as medidas pode ser consultado através do MYSQL. Figuras 9 e 10.

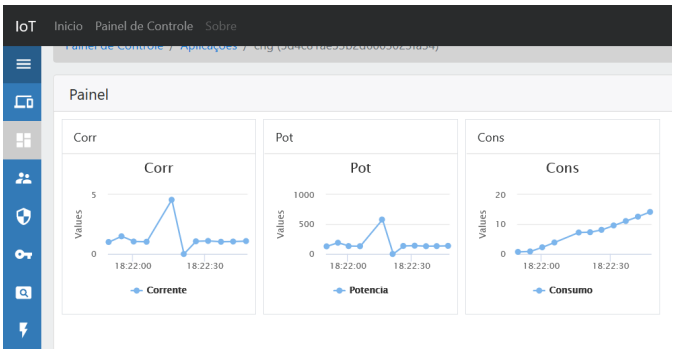


Fig. 9. Plataforma Smart Campus.

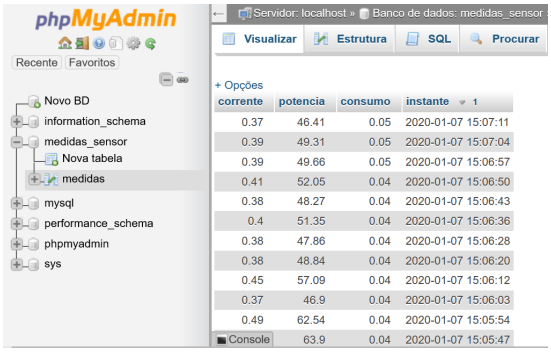


Fig. 10. Bando de dados.

III. Conclusão

Ao longo do desenvolvimento do projeto notou-se que o sistema de sensoriamento inteligente cumpre perfeitamente a sua proposta, pois é capaz de medir a intensidade da corrente elétrica com precisão e calcular outros parâmetros elétricos como potência e consumo, armazenando e disponibilizando esses dados em uma plataforma digital.

Além disso, devido a possibilidade de calibração para diferentes faixas de corrente elétrica, notou-se que o sistema pode ser utilizado para medição de outros dispositivos elétricos, até mesmo os de baixo consumo como um computador ou uma lâmpada, permitindo por exemplo, o controle de custos em ambientes empresariais, através da análise de cada equipamento ligado à rede elétrica e os horáios que a demanda energética é maior. Destaca-se ainda a possibilidade de utilização dos dados gerados para aplicações de segurança cibernética utilizando-os para verificar a atividade de um sistema computacional.

Referências

[1] Joaquim Carlos Novais de Freitas. “Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos”. Em: *Universidade do Minho* (2012), pp. 2–3.

[2] filipeflop. *Sensor de Corrente ACS712 -30A a +30A*. URL: https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-corrente-acs712-30a-a-30a/ (acesso em 13/01/2020).

[3] Arduino eletronica. *Sensor De Corrente Não Invasivo 100a Sct-013*. URL: https://www.arduinoeeletronica.com.br/produto/sensor-de-corrente-nao-invasivo-100a-sct-013/ (acesso em 13/01/2020).

[4] Ezequiel Demetras. *SCT-013 – Sensor de Corrente Alternada com Arduino*. URL: https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/ (acesso em 13/01/2020).

[5] Aneel. *RECARGA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS*. URL: https://www.aneel.gov.br/documents/10184/0/Recarga+de+Ve%C3%ADculos+El%C3%A9tricos+-+Levantamento+de+informa%C3%A7%C3%B5es+do+Corredor+El%C3%A9trico+Sul+do+Brasil/fad49adf-0e06-062e-ef11-814e6232f372?version=1.0.

[6] ARDUINO.CC. *ARDUINO - Introduction*. URL: https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction (acesso em 13/01/2020).

[7] Gustavo Magella. *LAMP on Azure — O que é? Como Criar? [Scriptando]*. URL: gustavomagella.com/lamp-azure-o-que-e-como-criar-scriptando/ (acesso em 10/01/2020).

[8] Carlos E. Morimoto. *VMware]*. URL: https://www.hardware.com.br/termos/vmware (acesso em 10/01/2020).

Ítalo Augusto de Sousa Tacca é Graduando em Engenharia de Telecomunicações pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações. Bolsista de Iniciação Científica no CS&I LAB - Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas. Monitor nas disciplinas de Introdução à Engenharia de Telecomunicações e Cálculo Numérico. Tem interesse nas áreas de Programação de Embarcados e Física.

João Pedro Dias Antiquera, Graduando em Engenharia de Telecomunicações pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações. Bolsista de Iniciação Científica no CS&I LAB - Laboratório de Segurança Cibernética e Internet das Coisas. Monitor de mecânica dos sólidos e resistência dos materiais. Medalhista de ouro na olimpíada de programação Inatel 2018.2. Interesse na área de PD&I.

Controle de Dispositivos Residenciais utilizando IoT

Ana Clara dos Santos Rosa, Arielli Ajudarte da Conceição,
Eliza Aparecida Crisóstomo Reis, Marcelo de Oliveira Marques, Antonio Alves Ferreira Junior
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
ana.ac@ges.inatel.br, arielli.a@get.inatel.br, elizaaparecida@get.inatel.br, marcelo@inatel.br, antonioa@inatel.br

***Abstract*—This project aims to create a fully connected environment, that allows the control of devices in a house, using the concept of Internet of Things. In this, an application is responsible for sending the control information, through the MQTT protocol, so that, according to the programming inserted in a Node MCU ESP8266, it is possible to load simple loads, such as a lamp or a curtain. In addition to a temperature control performed by an air conditioning simulator. The tests demonstrated that the components fit the proposal, concluding that the prototype reaches its initial objective**

***Index Terms*—App, Broker, IoT, MQTT, Node MCU**

***Resumo*—Este trabalho objetiva a criação de um ambiente conectado que possibilite o controle de dispositivos de uma casa, utilizando o conceito de Internet das Coisas. Nele, um aplicativo é o responsável por mandar as informações de controle, através do protocolo *MQTT*, para que, de acordo com a programação inserida em um *Node MCU ESP8266*, seja possível acionar cargas simples, tal como uma lâmpada ou uma cortina. Além de controle da temperatura, realizado por um simulador de ar-condicionado. Os testes demonstraram que os componentes adequam-se à proposta, concluindo que o protótipo atinge seu objetivo inicial.**

Palavras chave*—Aplicativo, *Broker, IoT, MQTT, Node MCU

I. Introdução

De acordo com o [1], Internet das coisas (*IoT*) se refere ao conceito de uma interligação das coisas (físicas e virtuais) baseadas na interoperabilidade das tecnologias de informação e de comunicação existentes e em evolução.

”Dispositivos Residenciais”é um projeto realizado em parceria com o *Smart Campus* do *Inatel*, que faz a prototipação de um ambiente automatizado, de modo que seja possível representar a comunicação entre vários equipamentos de uma casa. Para isso é utilizado o protocolo de aplicação *MQTT*, o qual possibilita a troca de mensagens e comandos entre a aplicação e o *Hardware*.

II. Metodologia

Este trabalho é uma pesquisa-ação que faz uso da Metodologia da Engenharia e, para ser desenvolvido, foi dividido em etapas menores executadas por cada uma das integrantes da equipe, e concluído para que pudesse ser implementado e validado.

Faz uso de Eletrônica Básica, Microcontroladores e Desenvolvimento de *Software*, enquadrando-se nas áreas de Automação Residencial, Engenharia de Telecomunicações, Engenharia de *Software* e Redes de Telecomunicações.

III. Desenvolvimento

O projeto é dividido em *Software*, a parte de programação, e *Hardware*, a parte física.

A. SOFTWARE

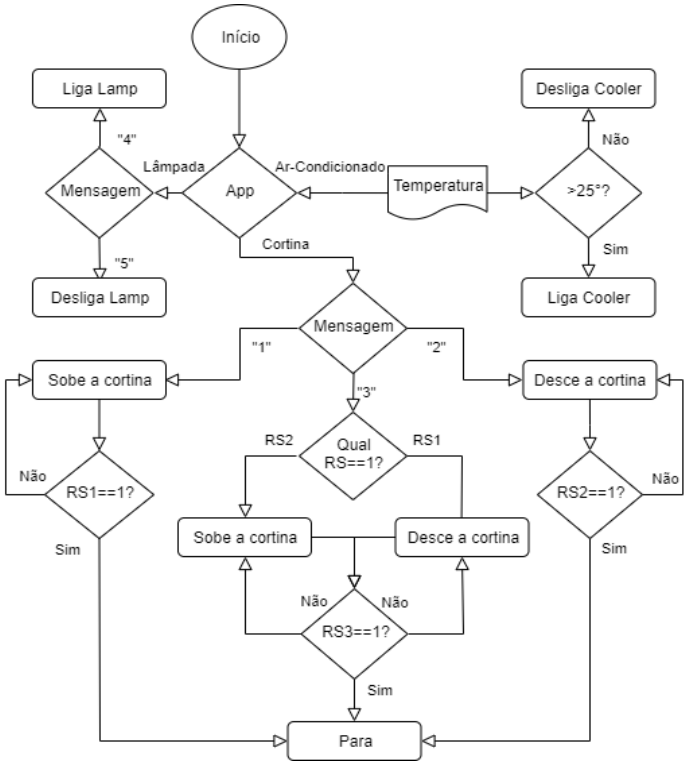


Fig. 1. Fluxograma.

O fluxograma exibido na Figura 1 simplifica o funcionamento geral do projeto composto pelo código do aplicativo e o do microcontrolador.

a.1) Aplicativo

O aplicativo consiste em uma interface com o usuário. Ele é o encarregado de enviar e receber dados atráves do protocolo *MQTT*, desenvolvido através da plataforma *Android Studio*, e foi programado na linguagem *Java*. Essa plataforma se trata de uma *IDE* que permite a criação de aplicativos para dispositivos móveis *Android*.

Ele oferece a opção de enviar comandos através da fala ou por botões convencionais. Caso o usuário decida operar o aplicativo por comando de voz, é necessário estar em um ambiente sem muitos ruídos, pressionar o botão de voz e falar o procedimento pretendido, de forma clara e objetiva. Se o usuário desejar que a cortina suba, por exemplo, deverá dizer ”subir cortina”, e assim por diante. A aplicação do comando de voz foi feita através do método *setOnClickListener*, nativo do *Android*, responsável pela captação de fala e transcrição para texto.

Seguindo a lógica do fluxograma, no aplicativo há três ítens disponíbilizados o ar-condicionado, a cortina e a lâmpada. Estes são os dispositivos que estão atualmente conectados ao projeto e podem ser visualizados na tela inicial, mostrada na Figura 2.

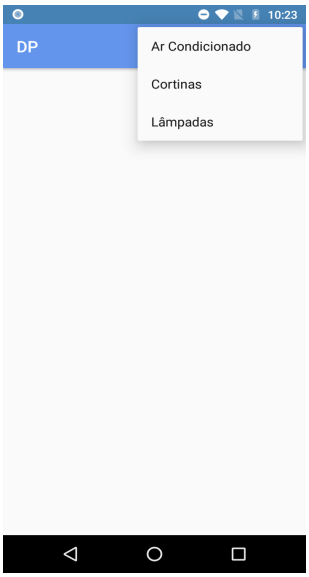


Fig. 2. Ítens.

Após a seleção do ítem da cortina ou o da lâmpada, uma tela do dispositivo em questão é aberta, onde são oferecidos alguns botões com as opções de controle e outro para acionar o comando de voz. Quando um comando é feito, por qualquer um desses meios, é enviado um número de 1 à 5 ao *broker MQTT*, de acordo com o que foi selecionado. Esse número é publicado e recebido pelo *Node MCU*, onde a ação é realizada.

Na Figura 3 é mostrada a tela da cortina com os botões com as opções de controle da movimentação e o de acionamento do comando de voz, o qual exemplifica o que foi citado acima.

Fig. 3. Tela Cortina.

Já escolhendo o ar-condicionado, são exibidas no aplicativo, Figura 4, as informações de temperatura que foram recebidas da comunicação *MQTT*.

Fig. 4. Tela Temperatura.

a.2) Node MCU

O *Node MCU ESP8266* é o ”cérebro”do projeto. É nele que é realizada a ação requerida no aplicativo. Isso ocorre devido a um código *Wiring* baseado em *C/C++*, programado na IDE do *Arduino 1.0.1*, que permite a conexão com a *Internet* e com o *broker MQTT*, o recebimento das informações da comunicação *MQTT* e dos sensores de entrada, o processamento de todos esses dados e a ação de resposta dos dispositivos de saída. Essas informações recebidas do *broker* são os números publicados através dos comandos enviados pelo aplicativo. Se for pedido para acender uma lâmpada, por exemplo, o *app* manda essa mensagem, através do protocolo, o *ESP8266* analiza-a e, de acordo com sua função, faz com que a lâmpada acenda.

Detalhando o funcionamento geral, por exemplo, da cortina, quando o usuário solicita o acionamento de subida ou descida, os números ”1”e ”2”são enviados, respectivamente. Esses números são recebidos pelo microcontrolador que faz com que o motor execute a ação desejada enquanto o *Reed Switch* (abreviado para RS no fluxograma) não responde com um nível lógico alto, mostrando que a cortina alcançou seu limite e deve parar. Além disso, há a oportunidade de fazê-la parar no meio, através de um terceiro RS, que se encontra no meio dos outros dois sensores. Seu funcionamento baseia-se no lugar em que a cortina parou seu movimento, ou seja, em qual *Reed Switch* ela parou ao ter sido fechada ou aberta. Dependendo dessa localidade, a cortina deve subir ou descer até que alcançe esse terceiro sensor. A organização e explicação do funcionamento desses sensores podem ser vistas no tópico de *Hardware*.

Para o ar-condicionado, no entanto, o *ESP8266* publica os dados de temperatura no *broker* para o aplicativo receber e, além disso, gerencia o acionamento da ventoinha/*cooler*.

B. HARDWARE

No diagrama em blocos da Figura 5 são mostrados os principais módulos do projeto, descritos a seguir.

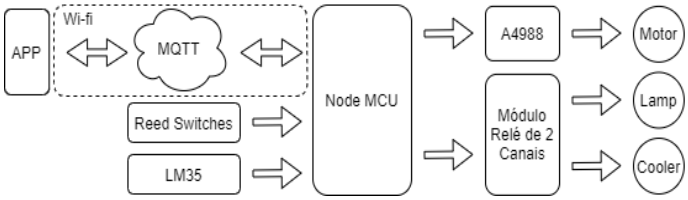


Fig. 5. Diagrama em Blocos.

b.1) ar-condicionado

O sensor de temperatura *LM35* e uma ventoinha de computador de 12V (*cooler*) simulam um ar-condicionado. Quando a temperatura medida pelo sensor ultrapassa 25°C, a ventoinha liga para estabilizá-la, com a ajuda de um relé para acionamento/desacionamento. Após isso, os dados de temperatura são publicados no *broker* e mostrados no aplicativo.

b.2) cortina

De acordo com a opção de controle selecionada no aplicativo, o *Node MCU* faz com que a cortina suba, desça ou pare no meio. Sua movimentação é realizada pelo motor de passo *Nema 17*. O controle de seus passos ocorre por meio de dois pinos do microcontrolador, ligados aos pinos *STEP* (passo) e *DIR* (direção) do módulo *A4988*. Na Figura 6 é apresentada a montagem entre *driver*, o motor, e o *ESP8266*.

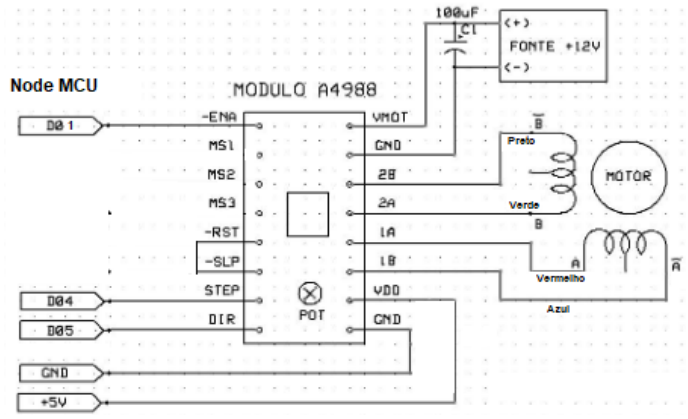


Fig. 6. Diagrama de Montagem.

A cortina é feita de um tecido simples e foi projetada de acordo com o modelo Persiana Rolô, que tem um rolo cujo movimento faz com que ela suba ou desca.

Os sensores magnéticos *Reed Switches* definem quando essa movimentação deve parar. Eles fazem isso devido às suas características de fecharem seus contatos quando são excitados por campos magnéticos de ímãs. Em vista disso, três sensores foram colocados ao lado da janela do protótipo e um ímã foi preso a barra da cortina, de modo que, quando passe pelo *Reed Switch*, ele fecha contato, parando o movimento do motor, segundo a programação do microcontrolador.

Cada comando tem um sensor magnético de parada, portanto, não há como um interferir no outro.

b.3) lâmpada

Uma lâmpada, alimentada pela rede elétrica, também com a ajuda de um relé para acionamento, acende ou apaga a partir dos comandos requeridos no aplicativo.

b.4) Node MCU

Segundo o [2], o *Node MCU* é uma plataforma open source da família *ESP8266*, de baixo custo, suporte integrado a redes *Wi-Fi*, tamanho reduzido e baixo consumo de energia, o que o torna ideal para aplicações em *IoT*.

Sua função no projeto é fazer todo o processamento dos dados recebidos da comunicação *MQTT* e pelos sensores e enviá-los para os dispositivos de saída, para que assim possam realizar seus respectivos comandos.

b.5) protótipo

Durante o desenvolvimento do projeto houve várias versões de protótipos para o projeto. A mais atual pode ser vista na Figura 7.

Fig. 7. Protótipo final.

Ela foi produzida no *FabLab* do *Inatel* através de uma máquina de corte à laser. Os suportes, a cortina, entre outros detalhes, foram ajustados pela marcenaria e também pelas integrantes da equipe.

A alimentação do protótipo implementado consiste em uma fonte de 5V para alimentar o *Node MCU*, o módulo relé e os *Reed Switches*, outra de 12V para a ventoinha, o motor e o driver e a rede elétrica de 127V eficazes para a lâmpada.

C. PROTOCOLO MQTT

Segundo o [3], o *MQTT* é um protocolo simples e leve, que permite a conexão com a *Internet*, o que o torna padrão para tecnologias *IoT*.

No diagrama ele é visualizado como uma nuvem entre o *App* e o microcontrolador, enquanto as setas mostram que ao mesmo tempo que ambos recebem mensagens, eles também enviam, através da rede *Wi-fi*.

Ele funciona como esquema de troca de mensagens que é fundamentado no modelo *Publish-Subscribe*, no qual há um *broker*, um servidor que recebe e encaminha mensagens, e

vários clientes, que são os equipamentos conectados a esse servidor.

Quando um cliente se conecta a um *broker MQTT*, ele assina um ”tópico”qualquer. Ao ser publicada uma mensagem pelo usuário nesse tópico, o *broker* encaminha-a a todos os clientes que o assinarem. Seguindo essa organização, é possível especificar que determinados clientes somente podem interagir com determinadas mensagens. Nesse projeto, por exemplo, as mensagens que são recebidas do aplicativo estão em um tópico (o ”app”) e as que são enviadas à ele estão em outro (”temp”), justamente para que as mensagens não se misturem.

D. TESTES REALIZADOS

A princípio, iniciou-se o desenvolvimento do *Firmware* do microcontrolador, adaptado do [4], que contêm os comandos envolvendo a comunicação *MQTT*. Ele foi programado através da *IDE* do Arduino, ensinado no tutorial em [5]. Após isso, funções foram criadas para cada um dos dispositivos controlados.

Esses componentes foram previamente testados em programas exemplos, encontrados em alguns tutoriais, verificando se funcionavam corretamente e se atendiam ao que era requerido. Eles foram implementados no programa principal do *Node MCU*, e em seguida, testados com os comandos solicitados pela própria Serial do *Arduino*. Posteriormente foi utilizado o aplicativo *MyMQTT*, e a plataforma chamada *CloudMQTT*, encontrada em [6], para testar a comunicação *MQTT*, e só depois de serem incluídos no aplicativo eles foram testados e validados.

A Figura 8, da serial do *Arduino* mostra as conexões com a *Internet* e com o *broker* sendo concluídas, a chegada das mensagens e a realização dos comandos.

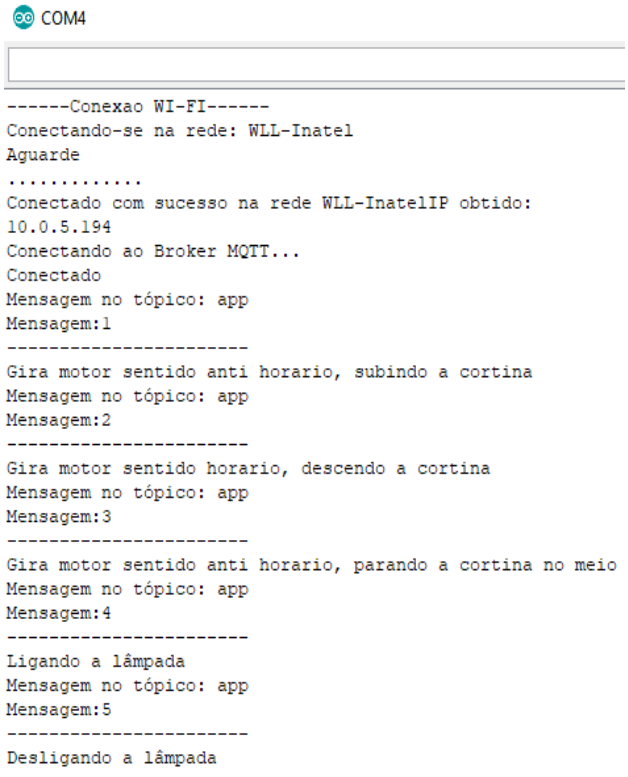


Fig. 8. Serial do Arduino.

O aplicativo foi iniciado com base no tutorial em [7]. Para testá-lo, utilizaram-se emuladores tanto do próprio *Android Studio*, quanto celulares requisitados do laboratório.

O primeiro ítem controlado pelo projeto foi a cortina. O código e a montagem entre o driver e o motor foi baseado no tutorial em [8]. Antes de inserir no protótipo, foi visualizado o giro do motor em funcionamento e testada também a sua força, verificando se o motor conseguiria movimentá-la e não espanar.

Com a inserção das opções de controle da cortina na tela principal do aplicativo, o Node MCU pôde ser testado junto ao *app*. Após os testes foi visto que o motor realizava movimentos que não estavam dentro do proposto. Mais tarde, foi descoberto que esses movimentos eram realizados para que ele voltasse à posição inicial de seu giro. Esse erro foi corrigido com a implementação de um comando de sua biblioteca no código do *Node MCU* (*setCurrentPosition(0)*), conhecido no site [9], que, após um giro, redefinia-se a posição em que foi parado para a nova posição 0, impedindo que o motor tentasse fazê-la sozinho.

Até então, a programação do motor da cortina era girar por um tempo de aproximadamente 7 segundos, o que às vezes fazia com que ela subisse um pouco mais ou menos do que o esperado. Isso foi corrigido com a implementação de 2 *Reed Switches*: um para cada comando de descer e subir a cortina. Para possibilitar mais opções de controle, foi acrescentada, tanto no aplicativo quanto no codigo do *Node MCU*, a opção ”Parar no meio”, o que levou a inserção de um terceiro sensor. A inclusão desses sensores foi baseada no tutorial em [10].

Posteriormente à conclusão da cortina, a lâmpada foi incluída nos programas, mas, na prática, ela não acendia. Para arrumar isso, foi seguido o tutorial em [11], onde foi acrescentado um relé para acionamento.

Por último, foi anexado mais um ítem, o ar-condicionado. Para isso, foi feito um simulador. Após os testes, foi visto que o *cooler*/ventoinha também precisava de um relé para acionamento e foi seguido o tutorial em [12] para tal.

Como eram necessários 2 relés, tanto para a lâmpada quanto para a ventoinha, foi priorizada a utilização de um módulo relé de 2 canais.

Após todos os testes terem sido concluídos com êxito, deu-se prioridade ao aplicativo, que apenas contava com vários botões na tela principal sem nenhuma separação e organização de ítens. Esse problema foi resolvido com auxílio de vídeo-aulas ínstrutivas [13, 14], que ajudaram na organização do *layout*. Novas abas foram criadas para os ítens, além de um menu de escolhas para cada um deles. A tela do ar-condicionado, no entanto, continha o valor de temperatura que estava sendo medido pelo *LM35*. Procurou-se acrescentar um gráfico com esses valores, para que o usúario obtivesse mais informações sobre o dispositivo, mas, após várias falhas, a ideia foi abandonada, dando prioridade para outros recursos importantes, como o controle por voz.

Ele foi implementado utilizando o método nativo do *Android*. Com esse recurso é possível captar o áudio enviado pelo aplicativo e transformá-lo em texto, dando a possibiidade de enviar comandos para os dispositivos sem precisar de muitos movimentos. Inicialmente foi realizado um teste padrão

para entendimento do método, mas foi encontrado um erro de compatibilidade de comandos envolvendo os botões e o comando por voz. Para resolvê-lo,foi utilizada a comparação de *strings*, de modo que somente um comando fosse enviado para o *broker*. Com isso, obteve-se êxito nessa função.

IV. Conclusão

Objetivando criar um ambiente automatizado, o projeto ”Dispositivos Residenciais”simula uma casa inteligente. Ao usuário é dado o direito de determinar as ações que ele quer realizar na casa enquanto o projeto faz com que essas ações sejam realizadas, devido ao *ESP8266* e um conjunto de sensores, entre outros componentes.

Compreender ainda mais o *IoT* na prática foi um dos maiores conhecimentos adquiridos, além de conhecer alguns componentes e trabalhar com o protocolo *MQTT*.

Algumas dificuldades surgiram na elaboração do projeto, tais como o desenvolvimento no *Android Studio*, já que não havia prática com a linguagem *Java*, além de vários problemas de instabilidade da plataforma. Ademais, o controle dos dispositivos através do reconhecimento da fala foi fonte de alguns problemas devido a falta de conhecimento desta tecnologia. Vários testes foram realizados a fim de gerar maior entendimento.

Para futuras versões, poderão ser implementados novos equipamentos, melhorar e automatizar ainda mais o comando por voz do aplicativo e inserir mais configurações, de forma que o ambiente seja totalmente controlado para uma ação em específico, como estudar ou dormir. Além de acrescentar novas funções de controle de temperatura.

Referências

[1] ITU-T. *Global Standards for the Internet of Things*. URL: www . itu . int / en / ITU - T / techwatch / Pages / internetofthings (acesso em 10/2019).

[2] Master Walker. *NodeMCU – Uma plataforma com características singulares para o seu projeto ioT*. URL: https : / / blogmasterwalkershop . com . br / embarcados/nodemcu/nodemcu-uma-plataforma-com-caracteristicas - singulares - para - o - seu - projeto - iot/ (acesso em 10/2019).

[3] IBM. *Conhecendo o MQTT*. URL: https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html (acesso em 10/2019).

[4] Filipeflop. *Controle e Monitoramento IoT com NodeMCU e MQTT*. URL: https://www.filipeflop.com/blog/controle-monitoramento-iot-nodemcu-e-mqtt/ (acesso em 09/2019).

[5] RoboCore. *Como programar o NodeMCU com Arduino IDE*. URL: https://www.robocore.net/tutoriais/como-programar - nodemcu - arduino - ide . html (acesso em 09/2019).

[6] CloudMQTT. *Hosted message broker for the Internet of Things*. URL: https://www.cloudmqtt.com (acesso em 09/2019).

[7] Wildans Tech Blog. *MQTT Android Client Tutorial*. URL: https : / / wildanmsyah . wordpress . com / 2017 / 05 / 11/mqtt-android-client-tutorial/ (acesso em 09/2019).

[8] Arduino e Cia. *Como usar o driver A4988 com motor de passo Nema 17*. URL: https://www.arduinoecia.com.br/driver-a4988-com-motor-de-passo-nema-17/ (acesso em 09/2019).

[9] AccelStepper. *AccelStepper Class Reference*. URL: https: / / www . airspayce . com / mikem / arduino / AccelStepper / classAccelStepper.html (acesso em 11/2019).

[10] Engcorper. *Tutorial: Sensor Magnético com Arduino*. URL: http : / / engcomper . blogspot . com / 2011 / 09 / tutorial - sensor - magnetico - com - arduino . html (acesso em 10/2019).

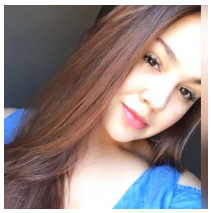
[11] FilipeFlop. *Controlando lâmpadas com Módulo Relé Arduino*. URL: https://www.filipeflop.com/blog/controle-modulo-rele-arduino/ (acesso em 10/2019).

[12] Maker Pro. *How to Make a Temperature-Controlled Fan Using Arduino*. URL: https://maker.pro/arduino/projects/how - to - make - a - temperature - controlled - fan - using - arduino (acesso em 11/2019).

[13] CODEficando. *Como criar Menus no ActionBar da activity usando Android Studio*. URL: https : / / maker . pro / arduino / projects / how - to - make - a - temperature - controlled-fan-using-arduino (acesso em 12/2019).

[14] CODEficando. *Como invocar Activities e passar parâmetros no Android Studio*. URL: https : / / www . youtube . com / watch ? v = NvYPmMgAmcw & feature = youtu.be (acesso em 12/2019).

Autores



Ana Clara dos Santos Rosa é Técnica em Informática (2018) pelo Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - Campus Pouso Alegre. Graduanda em Engenharia de Software pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL. Bolsista de Iniciação Científica no CS&I Lab na área de Internet of Things com o projeto ”Dispositivos Residenciais”.

Arielli Ajudarte da Conceição é Técnica em Telecomunicações (2018) pela Escola Técnica em Eletrônica - ETE ”FMC”. Graduanda em Engenharia de Telecomunicações pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL. Monitora de Introdução à Engenharia de Telecomunicações no INATEL. Bolsista de Iniciação Científica no CS&I Lab na área de Internet of Things com o projeto ”Dispositivos Residenciais”.

Smart Bike Inatel

Yara Caroline Tavares Mendes, Thamer Reis Leme, Pedro Henrique Carmo Piantino,
Eliza Aparecida Crisóstomo Reis, Marcelo de Oliveira Marques,
Antonio Alves Ferreira Junior
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
yaracaroline@get.inatel.br, thamer.reis@get.inatel.br, pedro.h@get.inatel.br,
elizaaparecida@get.inatel.br, marcelo@inatel.br,
antonioa@inatel.br

***Abstract*—The purpose of this document is to provide information on the development of the Smart Bike project. Such as: the materials used, development methods and results.**

***Index Terms*—About four keywords or phrases in alphabetical order, separated by commas. GPS, IoT, Map, RFID, Smart Bike**

***Resumo*—O propósito deste documento é fornecer informações sobre o desenvolvimento do projeto Smart Bike. Tais como: os materiais utilizados, métodos de desenvolvimento e resultados.**

***Palavras chave*—GPS, IoT, Mapa, RFID, Smart Bike.**

I. Introdução

Internet das Coisas (*Internet of Things*) é um termo que tem se popularizado muito nos últimos anos. Trata-se da interconexão digital de objetos cotidianos com a internet. Nesse contexto uma bicicleta pode se tornar uma *Smart Bike* permitindo um sistema de compartilhamento de bicicletas.

A bicicleta desempenha um papel importante na sociedade atual, sendo um veículo econômico, não poluente e muito eficiente a curtas distâncias, sendo uma das principais alternativas para mobilidade sustentável. Porém uma das dificuldades de se ter uma bicicleta nos dias de hoje é a preocupação de onde guardá-la.

Nesse cenário que surgem as bicicletas comunitárias, que utilizando conceitos de Internet das Coisas (tais como localização e acesso a partir de um cartão RFID) permitem que o usuário pegue a bicicleta em um ponto e devolva em outro.

O protótipo descrito nesse artigo é voltado para uma *Smart Bike* do Inatel, sendo que alunos e funcionários terão acesso a partir da carteirinha da instituição.

II. Materiais

Os materiais utilizados nesse projeto foram: Arduíno Mega, NodeMCU, sensor RFID, sensor GPS (GY-NEO6MV2).

A. Arduíno Mega

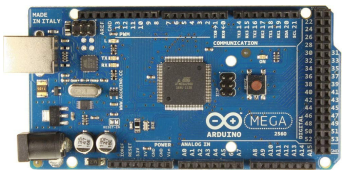


Fig. 1. Arduíno Mega.

A placa Arduino Mega 2560 (Fig.1) é mais uma placa da plataforma Arduino que possui recursos bem interessantes para prototipagem e projetos mais elaborados. Baseada no microcontrolador ATmega2560, possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM. Possui 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial. Além da quantidade de pinos, ela conta com maior quantidade de memória que Arduino UNO, sendo uma ótima opção para projetos que necessitem de muitos pinos de entradas e saídas além de memória de programa com maior capacidade.[1]

B. NodeMCU

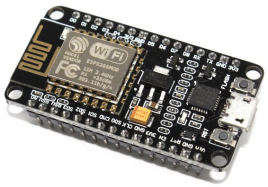


Fig. 2. NodeMCU.

O módulo Wifi ESP8266 NodeMCU (Fig.2) é uma placa de desenvolvimento que combina o chip ESP8266, uma interface usb-serial e um regulador de tensão 3,3V. A programação pode ser feita usando LUA ou a IDE do Arduino, utilizando a comunicação via cabo micro-usb.[2]

C. RFID

Fig. 3. RFID.

Este módulo leitor RFID baseado no chip MFRC522 (Fig.3) da empresa NXP é altamente utilizado em comunicação sem contato a uma frequência de 13,56MHz. Este chip, de baixo consumo e pequeno tamanho, permite sem contato ler e escrever em cartões que seguem o padrão Mifare, muito usado no mercado.[3]

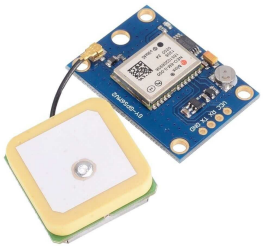


Fig. 4. GPS.

D. GPS

Este módulo GPS é baseado no módulo NEO-6M (Fig.4) da empresa U-Blox, o mesmo é capaz de identificar a localização global via satélite (GPS) e informar ao projeto por meio de uma simples comunicação RS232 TTL (UART). Para seu funcionamento é necessário que seja aplicado em conjunto com um microcontrolador. Caso se opte utilizar a programação pela IDE do Arduino é necessário que seja baixada uma biblioteca chamada TinyGPS++, sendo que a biblioteca disponibiliza alguns exemplos de programas para facilitar o seu projeto.[4]

E. Inatel Smart Campus

A plataforma do Inatel Smart Campus é uma Plataforma IoT REST para gerenciar e armazenar informações e definições de dispositivos.

III. Métodos

A. Protótipo

O protótipo da Smart Bike é estruturado com base no diagrama da Fig.5.

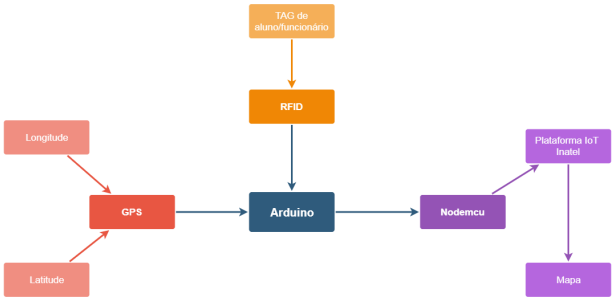


Fig. 5. Diagrama Geral do Protótipo.

O Arduíno Mega é o centro de todo o processamento, pois além de ter mais pinos em relação ao NodeMCU, possui memória de programa com maior capacidade. Ele recebe as informações do GPS e do RFID, faz o devido tratamento e envia a informação captada para o NodeMCU.

O NodeMCU está sendo utilizado como porta de acesso à internet. É responsável por enviar os dados processados pelo Arduíno para a plataforma do Inatel Smart Campus.

A plataforma do Inatel Smart Campus funciona como um banco de dados, onde todas as informações captadas pelos sensores é armazenada.

Para que a implementação desse protótipo funcione a carteirinha deve ser previamente cadastrada, pois se caso não estiver o sistema não identifica e a bicicleta não será liberada.

O protótipo pronto com o GPS, o RFID, o Arduíno e o NodeMCU integrado está apresentado nas Fig.6 e 7.

Fig. 6. Informação no Inatel Smart Campus.

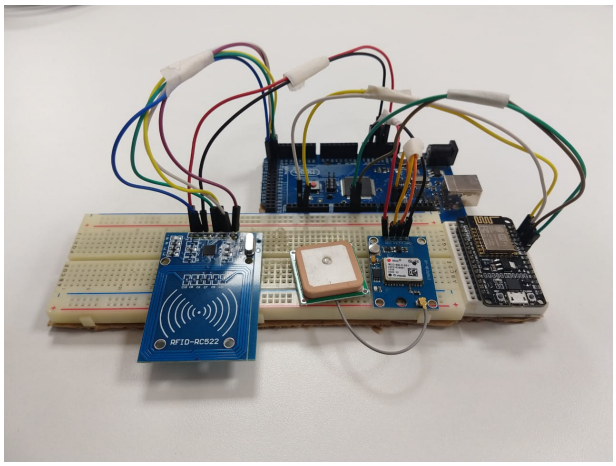


Fig. 7. Protótipo finalizado.

B. Mapa

Para que a localização pudesse ser facilmente interpretada, tanto para o usuário como para o controle da localização das bicicletas, foram criados dois mapas com Node.js que busca a localização na plataforma do Inatel Smart Campus e transforma as coordenadas em pontos no mapa.

Um dos mapas é focado para mostrar somente a última localização da bicicleta, afim de que ela seja facilmente localizada (Fig.8). O outro mostra a rota que o usuário percorreu com a bicicleta (Fig.9).

IV. Conclusão

O projeto ainda é um protótipo, porém já se mostra eficiente quando se trata de localização e identificação da carteirinha.

Para o futuro do projeto será criado um protótipo implementado na bicicleta, que contará com uma placa solar para poder

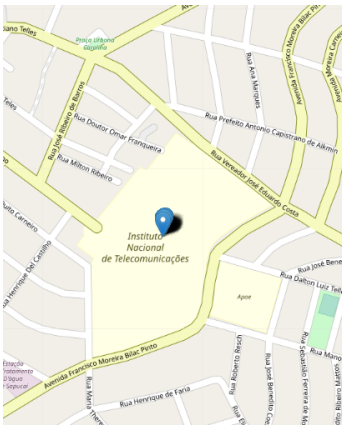


Fig. 8. Exemplo do mapa mostrando somente o ultimo ponto.

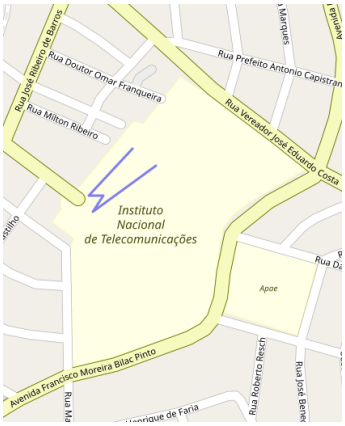


Fig. 9. Exemplo do mapa mostrando a rota.

alimentar o circuito. Além disso, será adicionado um motor elétrico afim de auxiliar nas pedaladas a longas distâncias.

O NodeMCU será substituído por um módulo GPRS, afim da bicicleta ter conexão a internet em qualquer lugar, e não limitado ao Wi-Fi como no caso do NodeMCU.

Outro fator determinante para o futuro desse projeto e a preocupação com a segurança do mesmo. Ou seja, serão criados mecanismos de segurança para proteger o dispositivo e o sistema para que não haja roubo da bicicleta, clonagem do cartão de identificação e nem roubo de informações pessoais.

REFERÊNCIAS

[1] Embarcados. *Arduino MEGA 2560*. URL: https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/ (acesso em 02/02/2020).

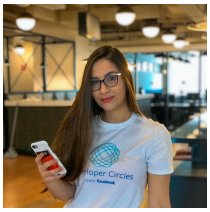
[2] Filipeflop. *Módulo WiFi ESP8266 NodeMcu ESP-12*. URL: https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp8266-nodemcu-esp-12/ (acesso em 02/02/2020).

[3] Filipeflop. *Kit Módulo Leitor Rfid Mfrc522 Mifare*. URL: https://www.filipeflop.com/produto/kit-modulo-leitor-rfid-mfrc522-mifare/ (acesso em 02/02/2020).

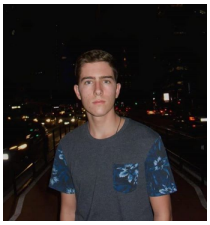
[4] Curto Circuito. *Módulo GPS - 6MV2*. URL: https://www.curtocircuito.com.br/modulo-gps-6mv2.html (acesso em 02/02/2020).

AUTORES

Pedro Henrique Carmo Piantino aluno do 7º período Engenharia de Telecomiunições do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações), ex monitor de Cálculo Numérico, desenvolveu projeto de iniciação científica no laboratório LAMBDA (2018), assim como no CS&I Lab (2019), contribuiu com projeto no laboratório IOT Research Group e realizou estudos na Alemanha pela faculdade de ciências aplicadas Jade Hochschule.



Yara Caroline Tavares Mendes aluna do 7º período de Engenharia de Telecomunicações do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações), monitora de Física I e II, Redes de Computadores e Sistemas de Comunicação II. Contribuiu em projetos em Iniciação Científica nos laboratórios IoT Research Group (2018), onde publicou um artigo na conferência ICTC (Information and Communication Technology Convergence), e CS&I Lab (2019). Líder da comunidade de desenvolvedores Facebook Developer Circles Santa Rita do Sapucaí.



Thamer Reis Leme aluno do 3º período Engenharia de Telecomiunições do INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações), técnico em eletrônica (2018) pela Etec Getúlio Vargas. Bolsista de Iniciação Cientifica na área de IoT no CS&I Lab (2019).

Eliza Aparecida Crisóstomo Reisaluna do 9º período do curso de Engenharia de Telecomunicações do Inatel, atual estagiária na área de Optimize da Ericsson Telecomunicações. Ex estagiária na área de Ensino e Pesquisa do CS&I Lab, ex bolsista de iniciação científica no ICT Lab e no projeto Arduino Challenge e ex monitora de Algoritmos e Estruturas de Dados I.

Marcelo de Oliveira Marques

Antônio Alves Ferreira Junior

Braço Robótico Para Ensino da Engenharia

Bruce Carnavos de Oliveira Feijolo, Vinicius Seiji Otani, Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
brucecarnavos@geb.inatel.br, vinicius.otani@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

***Abstract*—The area of Biomedical Engineering has gained a lot of space in the market due to its significant importance in the role of applying technology in favor of the health of society. The Assistive Technology Development and Transfer Center (CDTTA) based at the National Telecommunications Institute (Inatel) carried out research to demonstrate a practical example in this area. A robotic arm that performs the movements of flexion and extension of the phalanges and has an anatomical similarity to a real arm was developed in order to demonstrate and disseminate Biomedical Engineering in Brazil.**

***Index Terms*—Biomedical Engineering, Assistive Technology, Robotic Arm.**

***Resumo*—A área da Engenharia Biomédica no decorrer dos anos tem ganhado muito espaço no mercado de trabalho devido a sua grande importância no papel de aplicar a tecnologia em prol da saúde da sociedade. A fim de demonstrar um exemplo prático de aplicação nesta área, foi feita uma pesquisa desenvolvida no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Foi realizado o desenvolvimento de um braço robótico que realiza os movimentos de flexão e extensão das falanges e que possuí similaridade anatômica de um braço real, com a finalidade de demonstração e divulgação da Engenharia Biomédica.**

***Palavras chave*—Engenharia Biomédica, Tecnologia Assistiva, Braço Robótico.**

I. Introdução

A robótica é uma ferramenta inovadora e dinamizadora do processo de ensino/aprendizagem em instituições de ensino. Utilizada em universidades, proporciona um crescente interesse dos alunos nas novas abordagens de educação da área de engenharia, tendo como resultado um crescimento notável do aprendizado, como relatado pela *University of the Basque Country (UPV/EHU)*. [1] [2]

A engenharia de reabilitação é uma das mais recentes especialidades da engenharia biomédica e se concentra basicamente na pesquisa e produção de equipamentos e próteses. Assim atua diretamente na indústria ou de forma multidisciplinar, junto à unidade de terapia e instituições de pesquisa. Aliada aos recentes avanços conquistados no campo do processamento de sinais biológicos e neuro-transmissores, constituem uma das áreas de maior desenvolvimento nesse setor e vem criando novas perspectivas para atuação da medicina na criação de terapias mais eficazes.[3]

A mão humana possuí a capacidade de sensibilidade, força e principalmente de realizar uma ampla variedade de movimentos, através de um conjunto de 27 ossos, 19 músculos, 17 articulações e alguns tendões, que são responsáveis por toda mobilidade da mão. Seus movimentos variam de flexão e extensão com amplitude de 85º para movimentos de adução e abdução com variedade de 15º a 45º. O Braço Robótico relaciona todo o estudo biológico para a sua confecção em relação à semelhança anatômica humana, juntamente com o conhecimento da robótica que possibilita a movimentação da estrutura do braço, mostrando assim, a mecânica dos movimentos. [4]

Acredita-se que a robótica exerce certo fascínio que pode ser aproveitado como efeito motivador para realização de atividades didáticas. Em outras palavras, a robótica pode ser uma forma eficaz de despertar o desejo de aprender e a curiosidade dos alunos. [2]

O significado da engenharia é a aplicação de conhecimentos científicos e empíricos, e certas habilitações específicas, a criação de estruturas, dispositivos e processos para converter recursos naturais em formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas. Os resultados dela advindos e expostos aos alunos no ensino médio podem atrair novos profissionais para a carreira de engenharia. [5]

O objetivo desta pesquisa foi o desenvolvimento de um braço robótico, que proporciona ao público contato com uma demonstração prática da engenharia biomédica. O propósito da realização de movimentos no braço robótico, é gerar curiosidade nos alunos que o observam. Foi fornecido um braço robótico ao Núcleo de Relacionamento com Colégios (NRC), tendo como intuito gerar interesse sobre a engenharia, atraindo novos profissionais para a área.

II. Metodologia

Para a confecção do braço robótico, foi feito um estudo de fisiologia, biomecânica, anatomia, processamento de dados, circuitos eletrônicos, linguagem de programação em C dentre outros. A pesquisa foi dividida em três partes principais: impressão 3D, *hardware* e *software*.

A. Impressão 3D

Para a elaboração do Braço Robótico, foi utilizada a modelagem de peças as quais foram adquiridas em parceria com a Universidade Federal de Catalão e Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Para o modelamento do antebraço houve a necessidade da utilização de plataformas como *SolidWorks (Dassault Systémes, Waltham, Massachussets, EUA) e 3ds MAX (Discreet Kinetix, e atualmente Autodesk. Inc., California, EUA)*.

A primeira aquisição das medidas foram feitas no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA), a partir de medidas realizadas com um paquímetro nos antebraços dos membros da equipe. As medições ocorreram em 3 regiões, sendo elas, o punho, a parte medial do antebraço e a parte distal do mesmo. Deste modo, foi adotado para a realização do braço a média entre os valores encontrados dos dois antebraços reais. Houve também a tomada

das medidas reais de um antebraço através do escaneamento utilizando o Kinect (*Prime Sense*) e *softwares* adicionais, como Skanect (ManCTL, Colorado, EUA), NiTE e OpenNI (*Prime Sense*, Israel) para realizar a comunicação com o computador.

Devido as parcerias com as universidades já citadas, foram fornecidos arquivos de modelagem do braço à equipe de desenvolvimento do Braço Robótico do CDTTA, os quais foram impressos em Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) vermelho pela impressora de fabricação com filamento fundido (FFF).

B. Hardware

Em sua parte funcional, primeiramente, foram usados elásticos redondos transpassados internamente entre as falanges dos dedos na parte posterior da mão robótica, a fim de realizar uma força restauradora para retornar os dedos para as posições iniciais de mão aberta. Os elásticos realizam o movimento de extensão, que acontece quando há o aumento do ângulo relativo.

Na parte anterior da mão, foram utilizadas linhas de multifilamento. Essa linha possui baixa elasticidade e grande resistência, a linha de multifilamento foi considerada uma opção para melhorar a durabilidade. Fixadas nas falanges distais e passadas internamente entre as falanges média e proximal. As linhas, provenientes dos dedos, se encontraram internamente na palma da mão, onde ocorre o entrelaçamentos que resulta em uma única linha conectada aos 5 dedos, que foi ligada ao servo motor disposto no antebraço (Figura 1).

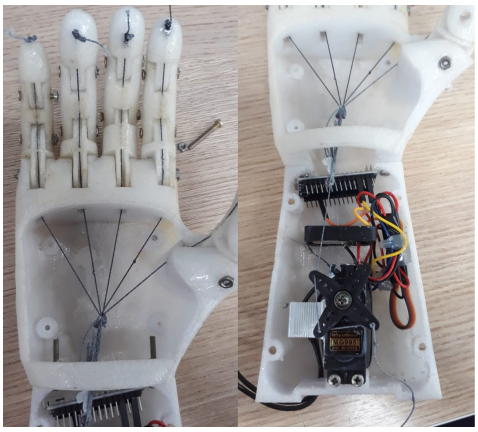


Fig. 1. linhas entrelaçadas ligadas ao motor

Servomotor é uma máquina, eletromecânica, que apresenta movimento proporcional a um comando, como dispositivos de malha fechada, ou seja: recebem um sinal de controle, que verifica a posição atual, para controlar o seu movimento indo para a posição desejada. O motor utilizado no projeto foi o PDI MG5521 com 20.32 [kg.cm] de torque que realizou todo o trabalho de flexão e extensão dos dedos, para a refrigeração do mesmo foi acoplado um micro ventilador de 40x40x12 [mm] com tensão de 5 [volts].

Para realizar a flexão, além do servo motor, foi utilizada a linha multifilamento. Essa possui a função de conectar os dedos e o motor. Quando o servo motor realiza sua rotação, surge uma força tensora na linha, tirando o dedo da posição inicial (estendido) e realizando a flexão.

Para a alimentação do circuito foi utilizada uma fonte de corrente contínua (CC) de 5V e 2.5 A, ligada ao Arduino Nano V3.0 Atmega328p e ao servo motor, sendo que em paralelo com o motor existe um micro ventilador. A ligação em paralelo foi utilizada pois possui como característica, manter a mesma tensão elétrica entre os componentes em paralelo, ou seja a mesma tensão entregue pela fonte.

O fornecimento do sinal de controle, que o servo motor necessita para realizar o movimento, foi feita pela plataforma micro controlada Arduino, o microcontrolador utilizado foi o Nano V3.0 Atmega328p por conta de suas dimensões e a possibilidade de colocá-lo dentro do braço robótico.

C. Software

Através da plataforma de computação Arduino, foi possível enviar os parâmetros para o servo motor, esses parâmetros são ângulos de rotação, como por exemplo rotacionar do ângulo inicial de 0 até o ângulo final de 180 graus. Com o objetivo de não gerar esforço indevido no motor, foram realizados testes de flexão e extensão para chegar ao ângulo final ideal, sendo o inicial fixado em 0 graus. O ângulo final ideal é quando há o fechamento completo da mão, sem que o motor faça esforço indevido. Após os testes e ajustes, o ângulo final foi 135 graus, como indicado no fluxograma (Figura 2).

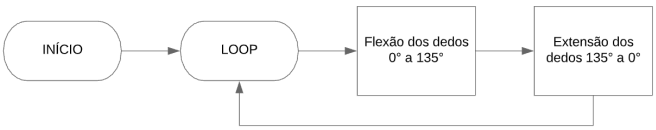


Fig. 2. Fluxograma do código

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização da montagem e finalização do braço robótico, foram feitos alguns testes para a verificação da temperatura, no primeiro teste o protótipo foi colocado por trinta minutos em funcionamento e logo após, mediu-se sua temperatura com um termômetro digital a laser, verificando assim que houve um aumento considerável de sua temperatura em relação ao padrão estabelecido pelo fabricante do servo motor, chegando a conclusão de que havia a necessidade da implementação de 2 pequenos dissipadores na lateral do motor, a fim de que o mesmo possua um desempenho de qualidade para o sistema. Assim foi adicionando entre os dissipadores e a lateral do servo motor, uma pasta térmica entre suas superfícies para que haja uma maior eficiência na queda da temperatura. Logo após o acoplamento dos dissipadores, foi realizado um segundo teste de funcionamento com a mesma quantidade de tempo que foi estabelecido no primeiro teste e após a segunda medição de temperatura, concluiu-se que houve uma redução considerável de temperatura no sistema se adequando aos padrões necessários para um bom desempenho.

Foi feito um último teste de funcionamento, que consiste em simular um evento, deixando o braço robótico ligado durante cinco horas ininterruptas. Como resultado do teste, foi obtido o pleno funcionamento do braço robótico durante o período de cinco horas, esse resultado demonstra que o braço robótico pode ser exposto em eventos.

Foi feito um braço robótico na cor vermelha, foram notadas melhorias na extensão e flexão (Figura 3) dos dedos, causadas pela implementação de linhas multifilamentares.

Fig. 3. Posição inicial e final da mão

O braço robótico branco (Figura 4) foi utilizado em exposições contribuindo como recurso físico, gerando curiosidade e interesse nos alunos de ensino médio. Estas exposições são realizadas pelo Núcleo de Relacionamento com Colégios (NRC) e variam entre feiras de tecnologias, visitas em escolas de ensino médio, e visitas ao INATEL, tendo como objetivo expor e despertar interesse nos cursos de engenharia.

Fig. 4. Braços robóticos concluídos

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O braço robótico vermelho será fornecido ao NRC, substituindo o branco, que ficará com o grupo para execução de melhorias. Com base nos resultados obtidos neste projeto, são sugeridos como pesquisas futuras: aumentar a interatividade da mão por meio de sensores e melhorar o desempenho energético do protótipo.

REFERÊNCIAS

[1] R. Priego E. Irigoyen E. Larzabal. “Low-cost platforms used in Control Education: An educational case study”. Em: *IFAC Proceedings Volumes* 46 (2013), pp. 256–261. DOI: https://doi.org/10.3182/20130828-3-UK-2039.00058. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015341100.

[2] Marilza Vanessa Rosa Suzano Juliano Rodrigues Miranda. *ROBÓTICA PEDAGÓGICA: PRÁTICA PEDAGÓGICA INOVADORA*. URL: https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2009/3534_1980.pdf (acesso em 12/01/2020).

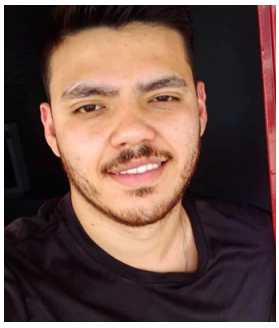
[3] Ana Maria Antonio. “A bioengenharia no Brasil, século XX: estado da arte”. Em: *Journal of Systems and Software* (2004). DOI: 10.11606/D.82.2004.tde-28062005-101940. URL: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/82/82131/tde-28062005-101940/publico/ana_maria_antonio.pdf.

[4] G. L. Carvalho. “Proposta de um método de projeto de próteses de membros superiores com a utilização da engenharia e análise do valor”. Em: *Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)*. São Paulo, SP, Brasil, 2004. DOI: 10.11606/D.3.2004.tde-12012006-103703. URL: http://doi.acm.org/0.11606/12012006-103703.

[5] A. B. H. Ferreira. *mini Aurélio, O minidicionário da língua portuguesa*. 4nd. Nova Fronteira, 2001. ISBN: 85-209-1114-5.

AUTORES

Bruce Carnavos de Oliveira Feijolo Graduando em engenharia biomédica no quarto período pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnico em eletromecânica pela Escola Técnica Pandiá Calógeras (ETPC), Bolsista de Iniciação Científica no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, .



Vinicius Seiji Otani graduando em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnico em administração pela Atual Mídia.Vice Assessor de Eventos do Crea-Minas Júnior, Núcleo de Santa Rita do Sapucaí. Ex monitor de Circuitos Elétricos da Casa Viva no Inatel e Bolsista de Iniciação Científica no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel.

Filipe Bueno Vilela graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.

Aprimoramento e validação de um jogo interativo para a reabilitação das mãos

Maria Clara Nascimento Costa
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
mariacosta@geb.inatel.br

Mariana Fernandes de Mendonça
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
marianafernandes@gep.inatel.br

Thaís de Cássia Couto
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
thaiscouto@geb.inatel.br

Elisa Rennó Carneiro Dester
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
elisa.renno@inatel.br

Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
filipe.bueno@inatel.br

Filipe Loyola Lopes
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
filipeloyola@geb.inatel.br

***Abstract*— Lately, increasingly use virtual reality (VR) in the physical therapy environment, use of playful treatment and greater efficiency, in addition to generating quantitative analyzes, which can be analyzed later by health professionals. One of the most used movements in daily life is the pincer movement, performed by the opposition of the thumb. Thus, to assist in the rehabilitation of people with difficulty in performing this movement with their hands or with attention and learning difficulties, the use of three movements (TM), which relates the coordination of financial movements with the neuromotor association of exercises-response and logical reasoning activity, collecting patient data using Leap Motion (LM), requiring the user to place as many objects in the virtual box, generating data for a more accurate diagnosis. In this study, we present as changes and corrections performed in the game, for its validation and the results obtained from the data collection.**

***Index Terms*— Physiotherapy, forceps movement, rehabilitation, validation.**

***Resumo*— Ultimamente, utiliza-se cada vez mais a realidade virtual (VR) no ambiente fisioterapêutico, proporcionando tratamento lúdico e de maior eficiência, além de gerar análises quantitativas, que poderão ser analisadas posteriormente pelo profissional da saúde. Um dos movimentos mais utilizados no cotidiano é o movimento de pinça, realizado pela oposição do polegar. Sendo assim, para auxiliar na reabilitação de pessoas que têm dificuldade de realizar esse movimento com ambas as mãos ou dificuldade de atenção e aprendizado, desenvolveu-se o jogo sério Three Move (TM), que relaciona coordenação de movimentos finos a associação neuromotora estímulo-resposta e a atividade de raciocínio lógico, coletando dados dos pacientes através do dispositivo *Leap Motion* (LM), exigindo que o usuário coloque o máximo de objetos dentro da caixa virtual, gerando dados para um diagnóstico mais preciso. Nesse estudo, apresentamos as alterações e correções realizadas no jogo, para sua validação, e os resultados obtidos da coleta de dados.**

***Palavras chave*— Fisioterapia, movimento de pinça, reabilitação, validação.**

I. Introdução

Os membros superiores são de grande importância, principalmente a extremidade, denominada mão, que possui capacidade sensorial, de preensão e de movimentação complexa e delicada, conferindo maior independência ao ser humano. Sabe-se que 90% dos movimentos produzidos pelas mãos necessitam da pinça digital, também denominado movimento de oposição, que é a aproximação do dedo polegar aos demais dedos e permitindo que a captação de objetos pelas mãos seja efetuada [1]. Graças a articulação carpometacarpiana do 1° dedo ser biaxial (selar), faz com que essa movimentação seja possível, diferenciando as mãos humanas das mãos de primatas, sendo capaz de realizar o manuseio de instrumentos de forma precisa como, por exemplo escovar os dentes, abotoar uma camisa, escrever e amarrar os cadarços [2, 3].

A reabilitação busca diminuir lesões traumáticas e nervosas que podem gerar sequelas motoras e/ou sensoriais, que podem afetar atividades ocupacionais e funcionais além de poderem ser permanente [4]. O processo de reabilitação tem como principal objetivo a recuperação funcional completa do indivíduo e minimizar sequelas, pois a falta do movimento traz uma redução da qualidade de vida [3,5].

Para a terapia de pacientes com déficit motor, atualmente, utiliza-se como padrão ouro o Teste da Caixa e dos Blocos, que é um teste que exige a transferência de 150 blocos de madeiras, de arestas de uma polegada cada, de um compartimento de uma caixa de madeira para outro compartimento, dentro do tempo de um minuto.

Fig. 1. Teste *Box and Blocks* - Padrão Ouro.

Em 2016, iniciou-se o desenvolvimento de um jogo sério para reabilitação do movimento de pinça, denominado Three Move (TM) e que já teve artigo publicado anteriormente, o jogo utiliza um sensor *Leap Motion* (LM) para a captação do movimento realizado pelos dedos, através de duas câmeras e três sensores infravermelhos. As câmeras conseguem detectar movimentos que aconteçam a um alcance de 60 centímetros acima e aos lados, proporcionando uma angulação de até 150 graus [6]. Dessa maneira, o TM permite terapias manuais menos maçantes e mais lúdicas, através de um ambiente 3D para interação com o usuário e um sensor *Leap Motion*, que realiza essa interação do mundo real com o mundo virtual sem contato direto com um dispositivo físico.

O cenário gráfico do jogo é glacial, contendo uma caixa e um bloco, com o objetivo de que o usuário pegue o objeto e insira o mesmo na caixa, durante o tempo determinado de um minuto. A cada objeto inserido corretamente na caixa, uma pontuação é computada. O objeto a ser inserido na caixa pode ser escolhido na tela inicial do jogo e com isso, o grau de dificuldade é alterado.

Também, é possível utilizar os óculos de realidade virtual (VR), sendo ele uma interface homem-máquina, na qual o usuário pode emergir e interagir com o jogo em um ambiente tridimensional gerado por computação gráfica, recriando detalhadamente determinado local e proporcionando a sensação real de estar presente no cenário virtual. Ao utilizar essa ferramenta, é possível obter impactos motivacionais, tornando os treinos mais frequentes e de maior período, sem que a pessoa perceba a que se encontra em uma terapia [7].

Ao final da sessão, um *feedback* é retornado ao profissional de saúde indicando a distância de abertura de pinça (distância entre os pontos distais do polegar e do dedo indicador), o tempo em que o usuário consegue sustentar o movimento, o tempo de reação neuromotora existente entre o aparecimento do objeto na tela, a preensão do objeto e sua soltura na caixa, além da pontuação atingida pelo usuário.

Contudo, o jogo apresentou alguns erros durante os testes realizados pela equipe, necessitando de algumas alterações para correção, visando o funcionamento correto. Sendo assim, após as modificações necessárias, o jogo TM está sendo validado para ser usado como ferramenta para reabilitação do movimento de pinça, fornecendo ao profissional de saúde, dados tão eficientes e condizentes como o padrão ouro.

II. Metodologia

O jogo Three Move foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), em 2018, e aprovado para validação como ferramenta fisioterapêutica, em 2019. Antes de inicializar a fase de validação, foram realizados testes no jogo a fim de encontrar possíveis erros. Os erros levantados foram solucionados e então, deu-se início a validação do jogo com os voluntários.

III. Resultados

A. Testes e erros

Como fator preparatório de validação, o jogo foi testado dez vezes, fazendo uso de ambas mãos, por pessoas de diferentes padrões físicos (estatura, idade, peso, mão dominante) e nos mais variados períodos do dia (manhã, tarde e noite). Com esses testes, erros foram detectados, como defasagem entre o movimento da mão virtual apresentada no jogo e a mão real do usuário, provocando movimentos involuntários pela mão simulada no ambiente gráfico, interferências da luz no sensor LM e erros advindos de subsequentes alterações no tempo do jogo.

A utilização dos óculos VR apresentou falhas devido à incompatibilidade dos recursos disponíveis com esse dispositivo, necessitando de aparelho celular que contivesse sensor giroscópio integrado ao seu sistema.

O VR teve seu funcionamento garantido após o uso de um dispositivo celular que atendeu todas as necessidades, sendo elas: sensor giroscópio integrado, *software* operacional atualizado e instalação da última versão do *software* Trinus, que é um aplicativo que realiza a comunicação do computador, o qual executa o jogo TM, com o celular, que é integrado aos óculos de realidade virtual.

Para a correção da defasagem de movimento da mão virtual, houve a atualização do *driver* do LM para a versão mais recente disponível, permitindo a compatibilidade do jogo com o dispositivo sensor *Leap Motion*. Para sanar as imprecisões causadas pelas modificações de período de jogo, definiu-se que o tempo de um minuto seria o utilizado na validação, já que é o tempo utilizado no padrão ouro, Teste da Caixa e dos Blocos, permitindo que o jogo em sua versão original fosse utilizado.

B. Validação do jogo

Para realizar a validação e testes com seres humanos que foi aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa, foram convidados 6 voluntários, sendo eles, metade alunos e metade funcionários do Inatel, com idade entre 18 e 30 anos, de ambos os sexos, tendo como mão dominante a direita.

Os testes foram realizados na sala preparada para coleta, localizada no CDTTA (Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva). Os voluntários foram escolhidos, respeitando os critérios adotados e registrados no documento enviado ao CEP, e convidados pessoalmente pelos pesquisadores.

Para a validação, os voluntários assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) em duas vias, aceitando serem submetidos aos procedimentos propostos e informados dos objetivos da pesquisa, sendo que uma via ficou com o participante e a outra com os pesquisadores. Além disso, responderam um questionário sobre as condições físicas e de saúde, denominado Anamnese.

Como experimentação, cada voluntário passou pela Etapa Three Move (ETM), com duração total de três dias de sessões iguais, entrepostos por um intervalo de 48 horas. Nessa etapa, tiveram contato apenas com o jogo Three Move, configurado com o grau de dificuldade difícil, projetado na tela de um computador, em que os voluntários tinham que colocar objetos virtuais em uma caixa também virtual.

Todas as sessões foram realizadas em ambiente padronizado, com boa iluminação e baixa sonoridade, livre de ruídos que pudessem interferir nos resultados da coleta de dados, mantendo o voluntário em sedestação, com tronco estável, 90° de flexão de quadril e joelho, e a posição inicial da mão dominante padronizada para todos os voluntários. Para não haver compensação no movimento, o cotovelo do lado não dominante se manteve flexionado a 90°.

Em cada sessão realizada, o voluntário executou um teste por um minuto com a mão dominante e ao final desse período, se manteve em repouso por mais um minuto. Esse processo se repetiu por três vezes, finalizando a sessão. Todos

os movimentos da mão dominante (mão direita), durante a coleta, foram filmados por uma câmera embutida em um aparelho celular, posicionada em um tripé na mesa de coleta, facilitando a cronometragem e a avaliação do tempo de preensão do objeto.

Os dados obtidos da coleta foram a quantidade de objetos pegos (pontuação); as distâncias máxima e mínima entre os dedos polegar e indicador (movimento de pinça); o tempo de reação do jogador após acertar o primeiro cubo e tentar captá-lo novamente (estímulo resposta); o tempo de preensão de sucesso/falha (tempo que consegue sustentar o movimento de pinça).

IV. Discussões

Em relação às interferências sofridas devido à luz ambiente, após a atualização do sensor LM, houve uma diminuição nos erros apresentados, garantindo maior confiabilidade na captação do movimento de pinça realizado pelos dedos durante execução do jogo.

Durante a validação, pode-se analisar que o tamanho das mãos dos voluntários interferia em seu desempenho, de modo que, pessoas que possuíam mãos menores e mais finas apresentavam um desempenho melhor do que os voluntários que possuíam mãos maiores ou mais grossas.

Outro aspecto importante observado, foi a progressão do voluntário em relação as sessões, sendo que no primeiro dia, os convidados apresentaram grande dificuldade no manuseio do objeto virtual e menor inteligência espacial, responsável por reconhecer seu posicionamento no espaço. Na última sessão, os voluntários apresentaram grande desenvoltura ao captar o objeto virtual e ao colocá-lo na caixa projetada na tela do computador, demonstrando que houve uma melhora sensorial do posicionamento espacial.

Ao fim das sessões, os convidados apresentaram maior motivação na participação, demonstrando ânimo e criando uma competição entre os demais voluntários, para tentar ultrapassar o recorde obtido nos dias anteriores.

V. Conclusões

Os dados obtidos, nas coletas durante as etapas da validação, estão sendo analisados utilizando técnicas de Bioestatística, de modo a comparar os grupos de voluntários de acordo com os parâmetros de mão dominante, idade, sexo e função exercida (aluno, funcionário ou professor do Inatel).

Após a participação dos voluntários na Etapa Three Move, podemos afirmar que o jogo Three Move é proveitoso e relevante para a reabilitação de pessoas com déficit motor das mãos, mais especificamente do movimento de pinça. Sendo, então, uma opção de terapia de forma lúdica que pode ser aplicado por profissionais da saúde para um diagnóstico mais preciso.

Referências

[1] Da Silva, Ernani Monteiro Vianna. “A Intervenção Cinesioterápica na Tenossinovite Estenosante de De Quervain Relacionada ao Trabalho". *Universidade Estácio de Sá*. Publicado em: 17 de fevereiro de 2006.

[2] Flanagan JR, Roland SJ. “Hand Movements". *Encyclopedia of the Human Brai*, v-2. p399-414.

[3] Silva FPP, de Freitas SMSF, Comenalle ES, Alouche SR. “Uncertainty in aiming movements and its association to hand function". *Motriz*, Rio Claro, v.21 n.3, p.222-229, 2015.

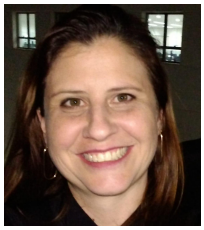
[4] Fonseca MCR, Mazzer N, Barbieri CH; Elui VMC. “Traumas da mão: estudo retrospectivo". *Rev Bras Ortop*. 2006; 41(5): 181-6.

[5] Ricci, F. P. F. M. et al. “Protocolo experimental para análise cinemática durante a utilização de órteses para membro superior". *USP*, Ribeirão Preto, p. (1993-1994). 2014.

[6] Costa PMF. “Aplicação para intervenção em terapia ocupacional com o Leap Motion [dissertação]". *Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto – ISEP*; 2014.

[7] Balista, Vania Gabriella. “PhysioJoy Sistema de Realidade Virtual para Avaliação e Reabilitação de Déficit Motor". *Departamento de Computação e Sistemas FAESA*, XII SBGames– São Paulo – SP – Brazil.

Autores

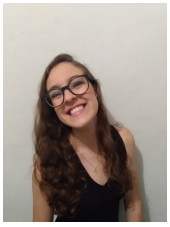


Elisa Rennó Carneiro Dester, fisioterapeuta formada pela Universidade Gama Filho (RJ) em 1999 ; Mestre em Ciências da Motricidade Humana pela Universidade Castelo Branco (RJ) em 2003; Professora do curso de pós graduação em Engenharia Clínica e Biomédica do Inatel; Professora do curso de Engenharia Biomédica do Inatel; Fisioterapeuta responsável pelo serviço de saúde da mulher do Hospital das Clínicas Samuel Libânio.

Filipe Bueno Vilela, graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.

Filipe Loyola Lopes, graduado em Engenharia Biomédica pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações e mestre em Engenharia Biomédica pela UFABC - Universidade Federal do ABC. Lecionou nos cursos de graduação e pós-graduação lato sensu do INATEL, onde atuou com pesquisa e desenvolvimento no CDTTA - Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva e na orientação de estágio aplicado a Engenharia Clínica. Entre 2017 e 2019 trabalhou na coordenação do programa de especialização em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica do INATEL. Foi pesquisador voluntário do grupo Biomecânica e Forense da UNIFESP - Universidade Federal de São Paulo. Atualmente é Tecnologista de Campo no INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, vinculado ao LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia na área de instrumentação eletrônica, realizando padronização de processos e sistemas, planejamento e execução da manutenção preventiva, corretiva e integração de sensores e dispositivos de telemetria. Possui experiência nas áreas de instrumentação, equipamentos odonto-médico-hospitalares, tecnologia assistiva e engenharia clínica.

Mariana Fernandes de Mendonça, graduanda em Engenharia de Produção pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), pesquisadora de Iniciação Científica no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) nos projetos "Three Move: Jogo Interativo para Reabilitação do Movimento de Pinça" e "New House".



Maria Clara Nascimento Costa, atualmente cursando o nono período de Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Trabalhou como voluntária no projeto Cas@ Viva e estagiou voluntariamente na área de Engenharia Clínica no Hospital de Santa Rita do Sapucaí. Estagiou também na empresa EXSTO Tecnologia na área de Gestão de Projetos e atualmente estagia na empresa LM Biotecnologia, em Belo Horizonte, na área de Engenharia Clínica. Fez alguns cursos e mini cursos na área de Engenharia Biomédica onde um deles em intercâmbio na Alemanha. Além disso, durante a faculdade tem aprimorado conhecimentos através de iniciações científicas, participações em feiras tecnológicas e desafios de desenvolvimento.

Thaís de Cássia Couto, graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), pesquisadora de Iniciação Científica no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) nos projetos "Three Move: Jogo Interativo para Reabilitação do Movimento de Pinça" e "Track Hosp: Sistema de Localização de Cadeira de Rodas em Ambiente Indoor".

Cicloergômetro adaptado para atividade hemodialítica

Emerson Assis do Couto, Kaique da Silva Santos, Leonardo Garcia Ferraz da Silva, Rodrigo Propato Guerra
Elisa Rennó Carneiro Dester, Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
kaiquesantos@gea.inatel.br, leonardo.garcia@geb.inatel.br, emersoncouto@gea.inatel.br, rodrigopropato@gea.inatel.br
elisa.renno@inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

***Abstract*—The cycle ergometer allows the practice of aerobic exercises, during treatment of cronical renal disease (DRC) that support in physical rehabilitation of patient. The objective of this project is create, improve and optimize in maximum points of machine reaffirming your versatility, however with the focus in maximum optimization of the process, making the operation complete and simplified. The addiction of all exercise modes (passive, weathered and free), summed with components that allows controlling and monitoring the exercises by a complete and simple way permits to the hemodialysis process be incremented of benefits like increasing of functional capability of patients.**

***Index Terms*—Cycle ergometer, Optimize, Rehabilitation, Simplified.**

***Resumo*—O cicloergômetro permite a prática de exercícios aeróbicos durante o tratamento da doença renal crônica (DRC) auxilia na reabilitação física do paciente. O intuito do projeto foi criar, aprimorar e otimizar pontos do aparelho reafirmando a sua versatilidade, porém com foco na otimização máxima do processo, tornando a operação mais completa e simplificada. A adição de todos os modos de exercicio (passivo, resisitido e livre), somados a componentes que permitam monitorar e controlar de modo mais completo e simples o exercício, permitem que os resultados da operação de hemodiálise sejam incrementados de beneficios como melhora da capcidade funcional dos pacientes.**

***Palavras chave*—Cicloergômetro, Otimização, Reabilitação, Simplificada.**

I. Introdução

A doença renal crônica (DRC) é definida como sendo uma lesão dos rins com perda gradual e irreversível de suas funções. Em seus estágios mais avançados pode ocasionar alterações perceptíveis em praticamente todos os sistemas do corpo. Toda e qualquer alteração gerada está diretamente ligada à redução da capacidade funcional dos pacientes[1].

A diálise, técnica que tem por objetivo suplementar as falhas da função renal, é o tratamento para insuficiência renal avançada, caso onde os rins praticamente não funcionam, denominado insuficiência renal cônica (IRC), ou quando há perda súbita de sua capacidade de filtragem. O procedimento da hemodiálise tem duração média de quatro horas e é repetido por, no mínimo, duas vezes na semana. O procedimento consiste em conectar o paciente à máquina que fará a função dos rins pela fístula arteriovenosa (uma conexão entre uma artéria e uma veia de algum membro superior) ou cateter (através da artéria jugular ou femural) [2, 3].

Nesse contexto, a atividade física durante a hemodiálise pode trazer benefícios tais como a melhora da capacidade funcional, a redução dos fatores de risco cardiovasculares, a melhora da tolerância à glicose e de problemas psicossociais. Além disso, garante maior aderência ao tratamento, redução da monotonia do processo dialítico, facilidade de acompanhamento médico e maior aproveitamento do tempo em que o paciente está em tratamento, já que ele pratica exercícios durante todo o processo, além de contribuir para a melhora na qualidade do tratamento. Apesar de evidenciados tais resultados, a aplicação de programas de exercícios durante a hemodiálise na prática clínica ainda é restrita[3, 4, 5, 2].

Os exercícios aeróbicos, como os efetuados pelos cicloergômetros, atuam no controle da pressão arterial e na melhora da anemia gerada pela DRC. Há evidências de que os exercícios realizados durante a hemodiálise podem gerar melhora na eficácia da diálise, com elevação do índice de eficiência da hemodiálise (índice de depuração da ureia por sessão de hemodiálise), além da diminuição do *rebound* de ureia, creatinina e potássio. Estudos comprovaram que os pacientes com DRC em hemodiálise, submetidos a protocolo de exercício resistido, apresentaram melhora significativa das capacidades funcional e cognitiva [6, 7].

Contudo, o uso de cicloergômetros convencionais, a exemplo da bicicleta ergométrica, apresenta riscos como queda do paciente do aparelho, instabilidade hemodinâmica em decorrência da alteração postural e risco de infecção cruzada[6].

Esse embasamento deu início aos estudos deste projeto em março de 2016, com a finalidade da aplicação de um cicloergômetro estável e regulável. A ideia inicial foi exposta na Feira Tecnológica do Inatel (Fetin). Em 2017, o projeto foi incorporado ao Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA). Durante este período, tendo em vista que a estrutura desenvolvida em 2016 não atendia a todos os requisitos para tornar o projeto versátil ou seja, mais adaptável a diferentes anatomias e modalidades de exercício. Novos cálculos estruturais foram realizados, construindo um novo protótipo utilizando tubos de aço carbono (metalon) tornando o cicloergômetro adaptável tanto para os diversos tipos e posições da cadeira de hemodiálise, quanto para leito. No ano de 2018, buscou-se aprimorar o projeto adicionando recursos como uma interface visual acoplada que torna a operação mais fácil e intuitiva. Estruturalmente, o objetivo foi aprimorar as regulagens do cicloergômetro[8].

Também, foi procurado aprimorar o aparelho de modo que ele ofereça três modos de exercício, se adaptando ao máximo à situação atual do paciente, sendo eles: modo passivo (o

paciente não realiza nenhum esforço, apenas acompanha o movimento do aparelho), ativo livre (o exercício é realizado com a ausência de carga, ou seja, o motor não imprime nenhum esforço sob o paciente) e ativo resistivo (o motor oferece uma carga gradual e controlada, além de estimular o paciente a fazer um certo esforço).

Objetiva-se implementar mecanicamente os modos passivo, ativo livre e ativo resistivo de exercício, uma interface de controle simples, para auxiliar o profissional responsável pelo equipamento a tomar decisões e preparar o equipamento com precisão, além de tornar o equipamento melhor regulável em altura, extensão do cabeçalho e angulação dos pontos de apoio.

II. Metodologia

A estrutura utilizada segue o modelo do projeto estudado no ano de 2017, como na figura 1 abaixo.

Fig. 1. Estrutura do ciclo utlizada atualmente e em 2017.

Houve uma mudança estrutural no cicloergômetro onde foram adicionados mais pontos para regulagem de altura e profundidade do cabeçalho, buscando melhorar a qualidade da adptação da estrura aos diversos ambientes, oferencendo o máximo de conforto possível ao paciente.

Uma interface visual acoplada ao cabeçalho do aparelho apresenta dados como a visualização da velocidade, a seleção do modo de funcionamento e o *start-stop* do sistema. Há um painel que controla o sistema num geral. O botão *stop* implementado suspende qualquer atividade do aparelho.

Para atender aos modos passivo, ativo livre e ativo resistivo com perfeição, um entreferro foi projetado com um transformador. Esse entreferro é responsável por gerar um campo magnético que atua sobre um disco ligado ao motor. A interação do campo com o disco gera cargas variadas no motor.

Foi utilizado um microcontrolador, ATmega 2560, através da plataforma Arduino para realizar os comandos necessários e integrar estes ao controle do motor.

III. Resultados

O protótipo inicial realizava um único modo de exercício, o modo passivo, em decorrência da caixa de redução do motor utilizado, com tensão DC de 12 Volts e corrente de aproximadamente 8 Ampéres, da marca Bosch. Nesse modo, o motor realiza o movimento e é possível controlar a sua velocidade e o tempo de exercício. O controle do motor foi inicialmente realizado com um protótipo de ponte H, ilustrada na figura 2, baseada em transistores de potência, em decorrência do alto consumo de corrente do motor.

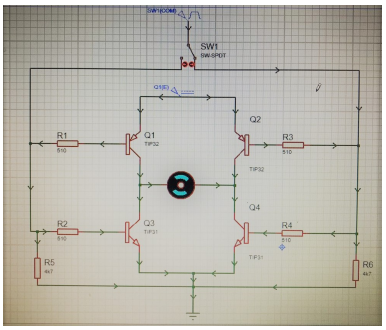


Fig. 2. Esquemático do protótipo usado.

Esse tipo de controle não permite variação de carga no motor. O entreferro, apresentado na figura 3, é que permite essa variação de carga. Um corte é feito em um tranformador e um disco é posicionado de modo que gire dentro do corte. A variação de tensão aplicada gera um campo magnético que interage com o disco, alterando o peso com que gira. Peso este que é a carga aplicada ao motor.

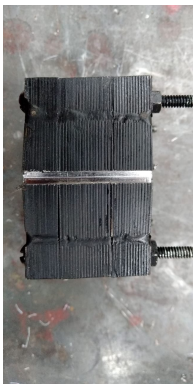


Fig. 3. Corte/entreferro feito no transformador.

A seguir, a figura 4 é uma ilustração 3D da montagem entreferro-motor pretendida.

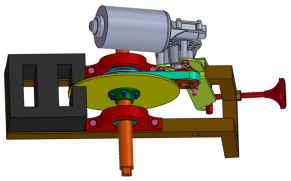


Fig. 4. Montagem final pretendida do entreferro/motor.

No cabeçalho do aparelho, um painel composto por três botões, um potênciometro e um display digital permitiu o controle das mesmas funções do aplicativo de modo manual.

O microcontrolador através da plataforma Arduino Mega permitiu, com o auxílio de um programa de controle escrito em linguagem C, o monitoramento necessário, como também, dos comandos manuais presentes no cabeçalho do equipamento.

A variação do consumo de corrente do motor pode permitir que espasmos do paciente sejam percebidos e assim, a inversão do sentido de giro alivie estes.

IV. Discussão

A estrutura dimensionada e utilizada é a mesma estudada anteriormente em 2017. Foi escolhido somente aumentar o número de pontos de regulagem de altura e profundidade do cabeçalho a fim de torná-la mais adaptável à situação do ambiente e do paciente que usará o aparelho.

Ainda em desenvolvimento, uma atualização da parte de controle do motor está sendo feita. A ponte H prototipada será substituída pelo *driver* ponte H BTS 7960, ilustrado na figuras 5, de alta potência, com capacidade de 43 Ampéres. Constituído por duas pontes H *"half bridge"* que juntos proporcionam o efeito *"full Bridge"*, onde a velocidade e o sentido de rotação poderão ser controlados, recurso este, essencial para o alívio de espasmos. Não se limitando a isso, o uso desse *driver* torna a montagem do hardware mais limpa, profissional e diminui o risco de possíveis falhas de contato.

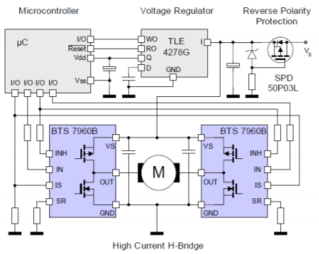


Fig. 5. Esquema elétrico do *driver* BTS 7960.

Existem no mercado outros *drivers*, como por exemplo, o *"Sabertooth 2x32"*, a plataforma *"Scorpion XL"* e o *"Hobbywing Eagle 30A"* porém de mais complexa compreesão e adaptação.

Apesar do cicloergômetro possuir ângulos de abertura reguláveis nos pés, corrediças telescópicas com travas na extremidade e ajustes de altura de acordo com a necessidade da terapia, o equipamento ainda precisa de melhorias, como adaptação para qualquer tipo de movimento executado pelo paciente, implementação da identificação de espasmos, integração e montagem da parte elétrica com a mecânica, uma vez que estes encontram-se em processo de desenvolvimento ou atualização.

V. Conclusão

O presente projeto foi feito e aprimorado com o intuito de auxiliar na atividade física no ambiente hospitalar de modo mais prático, versátil e efetivo, atendendo a padrões de exercício aeróbico como, por exemplo, o movimento de pedalada. Espera-se que o cicloergômetro seja adaptável a qualquer setor hemodialítico, independente da posição e marca da cadeira ou leito utilizado. Almeja-se que os pacientes, independente do local do acesso sanguíneo, possam ser beneficiados com os efeitos da atividade aeróbica cíclica controlada.

Ao contrário de outros aparelhos presentes no mercado, que são separadamente para exercícios de membros inferiores e superiores, o aparelho criado através deste projeto se mostrou extremamente adaptável a exercícios dos membros inferiores e superiores, trocando-se somente a pedaleira e regulando-o de modo apropriado.

Melhorias ainda se fazem necessárias, como por exemplo, reprojetar o cabeçalho do equipamento e a disposição do *hardware* e do motor dentro deste, de modo que seja mais leve e menor, melhorando sua ergonomia e possíveis cenários de manutenção.

É planejado que a plataforma Arduino Mega seja removida, e o microcontralador ATmega 2560 seja unificado ao *hardware* de modo que apenas uma placa de controle e o *driver* ponte H sejam suficientes para controlar e monitorar o aparelho. Essa unificação, assim como no caso do *driver* ponte H, fará este *hardware* mais profissional e enxuto. É destacável que esse aprimoramento também aumentará a segurança, uma vez que a programação principal do equipamento será de mais difícil acesso e alteração, já que a gravação de dados direto no ATmega passa por etapas diferentes daquelas utilizadas quando usa-se o Arduino.

Referências

[1] Emanuele Poliana Lawall Gravina. "Fatores associados à capacidade funcional em pacientes com doença renal crônica pré-dialítica". Diss. de mestr. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

[2] R.C. Pires-Neto, A.L. Pereira, C. Parente, G.N. Sant'Anna, D.D. Esposito e A. Kimura. "Caracterização do uso do cicloergômetro para auxiliar no atendimento fisioterapêutico em pacientes criticos." Em: *Revista Brasileira de Terapia Intensiva* 25 (2013), pp. 39–43.

[3] D.M.N. Henrique, M.M. Reboredo, C. Chaoubah e R.B. de Paula. "Treinamento aeróbico melhora a capacidade funcional de pacientes em hemodiálise crônica". Em: *Arquivos Brasileiros de Cardiolagia* 94 (2010).

[4] M.G. Bastos, R. Bregman e G.M. KIRSZTAJN. "Doença renal crônica: frequente e grave, mas também previnível e tratável." Em: *Associação Médica Brasileira* 56 (2010), pp. 248–253.

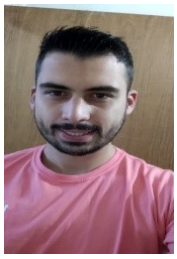
[5] H.I.G.A. Karina. "Qualidade de vida de pacientes portadores de insuficiência renal crônica em tratamento de hemodiálise." Em: *Acta Paulista de Enfermagem* 21 (2008), pp. 203–206.

[6] Souza R.M.G e Guedes L.B.A. "Benefícios funcionais da fisioterapia para pacientes em hemodiálise." Em: *Revista Pesquisa em Fisioterapia* 4 (2014), pp. 107–113.

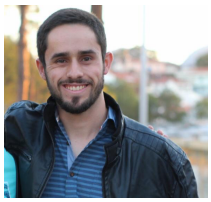
[7] Giovana Damasceno Souza. "Efeito do treinamento intradialítico resistido e aeróbico sobre a função cognitiva e capacidade funcional de pacientes em hemodiálise: estudo controlado". Diss. de mestr. Universidade Estadual Paulista, 2016.

[8] A. Pereira, A. Palma, A. Braga, R. Alves e E. Dester. "Cicloergômetro adaptado para atividade física durante trtamento hemodialítico". Em: *XXX Congresso de Iniciação Ciêntifica do Inatel*. Anais 2018. Santa Rita do Sapucaí, MG, Brasil: RMRS, 2018, pp. 249–252. URL: http://www.inatel.br/incitel/anais-incitel.

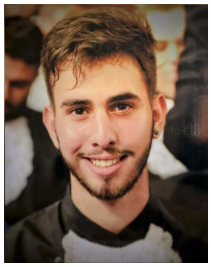
AUTORES



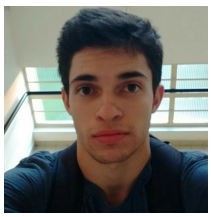
Emerson Assis do Couto É técnico em Automação Industrial pelo SENAI. Graduando em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologias Assistivas (CDTTA). Tem interesse nas áreas de tecnologias e controle de processos industriais.



Kaique da Silva Santos É técnico em eletrônica pela Escola Técnica de Eletrônica ”Francisco Moreira da Costa”. Graduando em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologias Assistivas (CDTTA). Tem interesse nas áreas de tecnologia, desenvolvimento, automatização de processos industriais, ensaios e calibração de equipamentos de medida.



Leonardo Garcia Ferraz da Silva É graduando em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologias Assistivas (CDTTA). Tem interesse em equipamentos médicos, tecnologia biomédica e em empreendedorismo relacionado a área da saúde.



Rodrigo Propato Guerra É técnico em eletrônica pela Escola Técnica Pandiá Calógeras. Graduando em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologias Assistivas (CDTTA). Tem interesse nas áreas de Engenharia de Automação, embarcados e gestão de projetos.

Felipe Bueno Vilela É graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologias Assistivas (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica ”Francisco Moreira da Costa”.

Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica Proveniente de um Sistema de Geração Fotovoltaica Conectado à Rede

Thalita Kely Pereira[1], Márcio Wladimir Santana[1], Fábio Domingues de Jesus[2]
[1]Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG
[2]Universidade Federal de Lavras - UFLA
[1]thalitakely.nep@gmail.com, [1]marciosantana@cefetmg.br, [2]fabio.jesus@ufla.br

***Abstract* — One way of generating electric energy that has been growing a lot in Brazil is the implementation of Photovoltaic Systems Connected to the Network. However, the inverters of these systems can inject some disturbances in the grid and impact on the Quality of Electric Power at the Common Coupling Point. The present work seeks to evaluate the quality of the electric energy of a photovoltaic system in the country club of the Federal University of Lavras (UFLA), located in Lavras/MG. The Power-NET P-600 analyzer was used to collect the samples and analyze parameters such as power, voltage, power factor and harmonic voltage distortion. It was observed that despite the occurrence of overvoltages in some intervals of the day, the analyzed criteria proved that the electricity generated is in compliance with the regulations of module 8 of the Electricity Distribution Procedures, which establishes aspects related to the Quality of Electricity.**

***Index Terms* — electricity quality, Harmonic distortions, PRODIST, photovoltaic system connected to the grid.**

***Resumo* — Um meio de geração de energia elétrica que vem crescendo muito no Brasil é a implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) . No entanto, os inversores desses sistemas podem injetar alguns distúrbios na rede e impactar na Qualidade da Energia Elétrica (QEE) no Ponto de Acoplamento Comum (PAC). O presente trabalho busca avaliar a qualidade da energia elétrica de um sistema fotovoltaico no clube de campo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), situada em Lavras/MG. Foi utilizado o analisador Power-NET P-600 para coletar as amostras e analisar os parâmetros tais como potência, tensão, fator de potência e distorção harmônica de tensão. Observou-se que apesar de ocorrer em alguns intervalos do dia sobretensões, os critérios analisados comprovaram que a energia elétrica gerada pelo sistema está em conformidade com as regulamentações do módulo 8 do Prodist (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica), que estabelece aspectos referentes à QEE.**

***Palavras chave* — Distorções harmônicas, PRODIST, qualidade da energia elétrica, sistema fotovoltaico conectado à rede.**

I. INTRODUÇÃO

A maior parte da matriz energética do Brasil provém de recursos hídricos, porém devido à escassez da água, vem surgindo outras formas de se produzir energia elétrica. Um meio de geração que vem crescendo muito é a fotovoltaica, pois além de possuir uma fonte inesgotável que é o sol, pode ser implementada em diversas escalas e locais. O Brasil é um país que tem grande incidência solar, o que favorece ainda mais a utilização de sistemas fotovoltaicos. Algumas vantagens são destacadas como, por exemplo, os painéis solares geram um tipo de energia que não polui durante seu uso, a manutenção necessária é mínima, o tempo de vida útil dos painéis é longo, além de reduzir significativamente o gasto com energia elétrica.

Conhecer a qualidade da energia elétrica (QEE) no ponto de acoplamento (PAC), onde se deseja realizar a conexão de um sistema fotovoltaico, passa ser mais um quesito que deve ser considerado durante o anteprojeto de um SFCR. Por outro lado, após a implantação de um gerador fotovoltaico, dependendo da magnitude da instalação, a sua influência sobre os parâmetros de QEE disponibilizada pela rede de distribuição também deve ser considerada [1].

Seguindo esses fatores, surge a necessidade de se analisar a energia proveniente desse tipo de geração, a fim de não pôr em risco o desempenho e o tempo de vida útil dos equipamentos elétricos e eletrônicos. É importante atender todas as normas estabelecidas pela Aneel – Agência Nacional de Energia Elétrica, que tratam dos assuntos referentes a micro e mini geração distribuída, e também atentar-se às padronizações e regras contidas no PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, que em seu módulo 8, regulamenta aspectos referentes à QEE.

O sistema fotovoltaico a ser analisado fica situado no clube de campo da Universidade Federal de Lavras - UFLA, na cidade de Lavras-MG, e tem capacidade máxima de geração de 15kWp. Este sistema está homologado à rede da concessionária de energia elétrica local, CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. O período de coleta das amostras foi de 30 de Abril de 2019 a 8 de Maio de 2019, realizada através do Power NET P-600, que é um medidor trifásico de energia elétrica. O presente estudo tem como objetivo avaliar os parâmetros como, por exemplo, tensão em regime permanente, distorção harmônica de tensão, fator de potência,

e verificar se a energia elétrica gerada pelo sistema atende aos requisitos contidos no módulo 8 do PRODIST.

II. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de geração fotovoltaica foi implantado com o intuito de reduzir o custo da energia elétrica consumida pela concessionária local, e também para incentivar esta alternativa de Geração Distribuída (GD). A Figura 1 apresenta o painel com 32 módulos fotovoltaicos e, atrás destes, contém outro painel com 18 módulos, totalizando um sistema de 50 módulos fotovoltaicos, com capacidade de 330Wp cada módulo.

Fig. 1. Painel Fotovoltaico da ADUFLA.
Fonte: Autoria própria.

A usina é composta por três inversores monofásicos de 220V conectados à rede elétrica, apresentados na Figura 2. Todos são do mesmo modelo e têm uma potência CA de 5kWp cada, totalizando uma potência de 15kWp do sistema. Abaixo dos inversores estão os dispositivos de proteção para o sistema CC, que contém os fusíveis para proteção contra curto circuito, e os dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

Fig. 2. Inversores conectados ao sistema de distribuição.
Fonte: Autoria própria.

A Tabela I apresenta as características técnicas dos inversores.

TABELA I

CARACTERÍSTICAS DOS INVERSORES.

CARACTERÍSTICAS	INVERSOR
Fabricante	PHB Solar
Modelo	PHB5000D-NS
Potência Máx. CA	5kW
Tensão Máx. CC	580V
Corrente Máx. CC	11A
Tensão Máx. CA	220V
Corrente Máx.	22,8A
Frequência Nominal	60Hz
Concepção do inversor	Sem transformador
Eficiência Máx	97,5%

Fonte: [8].

III. REQUISISTOS DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Quando existem problemas com a qualidade da energia elétrica entregue, alguns distúrbios podem aparecer, como interrupção no fornecimento de energia elétrica, níveis de tensão fora do padrão, oscilações de tensões e frequência, distorções harmônicas de corrente e tensão, ruídos, transitórios entre outros problemas de ordem elétrica [2]. Com o objetivo de minimizar os impactos da geração fotovoltaica no PAC, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu os indicadores referentes à qualidade de energia elétrica que estão regulamentadas no módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional). Sob a ótica do PRODIST os fenômenos relativos à QEE que devem ser monitoradas em regime permanente ou transitório são: tensão em regime permanente; fator de potência; harmônicos; desequilíbrio de tensão; flutuação de tensão; variações de tensão de curta duração; variação de frequência [3].

A. Potências demandadas por uma carga

Se a carga for puramente resistiva, o produto da tensão pela corrente será a potência absorvida por ela [4], que é a potência ativa (P). A potência reativa Q [VAR] é indispensável para que equipamentos elétricos em corrente alternada possam excitar o seu campo magnético ou elétrico, tornando possível a utilização da energia que efetivamente realiza trabalho, a energia ativa. A potência aparente S (VA) é a soma vetorial da potência ativa com a potência reativa [4].

B. Tensão em regime permanente

A Tabela II apresenta os limites adequados, precários e críticos para os níveis de tensão em regime permanente estabelecidos pelo PRODIST. Onde, TL é a tensão de leitura obtida nas medições e TN é a tensão nominal de operação.

TABELA II

NÍVEIS DE TENSÃO ESTABELECIDOS PELO PRODIST.

FAIXAS		VALORES DE TENSÃO PARA 220V
Adequada	0,93TN≤TL≤1,05TN	204,6V≤TL≤231V
Precária	0,90TN≤TL<0,93TN	198V≤TL<204,6V
Crítica	TL<0,90TN ou TL>1,05TN	TL<198V ou TL>231V

Fonte: [5].

C.Fator de potência

O fator de potência (FP) pode ser definido como a diferença de fase entre a onda de tensão e corrente, isso quer dizer que a potência ativa (P) é menor que a potência aparente (S), e a diferença vetorial entre elas é chamada de potência reativa (Q). Portanto, o FP pode ser calculado através da razão entre a potência ativa e a aparente, conforme mostra a Equação 1 [2].

$$FP = \frac{\mathrm{P}}{\mathrm{S}} \quad (1)$$

Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente [5].

D. Distorção harmônica de tensão

Harmônicos são tensões ou correntes senoidais de frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental na qual opera o sistema de energia elétrica. Estes harmônicos distorcem as formas de onda da tensão e corrente e são oriundos de equipamentos e cargas com características não lineares instalados no sistema de energia [6]. A equação (2) calcula a distorção harmônica individual de tensão, onde DITh é a distorção individual de tensão de ordem h, Vh é a tensão harmônica de ordem h e V1 é a tensão medida.

$$DITh\% = \frac{\mathrm{Vh}}{\mathrm{V1}}\, x100 \qquad (2)$$

A Tabela III apresenta os limites de distorções harmônicas totais.

TABELA III

LIMITES DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS TOTAIS EM % DA FUNDAMENTAL.

INDICADOR	TENSÃO NOMINAL Vn≤1kV
Distorção harmônica total de tensão (DTT%)	10%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3 (DTT_p%)	2,5%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3 (DTT_i%)	7,5%
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3 (DTT_3%)	6,5%

Fonte: [5].

IV. METODOLOGIA

Neste capítulo, será apresentada a abordagem para a aquisição e análise dos dados. É importante compreender o funcionamento do equipamento utilizado e o esquema de ligação do sistema para realizar a medição corretamente.

A. Medidor Power NET P-600

Com o intuito de analisar a qualidade da energia elétrica do sistema fotovoltaico do local, foi utilizado um medidor trifásico de energia elétrica modelo Power NET P-600 da marca IMS. O PowerNET P-600 é um equipamento constituído basicamente por cabos para fixação de medidor de tensão, conector externo para a entrada dos sinais de medição de corrente, teclado e display [7].

A Figura 3-a apresenta o medidor posicionado com os alicates amperímetros enlaçados aos condutores para medição de corrente, e a Figura 3-b mostra as garras de tensão conectadas ao painel de distribuição.

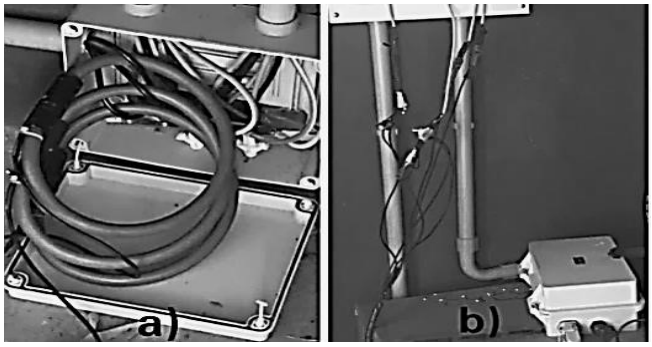


Fig. 3. a) Analisador com os alicates amperímetros posicionados para medição de corrente; b) Analisador com as garras de tensão conectadas ao painel de distribuição.
Fonte: Autoria Própria.

B. Esquema de ligação do sistema

A Figura 4 apresenta o esquema de ligação elétrica do sistema, que incluem as placas fotovoltaicas juntamente com os sistemas de proteção CC, posteriormente está a conexão dos inversores posicionados antes do sistema de proteção CA, e um disjuntor trifásico. O analisador Power-NET P600 foi conectado na saída dos inversores [8].

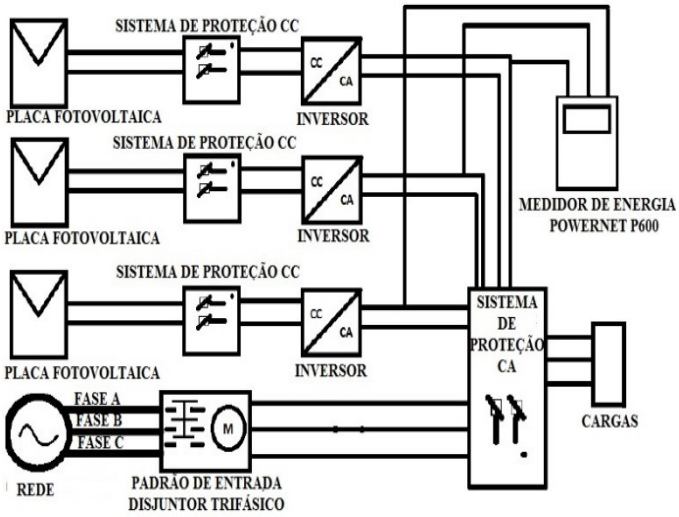


Fig. 4. Esquema de ligação elétrica do sistema.
Fonte: [8], adaptado.

C. Coleta dos dados

Para obter a quantidade de 1008 amostras definida pelo PRODIST, o período de medição foi de 30 de Abril de 2019 a 8 de Maio de 2019, com intervalo de 10 minutos entre as coletas. Toda a análise foi feita através do software chamado Analisador IMS Power Quality, disponibilizado pelo próprio fabricante do medidor, o qual fornece os dados obtidos na coleta e que podem ser visualizados através de gráficos. Foram analisados os seguintes itens citados no Capítulo III: potência ativa, reativa e aparente, tensão em regime permanente, fator de potência e distorção harmônica de tensão. Somente estes itens foram abordados por limitação do equipamento de medição.

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresentará a análise dos dados a fim de verificar se existe a presença dos distúrbios citados

anteriormente, que podem ser ocasionados por um sistema fotovoltaico operando fora do estabelecido pela ANEEL.

A. Potência gerada pelo sistema

A Figura 5 apresenta a potência aparente gerada pelos três inversores e a potência ativa consumida pela carga, durante 8 dias. Os inversores são configurados com FP=1 e no local há pouca carga indutiva. Deste modo, pode-se observar na Figura 5 que a potência aparente possui magnitude próxima da potência ativa.

A produção de energia elétrica se iniciou por volta das 7h e terminou entre 16h e 17h, quando não houve mais a incidência do sol sobre as placas. Percebe-se que o sistema teve uma ótima geração, próxima da esperada de 15kW,com exceção do dia 02/05, pois foi um dia nublado e as nuvens diminuíram a radiação solar.

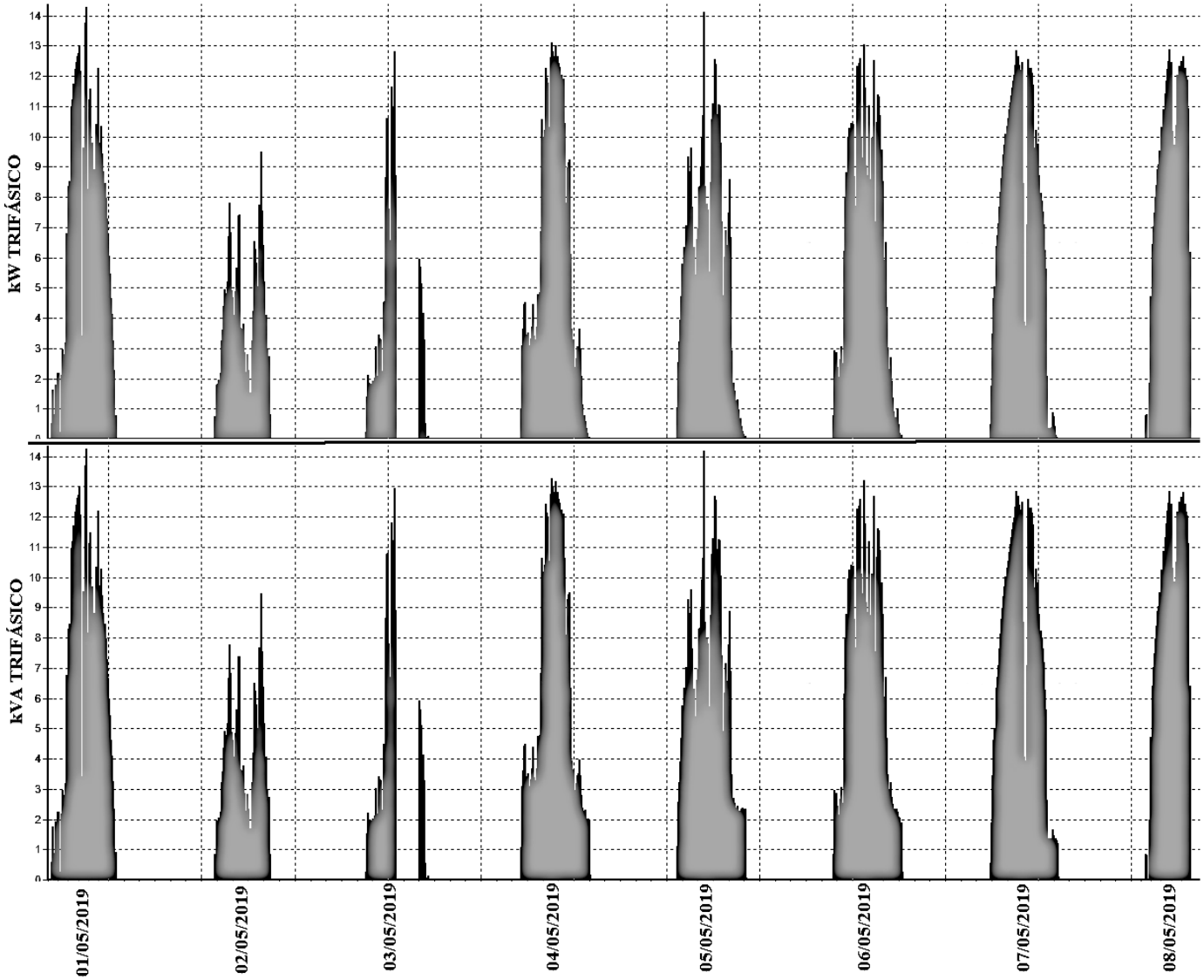


Fig. 5. Potência ativa e potência aparente do sistema.
Fonte: Autoria própria.

B. Tensão em regime permanente

Como as fases possuem o mesmo comportamento, já que o sistema é equilibrado, a Figura 6 apresenta a tensão em regime permanente de apenas uma das fases, no período de aproximadamente dois dias.

Considerando uma tensão nominal de 220V, no período em que a incidência solar é maior, entre 11h e 13h, as tensões das três fases atingiram valores acima de 231V, se enquadrando na faixa crítica de acordo com a Tabela II. Em alguns momentos no final do dia quando a geração foi menor, entre 16h30min e 17h30min, as tensões atingiram valores inferiores ao mínimo permitido para a faixa adequada, caracterizando os pontos como tensão precária. A elevação de tensão se deve ao fato da potência gerada (quando há maior incidência solar) ser maior do que a potência consumida pela carga, e a redução de tensão acontece sempre no final do dia, quando a geração é menor e, consequentemente, a potência gerada é menor.

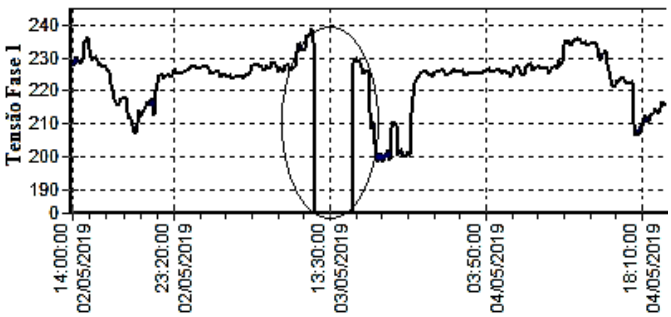


Fig. 6. Tensão de uma das fases.
Fonte: Autoria própria.

Outro ponto observado é que houve uma interrupção no dia 03/05, região circulada no gráfico, com duração de 3 horas e meia. Foi verificado o motivo e não houve registros de problemas internos, portanto, possivelmente, a interrupção foi feita pela concessionária para manutenção da rede. Para que não ocorra o ilhamento, o sistema de proteção desconecta o sistema fotovoltaico da rede. O ilhamento pode ser definido como uma condição de fornecimento em que uma parte do sistema elétrico que contém cargas e fontes de energia opera de forma isolada do SEP (Sistema Elétrico de Potência). Essa condição oferece grandes riscos de acidentes para os operários que realizam manutenção nas linhas de energia [9].

C. *Fator de potência*

A Figura 7 apresenta o fator de potência apenas dos dias 02/05 e 03/05, considerados mais críticos, pois nesses dias houve, respectivamente, menor geração e interrupção.

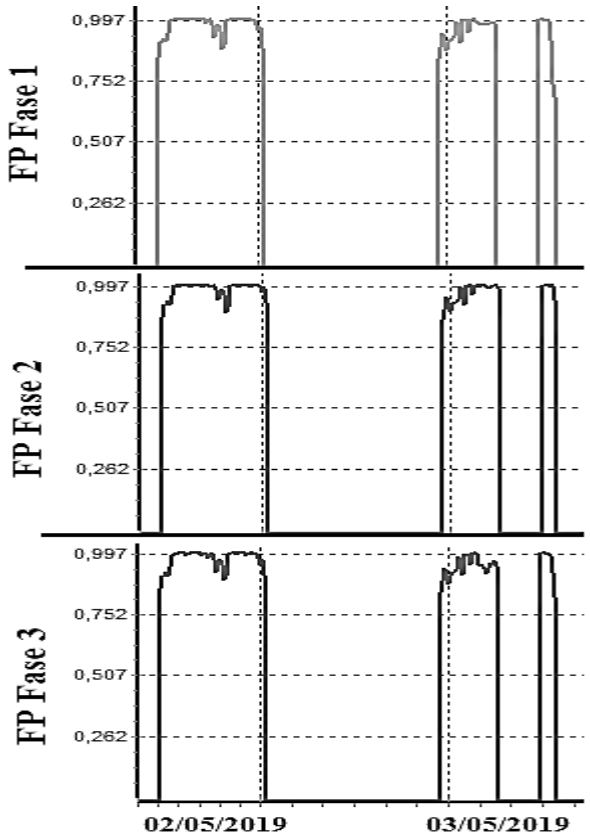


Fig. 7. Fator de potência de cada fase.
Fonte: Autoria própria.

Já que os inversores foram bem dimensionados tendo sua potência em conjunto próxima da potência do sistema, isso faz com que o fator de potência seja alto. Pela análise das 1008 leituras válidas, o fator de potência das três fases se manteve praticamente constante em aproximadamente 0,99 (indutivo), portanto está em conformidade com a norma estabelecida pelo PRODIST.

Como foi visto na subseção *A* desta seção, a magnitude da potência ativa é próxima da potência aparente, o que justifica também, pela equação (1), um fator de potência quase unitário.

D. *Distorção harmônica de tensão*

A Tabela V apresenta os valores máximos medidos de DTT%, DTTp%, DTTi% e DTT_3%. Todos os valores são inferiores aos limites do módulo 8 do PRODIST. Houve pouca variação de distorção harmônica total de tensão (DTT-V), isso acontece porque o sistema fotovoltaico opera conectado a rede de distribuição e ambos tendem a manter o valor de tensão constante.

TABELA IV

DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO MEDIDAS.

INDICADOR	VALORES MÁXIMOS FASE 1	VALORES MÁXIMOS FASE 2	VALORES MÁXIMOS FASE 3	LIMITES DE DISTORÇÃO
DTT%	5,4	5,5	4,6	10%
DTTp%	1,77	1,24	1,35	2,5%
DTTi%	3,98	3,38	2,46	7,5%
DTT_3%	1,45	0,9	1,35	6,5%

Fonte: Autoria própria.

VI. CONCLUSÕES

O presente trabalho realizado no sistema fotovoltaico conectado ao clube de campo da UFLA possibilitou avaliar alguns parâmetros referentes à Qualidade da Energia Elétrica (QEE) gerada. Quanto à geração, o sistema se mostrou eficiente alcançando níveis da capacidade nominal dos inversores para alta radiação solar, o que comprova que a localização das placas e os ângulos da estrutura utilizados no projeto foram aplicados corretamente. O fator de potência (FP) se manteve acima do mínimo exigido pelo PRODIST, atingindo valores entre 0,99 e 1, indutivo.

As distorções harmônicas totais de tensão (DTT-V%), inclusive as DTTp, DTTi, DTT_3 também atenderam aos requisitos contidos no módulo 8 do PRODIST. As tensões em regime permanente tiveram pouca variação, atingindo valores fora do estabelecido somente em curtos intervalos da geração, e deste modo, não prejudicando a cargas conectadas ao sistema.

Neste trabalho verificou-se que a geração e o desempenho do sistema fotovoltaico investigado foram satisfatórios quanto às normas estabelecidas pelo PRODIST, porém é necessário investigar medidas que possam ser tomadas a fim de melhorar a qualidade da energia elétrica gerada, mantendo os níveis de tensão para garantir uma maior vida útil aos equipamentos.

REFERÊNCIAS

[1] JUNIOR, Jair Urbanetz. *Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade*. 2010. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

[2] BELISKI, Letícia Mara. *Análise da qualidade de energia elétrica de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída em unidades prossumidoras residenciais.* 2017. 46f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, SC, 2017.

[3] ANDRADE, Jucinara Herculano Merquiades. *Qualidade de energia elétrica: Normas e regulamentações sob a ótica do consumidor*. 2012. 52f. Monografia (Especialização em sistemas de energia elétrica com ênfase em qualidade da energia elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.

[4] LOPEZ, Ricardo Aldabó. *Qualidade na Energia Elétrica: Efeitos dos distúrbios, diagnósticos e soluções.* São Paulo: Artliber, 2013.

[5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *MÓDULO 8 – QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST*. 88p. 10 ed. Brasil, 2018.

[6] SANTANA, Márcio Wladimir. *Agrupamento incremental de fluxo de dados para análise e monitoramento da qualidade de energia*. 2017. 97f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2017.

[7] IMS. *Manual de instalação e operação.* Disponível em: www.ims.ind.br. Acesso em: 5 de fev. 2020.

[8] PINTO, Andrey Willian Marques. *Analise da incidência de harmônicos na rede provindo de placas fotovoltaicas*. 2019. 50f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2019.

[9] SEVERO, Leonardo. *Estudo e implementação de métodos de proteção anti-ilhamento aplicados a sistemas fotovoltaicos.* 2011. 291f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2011.

AUTORES

Thalita Kely Pereira possui curso técnico/profissionalizante em Mecatrônica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET/MG. Graduanda em Engenharia Elétrica no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET/MG. Já atuou como monitora de Cálculo II. Participou do Programa de Bolsa de Complementação Educacional (BCE) desenvolvendo o projeto titulado "Contribuição à Otimização do Consumo Energético Residencial no Município de Nepomuceno/MG". Atualmente é pesquisadora na área da Qualidade da Energia Elétrica. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica.

Márcio Wladimir Santana possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL e Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Doutorado em Engenharia Agrícola em andamento pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Atualmente é professor efetivo no CEFET/MG Unidade IX Nepomuceno-MG, lotado no Departamento de Elétrica - DENEP. Atualmente é coordenador do curso Técnico em Eletrotécnica, coordenador do Eixo Sistemas de Energia do curso de graduação em Engenharia Elétrica. Atuou como Coordenador do curso Técnico em Eletrotécnica e Professor na UNITEN - Unidade Integrada e Técnica de Ensino de Lavras-MG. Atuou como engenheiro eletricista na COMAU do BRASIL Ind. e Com. LTDA Lavras-MG na MM Cofap de Lavras-MG, na área de engenharia de manutenção elétrica. Principais atividades exercidas na COMAU: responsável pela adequação à NR-10 das instalações elétricas da MM Cofap de Lavras-MG, responsável pelos projetos de eficiência energética da MM Cofap de Lavras-MG, co-líder do pilar de Energia do WCM e participante do pilar PM do WCM, supervisor nas áreas de instalações elétricas, instrumentação e refrigeração.

Fábio Domingues de Jesus possui graduação em Engenharia Industrial Elétrica pela Universidade Federal de São João del Rei (2000) , mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2002) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2007). Atualmente é professor adjunto em regime de dedicação exclusiva na Universidade Federal de Lavras (UFLA) onde desenvolve projetos de pesquisa na área de Energias Renováveis, Smart Grids and Buildings e Conservação de Energia Elétrica. Atuou como sócio/diretor na empresa ENELTEC por 13 anos onde realizou projetos elétricos para navios plataformas e refinarias de petróleo, conservação de energia para indústrias e hotéis. Também, realizou projetos de pesquisas e desenvolvimento (P&D) para sistemas de transmissão e distribuição de energia, como também no desenvolvimento de produtos de medição de energia e água.

ESTUDO DE ADEQUAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DO CEFET/MG CAMPUS NEPOMUCENO À NORMA REGULAMENTADORA 10

Allan Vinícius Pereira Machado, Márcio Wladimir Santana, Juliana Vilela Lourençoni Botega
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG
allanviniciusp7@gmail.com.br, marciosantana@cefetmg.br, jubotega@cefetmg.br

Abstract **– Nowadays, living without electricity is impossible to think about, because it is essential for our daily lives. However, the actions that take this resource to our homes and its consumption must be well designed, since electric power can be fatal. The artide deals with the relevance of implementing or adapting to the Regulatory Standard 10, a guideline that establishes the minimum conditions for Security in Installations and Services in Electricity and with the purpose of spreading knowledge, one of the main aspects of our institution, in parallel to increase the quality of our learning environment. Therefore, a study was prepared those points out the abnormalities of the electrical installations of the CEFET / MG Nepomuceno campus with a plan to adapt to NR 10.**

Index Terms **– Electricity, NR-10, Workplace Safety.**

Resumo **– Contemporaneamente, viver sem eletricidade é algo impossível de se pensar, pois, ela é essencial para o nosso cotidiano. Contudo, as ações que levam tal recurso às nossas casas e seu consumo devem ser bem projetados, visto que, a energia elétrica pode ser fatal. O artigo trata da relevância de implementar ou se adequar à Norma Regulamentadora 10, diretriz que estabelece as condições mínimas para a Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade e com a finalidade de propagar o conhecimento, uma das principais vertentes de nossa instituição, paralelamente ampliar a qualidade do nosso ambiente de aprendizado. Portanto, foi elaborado um estudo que aponta as anormalidades das instalações elétricas do CEFET/MG Campus Nepomuceno com um plano de adequação à NR 10.**

Palavras chave **– Eletricidade, NR-10, Segurança do Trabalho.**

I. INTRODUÇÃO

A eletricidade é uma força da natureza complexa de ser explorada, pois o fluxo de elétrons (corrente elétrica) não apresenta características físicas ou químicas perceptíveis aos sentidos do ser humano, por isso ao se trabalhar com essa força surge grande preocupação quanto à segurança dos profissionais envolvidos [1]. Desde 2004 os órgãos de segurança do trabalho do Brasil passaram a dar uma atenção especial aos eletricitários e com isso surgiu uma revisão da Norma Regulamentadora 10 - NR 10, que trata da Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidades, a qual garante as condições mínimas de saúde e segurança dos trabalhadores [2].

Com um texto mais completo, a NR 10 expandiu sua aplicação a todas as fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas, e quaisquer trabalhos realizados nas suas proximidades. Assim, as empresas tiveram até 2006 para implantar de forma integral a nova norma [3]. Porém, seu texto é de difícil entendimento e ainda existem empresas que não se adequaram totalmente à legislação vigente. Diante do exposto, este trabalho realizou um estudo de adequação das instalações elétricas do prédio do CEFET/MG campus Nepomuceno e propôs um plano de ação para correção das não conformidades existentes.

Portanto, o objetivo principal deste trabalho é apresentar a memória dinâmica das informações pertinentes às instalações elétricas do CEFET/MG Campus Nepomuceno, em atendimento à Portaria 598 de 7 de Dezembro de 2004, que revisou a Norma Regulamentadora nº 10 (NR 10) do extinto Ministério do Trabalho e Emprego hoje incorporado ao Ministério da Economia. O estudo elaborado durante inspeções técnicas no Campus incorporou às informações atualizadas das instalações elétricas da unidade, plano de ação para solução das não conformidades, pontos que necessitam ser atualizados no diagrama unifilar do Campus e sugestões/ações que ampliam a cultura de Segurança do Trabalho, tanto na academia quanto na administração.

II. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, realizou-se uma revisão do estado da arte referente às principais normas que norteiam o estudo, sendo a Norma Regulamentadora 10 que especifica as condições mínimas de segurança para eletricitários e a norma referente às condições mínimas de segurança serviços e produtos em eletricidade para baixa tensão, a NBR - 5410, da Associação Brasileira de Normas Técnicas e também normas complementares, como a NBR-14039, quando foi necessário.

Após esta revisão, foram apontados os itens mais relevantes das normas para o projeto e iniciou-se a elaboração do roteiro de inspeção, considerando a realidade das instalações elétricas da instituição. Desta forma, foi elaborado um roteiro de inspeção baseado em tabelas que indicam a situação atual das instalações elétricas, as não conformidades encontradas segundo as normas e as ações necessárias para sanar as não conformidades.

Antes de iniciar a inspeção realizou-se um levantamento de quantos quadros de disjuntores e painéis de distribuição

deveriam ser inspecionados e a posição de cada um. Para isto, utilizou-se um diagrama unifilar existente. Realizou-se, também, um levantamento dos diagramas unifilares dos equipamentos e de toda a documentação pertinente às instalações elétricas. Desta forma, constatou-se 22 pontos a serem inspecionados em todo campus. Assim, solicito-se à prefeitura do Campus um eletricista de manutenção para acompanhar todo o processo de inspeção das instalações elétricas e equipamentos.

III. METODOLOGIA

Após a confecção do modelo de inspeção, esta se iniciou a *in loco*, considerando os 22 pontos identificados anteriormente, através de um roteiro com 26 itens divididos em três etapas [4].

A. Etapa A - Verificação Aparente do Quadro

A elaboração dessa etapa teve como objetivo apresentar um material com os itens que o inspetor deve se atentar para relatar as não conformidades existentes pertinentes à NR- 10 e NBR-5410. A etapa A pode ser vista na Tabela I [4]-[5].

TABELA I
ETAPA A DA INSPEÇÃO

ETAPA	ITEM	DESCRIÇÃO
A	1	Na frente do painel existe algum tipo de identificação da instalação bem como sinalização de advertência quanto aos riscos que o painel fornece e de manuseio permitido somente por pessoas autorizadas? [***10.10.1 - a NR-10] [Item 10.3.9-d – NR-10][3]***
	2	Apresenta formas de travamentos e bloqueios de dispositivos para os sistemas de manobra e comandos? ***[10.10.1 - b - NR-10][8]***
	3	O local possui um sistema de proteção contra descargas atmosféricas?[3]
	4	As estruturas metálicas, alambrados, portas, painéis, equipamentos e componentes elétricos estão aterrados? ***[Item 5.1.2.2.3 – NBR 5410][6]***
	5	Estão visíveis os pontos de aterramento para inspeção e medição da malha terra?[3]
	6	Os diagramas unifilares estão disponíveis no setor de manutenção? ***[Item 6.1.8– NBR 5410][6]***
	7	Os diagramas unifilares estão atualizados? *[Item 6.1.8– NBR 5410]* [6]
	8	Nos diagramas unifilares, estão representados os dispositivos de proteção, seccionamento e intertravamento? *[Item 10.2.3– NR 10]* [6]
	9	Nos diagramas unifilares, está representado o sistema de aterramento adotado para a instalação? *[Item 10.2.3 – NR 10]*

B. Etapa B - Verificação da Segurança do Eletricitário

A etapa B da inspeção define como o eletricitário irá atuar em uma manutenção no painel e como irá se comportar em situações que comprometam a sua integridade e segurança. Foi proposta uma ação para minimizar os riscos observados. Os dados podem ser observados na Tabela II [4]-[5].

TABELA II
ETAPA B DA INSPEÇÃO

ETAPA	ITEM	DESCRIÇÃO
B	10	Os equipamentos e painéis elétricos estão identificados no diagrama? ***[Item 6.1.5.1– NBR 5410][6]***
	11	Nos dispositivos de seccionamento, estão identificadas as posições de ligado, desligado e bloqueado?[7]
	12	Nos dispositivos de manobra, as posições desligado (verde) e ligado (vermelho) estão identificadas?[7]
	13	As portas dos painéis elétricos têm dispositivos de bloqueio que impedem a sua abertura com o painel energizado? ***[7]***
	14	As partes vivas, internas ou externas aos painéis, são protegidas por barreiras ou obstáculos de modo a evitar um contato acidental?[7]
	15	Nos compartimentos com componentes extraíveis, as partes vivas ficam protegidas nas posições de teste e extraída ?[7]
	16	O distanciamento entre componentes e partes vivas no interior dos painéis possibilita intervenções seguras?

	17	Quando abertas, as distâncias em relação às partes vivas das instalações são seguras?[7]
	18	A intervenção em um compartimento ocorre de maneira segura independentemente do estado de energização dos demais?[3][7]

C. Verificação da Conservação e das Instalações Complementares ao Quadro

Nesta última etapa, inspecionaram-se as instalações elétricas que complementam os painéis/quadros e conservação dos mesmos, como exige a legislação em vigor. Tabela III [4]-[5].

TABELA III
ETAPA C DA INSPEÇÃO

ETAPA	**ITEM**	**DESCRIÇÃO**
C	**19**	Nos quadros de iluminação, são utilizados disjuntores com proteção residual para maior segurança na troca de lâmpadas? ***[Item 3.2.5– NBR 5410][6]***
	20	Locais com umidade são protegidos por disjuntores diferenciais residuais de alta sensibilidade? ***[Item 3.2.5– NBR 5410][6]***
	21	Cabos elétricos de baixa e média tensão estão lançados em encaminhamentos independentes?
	22	Bandejas, eletrocalhas e leitos estão aterrados? ***[Item 5.1.2.2.3 – NBR 5410][6]***
	23	O estado de conservação e sustentação dos leitos, eletrocalhas e eletrodutos é adequado?[3]
	24	Os equipamentos elétricos apresentam sinais de manutenção preventiva?[3]
	25	Os relés de proteção apresentam sinais de calibração e aferição?[3]
	26	O painel está limpo?[3]

Após a coleta de dados e inspeção elaborou-se um relatório com as não conformidades encontradas e propostas de solução dos problemas.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao analisar a inspeção realizada nas instalações físicas do CEFET/MG Campus Nepomuceno, observou-se a ausência de identificação e/ou alerta de riscos em todos os quadros e painéis da unidade conforme a Figura 1. Outra não conformidade que pode acarretar sérios danos em um futuro próximo são questões pontuais de conservação e manutenção, Figura 2. Também são preocupantes disjuntores instalados de forma inadequada para atender a demanda da instituição, Figura 3 e a localização de alguns quadros de disjuntores dentro das salas de aulas, Figura 4.

Fig.1. Exemplos de quadros sem identificação e alertas de risco

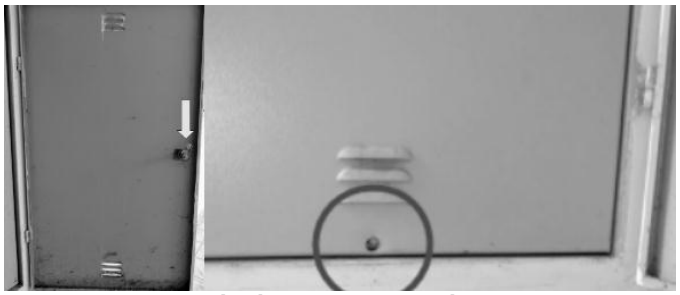


Fig.2. Exemplos de questões pontuais de conservação

Fig.3. Disjuntor instalado de modo precário no laboratório de solda

Fig.4. Exemplos de questões pontuais de conservação em sala de aula

Uma condição que não é visível, porém de grande risco, está nos quadros de disjuntores de maior capacidade que distribuem cabos de energia elétrica para os outros quadros de menor capacidade. Se for necessário realizar uma intervenção nestes quadros, é fundamental desligar-lós para que não haja riscos ao eletricitário, pois a forma com que os elementos foram instalados não garante a segurança ao eletricista, pois os barramentos estão sem proteção conforme mostra a Figura 5.

Fig.5. Modo que o quadro foi montado e não possibilita intervenções seguras

Sobretudo, ao analisar a situação dos quadros de distribuição do CEFET/MG constatou-se que estes estão adequados de modo regular à NR 10, pois precisam de pequenos reparos que necessitam de médio investimento para que este atenda de forma integral à Norma Regulamentadora 10. Visto ainda que o prédio do CEFET/MG foi construído há cerca de 20 anos e, desde então, passou por modestas manutenções.

Após a realização das inspeções foi elaborado um relatório técnico com as não conformidades de cada quadro e painel do Campus. Avisos de segurança e as identificações de cada quadro foram fixados conforme mostra a Figura 6.

Fig.6. Quadros de Disjuntores com alertas fixados.

No relatório evidenciou-se que o Campus não possui sistema de iluminação de emergência. A partir desta informação a direção do campus solicitou a elaboração do projeto de iluminação de emergência.

Assim, realizou-se uma reunião com os coordenadores de cursos para que estes disseminassem o conceito de segurança do trabalho dentro dos respectivos cursos. Para isto, apresentou-se uma palestra para os alunos dos cursos técnicos da unidade, conforme mostra a Figura 7, e ainda foi ofertado, em parceria com a empresa júnior do CEFET/MG Nepomuceno, um treinamento básico de NR-10 aberto à comunidade acadêmica.

Fig.7. Evento no campus sobre segurança

Desta forma, implantou-se nos laboratórios do Campus, um livro de ocorrências com intuito de registrar as não

conformidades ou incidentes ocorridos nas aulas ministradas objetivando guiar os técnicos de manutenção nas intervenções nos equipamentos e alertar os professores sobre possíveis falhas de equipamentos, conforme evidencia a Figura 8 [9].

Fig.8. Caderno para Registros de Incidentes nos Laboratórios do Campus

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eletricidade foi uma descoberta que trouxe inúmeros benefícios a toda humanidade, mas ao mesmo tempo em que esta é benéfica, ela pode se tornar uma grande vilã, pois sua utilização deve seguir todo um protocolo para que haja êxito no funcionamento do sistema bem como garantias à vida dos eletricitários que estão envolvidos em sua operação.

Neste trabalho foi notório que as não conformidades encontradas nas instalações do CEFET/MG Campus Nepomuceno são oriundas de ajustes físicos realizados para atender a demanda da instituição, pois ao observar o projeto elétrico inicial observou-se a preocupação do projetista em atender às normas em vigor na época.

Notou-se que a gestão do Campus entendeu a importância do estudo. Foi solicitado um relatório para elaboração e planejamento dos ajustes necessários para a plena adequação à norma. Quanto ao lado acadêmico, foi percebido um grande interesse dos gestores dos cursos em expandir a cultura de segurança do trabalho aos alunos através de cursos, treinamentos e palestras, pois todos os cursos do Campus Nepomuceno estão relacionados com a eletricidade.

REFERÊNCIAS

[1] GUSSOW, Milton. Eletricidade Básica, São Paulo/SP. Pearson Makron Books. 1997

[2] ESTEVES, A. A. A., NR 10: Eletricidade Básica 1a ed. Santa Cruz do Rio Pardo, SP. Editora Viena, 2013.

[3] Governo do Brasil - Ministério da Economia - Norma Regulamentadora 10

[4] MOREIRA, Alexandre Kascher. ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DA NORMA REGULAMENTADORA NÚMERO 10 DO MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO EM LABORATÓRIOS ACADÊMICOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA. 2013. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2013.

[5] SANTOS, Elton Cosmo de Souza. INSPEÇÃO E ADEQUAÇÃO DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E PROCEDIMENTOS DE TRABALHO DE UMA EMPRESA À NORMA REGULAMENTADORA NR-10. 2012. 140 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Sp, 2012.

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14039: instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419: proteção de estruturas contra descargas atmosféricas: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

[9] OLIVEIRA, R. C. T.; LINTZ, L. M.; SANTANA, M. A.; PRADOS, L. F. F.; GONTIJO, F. B. Aplicação da norma NR-10 no Instituto Mineiro de Agropecuária. Patos de Minas: CENAR - Congresso Mineiro de Engenharia e Arquitetura - 2016.

AUTORES

Allan Vinícius Pereira Machado é graduando do Curso de Engenharia Elétrica no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG - Campus Nepomuceno. Já atuou como monitor e extensionista. Atualmente é pesquisador na área de Segurança do Trabalho voltada à Eletricidade ainda é conselheiro no CGRAD (Conselho da Graduação) e representante discente no Colegiado do Curso. Tem experiência na área de Ensino de Ciências Exatas e Naturais, Segurança em Eletricidade (NR-10), Fontes Alternativas de Energia e Geração e Transmissão de Energia Elétrica.

Márcio Wladimir Santana, possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL e Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Doutorado em Engenharia Agrícola em andamento pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Atualmente é professor efetivo no CEFET/MG do Campus Nepomuceno-MG, lotado no Departamento de Elétrica - DENEP. Atualmente é coordenador do curso Técnico em Eletrotécnica, coordenador do Eixo Sistemas de Energia do curso de graduação em Engenharia Elétrica. Atuou como Coordenador do curso Técnico em Eletrotécnica e Professor na UNITEN - Unidade Integrada e Técnica de Ensino de Lavras-MG. Atuou como engenheiro eletricista na COMAU do BRASIL Ind. e Com. LTDA Lavras-MG na MM Cofap de Lavras-MG, na área de engenharia de manutenção elétrica. Principais atividades exercidas na COMAU: responsável pela adequação à NR-10 das instalações elétricas da MM Cofap de Lavras-MG, responsável pelos projetos de eficiência energética da MM Cofap de Lavras-MG, colíder do pilar de Energia do WCM e participante do pilar PM do WCM, supervisor nas áreas de instalações elétricas, instrumentação e refrigeração.

Juliana Vilela Lourençoni Botega, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1998), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2005) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2009).) Especialista em Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), em Matemática e Estatística pela Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Eletricidade na Agropecuária: Qualidade e Conservação pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e em Fontes Alternativas de Energia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Professora Efetiva do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG. Foi Diretora do CEFET-MG Campus Nepomuceno na Gestão 2011-2013 e Gestão 2014-2016. Atualmente é coordenadora do EAD Campus Nepomuceno do CEFET-MG (Ensino à distância).

Planta Didática de Temperatura Utilizando Elementos Industriais

Eduardo Henrique Teixeira, Egidio Raimundo Neto & João Pedro Garcia Siécola
Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel)
Santa Rita do Sapucaí, Brasil

***Abstract*— Temperature measurement is very common in most industrial processes. Be it just for data measurement or even some kind of control. There are numerous circuits and sensors capable of performing this measurement. This paper presents the development of a didactic temperature plant, which aims to demonstrate temperature monitoring and control, as in an industrial plant. The built system has low implementation cost, has real sensor components and actuators used in the industry and allows the application of various control techniques.**

***Index Terms*—Plant, Temperature, Control, PT100.**

***Resumo*— A medição de temperatura é muito comum na maioria dos processos industriais. Seja apenas para aferição dos dados ou mesmo para algum tipo de controle. Existem inúmeros circuitos e sensores capazes de realizar essa medição. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma planta de temperatura didática, cujo objetivo é demonstrar o monitoramento e controle de temperatura, como em uma planta industrial. O sistema construído possui baixo custo de implementação, possui componentes sensores e atuadores reais utilizados na indústria e permite a aplicação de diversas técnicas de controle.**

***Palavras chave*—Planta, Temperatura, Controle, PT100.**

I. Introdução

Devido à evolução das tecnologias industriais, Universidades e Institutos são levados a atualizar seus métodos de ensino e pesquisa, a fim de estarem alinhados com essa constante evolução.

Processos industriais de grande porte tem dificuldade de serem replicados para o meio acadêmico, seja pelas proporções ou mesmo devido à sua complexidade. Com isso vem a grande necessidade de se criar os mais diversos tipos de plantas que representem esses processos, de forma completa ou parcial.

Plantas didáticas em geral são utilizadas para representar sistemas industriais, sua complexidade e fidelidade ao sistema original, variam de acordo com os elementos utilizados. Vista a necessidade de se trabalhar com estruturas cada vez mais realistas, o trabalho aborda o desenvolvimento de uma planta que possui sensores e atuadores empregados na indústria, de forma que os estudantes ou pesquisadores possam ter um contato mais próximo com as tecnologias utilizadas nas empresas.

Nesse trabalho, foi desenvolvida uma planta de temperatura de pequeno porte. A escolha da variável como sendo a temperatura, se deu pelo fato de ser um importante parâmetro nos processos industriais, tendo sua medição feita através de inúmeras combinações de sensores e circuitos [1].

O documento apresentado é divido da seguinte forma: A secção II apresenta características relevantes da construção do protótipo. A secção III apresenta a curva de resposta da planta, junto a sua função de transferência aproximada. A secção IV apresenta o seu comportamento da planta face as técnicas de controle aplicadas. A conclusão do trabalho é apresentada na secção V.

This work was development in Laboratório de Indústria 4.0 of the Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Santa Rita do Sapucaí-MG, Brazil.

II. Hardware

Para a construção da planta foram feitos estudos da literatura que demonstram a importância e funcionamento de cada elemento. Com isso foi possível escolher e adequar os componentes de forma a ter uma estrutura que pudesse ser utilizada para aprendizagem, com foco nos conteúdos de eletrônica aplicada e controle. Além de possuir um baixo custo, a planta também possui sistemas que permitem esfriar ou esquentar seu interior, com a aplicação de diversas técnicas de controle.

A. Elemento Sensor

Durante a fase de análise do elemento sensor, foram estudados parâmetros como estrutura, precisão e estabilidade. Com isso foi possível escolher um elemento que atenda a esses parâmetros e se encontre difundido no meio industrial. O sensor definido para esse trabalho foi o PT100, apresentado na Fig. 1. Trata-se de uma termorresistência com invólucro de platina que tem boa estabilidade térmica, ampla faixa de medida e baixa oxidação [2].

Fig. 1. PT100

Ele trabalha com medição indireta da temperatura, ou seja, ele converte a variação de temperatura em variação de resistência, como dimensionado na Tabela I.

Tabela I: Valor da Resistência em Função da Temperatura

T (°C)	R (Ω)	R (Ω) - T + 1°C	R (Ω) - T + 2°C	R (Ω) - T + 3°C	R (Ω) - T + 4°C	R (Ω) - T + 5°C	R (Ω) - T + 6°C	R (Ω) - T + 7°C	R (Ω) - T + 8°C	R (Ω) - T + 9°C
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,28
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	113,99	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,85	118,24	118,62	119,01
50	119,40	119,78	120,16	120,55	120,93	121,32	121,70	122,09	122,47	122,86
60	123,24	123,62	124,01	124,39	124,77	125,16	125,54	125,92	126,31	126,69
70	127,07	127,45	127,84	128,22	128,60	128,98	129,37	129,75	130,13	130,51
80	130,89	131,27	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,56	133,94	134,32
90	134,70	135,08	135,46	135,84	136,22	136,60	136,98	137,36	137,74	138,12
100	138,50	138,88	139,26	139,64	140,02	140,39	140,77	141,15	141,53	141,91

Para cada faixa de operação (Conforme DIN IEC 751[3]), o PT100 possui expressões matemáticas que definem sua variação de resistência em função da temperatura. A equação (1) descreve o comportamento da resistência em função da temperatura para a faixa de medição abordada nesse documento.

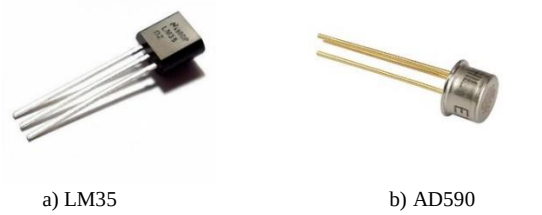
$$R[\Omega] = Pt\,(1 + 3{,}90802 * 10^{-3} * t - 0{,}580195 * 10^{-6} * t^2) \quad (1)$$

Onde *R* é a resistência em Ohms, *Pt* é o valor ôhmico a zero graus e *t* a temperatura em graus Celsius.

Nota-se que não se trata de uma expressão linear, porém o alto grau de proximidade de uma resposta linear no intervalo de 0 a 100°C, além dos demais fatores já citados, tornaram o PT100 um dos sensores de temperatura mais utilizados na indústria. Principalmente se a planta foi projetada para operar dentro dessa faixa, pois pode-se adotar que nesse intervalo, o sensor responde linearmente [4].

Outros sensores de temperatura foram analisados, o uso de sensores *Negative Temperature Coeficient* (NTC) é proposto em [5] e [6], porém foram descartados devido à falta de linearidade da curva de resposta do sensor. Tanto o PT100, quanto o NTC trabalham com variação de resistência em função da tensão. Por isso, usam um circuito que forneça corrente constante, gerando tensão proporcional a resistência [2].

Outra possibilidade seria os sensores de temperatura integrados, como o LM35 e o AD590, apresentados na Fig. 2. Além de possuir boa precisão, também trabalham com baixo consumo de energia. A diferença entre os dois modelos citados é que enquanto o LM35 tem sua resposta em valores de tensão que sobem 10mV/°C, o AD590 trabalha com uma saída de corrente que fornece 1uA/Kelvin [7]. Para exemplificar melhor, caso a temperatura fosse de 25°C, enquanto o LM35 fornece 250mV, o AD590 fornece 298.15uA. Ambos com capacidade de operar em ambientes somente entre -55° a 150°C [8].



a) LM35 b) AD590

Fig. 2. Sensores de Temperatura Integrados

B. Transmissor de Temperatura

O transmissor de temperatura é responsável por converter a variação de resistência do sensor em variação de corrente e/ou tensão, ele é construído através de um circuito padronizador. Isso ocorre, pois, a leitura do sensor é feita por um Controlador Lógico Programável (CLP), componente industrial capaz de ler valores de corrente e tensão, além de ter capacidade computacional para inúmeros tipos de processamento [9].

Sendo assim, o transmissor de temperatura proposto foi projetado para atender aos padrões industriais, sendo a corrente na faixa de 4 a 20mA e a tensão de 0 a 10V [9]. Li *et al.* [2] propõe um transmissor de temperatura com saída de 4 a 20mA utilizando PT100, para uma faixa de medição de 0 a 300°C, algo similar ao sistema proposto nesse trabalho, porém apresentando apenas a saída de corrente.

Como o sensor opera com variações de resistência, uma fonte de corrente foi introduzida com a finalidade de realizar a transdução do sinal. A tensão que é gerada desse processo é amplificada e padronizada, de forma que na saída ocorra uma distribuição para dois circuitos, um responsável por gerar a saída de corrente, enquanto o outro é responsável pela tensão. Todo o circuito descrito acima é apresentado na Fig. 3.

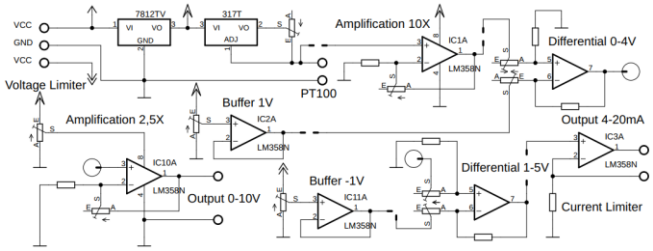


Fig. 3. Circuito Padronizador.

A calibração do sistema é feita no *hardware*, com isso o usuário pode utilizar a planta já calibrada, quando necessário realizar um experimento que envolva somente o conteúdo de controle, ou pode fazer seu próprio ajuste, caso tenha em mente trabalhar com a eletrônica da planta. Com a faixa de aferição de temperatura atual, a sensibilidade [10] é de 160 uA/°C para a saída de corrente, e 100 mV/°C para a de tensão, permitindo que os dados de temperatura possam ser colhidos por ambas as saídas.

A Fig. 4 e Fig. 5 apresentam os valores obtidos na prática para as duas saídas em questão, ambas em função de uma variação de 0 a 100°C.

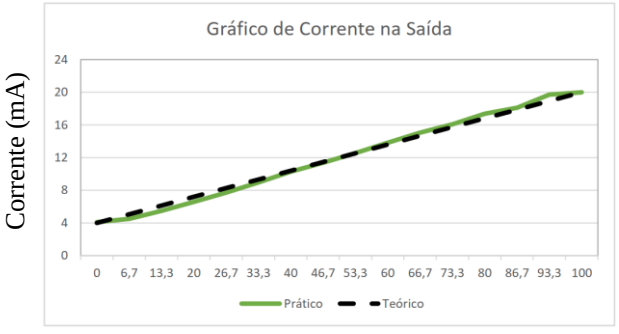


Fig. 4. Saída de corrente em função da resistência.

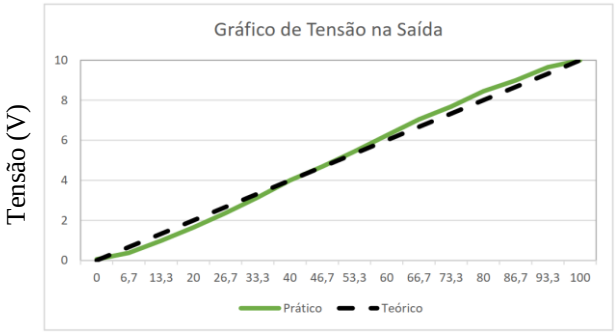


Fig. 5. Saída de tensão em função da resistência.

As Fig. 4 e Fig. 5 mostram a não linearidade do sistema apresentado, fator que poderia ser linearizado por software usando um sistema baseado em microcontroladores ou microprocessadores. Com o incremento desses componentes, poderia ser implementado um sistema de indicação de temperatura de baixo custo, dispensando em algumas aplicações, o uso do CLP [11].

C. Sistemas de Geração de Calor e de Ventilação

A elevação de temperatura interna da planta é obtida por meio de um sistema de geração de calor, este é composto de dois elementos, que em conjunto com a rede elétrica são capazes de dissipar potência na forma de calor. Os elementos que compõe o sistema são um relé de estado sólido e um resistor de potência. O relé é baseado em *Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) e passa a conduzir corrente elétrica quando acionado por um meio externo [12]. Com isso, a resistência aquece e dissipa potência na forma de temperatura. Esse processo causa elevação da temperatura interna da planta. Quando o acionamento é cessado a temperatura volta a baixar lentamente. Para acelerar esse processo, foi implantado um componente simples de ventilação, apresentado na Fig. 6. Este permite ao usuário dominar melhor as curvas de resposta da planta.

Fig. 6. Sistema de Ventilação Interna na Planta.

O relé de estado sólido, do inglês *Solid State Relay* (SSR) e o resistor de potência são os componentes do hardware responsáveis pela geração de calor. O esquema de ligação entre as partes é mostrado na Fig. 7. Nela é possível visualizar a entrada de controle, onde é possível aplicar um sinal *Direct Current* (DC) opticamente isolado, que determina se o SSR está no estado ligado ou desligado. Quando o sinal de controle está presente, o *led* indica que a corrente está fluindo no circuito.

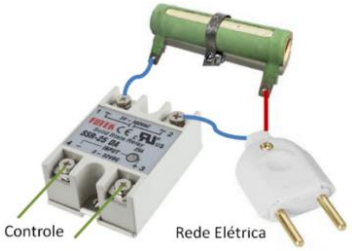


Fig. 7. Sistema de Geração de Calor.

Existem várias formas de produzir o sinal de controle. Sun *et al.* [13] usa o chip CW3842 como modulador Pulse Width Modulation (PWM), acionando o SSR com 24V. Algo semelhante foi feito neste trabalho, a tensão de acionamento durante a validação do protótipo foi de 24V, modulada por PWM. Porém isso foi feito usando linhas de código embarcadas dentro do próprio CLP, evitando a necessidade de se utilizar um chip externo. Como o SSR pode ser ativado de 3 a 32V, permite também o acionamento por parte de microcontroladores [14].

Como exemplo disso, Smitha *et al.* [15] usa um MSP430 enquanto Guerriero *et al.* [16] usa um PIC18LF4620. Ambos para medição e controle das plantas construídas em seus trabalhos. Os dois trabalhos utilizam um conversor Analógico/Digital para quantificar o valor da entrada. O período adotado para utilização do PWM foi próximo de 100ms na maioria dos casos, sendo um fator dependente da dinâmica da planta [17].

D. Estrutura da Planta

O protótipo foi construído em um invólucro metálico cujas dimensões externas são 18 cm de profundidade, 15 de largura e 8,6 cm de altura. Logo abaixo da estrutura metálica foi inserido uma peça de madeira para dar suporte aos conectores de energia, controle e saídas do sistema. A Fig. 8 demonstra a montagem citada.

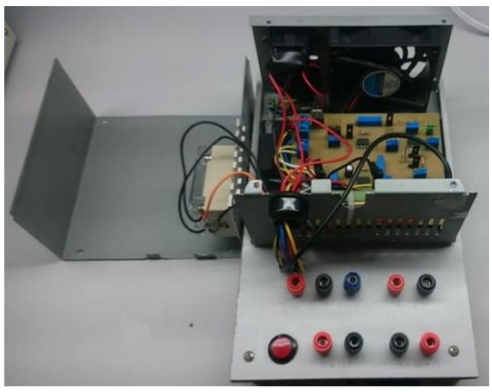


Fig. 8. Protótipo da Planta

As saídas do sistema possuem dois pares de conectores, sendo um par para a saída de corrente e o outro para saída de tensão. Possui três conectores para alimentação e dois para controle, além do botão de acionamento do sistema de ventilação.

III. DINÂMICA DA PLANTA

O comportamento da dinâmica de uma planta pode ser matematicamente expressado pela sua função de transferência. A maioria dos sistemas de controle de temperatura são levantados através de um modelo de primeira ordem com atraso de transporte [18]. A equação (2) expressa a função de transferência genérica de um sistema de 1ª ordem com atraso.

$$H(s) = \frac{k * e^{-\Theta S}}{ts + 1} \quad (2)$$

Sendo *k* o ganho proporcional adimensional, *t* a constante de tempo e Θ o atraso de transporte, ou seja, quanto a saída demora a responder face a uma variação da entrada.

Utilizando os valores reais encontrados da planta de temperatura obteve-se a seguinte equação aproximada (3):

$$H(s) = \frac{0.93 * e^{-10S}}{250s + 1} \quad (3)$$

A. *Comunicação com o CLP*

A comunicação entre o supervisório e o CLP é feita através do protocolo industrial *Open Platform Communications Unified Architecture* (OPC UA) [19]. Ele é o responsável por transferir de forma bidirecional, os dados de controle e de comportamento da planta para a interface do usuário.

O processamento desses dados é feito através de um código embarcado no CLP, que permite a aplicação de cada um dos tipos de controle utilizados nos testes. Sendo capaz de comandar os sistemas de geração de calor e de ventilação, de forma a obter o controle da planta.

B. *Curva de resposta*

Através da aplicação de um método de identificação, em conjunto com o gráfico apresentado na Fig. 9, foi possível descobrir a expressão aproximada da planta, descrita pela equação (3). Durante as medições e levantamento da curva de resposta da planta, a pequena variação da temperatura atmosférica é desconsiderada [11].

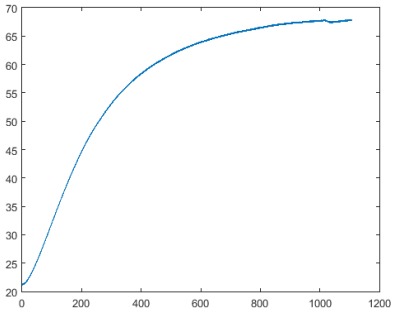


Fig. 9. Resposta da planta a um degrau de 50% do PWM.

Logo, observa-se que o modelo da planta foi aproximado de uma função de primeira ordem com atraso, muito comum em plantas de temperatura. Para realizar a aproximação da função de transferência e criar os gráficos de resposta do sistema, foi utilizado o software Matlab [20].

IV. ENSAIOS E RESULTADOS

A validação da planta é algo relevante pois permite verificar a aplicabilidade de diversos tipos de controle. Li *et al.*[21] utiliza somente um Proporcional Integral Derivativo (PID) para o teste da planta, um dos mais clássicos e comumente encontrados [22]. Draganescu *et al.* [23] utiliza os controles Proporcional Integral (PI) e Preditivo para teste da planta, enquanto Salcedo *et al.* [24] é o mais abrangente, utilizando os controles PID e Preditivo para validação da planta. Neste trabalho além dos controles PID e Preditivo, também foi utilizado um controle especialista, no qual foi empregada lógica *Fuzzy* para controle e validação da planta [25]. Os experimentos foram repetidos sob as mesmas condições de ambientais, provando uma grande semelhança entre os dados obtidos nos diversos testes. Também foram feitos testes com diferentes valores de degrau aplicados na entrada, provando que o controle é eficaz para diferentes valores de temperatura escolhidos pelo usuário. Os resultados dos testes com os 3 controles, para um valor de 60°C, são exibidos nas Fig. 10, Fig. 11 e Fig. 12.

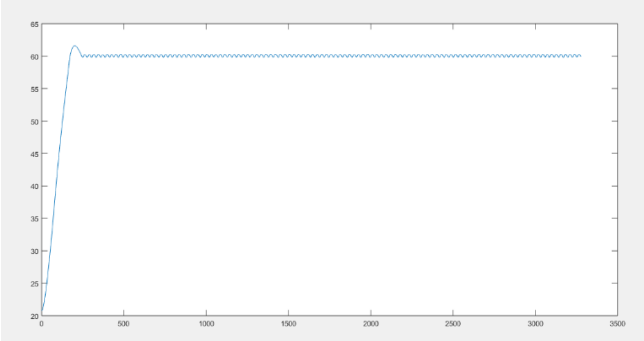


Fig. 10. Resposta ao Controle PID

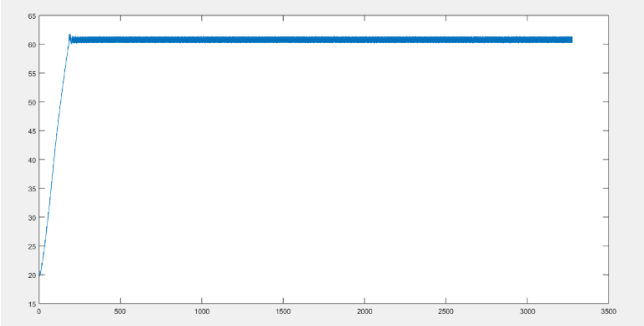


Fig. 11. Resposta ao Controle Fuzzy

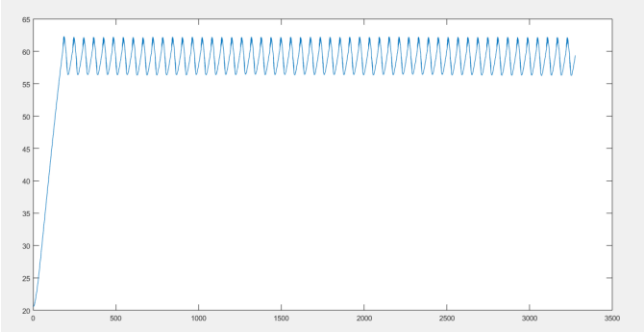


Fig. 12. Resposta ao Controle Preditivo

A configuração dos parâmetros utilizados em cada técnica foi feita utilizando Interface Homem-Máquina (IHM), interface essa que permite ao usuário visualizar a operação em tempo real e a inserção de *setpoints*. Isso permite monitoramento e controle autônomo, proteção e operação de um sistema, aquisição de dados, sincronismo entre o processo, aumentar o nível de automação do sistema, diminuindo a necessidade de intervenção humana constante [26]. A interface criada é demonstrada pelas Fig. 13,Fig. 14, Fig. 15 e Fig. 16.

Fig. 13. Tela inicial do supervisório

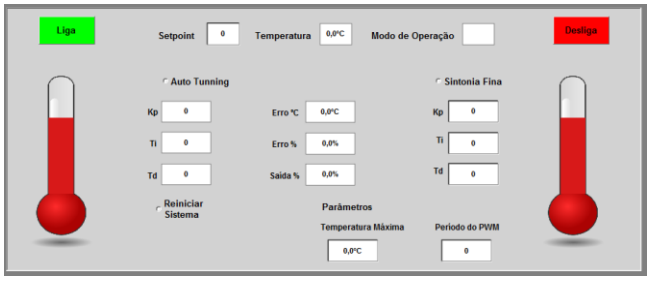


Fig. 14. Tela do Controle PID

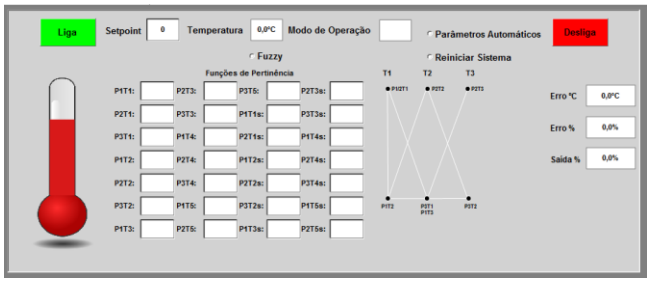


Fig. 15. Tela do Controle Fuzzy

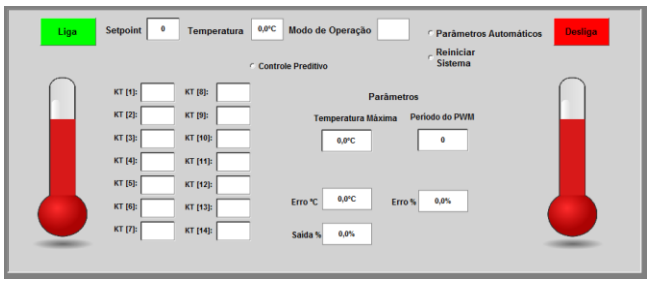


Fig. 16. Tela do Controle Preditivo

V. Conclusão

Os resultados obtidos nesse projeto foram satisfatórios do ponto de vista de controle, como demostrado na sessão dos resultados. Isso permite que a planta possa ser aplicada com eficiência para simulação de uma planta real, devido a utilização de sensores industriais.

O PT100 não tem uma resposta tão rápida se comparado a um LM35, devido seu objetivo de visar maior precisão no processo. Porém o PT100 se aproxima mais do que é utilizado na indústria, pois é muito utilizado na área alimentícia e de fármacos, além de conseguir trabalhar em faixas de temperatura mais elevadas se comparado ao LM35 [3], [8].

Como futura proposta de extensão para esse projeto, sugere-se a utilização de sensores com tecnologias sem fio. Com isso, a comunicação entre o transmissor de temperatura e o receptor poderia alcançar maiores distâncias, sem a necessidade de se alterar o cabeamento. Esses dados poderiam também ser enviados para a nuvem como armazenamento de informação ou mesmo alguma aplicação derivada dos dados obtidos. Além disso, a comunicação ainda continuaria eficiente, pois os dispositivos sem fio têm taxas de transmissão geralmente maiores que a taxa de leitura utilizada no CLP. No caso de taxas de leitura menores que 100ms, um estudo seria necessário para comprovar a efetividade do transmissor sem fio [27], [28].

Referências

[1] H. S. Kalsi, *Electronic Instrumentation*, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2017.

[2] X. Li, W. Sun, Z. Zhong, and J. Shen, "Design of a Temperature Transmitter with Contactless Power and Data Transmission," *20th Int. Conf. Electr. Mach. Syst.*, no. 4, pp. 1–6, 2017.

[3] Novus, "Termorresistências PT100." [Online]. Available: https://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/folheto_pt100.pdf. [Accessed: 30-Oct-2018].

[4] J. Liu, Y. Li, and H. Zhao, "A Temperature Measurement System Based on PT100," *Int. Conf. Electr. Control Eng.*, pp. 296–298, 2010.

[5] K. Venkata, L. Narayana, and V. N. Kumar, "Development of an Intelligent Temperature Transducer," *IEEE Sens. J.*, vol. 16, no. 12, pp. 4696–4703, 2016.

[6] S. O. Aleksic *et al.*, "A ground temperature profile sensor based on NTC thick film segmented thermistors : main properties and applications," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 11, pp. 4414–4421, 2018.

[7] J. Liu, L. Ma, and J. Yang, "Methods and techniques of temperature measurement," *Proc. Int. Conf. Control*, pp. 5332–5334, 2011.

[8] T. Instruments, "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors," *Technical Document*, 2017. [Online]. Available: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf. [Accessed: 28-Oct-2018].

[9] C. M. Franchi and V. L. A. de Camargo, *Controladores Lógicos Programáveis*, 1st ed. São Paulo, SP, Brasil: Editora Érica Ltda, 2008.

[10] D. A. Bell, *Electronic Instrumentation and Measurements*, 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 2013.

[11] S. Chakraborty, S. K. Bera, and S. C. Bera, "Design of a Simple Temperature Transmitter Circuit of an Electric Heater Operated Water Bath," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 8, pp. 3140–3151, 2018.

[12] R. Ranjan, "Solid State Relay Based Inrush Current Limiter with Short Circuit and Under Voltage Protection for DC- DC Converters," *IEEE Int. Conf. Consum. Electron.*, pp. 47–51, 2017.

[13] H. Sun, Y. Li, and F. Jiang, "Design and Realization of the Intelligent Temperature Transmitter," *Int. Conf. Mechatron. Sci. Electr. Eng. Comput.*, pp. 388–391, 2011.

[14] A. S. Leger, D. Smith, J. Spruce, P. Curtiss, G. Gibbons, and M. Miller, "Load Management System for Tactical Microgrids Using

Solid State Relays," *North Am. Power Symp.*, pp. 1–6, 2017.
[15] T. K. Smitha, "Design and Implementation of Control of Solid State Relay Switches Using MSP 430 for Instantaneo Us High Current Supply," *Int. Conf. Green Comput. Internet Things*, pp. 474–479, 2015.
[16] F. Di Napoli, P. Guerriero, V. Alessandro, and S. Daliento, "Single-Panel Voltage Zeroing System for Safe Access on PV Plants," *IEEE J. Photovoltaics*, vol. 5, no. 5, pp. 1428–1434, 2015.
[17] U. Quadri and P. Rangaree, "FPGA implementation of an emulator for Wireless Sensor Node with Pt100 temperature sensor," *IEEE Int. Conf. IEEE Reg. 10*, pp. 1–5, 2013.
[18] D. Ibrahim, *Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control*, Book. Elsevier, 2002.
[19] C. Yang, H. Li, and Z. Liu, "Implementation of migrations from Class OPC to OPC UA for data acquisition system," *Proc. 2012 Int. Conf. Syst. Sci. Eng. ICSSE 2012*, pp. 588–592, 2012.
[20] L. Qingyang, Z. Yuanliang, and X. Wei, "Dynamic Compensation of Pt100 Temperature Sensor in Petroleum Products Testing Based on a Third Order Model," *Int. Work. Intell. Syst. Appl.*, pp. 4–7, 2009.
[21] J. Li, X. Xu, J. Zhang, X. Wang, and J. Cao, "High Power Laser Constant Temperature Control System," *2017 IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom.*, pp. 198–202, 2017.
[22] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ, EUA: Prentice Hall, 2009.
[23] M. Draganescu, S. Guo, J. Wojcik, J. Wang, and X. Liu, "Generalized Predictive Control for Superheated Steam Temperature Regulation in a Supercritical," *CSEE J. Power Energy Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 69–77, 2015.
[24] J. Salcedo, R. Rivas, and J. J. Sotomayor, "Design of a Generalized Predictive Controller for Temperature Control in a Cement Rotary Kiln," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 4, pp. 1015–1021, 2018.
[25] E. R. Neto, E. H. Teixeira, M. A. Ferreira, A. B. Lugli, and J. P. C. Henriques, "Development of a Hybrid Digital Control System for a Temperature Plant," *ISA Autom. Instrum. Control Symp.*, 2018.
[26] G. J. Cokkinides, G. Tech, and P. Myrda, "Grid Modernization : Seamless Integration of Protection , Optimization & Control," *47th Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, pp. 2463–2474, 2014.
[27] L. Hou, S. Tan, Z. Zhang, and N. W. Bergmann, "Thermal Energy Harvesting WSNs Node for Temperature Monitoring in IIoT," *IEEE Access*, vol. PP, no. c, p. 1, 2018.
[28] C. Li, J. Sun, Q. Wang, W. Zhang, and N. Gu, "Wireless thermometry for real-time temperature recording on thousand-cell level," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 66, no. 1, pp. 23–29, 2018.

A 3D Modeling Process to be Applied in an Industrial Virtual Reality Training Platform

Lucas Sales de Oliveira Almeida
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
lucassales@gea.inatel.br

Matheus Vinícius Cirino e Silva
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
matheuss@gec.inatel.br

Alexandre Baratella Lugli
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratella@inatel.br

João Paulo Carvalho Henriques
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
joao.paulo@inatel.br

Renzo Paranaíba Mesquita
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
renzo@inatel.br

***Abstract*— In the context of the 4.0 industry, new technologies have been aggregated to the factories. One pillar of this massive change in industries is Augmented and Virtual reality, which shows itself as a promising area for training purposes and error diagnoses. The goal of this paper is to develop 3D objects to be used in a virtual reality system capable of showing a can production company operators the procedure for components exchange in a machine responsible for the production of aluminum cups. The methods used to fulfill the project goals are presented as well as the tools used to develop the proposed system.**

***Index Terms*— 3D Modeling, Virtual Reality, Autodesk Fusion, Industry 4.0**

I. Introduction

The current context of industry is about resource optimization and swift procedures. As mentioned by Rojko [1], the current industrial process is driven by competition and a need to quickly adapt to an ever-changing market. Efforts are now directed to a new industrial revolution to help congregate the economic solutions to these modern problems with state-of-the-art technology. This new movement by which companies need to adapt is called industry 4.0.

According to Erboz [2], Industry 4.0 is based in the use and creation of technologies that are within nine different pillars. One of them is the Augmented Reality, responsible for showing digital contents on the physical world through a device. It can also imply the use of Virtual Reality (VR), a complete immersion of the user into a 3D virtual environment.

The applications and use of VR are endless. It can be applied from digital games for pure entertainment to solutions for medical diagnostics or military applications [3]. The use of VR environments, specifically in training, has the potential to dramatically reduce its costs, as the users don't have to be physically present in a real environment to learn a new skill.

Based on the wide range of VR usage, and aiming to create a solution to solve a real problem of a company, comes the proposal of this work: the development of a set of 3D objects to be used in a VR production line machine with the goal of training employees of a can production company in how to operate, upkeep and overall understand the performance and workings of it before they get their hands on the physical equipment.

The remainder of this paper is organized as follows: section II provides a summary of related works that also tried to use VR technology to create new solutions to the Industry 4.0. Section III highlights details of Fusion 360, an important tool used to recreate the proposed objects in a 3D environment. Section IV presents details of how the survey was carried out in order to understand the peculiarities and complexities of the objects, and finally, in section V, the authors conclusions are presented.

II. Related Works

Some authors have already researched about the advantages and use of virtual reality not only in the industry but in different application areas.

A survey conducted by Berg et al. [3] aimed over the applicability of VR technology for product development and manufacturing. The survey occurred in the form of visits and conferences with 20 companies that use VR in various forms. The objective was to determine how and which VR technology has been enforced. It was esteemed that CAVE was the most common between the companies and the Head Mounted Devices (HMD) [4] method appeared in third place, which revealed that there is space for more research using these technologies when applied for industry.

Zhang Hui [5] describes a VR system developed for mining applications. The paper compares the applicability, regarding the immersion and easiness, of HMD devices for VR immersion, with the conventional screen-based system. The created environment allows the user to interact and utilize drilling machinery through the use of a Leap Motion device attached to the HMD. The results were collected by questionnaires, delivered to users, that addressed the following subjects:

Immersive, Intuitive, Interactive, Easy to use, Easy to learn. In all subjects, the VR technology presented itself as superior.

A training system developed by Simone Borsci et al. [6] focused on car services maintenance. In the paper, a debate over the learn-by-doing training method is discussed, addressing the pros and highlighting as the main con the cost issue of this approach. As a possible solution to the cost situation of a learn-by-doing training, a virtual environment in which car services maintenance proceeding could be performed was developed. The presented results showed that users who were submitted to the virtual training were able to obtain higher scores in tests applied to non-virtual trained users, but as a side effect, some users reported motion sickness due to the system.

III. Employed Technologies

In order to achieve this paper's goals, an extensive use of 3D modeling was employed. The technology in question being the software Autodesk Fusion 360.

Fusion 360 is a 3D modeling software from Autodesk Inc., a leader in 3D design, engineering, and entertainment software [7]. Some of important Fusion 360 features [8] are:

- 3D modeling: allows users to create 3D models with free form, direct, parametric, mesh and sheet metal designs;
- Simulation: users can test designs to ensure they can be applied to real-world applications. These simulations can be for static stress, thermal stress, events simulations and many others;
- Cloud-based: Designs and projects can be stored safely in the cloud, furthermore, projects can be shared and accessed from other computers and there is a cellphone application that gives access to the project;
- Collaborative environment: projects can be created cooperatively and can be edited and commented by the team.

A full can bodymaker machine was modeled with Fusion software. This was possible thanks to the machine parts drawings provided by the factory. These drawings contain the dimensions for the machine's parts and how to assemble them. However, many visits were conducted to the factory in the city of Pouso Alegre to ensure measurements are correct and to have a better understanding of the modeled parts placements in the machine and how to assemble them.

Once the drawing is available, it is possible to import it into the Fusion environment, however, it is necessary to re-scale the image, through a method called "Calibrate", which allows the user to make fine adjustments to the image size so that sketch's dimensions match the real part's dimensions. But while this technique was employed for most cases, not all pieces had their respective drawings, which required visits to the factory so the measurements could be obtained.

IV. Proposed Solution

Aiming to develop a 3D model of a can Bodymaker machine suitable for simulation ends, Autodesk Fusion 360 was employed as clarified in Section III. This goal represents the need of industries in the actual context of industry 4.0, for virtualization of production lines. The developed model could be served for integration on both augmented and virtual reality scenarios.

The actual development of the project was separated on planning, execution and finally the results analysis.

A. Project Planning

The first step for the project development was a research on the Bodymaker's manufacturer website. This was essential to have a deeper understanding of the machine's operation. A second point for the planning was visits conducted to a factory that uses the machine. This allowed the authors to observe the machine in operation as well as to make measurements if needed.

B. Project Execution

In order to model the Standun Bodymaker B6 [9] displayed in Figure 1, visits to the factory were made to better understand the parts dimensions and their placements in the machine. The main concern of the team for this project was the development of the parts separately so that later they could be grouped with other ready parts to create entire machine sections.

Fig. 1. Real Standun Bodymaker B6, Stolle Machinery.

In Figure 2 it's pointed that a part such as Part A, can have N subparts, this depends on its complexity. The subparts are then grouped using Fusion's "Joint"feature, whose types are Rigid, Revolute, Slider, Cylindrical, Pin-slot, Planar, and Ball. This will make one component to be "attached"to another and will give a motion that relies on the type of Joint applied. For most cases, rigid and revolute joints were types able to reproduce the expected motion. An example is to parts that should be fixed tight together, where a rigid joint is the most suitable. In contrast, for motions alike doors, a revolute joint will be the most suitable. By the end of the N attachments of Part A's subparts, the final Part A would be complete. The grouping of multiple parts would make a section and finally, grouping all sections would result in a full bodymaker.

The final model displayed in Figure 3 was exported using Filmbox(fbx) file format, compatible with most development platforms, including Unity and Unreal Engine. Despite the

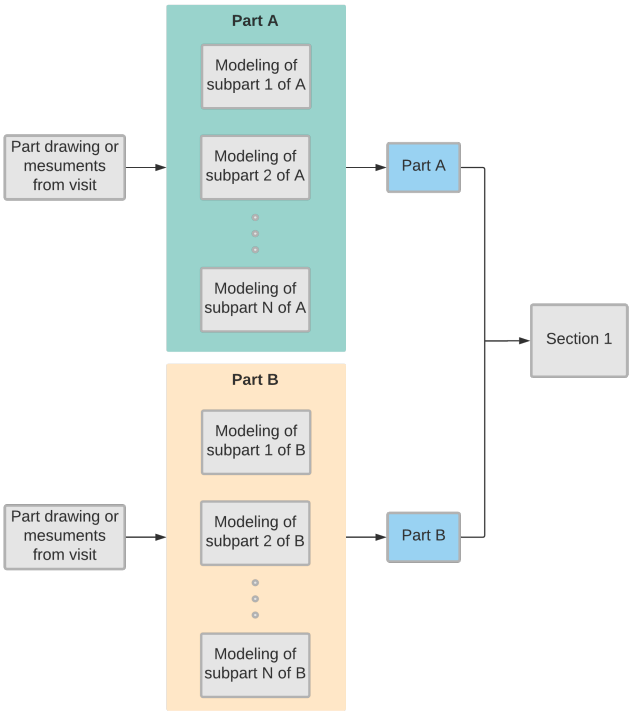


Fig. 2. Modeling procedure.

fact that exporting the model did not noticeably changed the objects dimensions, a large number of vertices were created to reproduce the model presented in fusion environment. It's worth noticing that a large number of vertices can impair on a developed application. A way around this problem is to merge some of the vertices. For this porpuse Blender 2.8 [10] was used. Via Blender's "Limited Dissolve"tool, vertices closer than the user given value were merged together, this way only minor alterations to the model characteristics are made, in most cases the changes aren't noticeable and could lower from one million vertices to, approximately, 800 thousand.

C. Results

By the end of the project, not only the outside part of Bodymaker machine was modeled in Fusion's environment, but some internal parts were created too. Figures 4, 5 and 6 show some of important internal parts of the machine.

Given the concern to create a compatible model for development environments, the developed model can be be easily imported into Unity environment, for example. The adopted file format also helps the developer to use this model for animations, once the objects remain organized.

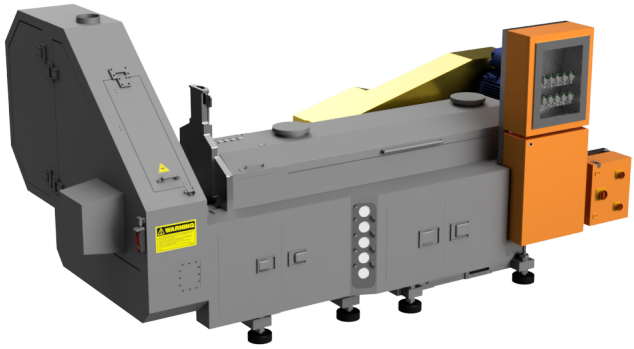


Fig. 3. Final model developed in Fusion 360.

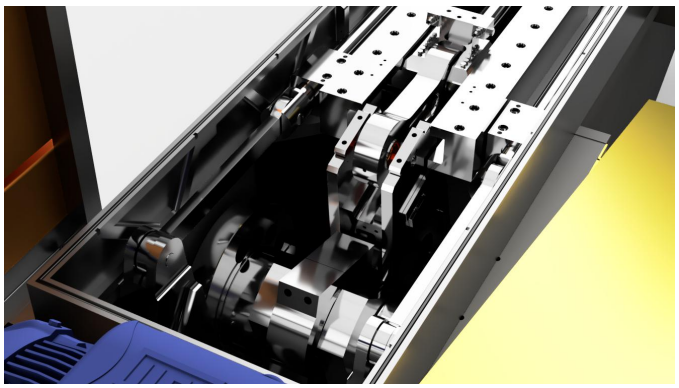


Fig. 4. Rendering of the internal parts of the machine, seen from above.

Fig. 5. Rendering of the internal parts of the machine without the external fairing.

V. Conclusions

Industry 4.0 trends promise to improve production, employing new technologies in the production lines. Technologies

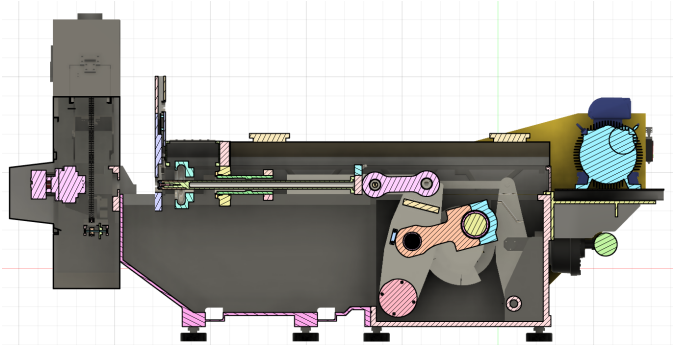


Fig. 6. Side sectional view of the machine.

such as augmented and virtual realities can possibly affect the way that training sessions are done, without disrupting a real operating line.

In the end of this project only few parts of the machine were not made, such as electrical wiring, pneumatic and hydraulics parts and one lid. The machine, however, shows itself as a very similar model to the real one. Because of the many visits conducted, the model dimension were kept, more over the moderate number of vertices does not heavily impacts on a application.

One of the obstacles on the making of this project was the complexity of certain parts of the Bodymaker machine, given that not all of them had their own detailed sketches, and required some guesswork and alternative methods to acquire their dimensions.

For future work, the goal will be to explore and use the Unity 3D platform to import and adapt the created 3D objects inside a Virtual Reality environment in order to fully create the desired platform.

REFERENCES

[1] A. Rojko, "Industry 4.0 concept: background and overview," *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, vol. 11, no. 5, pp. 77–90, 2017.

[2] G. Erboz, "How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0," *Szent Istvan University, Gödöllő*, pp. 1–9, 2017.

[3] L. P. Berg and J. M. Vance, "Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey," *Virtual reality*, vol. 21, no. 1, pp. 1–17, 2017.

[4] A. Schindler and B. Rottenkolber, "Hmd device," Sept. 20 2005. US Patent 6,945,648.

[5] H. Zhang, "Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry," *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 27, no. 4, pp. 717–722, 2017.

[6] S. Borsci, G. Lawson, B. Jha, M. Burges, and D. Salanitri, "Effectiveness of a multidevice 3d virtual environment application to train car service maintenance procedures," *Virtual reality*, vol. 20, no. 1, pp. 41–55, 2016.

[7] Autodesk, "About Autodesk, Company," 2018. Available in `https://www.autodesk.com.br/company`. Accessed in Jan/20.

[8] Autodesk, "Fusion 360 Features," 2020. Available at `https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features`. Accessed in Jan/20.

[9] S. Machinery, "Stolle Standun Bodymakers," 2019.

[10] Blender Fundation, "Blender home page," 2020. Available at `https://www.blender.org/`. Acessed in Feb/20.

Ensino de Programação em Escolas de Ensino Médio por meio do Projeto Programação 1.0: Novos Resultados e Perspectivas

Rafaela de Moraes Papale
Larissa Alitto Ribeiro
Vanessa Swerts Esteves
rafaela.papale@gec.inatel.br
larissaalitto@gea.inatel.br
vanessaswerts@gec.inatel.br

João Gustavo Rogel de Oliveira
Esteferson Junior Miguel
Marcelo Henrique Gonçalves da Silva
joaogustavo@gec.inatel.br
esterfesonjr@gea.inatel.br
marcelo.silva@inatel.br

Juan Carlos Noceli Ferrugini
Renan Dias Faria
Renzo Paranaíba Mesquita
juan.ferrugini@ges.inatel.br
renandias@gec.inatel.br
renzo@inatel.br

***Abstract*— This work aims to present the results obtained in the 2019's edition of the project entitled Programming 1.0, whose mission is to teach programming to young people in order to develop important and highly demanded skills currently in the labor market. The article highlights how the project was modeled, its stages, its evolution, and mainly, the general results achieved in the last edition.**

***Index Terms*— Education, Programming, Computing, C++.**

***Resumo*— Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos na edição 2019 do projeto intitulado Programação 1.0, que tem como missão ensinar programação a jovens a fim de que desenvolvam competências importantes e altamente exigidas pelo mercado de trabalho atual. O artigo destaca como o projeto foi modelado, suas etapas, sua evolução, e principalmente, os resultados gerais alcançados na última edição.**

***Palavras chave*— Educação, Programação, Computação, C++.**

I. Introdução

O ensino de programação, atualmente, possui uma importância equivalente ao que teve o ensino do inglês no século XX, tornando essa uma competência ambicionada pelo espaço corporativo [1]. A partir disso e juntamente com a veloz transição da tecnologia e sua aplicação em vários setores é possível constatar o quão ponderoso é esse conhecimento em todas as profissões, uma vez que esse é capaz de proporcionar um ganho de produtividade e efetividade na solução de problemas.

A aproximação com a tecnologia garante benefícios como estímulo do raciocínio lógico, criatividade, trabalho em equipe e organização. Além disso, forma cidadãos digitais hábeis e envolvidos com o desenvolvimento da inovação, o que traz avanços para a sociedade. Segundo Steve Jobs, que foi um empresário norte-americano e co-fundador da empresa Apple, "Todos nesse país deveriam aprender a programar um computador, pois isso ensina a pensar"[2]. Sendo assim, cabe destacar que nem todos que aprendem programação irão seguir uma carreira em Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), porém, o conhecimento adquirido é de suma importância já que o aprendizado da lógica de programação ajuda a desenvolver várias habilidades que muitas vezes estão ocultas.

Diante dos benefícios apresentados e o grande crescimento na demanda do mercado por profissionais com conhecimento tecnológico, vários países no início dessa década reconheceram a importância do ensino de programação na formação do estudante. A Austrália, por exemplo, em 2015 tornou o ensino de programação parte do currículo escolar obrigatório para todos os estudantes maiores de 10 anos de idade. O ex-ministro da educação australiano, Christopher Pyne, afirmou: "Todas as crianças precisam entender o pensamento computacional e como ele pode contribuir para o seu futuro"[3].

No Brasil, apesar do Ministério da Educação não exigir o conteúdo nas escolas, existem algumas iniciativas independentes que buscam disseminá-lo, como por exemplo, o projeto Escola de Hackers[4] que ensina técnicas e habilidades de codificação, desenvolvendo o raciocínio lógico e matemático utilizando o *software* Scratch para alunos do 6º ao 9º ano. Outro exemplo é o Computação Na Escola[5], que é uma iniciativa dedicada à aumentar e facilitar o ensino de computação por meio do desenvolvimento de jogos com Scratch, aplicativos fazendo uso do App Inventor ou pela programação de robôs interativos com Scratch/Snap! e Arduino. Além dos projetos que apresentam cursos presenciais, existem iniciativas com o auxílio de plataformas *online*, como o Code Club[6] que é uma rede mundial gratuita, completamente gerenciada por voluntários com intuito de ensinar programação de computadores às crianças de 9 a 13 anos.

Tendo em vista a importância do ensino de programação e com o intuito de incentivá-lo de forma gratuita em escolas de ensino médio do Brasil, o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) criou o projeto Programação 1.0 (lê-se Programação um ponto zero). O projeto tem como objetivo desenvolver o raciocínio lógico, criatividade, pensamento abstrato, resolução de problemas e organização em seus participantes. Mesmo com os resultados positivos produzidos no ano de 2018 [7], a ação assumiu um novo formato a fim de impactar um maior número de alunos, tal como a reformulação no material e na didática de ensino, além da oficialização da competição de programação, intitulada Maratona Anual de Programação do Inatel (MAPI).

Neste artigo, será discutido na seção II, de forma mais detalhada, o que é o Programação 1.0 resumindo os resultados obtidos no ano de 2018 e dando foco nas principais mudanças realizadas. Na seção III, serão apresentadas as novidades e os dados alcançados no ano de 2019 comparando-os com a edição anterior. E por fim, na seção IV são apontadas as conclusões a respeito do projeto e suas evoluções.

II. Programação 1.0

O projeto foi criado no ano de 2016 pelo Núcleo de Relacionamento com Colégios (NRC) do Inatel, setor responsável por atender as demandas das escolas de ensino fundamental II e médio e também ofertar atividades que aproximem os estudantes do ensino superior. Inicialmente, foi entitulado Projeto OBI, pois a proposta era estimular os alunos a competirem na Olimpíada Brasileira de Informática (OBI).

Diante do sucesso do projeto, em 2017, foi produzida uma reestruturação e a iniciativa, agora denominada Programação 1.0, passou a contar com uma nova modelagem tanto a nível visual quanto na metodologia de ensino aplicada. Repetindo o sucesso do ano anterior e alcançando as metas ambiciadas para 2017 de dobrar o número de escolas atendidas, no ano seguinte, o programa realizou a primeira edição no novo formato, com treinamento presencial e *online*, encerrando as atividades no instituto durante a Feira Tecnológica do Inatel (Fetin), onde aconteceu a primeira edição da MAPI.

O projeto no ano de 2018 teve como percentual de presença aproximadamente 81% do total de inscritos, atendendo 232 alunos de 10 escolas. Os colégios selecionados partiram de um principio de localidade, no qual priorizou-se a região sudeste visando a mínima interferência na carga horária dos alunos bolsistas responsáveis pelo projeto e facilitando o deslocamento. Desse modo, foram escolhidas 6 cidades da região, sendo elas: Atibaia (SP), Belo Horizonte (MG), Bragança (SP), Cambuquira (MG), Campanha (MG) e Volta Redonda (RJ).

A equipe do Programação 1.0 era composta por 4 mulheres e 3 homens a fim de promover um ambiente igualitário no qual os alunos tivessem segurança para expor suas dúvidas, além de incentivar um espaço em que as meninas pudessem se identificar e ter como inspiração outras mulheres que estão dentro da área de tecnologia. Diante disso, observou-se entre o total de alunos presentes no treinamento a presença de 40% do sexo feminino e 60% do masculino.

A experiência que o projeto proporcionou indiretamente também acarretou em uma maior aproximação dos alunos com o Inatel, no qual tiveram um maior conhecimento da instituição e dos cursos ofertados pela faculdade. Deste modo, constatou-se que 14 se inscreveram para o vestibular, sendo que 8 se matricularam.

O desenvolvimento e os resultados do projeto até 2018 foram explicados de forma mais detalhada no artigo "A importância do ensino de programação em escolas de ensino médio por meio do projeto Programação 1.0 "[7]. No próximo tópico, será discutido de forma mais aprofundada as principais melhorias na edição de 2019 e a comparação com os resultados do ano anterior.

III. Resultados

Por meio do Programação 1.0, considerando o alto índice de cursos ligados à tecnologia juntamente com o carecimento de profissionais qualificados nessa área, foi possível contribuir significativamente na carreira tanto dos participantes quanto dos bolsistas executores do projeto. Dessa forma, o projeto iniciou com 4 novos integrantes, totalizando oito acadêmicos sob a orientação do Prof. Me. Renzo Paranaíba Mesquita e do engenheiro Marcelo Henrique Gonçalves da Silva. Baseando nos resultados de 2018, nesta nova edição foi realizada uma reformulação no material didático, buscando uma evolução na pedagogia e, consequentemente, no aprendizado dos participantes. Sendo assim, os bolsistas realizaram uma otimização no conteúdo por meio de uma linguagem mais objetiva e com a verificação das estruturas de programação na prática. Então, de acordo com uma pesquisa feita entre os participantes, foi possível obter um resultado satisfatório dessa alteração. A Figura 1 ilustra esses resultados.

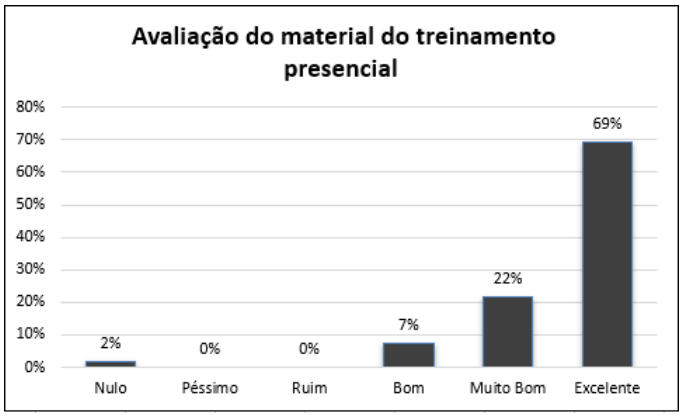


Fig. 1. Avaliação do material do treinamento presencial pelos participantes do Programação 1.0 no ano de 2019

Ao longo da execução do projeto em 2019 foram obtidos dados para realizar a comparação com a edição anterior. A partir disso, o projeto manteve o número de 10 escolas atendidas, contudo, houve um aumento de aproximadamente 38% no número de alunos inscritos, totalizando 396. Desses, 253 estiveram presentes, resultando em um crescimento de aproximadamente 9% comparado ao ano de 2018. Em relação ao gênero, observou-se um maior equilíbrio, de acordo com os dados citados no tópico anterior, atingindo uma porcentagem de 44% de público feminino e 56% masculino, conforme ilustra a Figura 2.

Mediante às requisições das coordenações de colégios já participantes, os cursos foram ministrados novamente nas cidades de Bragança Paulista (SP), Belo Horizonte (MG) e Volta Redonda (RJ) e inclusos em Pouso Alegre (MG), Poços de Caldas (MG), São José dos Campos (SP) e Varginha (MG). Dessas, Poços de Caldas, Bragança Paulista e Volta Redonda contaram com 2 colégios atendidos. A razão pela qual se fez necessário a inclusão dessas 4 novas cidades decorre das mesmas justificativas da edição passada priorizando a área de

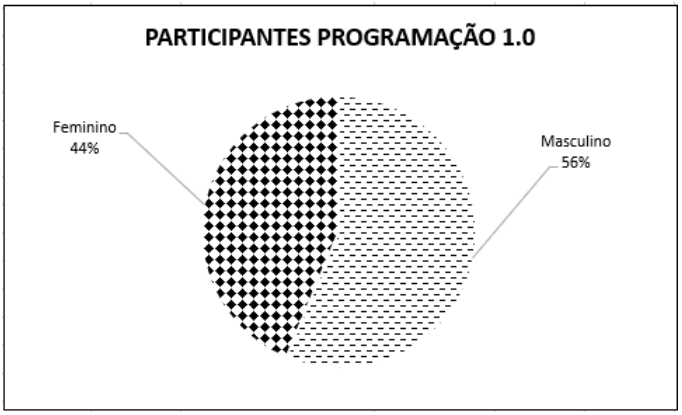


Fig. 2. Porcentagem de homens e mulheres participantes do Programação 1.0 no ano de 2019

atuação e estratégia do NRC. A Figura 3 mostra a porcentagem de participantes em seus respectivos municípios.

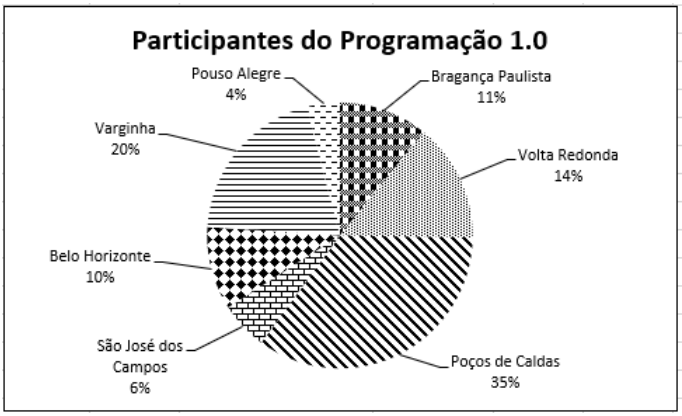


Fig. 3. Participantes do Programação 1.0 e suas respectivas cidades.

A programação da MAPI contou com um cronograma semelhante ao da edição anterior, porém algumas atividades foram atualizadas. Essas visavam um aproveitamento máximo das experiências, mantendo o seu forte dinamismo. Dessa forma, no primeiro dia foi disponibilizada uma maior carga horária para visita ao *campus*, a fim de que os alunos pudessem conhecer os mais de 40 ambientes laboratoriais do instituto e a 38ª edição da Feira Tecnológica do Inatel (Fetin), na qual foram expostos projetos inovadores desenvolvidos pelos próprios universitários e que solucionam problemas de diferentes áreas priorizando as 17 metas globais da ONU (Organização das Nações Unidas). Para promover um momento de entretenimento e descontração, foi produzido um novo totem para a dinâmica torta-na-cara e acrescentou-se uma nova funcionalidade, o jogo do balão, atividade em que os alunos jogam em duplas e devem proferir palavras sobre um determinado tema até que o balão estoure, o aluno perde quando o balão explode na sua mão.

No início do segundo dia, assim como no ano anterior, ocorreu a aula de revisão em que garantiu que todos os participantes tivessem as mesmas informações antes da competição final. Por fim, no período da tarde, foi realizada a MAPI, com 27 duplas que tiveram 4 horas para solucionar 12 exercícios de diferentes níveis, englobando todo o conteúdo ministrado ao longo do projeto. A partir disso, na edição passada, após finalizada a competição observou-se que nenhuma dupla conseguiu solucionar todos os exercícios e 7 concluíram apenas 1 problema. Em relação ao ano de 2019, percebe-se uma progressão dos resultados, chegando a 4 duplas solucionando a prova completamente e 2 duplas resolvendo pelo menos 2 exercícios, sendo este o menor número de exercícios solucionados. É importante lembrar que o nível de dificuldade de ambas as provas foram os mesmos e isso se repete para a quantidade de questões. A Figura 4 mostra o número de exercícios realizados por cada dupla ao final da competição em 2019.

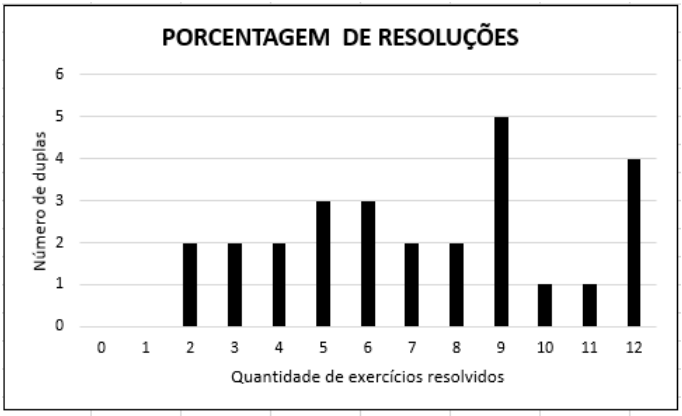


Fig. 4. Participantes do Programação 1.0 e suas respectivas cidades.

Para encerramento do projeto foi realizada uma cerimônia de premiação no palco principal da Fetin. Na ocasião, foram entregues um troféu para cada integrante da dupla referente aos 3 primeiros colocados na MAPI juntamente com os prêmios de cada colocação. Assim como na edição anterior, o troféu foi confeccionado e produzido pelos integrantes do Programação 1.0. Com a conclusão das atividades e com base nos objetivos pretendidos com o projeto, e seguido da análise dos resultados obtidos, na seção V são apresentadas as conclusões.

IV. Conclusão

Neste artigo, é possível observar a evolução e maturidade alcançada pela equipe do Programação 1.0. A ação que começou com poucos colégios e baixo número de alunos participantes, hoje, consegue apresentar resultados significativos para a faculdade. O projeto gerou números como 253 participantes e 10 colégios em 7 cidades atendidas somente neste último ano. Com grandes avanços na didática e ferramentas empregadas, o curso passou de um treinamento de 16 horas para um total de 12 horas, mas sem perder a qualidade, conforme ilustra os resultados apresentados.

Os resultados apresentados demonstram os vários desafios enfrentados pela equipe executora do projeto. Seja na comunicação, didática, organização, planejamento, comportamento, vestimenta e, principalmente, nas capacidades técnicas.

Isso tudo, sem perder o foco na graduação que é a grande prioridade de um universitário. O projeto possui um objetivo bastante abrangente e com inúmeras áreas possíveis para se explorar e trabalhar as competências dos bolsistas. Nota-se uma evolução por completo, seja em suas *hard* ou *soft skills*. Quando falado de competências técnicas, entende-se que não há maneira melhor de ensinar, se não pelo entendimento por completo do conteúdo. Tendo os iniciantes da ciência um domínio da parte técnica, isso faz deles profissionais confiantes para transmitirem seus conhecimentos. Por outro lado, as competências comportamentais são observadas nas relações interpessoais, seja entre colegas, alunos e profissionais, o que possibilitou o desenvolvimento de aptidões mentais, sociais e emocionais. A criatividade e inteligência emocional imperam no projeto do início ao fim. Seja pela convivência entre os colegas, pela divisão de tarefas e materiais ou ainda no desafio de buscar alternativas para se entreter e cativar o público.

Com a continuidade do projeto e o sucesso das edições passadas, alguns desafios estiveram presentes, como manter a homogeneidade de conhecimento entre os alunos, visto que as turmas eram compostas de participantes de edições anteriores e novatos. Além disso, foi realizado um levantamento, entre os bolsistas, das dificuldades encontradas pelos alunos no aprendizado das estruturas de programação, o que permitiu a refatoração do material atendendo aos requisitos propostos.

Concomitantemente ao desenvolvimento do material, outro obstáculo foi encontrado: a disponibilidade de exercícios oferecidos pela plataforma escolhida para correção automática, tanto durante o treinamento, quanto na MAPI. A submissão de novos desafios era inviável, visto que o processo demanda tempo e recursos. Desse modo, a equipe teve dificuldades para encontrar exercícios que tornassem o nível da competição adequado e que não tivessem sido utilizados durante as aulas e competições da edição anterior.

O projeto apresenta potencial para expansão. Tanto que, para o ano de 2020, mudanças serão implementadas em toda sua estrutura, dentre elas: nova linguagem de programação que, consequentemente, altera o material, a carga horária e a identidade visual. Com a inclusão desses novos recursos e o sucesso desta e das edições anteriores, tornou-se possível a adição de novos colégios, logo objetivando atingir um número maior de alunos.

A decisão da nova linguagem de programação, Python, é fundamentada no aumento de sua utilização e na facilidade de sua implementação no mercado de trabalho e na programação competitiva [8]. Considerando o objetivo principal do projeto que é ensinar a lógica de programação, o Python apresenta uma grande vantagem, visto que possui uma sintaxe mais simples e intuitiva. Portanto, poderá haver um impacto na carga horária tornando o treinamento ainda mais conciso e dinâmico, de forma que todo o conteúdo conseguirá ser ensinado na aula presencial. Por fim, a nova identidade visual acompanha os novos conceitos relacionados a linguagem escolhida, além de representar um amadurecimento, visando aproximar ainda mais o projeto do público.

REFERÊNCIAS

[1] Ocimara BALMANT. “Programação é o inglês do século XXI”. Em: *O Estado de São Paulo* (2017).

[2] Cledison da Silva NASCIMENTO. *Introdução ao ensino de Lógica de Programação para crianças do Ensino Fundamental com a ferramenta Scratch*. 2015.

[3] Cláudio Florenzano. *Países e cidades do mundo começam a tornar obrigatório o ensino de programação nas escolas.* 2015. URL: https://www.cbsi.net.br/2015/09/paises-e-cidades-do-mundo-comecam-a-ensinar-computacao-obrigatoriamente.html.

[4] Fernanda Batistela, Adriano Canabarro Teixeira, Neuza Terezinha Oro, João Alberto Ramos Martins e Ariane Mileidi Pazinato. “A ESCOLA DE HACKERS: PROGRAMAÇÃO DE COMPUTADORES PARA ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL”. Em: *Qualidade e politicas públicas na educação 8*. Antonella Carvalho de Oliveira, dez. de 2018, pp. 1–11. DOI: 10.22533/at.ed.0561819121. URL: https://doi.org/10.22533/at.ed.0561819121.

[5] UFSC. *Computação na Escola*. [Online; Acesso em 13-março-2020]. UFSC. 2020. URL: http://www.computacaonaescola.ufsc.br.

[6] Code Club. *Code Club Brasil*. [Online; Acesso em 13-março-2020]. Code Club Brasil. 2020. URL: https://www.codeclubbrasil.org.br/sobre-o-projeto.

[7] Renzo Mesquita, José Andare Neto, Thaís Escobar Alves, Larissa Ribeiro, Renan Dias Faria, Vanessa Esteves, Marcelo Henrique e Esteferson Miguel. “A importância do ensino de programação em escolas de ensino médio por meio do projeto Programação 1.0”. Em: *INCITEL 2019 ()*. Instituto Nacional de Telecomunicações, fev. de 2019. URL: https://jems.sbc.org.br/PS.cgi/192663.pdf?m=192663&fi=0&f=192663.pdf.

[8] TIOBE Software. *TIOBE Programming Community Index, Março 2020*. [Online; Acesso em 13-março-2020]. TIOBE Software. 2020. URL: https://www.tiobe.com/tiobe-index/.

Uma Proposta Lúdica para Conscientização dos Malefícios Causados pelas Drogas - Uma História do Projeto Tô Ligado

Aguinaldo de Souza Júnior Guilherme Corrêa Renzo Paranaíba Mesquita

***Abstract*— Drugs present themselves as one of the most difficult challenges to fight in society. The number of users and the harm caused by these substances with each passing day become more alarming. Young people are the most likely to enter this world, so governments and institutions that want to tackle this problem in the bud must increasingly think of innovative and effective ways of doing this. This work aims to describe the process of developing a serious game to support the "Tô Ligado"Project, an existing program in the state of Minas Gerais, Brazil, which aims to raise awareness among young people in public schools about the harm caused by drug use. In addition to details of the game's development, works related to the theme and details of how it works are also presented.**

***Index Terms*— Drug Addiction, Serious Game, Awareness, Social Project.**

***Resumo*— A drogas se apresentam como um dos mais difíceis desafios de se combater na sociedade. O número de usuários e os malefícios causados por estas substâncias a cada dia que passa se tornam mais alarmantes. Jovens são os mais susceptíveis a entrarem nesse mundo, por isso, governos e instituições que queiram combater este problema pela raiz devem cada vez mais pensar em formas inovadoras e eficazes de se fazer isso. Este trabalho visa descrever o processo de desenvolvimento de um jogo sério para servir de apoio ao Projeto "Tô Ligado", um programa existente no estado de Minas Gerais, Brasil, que tem como objetivo conscientizar jovens de escolas públicas sobre os malefícios causados pelo uso de drogas. Além de detalhes de desenvolvimento do jogo, trabalhos relacionados ao tema e detalhes de como o mesmo funciona também são apresentados.**

***Palavras chave*— Drogadição, Jogo Sério, Conscientização, Projeto Social.**

I. Introdução

Uma pesquisa residencial realizada pela fundação Oswaldo Cruz comprovou que em média 3.5 milhões de brasileiros utilizaram de drogas ilícitas [1]. Este número pode ser ainda maior pois muitos consumidores nem sequer frequentam suas residências, e sim, locais onde se encontram grupos que adquirem e utilizam destas substâncias. Normalmente o vício se inicia na adolescência e a porta de entrada são drogas consideradas lícitas como cigarros e bebidas alcoólicas [2]. Após a integração com outros usuários e a constante utilização, os efeitos vão se tornando menores e os jovens tendem a procurar outras drogas mais fortes para se satisfazerem, pois, além do vício, naturalmente aparecem os problemas familiares e escolares que podem se agravar se não forem orientados e muitas vezes tratados de forma adequada.

O governo, em parceria com diversos projetos sociais, propõem iniciativas que buscam amenizar este problema, e geralmente por meio de palestras e cursos em escolas, buscam fornecer a informação necessária para que o jovem crie controle de si próprio e saiba decidir qual o melhor caminho seguir. Por exemplo, o projeto "Tô Ligado"[3] é um projeto social que busca de forma moderna e lúdica orientar os jovens sobre os riscos do envolvimento com as drogas.

O projeto aborda a vida de 6 personagens com histórias e culturas diferentes e já é reconhecido por sua eficácia em orientar jovens de escolas públicas de maneira mais espontânea. Por meio de palestras, distribuição de histórias em quadrinhos e cartilhas, utiliza de abordagens mais lúdicas pois, apesar de se tratar de um assunto muito sério, visa apresentar os riscos aos jovens de uma maneira mais natural e não como uma obrigação exacerbada.

Este trabalho tem como objetivo apresentar a criação de um *serious game* em formato digital que poderá possivelmente servir como material de apoio às cartilhas do programa, buscando proporcionar mais uma maneira moderna e natural de apresentar os riscos de se envolver com as drogas. Intitulado "Uma História do Projeto Tô Ligado", o jogo se apresenta como uma aventura em que o jogador precisa se manter longe de más influências para se manter limpo e apto a ajudar seus amigos a fazerem um show no final da jornada.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção II trabalhos relacionados ao tema são apresentados a fim de melhor compreender do que se trata o projeto "Tô Ligado"e como foi a abordagem utilizada por outros jogos eletrônicos que também buscaram trabalhar sobre o tema de conscientização do uso de drogas. Na seção III detalhes individuais de cada uma das tecnologias utilizadas no desenvolvimento do jogo são exploradas assim como as responsabilidades de cada uma dentro do mesmo. Na seção IV são apresentados detalhes de funcionamento do mesmo, e por fim, no tópico V, são apresentadas as conclusões dos autores.

II. Trabalhos Relacionados

A. O Projeto Tô Ligado

O projeto Tô Ligado surgiu para conscientizar jovens sobre o uso de drogas com uma abordagem mais dinâmica, apresentando diversos personagens construídos com temáticas e histórias diferentes que se encaixam adequadamente ao perfil do adolescente atual. Com o auxilio do governo, são distribuídas cartilhas informativas aos educadores e aos adolescentes, onde, com uma história em quadrinhos, é retratado de forma indireta como as drogas afetam o mundo das pessoas.

A Figura 1 ilustra um exemplo de cena apresentada na cartilha do programa.

Fig. 1. Imagem da História em Quadrinhos presente na cartilha informativa do Projeto Tô Ligado

B. *Soluções Similares*

Antes da criação do jogo proposto neste trabalho, uma pesquisa foi realizada a fim de identificar outras soluções similares que, de alguma forma, utilizaram dos jogos eletrônicos para de forma mais espontânea e lúdica conscientizar os jovens sobre os malefícios causados pelo uso de drogas.

A pesquisa realizada por Nunes et al. [4] seleciona dentre 957 textos publicados, 7 artigos sobre jogos desenvolvidos que se destacam no quesito de evasão à dependência química. Parte significativa desses jogos possui foco em transmitir o conhecimento para as crianças e adolescentes antes de adentrarem o mundo das drogas, pois estes apresentam maior vulnerabilidade. A maioria dos projetos têm origem acadêmica com uma tendência de criação de jogos para *smartphones*. Isso mostra claramente que outros autores se preocuparam não só em criar soluções modernas e acessíveis para melhor orientar jovens sobre o uso de drogas, como também utilizar do poder dos jogos eletrônicos para se fazer isso.

Buscando os jogos brasileiros, desenvolvido por Damasceno et al. [5] o *serious game* denominado Artefato Computacional foi criado para conscientizar de uma forma dinâmica os adolescentes por meio de um questionário educativo no estilo *Role Playing Game* (RPG). RPG's são jogos baseados em turnos e decisões que podem impactar no diferente andamento do jogo. Neste questionário, cada escolha é induzida a um caminho diferente e proporciona certas decisões aos jogadores que podem ser adequadas ou não a cada caso vivenciado no dia a dia. O jogo foi aplicado de forma que nenhum professor influencie nas decisões tomadas pelos alunos. No fim, pôde se levantar um gráfico para análise comportamental dos jovens. Também foi constatado que os alunos acharam a abordagem divertida e inovadora.

Já o jogo *Pure Rush* é um jogo Australiano desenvolvido por Stapinski et al. [6] em que o jogador deve cumprir certos objetivos desviando dos perigos apresentados no caminho por meio de saltos do personagem sobre drogas ou obstáculos do cotidiano. Ao encostar em alguma droga, o usuário ficará sobre o efeito da mesma e terá dificuldades para seguir em frente, tendo a mensagem sobre o efeito adquirido assim que o personagem for nocauteado. O jogo possui textos curtos e jogabilidade simples, fazendo com que que o jogador tome por si próprio a concepção dos perigos das drogas em suas vidas.

Baseando na experiência de 86 profissionais que possuem contato frequente com adolescentes envolvidos no mundo das drogas, Rutes et al. [7] criou um jogo que simula como as decisões de um jovem podem impactar sua vida para bem ou para mal. Por meio de barras que definem saúde, sucesso, socialidade e civilidade, o jogador tem a possibilidade de escolher a decisão que será tomada a partir do desafio proporcionado pelo jogo, impactando em seu desfecho e na quantidade de pontos que cada uma dessas barras irá ter. Em questionários avaliativos, pôde se provar que o jogo conseguiu transmitir a mensagem sobre a drogadição e atraiu a atenção dos jovens também por conta de seus belos gráficos e sua jogabilidade descomplicada e intuitiva.

Se tratando das pessoas que estão em recuperação da dependência química, o jogo eletrônico desenvolvido por Zielinski et al.[8] utiliza um método popular de reabilitação sendo moldado em forma digital, na premissa de que, em sua construção, os dependentes participem da criação e desenvolvimento das artes e das mecânicas, tendo assim uma forma de lazer mostrando que eles também podem fazer um trabalho em prol da sociedade. O jogo tornou os dependentes mais susceptíveis as formas de tratamento e reintegração a comunidade, os deixando interessados a especializarem nestas áreas em que não conheciam ou não possuíam interesse anteriormente.

III. Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento do jogo, uma série de ferramentas foram utilizadas, variando de motores de jogos específicos para a programação do mesmo até ferramentas gráficas para desenvolvimento de suas artes. Maiores detalhes de cada uma destas ferramentas e onde foram utilizadas no jogo são descritos nos subtópicos a seguir.

A. *Unity*

Com suporte para mais de vinte e cinco plataformas diferentes, o motor de jogo Unity surgiu da premissa de ser uma ferramenta que facilite a criação de jogos em âmbitos 2D e 3D. Jogos desenvolvidos nesta plataforma utilizam da linguagem orientada a objetos C# e depois de prontos, podem ser portados para uma ou várias das plataformas suportadas pela ferramenta.

Um recurso importante do Unity é permitir que *plugins* externos sejam adicionados sob demanda no projeto, fazendo com que o usuário tenha certa flexibilidade e mais recursos para desenvolver seus jogos. Todas as configurações proporcionadas pelo Unity na criação do projeto podem ser alteradas e até recriadas do início, porém, a forma em que

são implementadas já possuem alto nível de otimização e flexibilidade com as outras ferramentas do próprio programa.

O programa possui uma versão gratuita para novos usuários que se torna paga a partir do momento que o desenvolvedor passa a ter certa faixa de lucro com o jogo desenvolvido. Sem contar que o Unity também possui sua própria loja dentro da plataforma, permitindo que desenvolvedores possam negociar recursos gráficos e programáveis para ajudar outros desenvolvedores ou adquirí-los para implementarem em seus jogos.

Neste jogo, o Unity foi a principal ferramenta utilizada para desenvolvimento das mecânicas do mesmo. A Figura 2 ilustra uma parte da mecânica do jogo sendo programada nesta plataforma.

Fig. 2. Jogo sendo desenvolvido na plataforma Unity.

B. Aseprite

O programa Aseprite foi projetado para lidar com imagens pixeladas. Um pixel é considerado o menor elemento de uma imagem. Ele comporta uma determinada cor, e em conjunto com outros pixels, definem a aparência total de uma imagem. Limitando a quantidade total de pixels, formam-se imagens com qualidades e tamanhos em bits menores, mas que ainda assim conseguem transmitir a ideia desejada. Esta técnica se materializou em décadas passadas quando o armazenamento digital era relativamente baixo, mas até hoje é utilizada para desenvolvimento de jogos, principalmente aqueles que querem ter uma aparência mais nostálgica.

O Aseprite foi projetado para ser uma solução prática para criação e animação de *pixel arts* nos dias atuais, visto que por serem moldadas com a menor quantidade de pixels, podem ser expandidas e comprimidas a tamanhos bem mais abrangentes do que imagens comuns e bem mais suscetíveis a criação de animações fluidas por parte dos artistas. A linha do tempo que permite a animação destas imagens molda uma cópia do desenho original e o artista poderá definir de quanto em quanto tempo cada imagem será reproduzida e quais partes serão alteradas nesse intervalo.

Neste jogo, o Aseprite foi uma ferramenta chave para criação das animações dos personagens, mapas, e coletáveis presente no mesmo. A Figura 3 ilustra uma arte que está presente no jogo e foi desenvolvida fazendo uso do Aseprite.

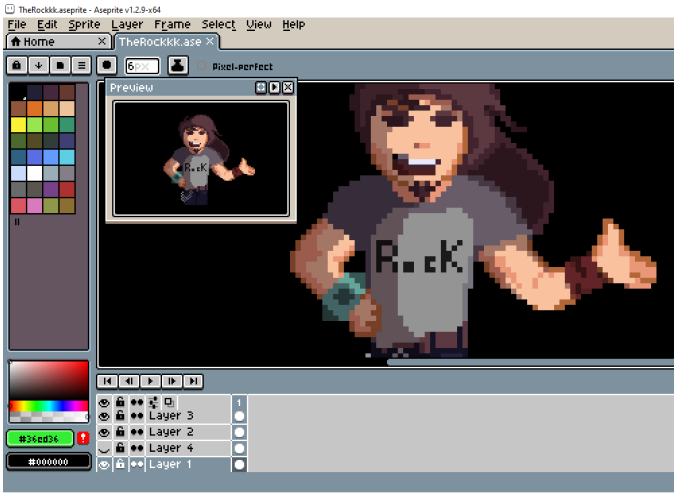


Fig. 3. Arte pixelada criada fazendo-se uso do Aseprite.

C. Photoshop

Considerado o líder de mercado no ramo de editores de imagem profissionais, o Photoshop é um *software* caracterizado como criador de imagens bidimensionais contendo *pixels*, podendo também ser utilizado para imagens vetoriais. Desenvolvido pela Adobe, pode receber auxílio de vários outros programas da empresa, como o Adobe AfterEffects e o Adobe Illustrator, que podem em projetos maiores, darem um acabamento melhor nas artes.

Com sua abrangência de ferramentas disponíveis, sua funcionalidade principal se localiza no sistema de camadas e pincéis, em que cada parte da imagem pode ser trabalhada separadamente para que não comprometa o trabalho em geral. Vários pincéis personalizados podem ser adicionados ao *software* para que se tenha maior liberdade em suas criações.

Neste projeto, o Photoshop foi utilizado para criação das imagens características do jogo de forma estática e detalhada, funcionalidade esta, que não é o forte do Aseprite, pois o foco deste programa são artes de menor escala, como o *pixel art*. A Figura 4 ilustra uma arte que está presente no jogo e foi desenvolvida fazendo uso do Photoshop.

IV. O Jogo "Uma história do projeto Tô Ligado"

O jogo proposto neste trabalho se define como sendo do gênero Plataforma. Este gênero é caracterizado pelos saltos que o jogador realiza para desviar e/ou subir em obstáculos que

Fig. 4. Imagem detalhada presente no jogo e criada no Adobe Photoshop

aparecerão em sua frente e pelos itens que podem ser coletados pelo caminho. Este estilo de jogo surgiu nos anos 80 e 90 e se tornou bastante popular principalmente pelo lançamento do jogo Mario Bros. Objetos tangíveis podem ser caracterizados como sendo inimigos ou apenas obstáculos para desafiar o jogador pelo caminho.

Maiores detalhes do Enredo, Construção e Mecânicas do jogo proposto são explorados nos subtópicos a seguir.

A. *Enredo*

Buscando aliar o conhecimento sobre os malefícios causados pelas ações dos dependentes químicos com uma forma mais atual de abordar o assunto, "Uma História do Projeto Tô Ligado"aborda o conto de um garoto que acaba de se mudar para uma nova cidade e em sua nova escola encontra novos amigos. Alguns desses amigos possuem boas intenções e outros nem tão boas assim. Um certo dia ele é convidado a participar do show de uma banda de rock da escola, porém, é informado que o show pode não acontecer pois os instrumentos musicas dos colegas foram roubados. Entendendo o motivo do desaparecimento e analisando a situação em que eles se encontram, cabe ao jogador decidir se deve ajudá-los ou seguir o outro caminho que é proporcionado pelo jogo.

Os diversos locais da cidade são construídos como fases, e em cada uma delas, se encontra um instrumento musical. Porém, cabe ao jogador tentar coletá-los ou se envolver com usuários de drogas lícitas ou ilícitas que se encontram pelo caminho. Se o jogador fizer tudo certo, verá como não se envolver com drogas pode proporcionar alegrias e bons resultados não só para ele, como também para pessoas ao seu redor. Já o envolvimento com as drogas, representado no jogo pelo toque ou ficar perto de usuários dessas substâncias, pode trazer consequências indesejadas.

B. *Construção do Jogo*

Para desenvolvimento do jogo, inicialmente foram pesquisados os vários tipos de efeitos que cada uma das principais drogas, sejam elas lícitas ou ilícitas, podem causar em seus usuários. Após a pesquisa, os drogados foram sendo moldados se baseando nos efeitos das drogas mais recorrentes da atualidade sendo elas o cigarro, as bebidas alcoólicas e a cocaína.

Com o perfil dos drogados concluído, foi preciso esculpir suas respectivas aparências em 8 bits a fim de ilustrar o aspecto de um dependente químico. Foi então que as cores esverdeadas e roupas mal organizadas ou até a falta delas entraram no jogo. Enquanto o personagem principal e os membros da banda apresentam cores fortes e vivas, os drogados transmitem a sensação de mal-estar com suas cores desbotadas e aspectos desgastados.

A segunda etapa foi o desenvolvimento do mapa de progresso do jogo. A intenção de sua criação foi mostrar ao jogador a sua evolução conforme passa cada uma das 6 fases. Dependentes químicos podem ser encontrar em locais onde se menos espera, e para este jogo, locais públicos como escola, praça, clube, parque, shopping center e o show de rock foram selecionados.

A terceira etapa foi a definição das fases do jogo. Cada fase possui seus próprios objetos e desafios customizados. Cada objeto tangível nas fases foi devidamente posicionado para que a mecânica encaixasse bem. Depois que as imagens foram desenvolvidas e alocadas nas fases, o foco foi direcionado para a programação da física do jogo e das mecânicas por meio da plataforma Unity.

Por fim, o jogo passou por uma fase de testes e confecção dos últimos detalhes como adição dos balões de fala dos personagens, desenvolvimento dos *artworks* (cenas) e composição da sua trilha sonora.

C. *Telas e Mecânicas*

Ao iniciar o jogo, uma tela com 3 opções é apresentada ao jogador. Por meio dela é possível saber mais sobre os controles do jogo, história e os créditos da equipe desenvolvedora. Essa tela é ilustrada na Figura 4. Em computadores pessoais e/ou *notebooks* a interação com o jogo pode acontecer por meio de um controle (*joystick*) ou pela combinação de teclado e *mouse*.

Inspirado em jogos da década de 90, como Mario World, o mapa referente à Figura 5 é apresentado ao termino de cada fase indicando o caminho a ser seguido pelo jogador até chegar ao final do jogo. Conforme o jogador avança, uma animação do personagem se movendo para a próxima fase é apresentada.

Fig. 5. Mapa da cidade indicando o caminho até o show de rock

Com o intuito de conscientizar, o jogo apresenta três tipos de dependentes químicos e suas respectivas reações, mostrando o

quão persistentes eles podem ser para manter seus vícios. São eles:

- Bêbado: arremessa bebidas horizontalmente a cada pequeno intervalo de tempo, simbolizando a agressão. A Figura 6 ilustra este dependente e sua ação;
- Fumante: solta uma fumaça mortal que representa os males que o cigarro pode causar às pessoas a sua volta. A Figura 7 ilustra este dependente e sua ação;
- Hiperativa: esbarra no jogador de forma abrupta, ilustrando o descontrole das pessoas que utilizam, por exemplo, de cocaína ou o crack. A Figura 8 ilustra este dependente;

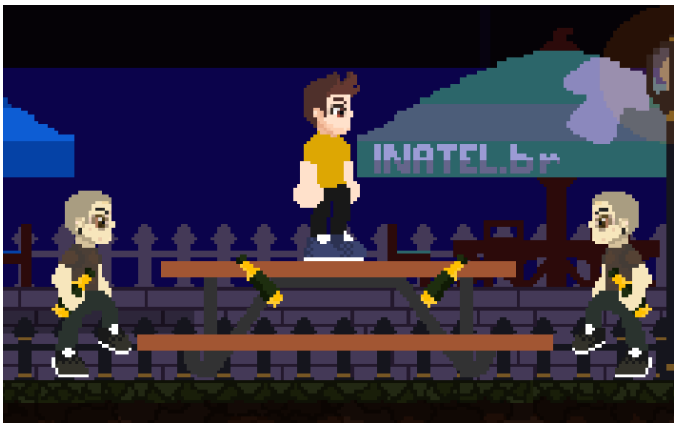


Fig. 6. Bêbado arremessando garrafas na segunda fase do jogo

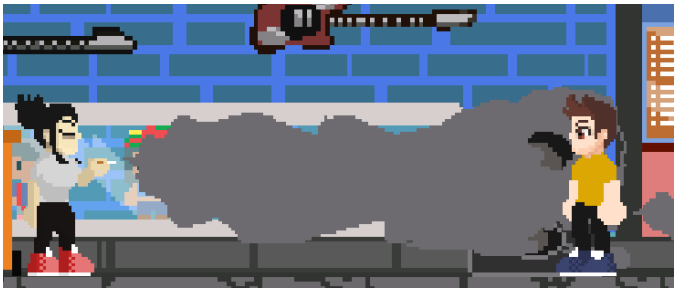


Fig. 7. Fumante atrapalhando a passagem com a fumaça tóxica na quinta fase do jogo

Para se ter sucesso no jogo, o jogador precisa não só coletar os instrumentos musicais que se encontram espalhados em cada fase, mas também entender o tempo de ação de cada drogado a fim de saltá-los e não ser atingido (influenciado) por suas ações. O jogo possui um sistema de vidas em que, a cada 3 golpes do bêbado ou da hiperativa e apenas 1 da fumaça mortal do fumante, levará o personagem para o hospital como é retratado na Figura 9. Caso isso aconteça, o jogador deverá reiniciar seu progresso desde a primeira fase. Vale também ressaltar que, a cada fase que se passa, mais difícil fica o jogo.

Porém, uma vez coletado todos os instrumentos, o jogador chegará ao final e será recebido de braços abertos pelos integrantes da banda, conforme ilustra a Figura 10. Um *score*

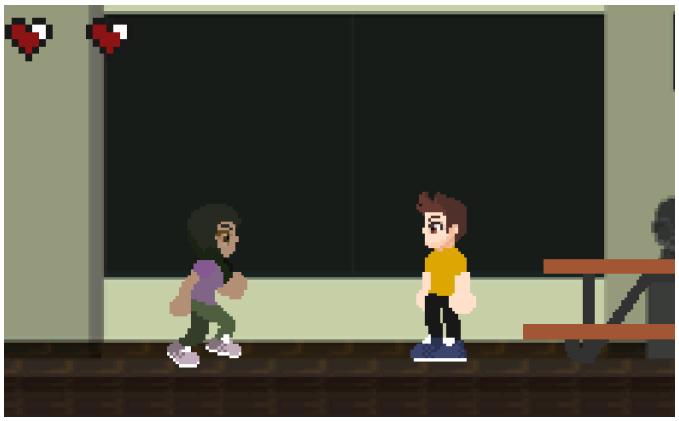


Fig. 8. Hiperativa correndo atrás do jogador em determinada área da terceira fase do jogo

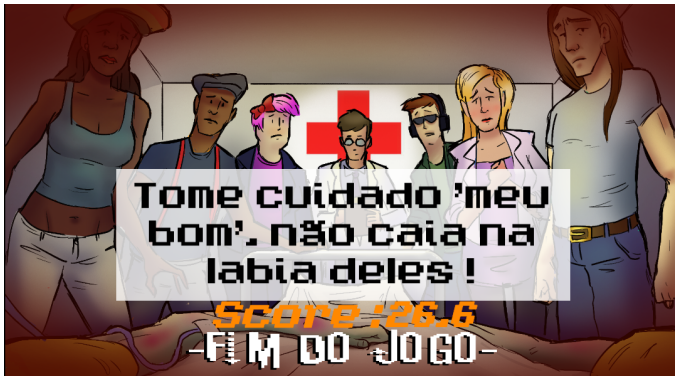


Fig. 9. Cena de alerta ao jogador após de entrar em contato com as drogas

(pontuação) também é apresentado. Quanto menos o jogador se envolve com os drogados durante o jogo, maior será sua pontuação.

Fig. 10. Final do Jogo

Com todos os instrumentos em mãos, agora a banda poderá voltar a fazer seu show. O objetivo é apresentar ao jogador que, se fizer boas escolhas e se manter longe das drogas, não só a vida dele mas de outras pessoas também poderão ser impactadas positivamente, conforme ilustra a Figura 11.

Fig. 11. Graças ao sucesso e boas escolhas do jogador a banda pode voltar a realizar seu show

V. Conclusão

Com o desenvolvimento deste projeto, e principalmente, com a pesquisa realizada antes da sua elaboração, foi possível perceber ainda mais como os jogos sérios podem ser grandes aliados no processo de conscientização em diferentes áreas, tanto de jovens como também de adultos.

Neste projeto o objetivo foi desenvolver um jogo que possivelmente, após um período de avaliação, poderá acompanhar as cartilhas do Projeto "Tô Ligado", visto que o acesso aos meios digitais se tornou mais abrangente e atrativo aos jovens de todas as faixas etárias. Vale ressaltar que o jogo não tem o papel de ensinar, mas auxiliar profissionais a melhor transmitirem a mensagem dos malefícios causados pelas drogas aos jovens.

Durante o desenvolvimento deste jogo vários desafios apareceram pelo caminho. O primeiro deles foi melhor compreender as vantagens que os jogos sérios podem trazer a seus jogadores. Para isso, pesquisas de trabalhos relacionados com o assunto foram profundamente realizadas a fim de melhor compreender como o jogo proposto poderia contribuir de forma adequada. Em seguida, foi necessário melhor compreender os malefícios causados pelas drogas a fim de representá-los de forma apropriada e metafórica dentro do jogo. As ferramentas utilizadas também tiveram de ser aprendidas do zero a fim de realizar o desenvolvimento do mesmo.

Inicialmente o jogo foi portado para a plataforma PC (computador), mas por ter sido desenvolvido na plaraforma Unity 2D, futuramente o mesmo poderá ser facilmente adaptado e testado para dispositivos móveis. Outro detalhe importante é que, apesar do mesmo ter atendido às expectativas dos desenvolvedores, ele ainda não foi testado com uma quantidade relevante de jovens a fim de avaliar sua eficácia na transmissão da mensagem proposta. Por isso, sugere-se fortemente como trabalho futuro realizar este procedimento.

Referências

[1] A. L. Andrade, "Pesquisa aponta 3,5 milhões de usuários de drogas ilícitas no país," 2019. Disponível em https://www.jornalopcao.com.br/ultimas-noticias/pesquisa-aponta-35-milhoes-de-usuarios-de-drogas-ilicitas-no-pais-176350/. Acessado em Jan/20.

[2] S. Federal, "Drogas lícitas abrem portas para drogas ilícitas," 2012. Disponível em https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/dependencia-quimica/crack-chama-a-atencao-para-dependencia-quimica/drogas-licitas-abrem-portas-para-drogas-ilicitas.aspx. Acessado em Jan/20.

[3] G. Correa, "Projeto tô ligado," 2012. Disponível em http://www.projetotoligado.com.br. Acessado em Jan/20.

[4] A. Nunes, H. Oliveira, M. Souza, and M. Hounsell, "Jogos digitais e a dependência química: Um mapeamento sistemático da literatura," 10 2015.

[5] P. Nardi, A. Fernandes, E. Damasceno, A. Silva, and L. Lopes, "Um serious game como estratégia na promoção da saúde no combate ao uso de drogas," Jornal Brasileiro de Telessaúde, vol. 4, pp. 237–245, 01 2016.

[6] L. Stapinski, B. Reda, N. Newton, S. Lawler, D. Rodriguez, C. Chapman, and M. Teesson, "Development and evaluation of 'pure rush': An online serious game for drug education," Drug and Alcohol Review, vol. 37 Suppl 1, 10 2017.

[7] W. D. F. Rutes, H. C. Oliveira, A. T. Silva, and M. d. S. Hounsell, "The nos: Um jogo sério persuasivo para prevenção do uso de drogas por crianças e adolescentes," 11 2015.

[8] H. C. d. O. Zielinski and M. d. S. Hounsell, "Projeto de um jogo sério persuasivo para o auxílio à reinserção social de dependentes químicos," 11 2015.

Aplicação de Inteligência Artificial no Projeto de Antenas

Letícia Duarte Bernardes, Lucas Feroldi Pereira e Arismar Cerqueira S. Jr.
Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel)
Santa Rita do Sapucaí, Brasil
leticiabernardes@get.inatel.br, lucas.feroldi@get.inatel.br, arismar@inatel.br

Abstract - Artificial Intelligence (AI) refers to machines that are capable of performing tasks in a way that they can be considered intelligent. In other words, the machine will have the ability to decide between pre-established options, due to computer programming for troubleshooting. Originally, the antenna design works with intensive numerical calculations and equations. However, it was noted that the use of artificial intelligence can be applied in the design of antennas using different techniques and methods that will be presented in this document.

Keywords: Antennas, Artificial Intelligence, Artificial Neural Networks, Machine Learning.

Resumo — Inteligência Artificial (*Artificial Inteligence - AI*) se refere a máquinas capazes de executar tarefas de modo que possam ser julgadas inteligentes. Em outras palavras, é a capacidade da máquina de decidir entre opções pré-estabelecidas, graças a programação de computadores para solução de problemas. Originalmente, o projeto de antenas trabalha com equações e cálculos numéricos intensivos. No entanto, notou-se que o uso de inteligência artificial pode ser aplicada no projeto de antenas utilizando-se diferentes técnicas e métodos que serão apresentados neste documento.

Palavras-chaves: Antenas, Aprendizado de Máquina, Inteligência Artificial, Redes Neurais Artificiais.

I. INTRODUÇÃO

O termo Inteligência Artificial começou a ser utilizado na análise de antenas na década de 1990 [1]. Outros termos, também relacionam a inteligência de máquina com o desenvolvimento de antenas [2], arranjos de antenas [3] e algoritmos de otimização [4], como por exemplo, as Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks* - ANN), que podem ser entendidas como um tipo de aprendizado de máquina (*Machine Learning* – ML), e se assemelham a uma rede de neurônios do cérebro humano. As Redes Neurais, tiveram maior destaque em 2005, quando foram aplicadas na otimização e síntese de antenas e dispositivos de micro-ondas [5]. Conexões são criadas através de camadas e subcamadas que se interligam e formam uma grande rede.

Na Figura 1 é apresentada o fluxograma de uma ANN. A Rede Neural foi treinada a partir de parâmetros elétricos na entrada da rede. Uma ferramenta de análise foi utilizada para calcular entradas correspondentes a novas saídas aleatórias, caso o desempenho elétrico desejado fosse alcançado, o projeto de síntese era interrompido. Caso contrário, a ANN era treinada novamente com o novo par entrada-saída e novos pesos eram calculados. Este processo era repetido até que a convergência fosse alcançada [5].

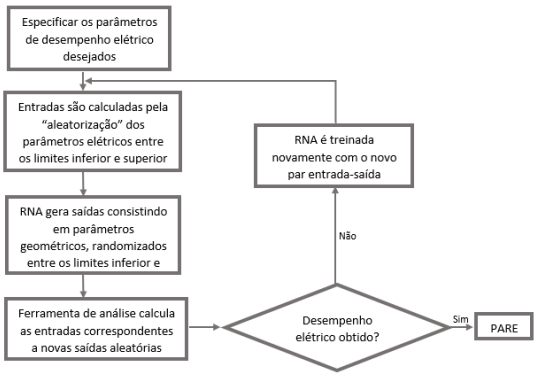


Figura 1- Fluxograma da rede neural artificial

Em 2007, Y. Kim *et al*. [6], utilizaram indiretamente uma rede neural para prever a impedância de entrada de uma antena de banda larga através de um modelo de frequência paramétrica. A resistência de entrada da antena foi parametrizada por um modelo gaussiano. Os parâmetros gaussianos eram então estimados para as diferentes antenas de treinamento, e uma ANN era treinada para descrever a relação entre a geometria da antena e os parâmetros gaussianos. A Figura 2 apresenta o fluxograma utilizado nessa Rede Neural.

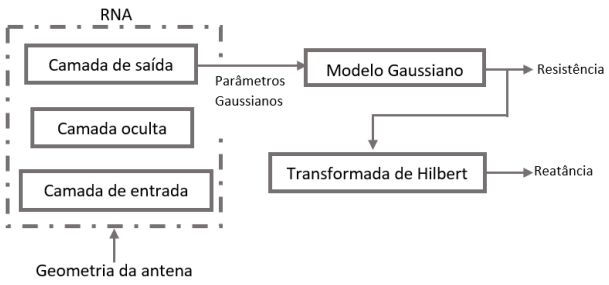


Figura 2 - Rede de previsão de impedância

Ainda em 2007, J.Lakshmi Narayana *et al*. [7] trabalharam na otimização de uma antena retangular impressa utilizando ANN para obter as dimensões da antena. Utilizando como parâmetros de entrada a altura do substrato h, a constante dielétrica ε_r e a frequência de ressonância f_r de trabalhos anteriores. Através das dimensões e as características do substrato encontrou-se a frequência de ressonância da antena. Os algoritmos *Both Multilayer Perceptron* (MLP) e *Radial Basis Function* (RBF), com 270 amostras, foram utilizados para treinar a ANN. Na Figura 3 (a) é mostrado um diagrama em blocos para a síntese e em (b) o diagrama em blocos da análise do problema descrito.

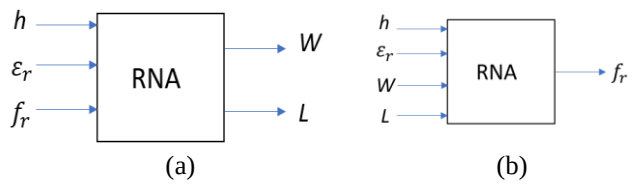


Figura 3 – Diagramas em blocos do problema, modificada de [5]. (a) Síntese. (b) Análise.

Os algoritmos de inteligência artificial vêm desenvolvendo-se e aprimorando o conceito de antenas. Passant k. Abbassi *et al*. [8] abordaram o desenvolvimento de uma antena impressa para redes sem fio utilizando as ANN. Atualmente, vários softwares de simulação são utilizados para projetar uma antena com os parâmetros desejados, porém esses métodos muitas das vezes são rigorosos e precisam de cálculos numéricos intensivos. As redes neurais surgem como ferramenta eficiente para otimização e modelagem de antenas. Neste contexto, o artigo [8] propõe o desenvolvimento de uma antena impressa elíptica operando na faixa de 2,4GHz modelando-a em uma ANN. A Figura 4 mostra a geometria da antena proposta pelo artigo. As dimensões foram simuladas no software CST (*Computer Simulation Technology*). Os parâmetros R_1, R_2 e R_3 foram utilizados como parâmetros de entrada para a rede neural que utilizou o algoritmo de multicamadas (MLP) para o treinamento da rede neural. Os outros parâmetros da antena não foram alterados. Os resultados simulados e estimados mostraram uma alta concordância. Concluiu-se que o algoritmo possui um alto desempenho estatístico.

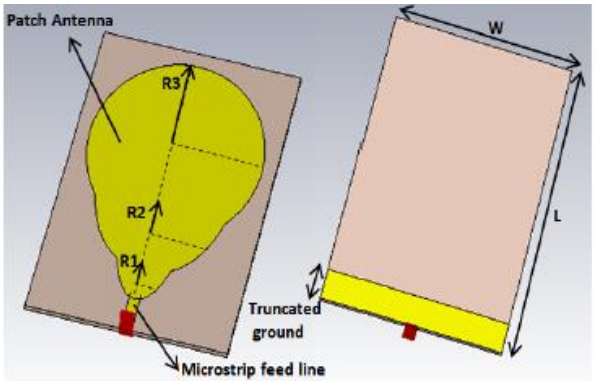


Figura 4 - Geometria da antena impressa proposta em [8]

O presente trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de ferramentas e algoritmos capazes de acelerar e aumentar a eficiência no projeto de antenas. Foram realizados inicialmente estudos teóricos sobre inteligência artificial, arranjos de antenas, ferramentas, algoritmos e técnicas de otimização que pudessem ser utilizados para melhorar os parâmetros de desempenho das antenas. Além disso, foram utilizadas simulações, aplicação e adaptação de códigos e bibliotecas de AI para projetar o algoritmo para desenvolvimento de antenas. Na Seção II é apresentado os testes realizados com o *software* para o treinamento de uma rede neural. Na Seção III é apresentado o desenvolvimento do algoritmo em *Python***.** Na Seção IV os resultados da aplicação dos algoritmos e na Seção V as conclusões e os trabalhos futuros.

II. TESTES COM A MATLAB *NEURAL TOOLBOX*

Algumas plataformas de simulação e programação ajudam na implementação da inteligência artificial aplicada para projetar uma antena. Exemplos de ferramentas neste contexto são: *Matlab* em combinação com a *Neural Network Toolbox*, a plataforma de inteligência artificial da Microsoft Azure, e as bibliotecas para aprendizado de máquina, denominadas *TensorFlow* e *scikit-learn*. E, alguns algoritmos são: *Genetic Algorithm* e *Quasi Newton*. Dentre as linguagens de programação que possuem recursos para inteligência artificial, o *Python* se destaca por ter várias bibliotecas disponíveis para aprendizado de máquina e análise de dados.

Para a realização desse teste foi necessário a geração de uma base dados válidos de uma antena dipolo através do *software* ANSYS HFSS. A base de dados era composta pelos seguintes parâmetros: frequência de operação, diâmetro, comprimento e do coeficiente de reflexão. Após tal processo, um arquivo .xlsx era gerado e poderia ser importado pela *toolbox* do *Matlab*.

Para utilizar a ferramenta citada, é necessário ter os devidos cuidados com relação à calibragem dos parâmetros, testar vários modelos de otimização para encontrar os pesos da rede, quantidade de neurônios por camada, algoritmos de regressão que podem ser utilizados, avaliar a taxa de aprendizagem da máquina e até mesmo o cuidado de dividir a base de dados a ser utilizada em duas partes: treino e teste.

A parte de treino seriam as amostras representativas para o problema abordado, a fim de se tentar encontrar padrões. Por sua vez, a parte de teste seriam as amostras que representam a realidade para quando o algoritmo for testado em campo e serve para verificar se foi possível encontrar padrões.

Além disso, a rede neural artificial, que neste caso, visa ser aplicada no projeto de antenas, deve possuir a capacidade de generalização, isto é, quando esse modelo for apresentado para novas instâncias nunca apresentadas anteriormente, o mesmo deve ser capaz de fazer as devidas previsões e estimações dos parâmetros para o projeto de uma antena. Há também 3 diferentes métodos de validação do modelo: *Hold-out*, *Cross-validation* e *No protection against overfitting.*

A. *Cross-validation*

Neste tipo de validação, o conjunto de dados é dividido aleatoriamente em "k" grupos. Um dos grupos é usado como o conjunto de testes e o restante é usado como o conjunto de treinamento. O modelo é treinado no conjunto de treinamento e pontuado no conjunto de teste. Em seguida, o processo é repetido até que cada grupo exclusivo seja usado como o conjunto de teste. Por exemplo, para validação cruzada de 3 vezes, o conjunto de dados seria dividido em 3 grupos, e o modelo seria treinado e testado separadamente 3 vezes para que cada grupo tivesse a chance de ser o conjunto de testes.

B. *Hold-out*

Na validação *Hold-out*, o conjunto de dados é subdividido em teste e treinamento. O conjunto de treinamento é sobre o que o modelo é treinado e o conjunto de teste é usado para ver o desempenho do modelo em dados não vistos. Uma divisão comum ao usar esse método é 80% dos dados para treinamento e os 20% restantes para teste.

C. *No protection against overfitting*

Como o próprio nome sugere, neste modelo não há proteção contra sobreajuste. Em outras palavras, não há a divisão da base de dados em conjuntos de teste e treinamento. Assim, toda a base de dados acaba fazendo parte do mesmo conjunto e, por sua vez, o método a utilizado terá pouquíssima ou nenhuma capacidade de generalização.

III. DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO EM PYTHON

Para o desenvolvimento do algoritmo em Python optou-se por utilizar o ambiente de desenvolvimento integrado *PyCharm*. Após a devida instalação, o primeiro passo a ser realizado é importar as bibliotecas necessárias conforme mostra a Figura 5.

```
1  import pandas as pd
2  import numpy as np
3  import matplotlib
4  import matplotlib.pyplot as plt
5  import tensorflow as tf
6  from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
7  from sklearn.model_selection import train_test_split
```

Figura 5 - Importação das bibliotecas

A biblioteca pandas foi utilizada para a manipulação da base de dados que consiste em *dataframes* e tabelas numéricas. A biblioteca numpy foi utilizada para trabalhar com *arrays* e matrizes multidimensionais. A biblioteca matplotlib foi importada para traçar os gráficos 3D. Utilizou-se também um poderoso módulo Python para aprendizado de máquina, chamado *Scikit learn*. Esse módulo contém funções para regressão, classificação, agrupamento, seleção de modelo e redução de dimensionalidade. Foi explorado o módulo sklearn, além das funções *fit* e *.predict*. Dividindo os conjuntos de dados em treinamento e teste, é possível treinar o modelo e avaliar o desempenho nos dados de teste. Para separar o conjunto de dados aleatoriamente foi utilizado o *Scikit Learn* que possui uma função chamada *train-test-split* para fazer isso.

IV. RESULTADOS

Do ponto de vista de erro quadrático médio, inicialmente, a rede neural desenvolvida no *MAtlab* apresentou resultados satisfatórios. Porém, após inúmeras observações chegou-se à conclusão de que os parâmetros não foram devidamente ajustados e consequentemente o modelo em questão estava viciado e com pouca capacidade de generalização. Ajustes foram realizados e após falhas sucessivas, optou-se por realizar novos estudos, testes e desenvolvimento de um algoritmo próprio através da linguagem de programação Python.

Após o estudo, entendimento e uso de cada biblioteca da linguagem *Python*, o código foi modelado, escrito e compilado. Porém, ao testá-lo, o mesmo apresentou erros desconhecidos ao ser executado no *prompt* de comando. Tal problema foi solucionado, e para isso, foi necessário utilizar uma ferramenta que permite criar ambientes isolados de desenvolvimento *Python*, chamada *virtualenv*. Isso possibilitou a utilização de diversas bibliotecas em um mesmo ambiente sem que houvesse conflitos entre elas.

O *virtualenv* cria uma cópia de todos os diretórios necessários para que um programa em *Python* seja executado, incluindo as bibliotecas comuns, o gerenciador de pacotes *pip* e todas as dependências. Assim, ao instalar uma nova dependência dentro do ambiente criado pelo *virtualenv*, ele será colocado no diretório relativo a esse ambiente. O nome do ambiente pode ser escolhido aleatoriamente, e neste caso, o nome atribuído foi "regressao". Assim, para executar o código desenvolvido no *prompt* de comando, a primeira coisa a ser feita é digitar *conda activate regressao*, como mostrado na Figura 6.

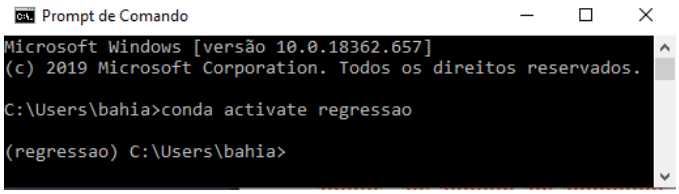


Figura 6 - Ativando ambiente virtual

Ao executar o algoritmo dentro do ambiente virtual, deve-se fornecer como dados de entrada o comprimento e o diâmetro de uma antena dipolo. Serão apresentados então resultados de largura de banda, a frequência de operação, além de gráficos em 3D e o erro quadrático médio. Os resultados são apresentados nas Figuras 7, 8 e 9.

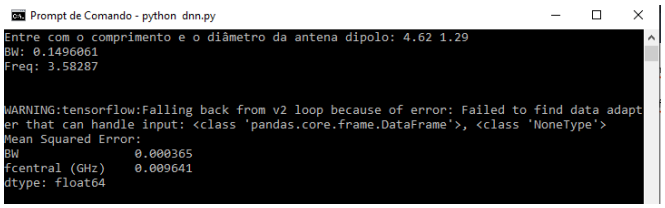


Figura 7 - Execução do código desenvolvido em *Python*

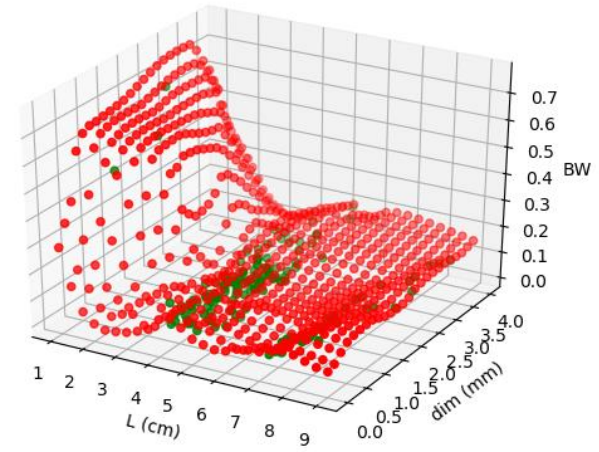


Figura 8 - Gráfico 3D da largura de faixa estimada, dados o comprimento e o diâmetro da antena

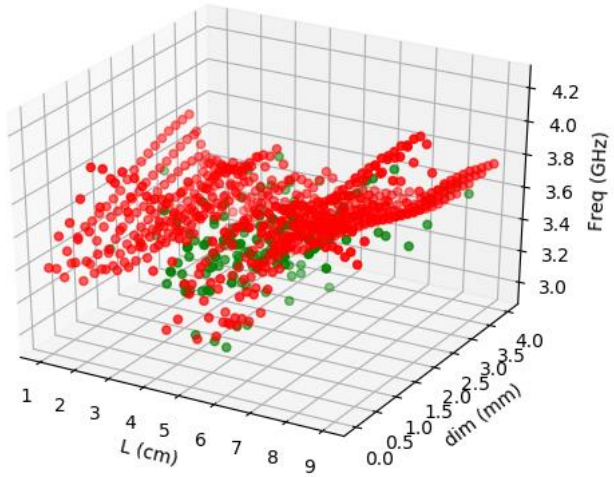


Figura 9 - Gráfico 3D da frequência estimada, dados o comprimento e o diâmetro da antena

V. CONCLUSÕES

O trabalho apresentou uma proposta de uma aplicação de Inteligência Artificial desenvolvida em linguagem de programação *Python* no projeto de antenas dipolo. O algoritmo é capaz de determinar a largura de banda e a frequência de ressonância de uma antena dipolo a partir do comprimento e diâmetro da antena. A utilização de bibliotecas e ambientes de desenvolvimentos facilitaram o desenvolvimento do algoritmo. Como trabalho futuro, propõe-se o desenvolvimento de um algoritmo capaz de terminar a largura de banda e a frequência de operação de qualquer tipo de antena.

REFERÊNCIAS

[1] P. Bhartia et al., "Calculation of resonant frequency for an equilateral triangular microstrip antenna with the use of artificial neural networks.," vol. 14, no. 2, pp. 89–93, 1997.Philip J. Hiltner, "The drones are coming: Use of unmanned aerial vehicles for police surveillance and its fourth amendment implications," *Wake Forest JL & Pol'y*, vol. 3, no. 2, pp. 397, 2013.

[2] C. G. Christodoulou, J. A. Rohwer and C. T. Abdallah, "The use of machine learning in smart antennas," IEEE Antennas and Propagation Society Symposium, 2004., Monterey, CA, USA, 2004, pp. 321-324 Vol.1.J. A. J. Ribeiro, "Engenharia de Antenas - Fundamentos, Projetos e Aplicações," 1ª edição, 2012.

[3] Nan Xu, C. G. Christodoulou, S. E. Barbin and M. Martinez-Ramon, "Detecting failure of antenna array elements using machine learning optimization," 2007 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Honolulu, HI, 2007, pp. 5753-5756.

[4] S. Ledesma, J. Ruiz-Pinales, G. Cerda-Villafa and M. G. Garcia-Hernandez, "A Hybrid Method to Design Wire Antennas: Design and optimization of antennas using artificial intelligence., " in IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 57, no. 4, pp. 23-31, Aug. 2015.

[5] H. J. Delgado, M. H. Thursby and F. M. Ham, "A novel neural network for the synthesis of antennas and microwave devices," in IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 16, no. 6, pp. 1590-1600, Nov. 2005.

[6] Y. Kim, S. Keely, J. Ghosh and H. Ling, "Application of Artificial Neural Networks to Broadband Antenna Design Based on a Parametric Frequency Model," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, no. 3, pp. 669-674, March 2007.

[7] J. L. Narayana, K. S. R. Krishna and L. P. Reddy, "Design of Microstrip Antennas Using Artificial Neural Networks," International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA 2007), Sivakasi, Tamil Nadu, 2007, pp. 332-334.

[8] Abbassi, P. K., Badra, N. M., Allam, A. M. M. A., & El-Rafei, A. (2019). "WiFi Antenna Design and Modeling using Artificial Neural Networks." Proceedings of 2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering, ITCE 2019, (February), 270–274.

Estudo de estruturas geométricas na distribuição das linhas de campo elétrico de um espectrômetro de massa

Matheus de Souza Magalhães, Felipe Beltrán Mejía
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
matheusmagalhaes@get.inatel.br, felipebm@inatel.br

***Abstract*—This work aims to show the impact of a capacitor's geometry on the distribution of its electric field lines. Then, with the tests obtained, this study is applied to optimize the homogeneity of the electric field of the electron beam acceleration and anti-hydrogen region of a time-of-flight mass spectrometer. The purpose of the optimization is to collaborate with the largest Brazillian spectrometry research project conducted by the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ) and to encourage the study of shape optimization applied to electromagnetism.**

***Index Terms*—Eletromagnetism, geometry, mass spectrometer, optimization.**

***Resumo*—Este trabalho de pesquisa tem como objetivo mostrar o impacto da geometria de um capacitor na distribuição de suas linhas de campo elétrico. Em seguida, com os ensaios obtidos, aplica-se esse estudo na otimização da homogeneidade do campo elétrico da região de aceleração de feixe de elétrons e anti-hidrogênio de um espectrômetro de massa por tempo de voo. O propósito da otimização é poder colaborar com o maior projeto de pesquisa de espectrometria do Brasil, realizado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), incentivar o estudo de otimização de estruturas aplicadas ao eletromagnetismo.**

***Palavras chave*—Eletromagnetismo, espectrômetro de massa, geometria, otimização.**

I. Introdução

Este trabalho de pesquisa é uma continuação do estudo de um projeto de otimização topológica de um espectrômetro de massa [1]. O espectrômetro de massa é um equipamento capaz de gerar um espectro da distribuição de massa de de uma molécula [2], ele foi criado em 1912 pelo físico Joseph John Thompsom quando ele concentrou um feixe de íons em direção a um campo eletromagnético e mediu o desvio de sua trajetória utilizando uma placa fotográfica. Esse experimento pode proporcionar descoberta da existência dos primeiros isótopos, o ^{20}Ne e ^{22}Ne [3]. As pesquisas mais atuais utilizando essa tecnologia são capazes de identificar, de forma não invasiva, através da urina, biomarcadores produzidos por cânceres urológicos (próstata, bexiga e rins) [4]. Além disso, foi possível descobrir interações de enzimas que revelaram um papel funcional na reparação de danos no DNA relacionadas a Síndrome de Down [5].

Como nesse tipo de experimento se trabalha em nível atômico ou molecular, tudo isso exige que as medidas sejam extremamente precisas e invariantes, de modo a tornar as pesquisas com essa tecnologia muito complexas e caras, de tal forma que a otimização de seu desempenho se torne cada vez mais necessária. No Brasil, no Laboratório de Super-Espectroscopia do Rio (Laser) sob responsabilidade do Professor Dr. Cláudio Lenz Cesar, com a colaboração do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), foi construído um Espectrômetro de Massa por Tempo de Voo (TOF-MS). Com as possibilidades que o equipamento traz, também foi desenvolvido uma técnica de Sublimação de Matriz de Isolamento (MISu) capaz de formar feixes atômicos criogênicos [6].

Durante o processo de medição da distribuição de massa de uma amostra, mais especificamente usando o TOF-MS, a partícula com carga não nula sofre uma aceleração causada por um campo eletromagnético, em uma determinada região do equipamento. A homogeneidade desse campo afeta diretamente na qualidade dos resultados. Portanto, os estudos sobre as diferentes geometrias de um capacitor e sua a otimização, podem contribuir com o desafio de tantos projetos de pesquisa a conquistar descobertas capazes de transformar o caminho da ciência.

II. Simulação Multi-Física

Para realizar as simulações descritas neste trabalho, utilizou-se o software COMSOL Multiphysics. Este software é baseado no método dos elementos finitos (FEM), um método que permite resolver sistemas acoplados de equações diferenciais parciais reduzindo o problema em pequenas partes. Isto permite estudar sistemas físicos complexos que interagem entre si, formando sistemas acoplados. [7].

III. Linhas de força de Campo Elétrico

As linhas de força de campo mostram a trajetória de partículas de carga positiva quando estão sob influência de um campo elétrico $\vec{E}$ qualquer. Linhas de campo uniformes ou homogêneas nada mais são que trajetórias paralelas e equidistantes. Só é possível obtê-las com um capacitor de placas paralelas de tamanho infinito. Para efeitos de simulação, considerou-se dois momentos. O primeiro simula um capacitor de placas paralelas. O segundo momento mostra o que um corte longitudinal nas placas provoca na distribuição de linhas de campo elétrico.

A. Capacitor de placas paralelas

A figura abaixo, resultante de uma simulação no COMSOL, mostra a distribuição de linhas de campo de um capacitor de placas paralelas. É nítido perceber que na região central das

placas, as linhas apresentam homogeneidade. Porém, as demais ocorrem devido ao fato de o capacitor não possuir placas de tamanho infinito.

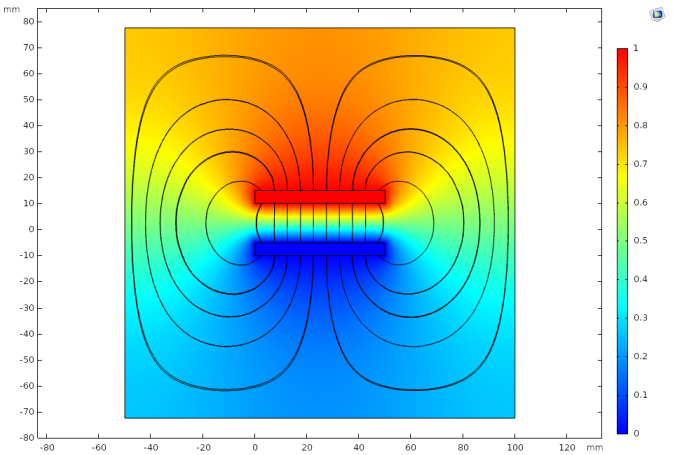


Fig. 1. Linhas de campo uniforme

Os parâmetros de simulação, mostrados na Tabela 1, são:

TABELA I
PARÂMETROS DO CAPACITOR

Parâmetro	Valor
Largura das placas	50 mm
Espessura das placas	5 mm
DDP entre as placas	1 V

A intensidade de campo ao longo do eixo X, na Figura 2, demonstra, graficamente a uniformidade desse modelo.

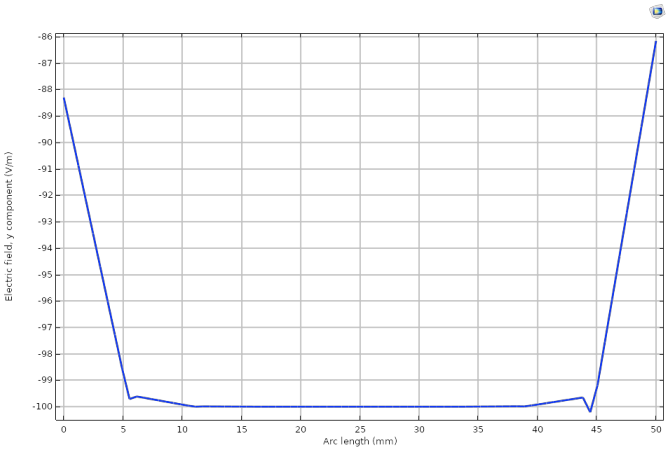


Fig. 2. Intensidade de campo elétrico ao longo do eixo X para modelo ideal

B. *Distúrbio nas linhas de campo*

Para que seja possível demonstrar que alterações na estrutura inicial de um capacitor interfere na distribuição das linhas de campo, foi feita uma separação horizontal do modelo inicial, de modo que agora, tem-se dois capacitores um ao lado do outro. Na seção IV, será mostrado o impacto na dispersão da homogeneidade na precisão de medidas com o espectrômetro de massa. Conforme mostra a Figura 3.

A intensidade de campo ao longo do eixo X, nesse caso, possui uma variação considerável exatamente entre os pontos de separação das placas, conforme a Figura 4.

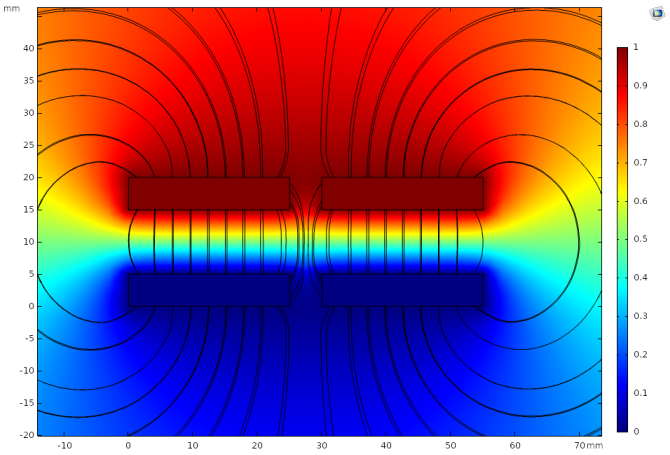


Fig. 3. Linhas de campo não homogêneas

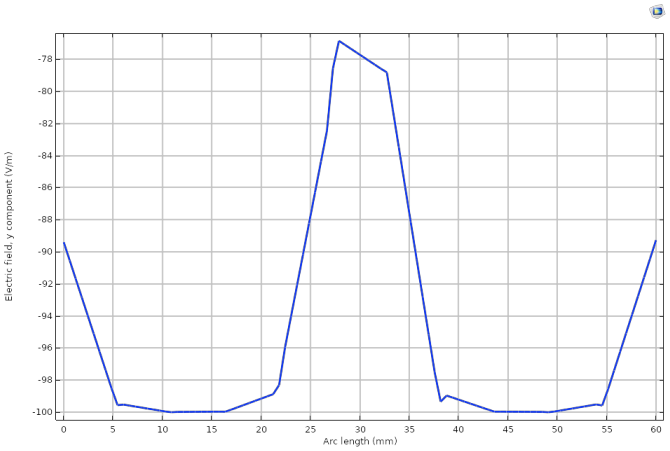


Fig. 4. Intensidade de campo ao longo do eixo X para modelo estudado

IV. ESPECTROMETRIA POR TEMPO DE VOO

A técnica de espectrometria de massa por tempo de voo parte de um conceito no qual uma determinada amostra é submetida a uma força que a desloca por uma distância até um detector para que sua relação massa/carga seja calculada através do tempo gasto nesse trajeto [8]. Considerando, então, que a amostra sofra uma aceleração causada por uma força resultante de um campo elétrico e relacionando as equações que descrevem esse fenômeno,

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \tag{1}$$

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \tag{2}$$

podemos concluir que $\vec{E} \propto \vec{a}$.

Analisando um caso ideal, de maneira que o experimento seja eficiente e preciso, o vetor campo elétrico $\vec{E}$ deve ser homogêneo na direção do detector e não deve haver nenhuma distorção nas linhas de força.Em outras palaras, suponha-se que várias partículas de mesma natureza sejam colocadas sobre a influência do campo elétrico da Figura 2. Como a intensidade de campo é praticamente uniforme, as partículas chegariam em tempos praticamente iguais de modo que não haja uma leitura errada daquele composto. Entretanto, se as mesmas estruturas fossem submetidas ao campo elétrico da Figura 4 elas chegariam em tempos diferentes, comprovado pelas equações 1 e 2. Desse modo, existe uma grande possibilidade de que a medida

realizada seja imprecisa, de forma a caracterizar partículas iguais como um grupo de várias partículas diferentes.

O objeto de estudo é um espectrômetro de massa, mais especificamente, o capacitor responsável pela aceleração de partículas. Tal modelo, foi desenvolvido pelo laboratório Laser na UFRJ. De modo geral, ele apresenta a estrutura detalhada na Figura 5.

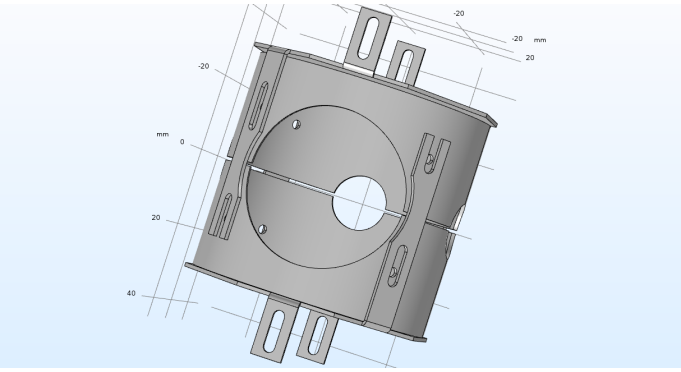


Fig. 5. Estrutura do capacitor usado no TOF-MS

O potencial elétrico distribuído no componente pode ser observado na Figura 6.

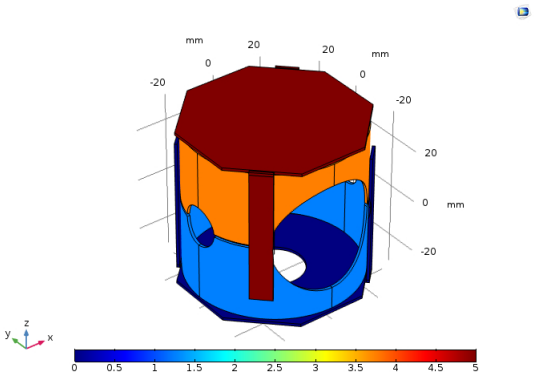


Fig. 6. Potencial Elétrico distribuído no capacitor

A. Campo elétrico

Foi abordado anteriormente, a importância da uniformidade das linhas de força de campo elétrico na acurácia das medidas feitas pelo TOF-MF. Dessa forma, pode-se observar, a partir de simulação, na Figura 7, devido a geometria do capacitor, que existe uma não uniformidade no seu campo elétrico.

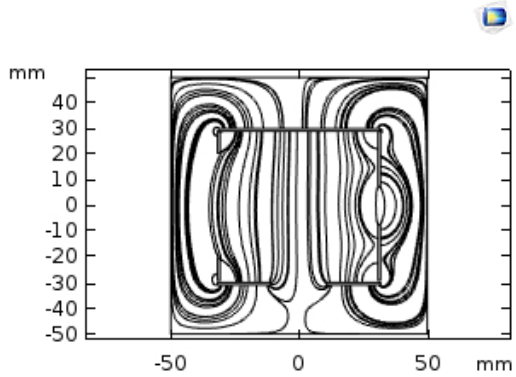


Fig. 7. Linhas de campo elétrico do TOF-MS

V. Otimização

Em geral, podemos dividir um problema de otimização em dois - a escolha das variáveis de entrada e a definição de uma função objetivo. O objetivo da otimização é encontrar valores para a variável de entrada que minimize ou maximize a função objeto, sujeitos a um conjunto de restrições C. Dessa forma, tem-se:

$$\begin{cases} \min Q(\xi) \\ \xi \in C \end{cases} \tag{3}$$

Onde as variáveis de entrada são denotadas por ξ, e a função objeto por $Q(\xi)$. Tem-se também, que:

$$C = \{\xi : lb \leq G(\xi) \leq ub\} \tag{4}$$

Onde G é uma função vetorial com limite inferior lb e superior ub.

Em um problema clássico de otimização, Q e G são obtidos de forma explícita como uma expressão de forma fechada para o controle das variáveis ξ . Porém, devido aos problemas de estimativa de parâmetros e de projeto, Q e G resultam em funções objetivo que não são determinadas de forma explícita. Dessa forma, faz-se necessário a resolução do problema a partir da otimização matemática através de Equações Diferenciais Parciais (PDE).

A. Otimização Topológica

A otimização topológica (OT) é um método de otimização que é implementado, principalmente, junto com o método dos elementos finitos (FEM). O objetivo deste método de otimização é encontrar uma distribuição de material que minimize (ou maximize) uma função de acordo com os parâmetros desejados [9]. Dessa forma, pode-se definir como variáveis de controle os parâmetros definidos na Tabela II. Para a obtenção da função objetivo ou função de mérito, é necessário um detalhamento mais profundo conforme apresentado a continuação.

B. Definição da função objetivo

O objetivo da função de mérito é obter uma expressão matemática que quantifique o desempenho das geometrias oferecidas pelo método de otimização. No caso deste trabalho, pretende-se obter uma expressão que determine quando a geometria do capacitor oferece uma maior homogeneidade ao redor do eixo de rotação do capacitor.

Assim, levando em consideração que a divergência de um campo vetorial fornece a densidade de fluxo do campo em um ponto [**thomas**], concluí-se que a expressão que devemos minimizar deve ser da forma,

$$\min(\nabla \cdot \vec{E} - \frac{\partial E}{\partial z}). \tag{5}$$

Como deseja-se calcular a variação do campo em todos os pontos ao longo do sentido do movimento dos íons, podemos definir a função mérito como:

$$\int_L \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial y}\right)^2}\, d\vec{r} \tag{6}$$

C. Algoritmos de Otimização

O próximo passo para realizar a otimização consiste em escolher qual algoritmo de otimização é o melhor para esse caso. O software COMSOL Muliphysics oferece oito métodos diferentes, entre eles: Monte Carlo, Coordinate-Search, Nelder-Mead, COBYLA (Constrained optimization by linear approximation), MMA (*Method of Moving Asymptotes*), SNOPT (*Sparse Nonlinear Optimizer*), Levenberg-Marquartdt. Para esse projeto de pesquisa, determinou-se o uso do algoritmo Nelder-Mead. Esse método consiste na busca de um mínimo de uma função a partir de uma objeto geométrico chamado *simplex*. Um simplex é uma construção geométrica de $N+1$ dimensões criada no espaço de parâmetros. Cada vértice compostos pelos valores da função e elas evolui para obter o melhor valor para o problema, no caso dessa otimização, o menor valor da função de mérito calculada naquele vértice [10].

VI. Resultados

Os parâmetros geométricos iniciais do capacitor do espectrômetro são mostrados na Tabela II.

TABELA II
PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DO CAPACITOR

Parâmetro	Valor	Descrição
L0_HB	49.5[mm]	Comprimento braço da placa de VCC
L0_LB	49.5[mm]	Comprimento braço da placa de GND
R0_SH	7.5[mm]	Raio dos buracos laterais menores
R0_BSH	20.5[mm]	Raio do buraco lateral maior
R0_GNDH	11[mm]	Raio do buraco da placa de GND

Com tais parâmetros, o valor da função de mérito calculada foi de **18,593** $\left[V/m^2\right]$.

Com os novos parâmetros otimizados, mostrados na Tabela III, o novo valor da função de mérito é de **13,8973** $\left[V/m^2\right]$.

TABELA III
NOVOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DO CAPACITOR

Parâmetro	Valor	Descrição
L0_HB	48.857[mm]	Comprimento braço da placa de VCC
L0_LB	49.160[mm]	Comprimento braço da placa de GND
R0_SH	8.132[mm]	Raio buracos laterais menores
R0_BSH	19.432[mm]	Raio buraco lateral maior
R0_GNDH	10.123[mm]	Raio buraco da placa de GND

VII. Conclusão

Com o estudo apresentado, obteve-se uma melhoria na homogeneidade do campo elétrico de aproximadamente **35%**. Apesar de parecer um valor pequeno, o impacto na melhoria da uniformidade do campo pode trazer muitos benefícios para o TOF-MS já que sua resolução chega a $m/\Delta m \sim 50$ (Capítulo 5 de [6]). Com isso, nota-se a potencialidade do uso da otimização a partir da simulação multi-física, especialmente aos projetos que trabalham em nível atômico como o espectrômetro, pois pequenas variações milimétricas no capacitor proporcionaram um resultado significativo na função de mérito.

Além disso, busca-se despertar nos estudantes, o interesse pelo estudo de geometrias aplicadas ao eletromagnetismo e pelo potencial das simulações multi-físicas, pois as contribuições podem ser muito positivas tendo em vista as aplicações mostradas no resumo deste artigo.

Por fim, pode-se perceber que existe uma grande solução de compromisso na otimização entre resultados e modelos factíveis, pois nem sempre o melhor resultado pode ser implementado de fato na prática.

Referências

[1] M. S. Magalhães. "Otimização topológica de um espectrômetro de massa". Em: *XXXI Congresso de Iniciação Científica do Inatel* 31 (jun. de 2019), pp. 50–54.

[2] Jürgen H. Gross. *Mass Spectrometry*. Springer Berlin Heidelberg, 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-10711-5. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-10711-5.

[3] Iwan W. Griffiths. "J. J. Thomson — the Centenary of His Discovery of the Electron and of His Invention of Mass Spectrometry". Em: *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 11.1 (), pp. 2–16.

[4] Steven L. Wood, Margaret A. Knowles, Douglas Thompson, Peter J. Selby e Rosamonde E. Banks. "Proteomic studies of urinary biomarkers for prostate, bladder and kidney cancers". Em: *Nature Reviews Urology* 10.4 (fev. de 2013), pp. 206–218. DOI: 10.1038/nrurol.2013.24. URL: https://doi.org/10.1038/nrurol.2013.24.

[5] Steven E. Guard, Zachary C. Poss, Christopher C. Ebmeier, Maria Pagratis, Helen Simpson, Dylan J. Taatjes e William M. Old. "The nuclear interactome of DYRK1A reveals a functional role in DNA damage repair". Em: *Scientific Reports* 9.1 (abr. de 2019). DOI: 10.1038/s41598-019-42990-5. URL: https://doi.org/10.1038/s41598-019-42990-5.

[6] A. N. Oliveira. "Produção e Observação de Átomos e Moléculas Frios Usando Sublimação de Matriz de Isolamento". Tese de dout. Universidade Federal do Rio de Janeiro, nov. de 2017.

[7] J. N. Reddy. *Introduction to the finite element method*. Fourth edition. OCLC: on1065524414. New York, NY: McGraw Hill Education, 2019. ISBN: 9781259861901.

[8] Anna Radionova, Igor Filippov e Peter J Derrick. "In pursuit of resolution in time-of-flight mass spectrometry: A historical perspective". Em: *Mass Spectrometry Reviews* 35.6 (mai. de 2015), pp. 738–757. DOI: 10.1002/mas.21470. URL: https://doi.org/10.1002/mas.21470.

[9] Ole Sigmund e Kurt Maute. "Topology optimization approaches". Em: *Structural and Multidisciplinary Optimization* 48.6 (ago. de 2013), pp. 1031–1055. DOI: 10.1007/s00158-013-0978-6. URL: https://doi.org/10.1007/s00158-013-0978-6.

[10] "A simplex method for function minimization". Em: *The Computer Journal* 8.1 (abr. de 1965), pp. 27–27. DOI: 10.1093/comjnl/8.1.27. URL: https://doi.org/10.1093/comjnl/8.1.27.

Estudo Sobre Diferentes Dispositivos de Captação de Energia por Radiofrequência para Internet das Coisas

Marcelo A. M. Silva
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
marceloamorim@gec.inatel.br

Willian D. M. Cezar
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
williandedonio@get.inatel.br

Luís O. F. Fernandes
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
luisotavio@get.inatel.br

Thiago F. J. Carvalho
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
thiagofranceli@get.inatel.br

Samuel Baraldi Mafra
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
samuelbmafra@inatel.br

***Abstract*—With the growth of internet of things (IoT), the amount of equipment connected to each other increases gradually. These electronic devices use batteries for their operation, which becomes a problem due to the fact that some of the IoT applications are in places in which the exchange or loading by direct human intervention can be difficult or even impossible, for example in aquatic sensor networks. Thus, several techniques have been proposed to increase energy efficiency, being a great option to use energy harvesting, such as solar, wind, radio frequency, among others. The energy harvesting by radio frequency has grown a lot in recent years, because it is present in abundance in our daily lives. This article discusses about different ways to obtain radio frequency energy.**

***Index Terms*—Energy harvesting, energy efficiency, internet of things, radio frequency.**

***Resumo*—Com o crescimento da internet das coisas (IoT), a quantidade de equipamentos conectados entre si aumenta gradualmente. Esses dispositivos eletrônicos usam baterias para sua operação, o que se torna um problema devido ao fato de que algumas das aplicações de IoT estão em locais nos quais a troca ou o carregamento por intervenção humana direta pode ser difícil ou até mesmo impossível, por exemplo, em redes de sensores aquáticos. Desta forma várias técnicas têm sido propostas para aumentar a eficiência energética, sendo uma ótima opção para isto o uso de captação de energia, como solar, eólica, radiofrequência, entre outras. A captação de energia por radiofrequência tem crescido muito nos últimos anos, porque está presente em abundância em nossas vidas diárias. Este artigo discute sobre diferentes maneiras de obter energia de radiofrequência.**

***Palavras chave*—Captação de energia, eficiência energética, internet das coisas, radiofrequência.**

I. Introdução

Intenet das coisas (IoT) é a junção de duas redes, a rede humana e a rede das coisas, onde elas convivem mutuamente de forma inteligente sendo capaz de interagir uma com a outra [1]. Sendo assim, nos últimos anos, o número de dispositivos voltados à IoT tem crescido de forma exponencial, tanto na área acadêmica quanto na área industrial. Desse modo, ao fim do ano de 2020, o número de dispositivos conectados deve chegar a 10 bilhões, sendo que a estimativa para 2025 é de que haverá cerca de 22 bilhões [2].

A IoT proporciona muitos benefícios para a sociedade, elaborando dispositivos inteligentes que se comunicam entre si. Dentre estes benefícios, destacam-se conectividade, eficiência e conveniência, que otimizam processos nas indústrias e, ao mesmo tempo, geram bem estar para a população [3].

Desta maneira, os dispositivos convencionais dependem fortemente de baterias, que são uma fonte de energia limitada, o que para aplicações específicas pode ser um problema. Devido à isto, a comunidade científica tem se dedicado ao estudo de novas tecnologias para captação de energia do ambiente (solar, eólica, térmica, radiofrequência) [4]. Dentre essas tecnologias, destaca-se a captação de energia de radiofrequência (RF), que tem atraído muito a comunidade. Isto se dá por se tratar de um recurso abundante, existindo em praticamente todos os locais, especialmente em ambientes urbanos. Outro fator que influencia para isto, é que ao ser comparada com outras formas de captação, não depende de fatores climáticos, como por exemplo a energia solar e eólica.

Sendo assim, um circuito elementar de captação de energia de RF é mostrado na Fig. 1. Este circuito é composto por 4 componentes básicos: Antena, para a captação dos sinais de RF; Casamento de impedância, para evitar a potência de reflexão; Retificador, para transformar a energia de RF em energia DC; Carga, para armazenar/utilizar a energia captada.

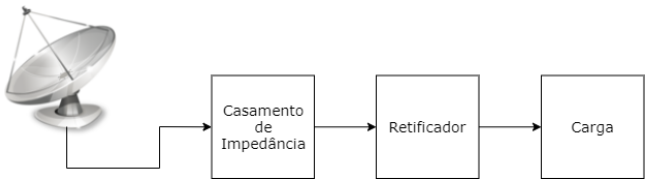


Fig. 1. Circuito elementar de captação de energia de RF.

Neste artigo serão abordados quatro estudos sobre captação de energia de RF, cada um com suas respectivas características. O documento está organizado da seguinte forma: A seção II discorre sobre os diferentes estudos à cerca da captação de energia de RF. Será realizada uma comparação entre as pesquisas citadas na seção III. A seção IV traz algumas aplicações relacionadas ao estudo. A seção V conclui o artigo e contém informações adicionais.

II. Abordagens para a captação de energia de RF

Serão apresentadas quatro diferentes abordagens para a captação e geração de energia a partir de sinais de RF.

A. Através de sinais de tv digital

Os sinais de tv digital (ISDB-T) possuem uma maior potência por largura de banda em comparação com outros padrões de comunicação. Como as estações transmissoras de tv são mais elaboradas, os sinais provindos das mesmas dispõem de maior imunidade contra fatores externos, como efeitos eletromagnéticos causados por veículos automotivos, gerando assim sinais com pouco ruído.

Para representar um circuito de captação de energia de sinais de tv digital, foi escolhido o trabalho de R. J. Vyas *et al* [5]. O circuito proposto é apresentado na Fig. 2 e tem como função amplificar, retificar e coletar a energia provinda de vários canais, produzindo na saída tensões maiores que 1,8V.

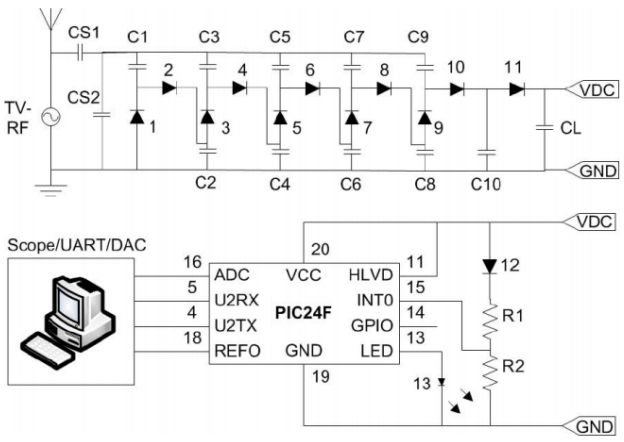


Fig. 2. Circuito utilizado para a captação de energia RF de sinais de tv digital. Adaptado de [5].

Baseado no circuito da Fig. 2, neste trabalho [5] foi implementado um protótipo, exibido na Fig. 3. Este apresenta como carga de saída, um capacitor de baixa vazão em paralelo com uma carga variável que é produzida por um microcontrolador operando em diferentes modos, dependendo das aplicações de sensoriamento.

Por conseguinte a captação de energia através de sinais de tv digital é uma boa opção, por se tratar de uma banda onde todo o tempo há sinais trafegando e também pelo fato de estar presente em praticamente todos os ambientes. Porém tem como ponto negativo o fato de a fonte de transmissão, na maioria das vezes, ficar longe do receptor, visto que necessita-se de poucos transmissores para cobrir uma extensa área.

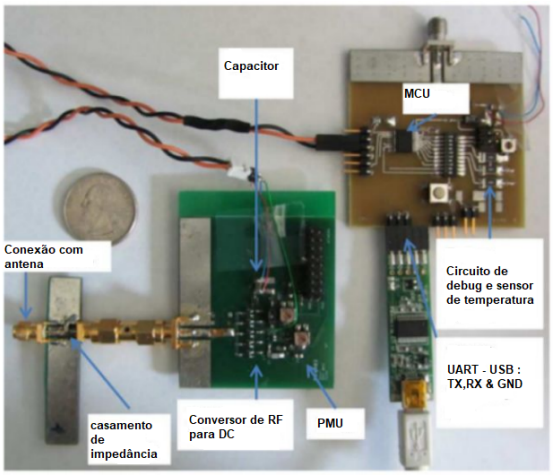


Fig. 3. Protótipo do circuito utilizado para a captação de energia RF através de sinais de tv digital. Adaptado de [5].

B. Através de sinais de Wi-Fi

Os sinais de Wi-Fi (2.45GHZ) são muito presentes em ambientes urbanos, especialmente em áreas residenciais. Outro fator importante é que esta banda pode ser facilmente usada para captação de energia e comunicação, sendo simples a implementação de projetos que realizem as duas tarefas.

Para exemplificação da captação de energia de sinais de Wi-Fi, foi utilizada o circuito representado na Fig. 4, adaptado do trabalho de Y. Chen *et al* [6]. Nesta figura, são apresentados dois circuitos, sendo (a) a rectantena e (b) o circuito retificador. A rectantena é o resultado da mescla entre uma antena e um retificador, esta que transforma energia RF em energia DC. A rectantena utilizada foi projetada para ter baixa perda de potência durante a retificação, sendo assim, o sistema não dispõe de um circuito de casamento de impedância, evitando que parte da energia coletada seja dissipada por muitos componentes. Já o circuito retificador é composto por um diodo D (HSMS-286C / SOT-323), um resistor R (10 Ω / tamanho: 0603) e um capacitor C (10 pF / tamanho: 0201).

Utilizando do circuito da Fig. 4, neste trabalho [6] foi desenvolvido um protótipo, representado na Fig. 5. O mesmo apresentou uma eficiência de 82,3% na captação e retificação da energia RF coletada, embora possua perdas relativamente baixas em seu circuito.

Desta maneira, captação de energia derivada da faixa de frequência Wi-Fi é uma boa opção quando se trata de aplicações que necessitam de mobilidade e escalabilidade. Isto se dá devido a antena para esta faixa ser muito pequena, ainda mais quando comparada com uma antena para captação de sinais de tv digital. Por outro lado, devido as baixas potências de entrada, somente pode ser utilizado para aplicações de baixo consumo de energia, como CI's em *low power mode* ou *wake-up radio* [9].

C. Através de sinais de multibandas

A captação de energia através do método de multibandas visa otimizar a energia captada, somando a potência advinda de diversas frequências diferentes, assim a captação de energia é maior do que se estivesse usando somente uma banda.

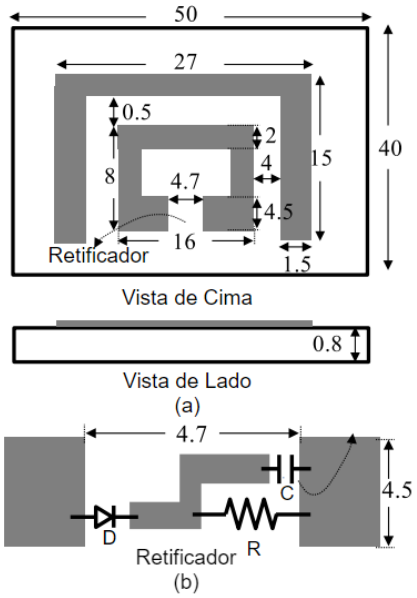


Fig. 4. Circuito utilizado para a captação de energia RF para Wi-Fi sem o circuito de casamento de impedância: (a) rectantena desenvolvida (Antena + Retificador); (b) Retificador RF-DC. Adaptado de [6].

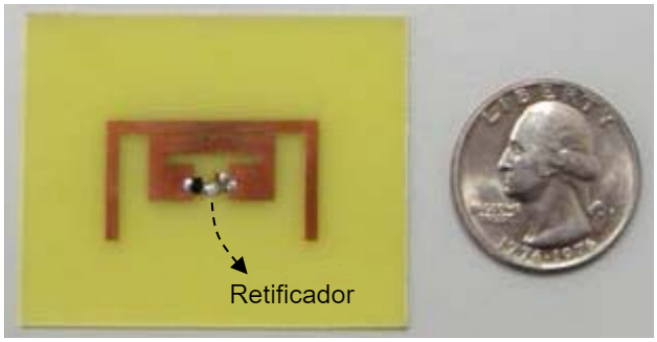


Fig. 5. Protótipo da rectantena para captação de energia RF para Wi-Fi. Adaptado de [6].

Para demonstração de um sistema de captação de energia de sinais de multibandas, foi escolhido o trabalho apresentado por V. Kuhn *et al* [7]. Neste foram determinadas quatro bandas, sendo elas: 2G (GSM900 e GSM1800), 3G (UMTS2100) e Wi-Fi (2,45GHZ).

O circuito proposto neste trabalho [7] esta representado na Fig. 6. Este dispõem dos seguintes elementos: uma antena de banda larga para cada banda específica, um filtro de RF, um retificador, um filtro de passa baixa e apresenta somente uma carga, que será alimentada com a soma da energia proveniente de cada banda.

Desta forma, usando o circuito da Fig. 6 foi empregado em [7] um protótipo, que está retratado na Fig. 7. Este apresenta um filtro RF, um retificador e um filtro de passa baixa para cada frequência especificada.

A captação de energia através de sinais de multibandas é a forma mais eficiente dentro das citadas anteriormente (Wi-Fi e tv digital). Isto se dá devido ao fato de se coletar simultaneamente a energia provinda de diversas frequências diferentes. O único ponto negativo, é que para cobrir muitas bandas, necessita-se de um circuito complexo e também de uma antena com grande faixa de operação ou uma antena para

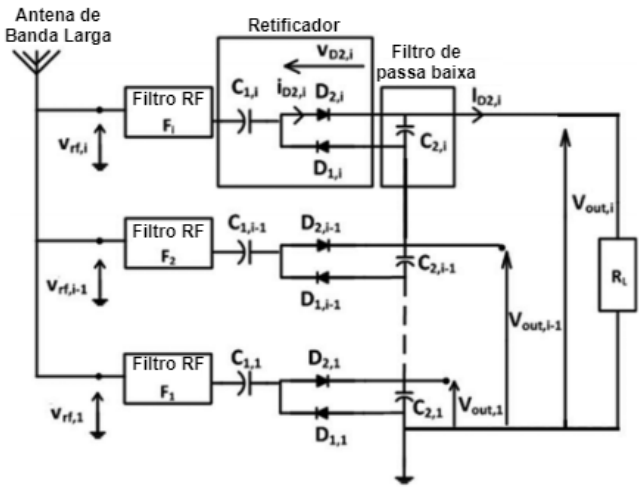


Fig. 6. Circuito abordado para a captação de RF a partir de múltiplas bandas. Adaptado de [7].

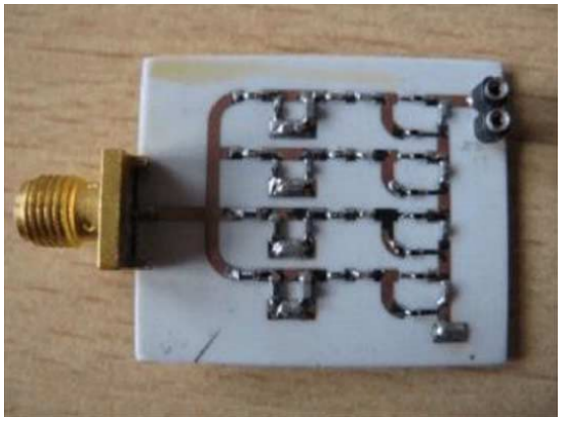


Fig. 7. Protótipo projetado para a captação de RF a partir de múltiplas bandas. Adaptado de [7].

cada banda desejada, dificultando a sua implementação para IoT.

D. Hibridização de dois métodos diferentes de captação

Visto que a captação de energia por sinais de RF geram potências muito baixas, é necessário uma alternativa para conseguir melhores resultados, sendo essa, a combinação com outras fontes. Um exemplo disto, é o trabalho de Bito *et al* [8], que combina um sistema de captação de RF com a de energia solar, operando na faixa de 2.45GHZ, onde alimenta um circuito de gerenciamento de energia de baixo consumo (PMU - *Power Management Unit*).

A Fig. 8 representa o esquemático utilizado e consiste de um circuito de casamento de impedância, para garantir que a energia captada seja entregue à carga; um retificador de meia onda com filtro RF-DC; um capacitor de 1 μF para diminuir ruídos e melhorar o sinal da saída e uma célula solar ligada a um diodo diretamente polarizado, todos ligados à uma carga RL.

Desse modo, foi desenvolvido neste trabalho [8] um protótipo, exibido na Fig. 9. Este possuí uma célula solar Power Film MP3-25 com dimensões 24mm x 24mm que exibe 0.68 V e 70.5 μW de potência máxima em uma condição luminosa da sala ($334lx = 49\mu W * cm^{-2}$). Este protótipo foi otimizado

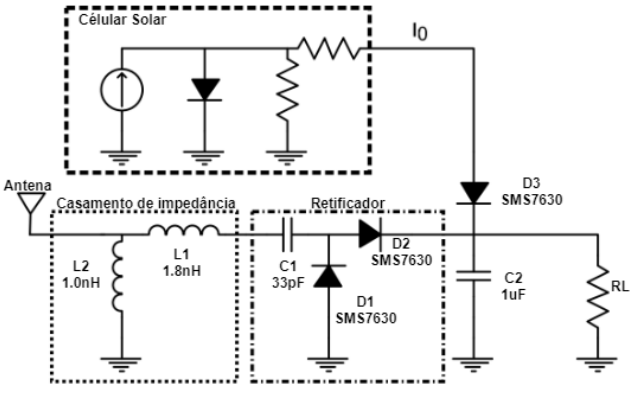


Fig. 8. Circuito para a captação de energia do ambiente a partir de duas fontes diferentes (solar e RF). Adaptado de [8].

para gerar na saída a tensão mínima de 80 mV com a potência de entrada mínima de -17 dBm, sendo esta, a tensão mínima para se manter a PMU de baixo consumo ativa.

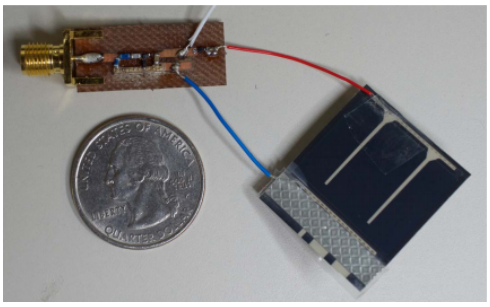


Fig. 9. Protótipo completo para a captação de energia do ambiente a partir de duas fontes diferentes (solar e RF). Adaptado de [8].

III. Comparação dos métodos de coleta

Como visto nas seções anteriores, cada método abordado tem suas características, tendo suas vantagens e desvantagens. Posto isto, a Tabela I apresenta as informações de cada trabalho para comparação dos métodos de captação de energia, como a fonte de energia que foi utilizada em cada um, frequência, ganho máximo, polarização, sensibilidade, carga e tensão de saída.

Sinais de tv possuem uma estação transmissora mais robusta com altas potências de transmissão, isso leva o sinal irradiado a ter uma melhor propagação, considerando distância e qualidade. Para aplicações onde o dispositivo se encontra a uma distância considerável da antena transmissora os sinais de tv foram os que mostraram os melhores resultados.

Ambientes residenciais estão repletos de ondas Wi-Fi, por se tratar de ambientes internos, os mesmos não possuem potências de transmissão elevadas. Estes sinais geram a menor tensão entre os demais, isso faz com que aplicações de baixo consumo sejam as mais ideais para esse tipo de onda.

Uma alternativa para aumentar a energia final é combinando os diversos tipos de energia. Para aplicações onde se tem unidades de armazenamento de energia é interessante o uso dessa tecnologia, pois a energia adquirida consegue manter a bateria carregada enquanto ela alimenta um circuito.

Sinais multibandas concedem um resultado superior aos demais, devido ao fato de se obter energia de diferentes frequências. Para ambientes que dispõem de diferentes sinais trafegando é adequado que se use esse método, para obter o máximo de energia possível.

IV. Aplicações para a utilização da captação de energia de sinais de RF

Serão apresentadas as duas principais aplicações para o uso da captação de energia de sinais RF.

A. Fonte de alimentação

O uso da captação de energia de RF como fonte de alimentação é a aplicação mais utilizada. Esta pode ser realizada para dois objetivos: alimentar um circuito diretamente ou carregar uma unidade de armazenamento de energia.

a.1) Alimentar um circuito

Esta aplicação é complexa para ser implementada, visto que a captação de energia de RF muitas vezes gera tensões muito baixas, na casa de milivolts. Porém, em situações onde se consegue garantir na saída do coletor, uma tensão específica, torna-se possível manter um sistema em funcionamento. Sendo assim, dentro dos modelos apresentados, o trabalho de Vyas *et al* [5] utiliza essa abordagem, onde consegue alimentar um microcontrolador garantindo aproximadamente 3,1V em sua saída, sistema este que é exibido na Fig. 3.

a.2) Alimentar um componente de armazenamento de energia

Esta aplicação é a mais abordada, pois como utiliza-se do coletor de energia de RF para alimentar uma unidade de armazenamento de energia, não é necessário alcançar e manter tensões suficientes para sustentar um sistema. Deste modo, o trabalho de Bito *et al* [8] implementa esta função, onde utiliza uma PMU de baixo consumo (Bq25504) para converter a tensão de saída dos coletores de energia (RF e solar) e assim, alimentar uma bateria e um capacitor. Por conseguinte, a bateria fica responsável por manter um microcontrolador em funcionamento (msp430), o sistema é reproduzido na Fig. 10.

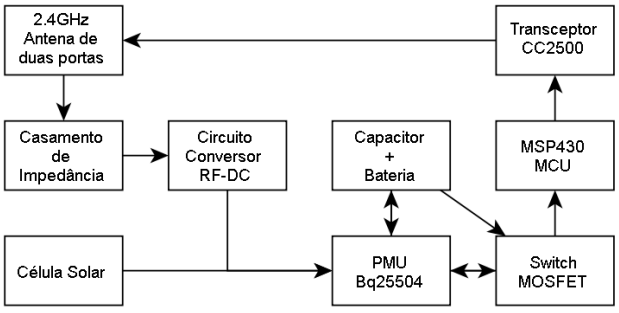


Fig. 10. Diagrama em blocos da aplicação implementada para alimentar um componente de armazenamento. Adaptado de [8].

B. Wake-up radio

Wake-up radio é uma abordagem promissora para minimizar o desperdício de energia, sendo assim uma ótima aplicação quando a energia é provinda da captação por RF. Esta técnica permite que o sistema ative somente quando necessário, assim quando seu uso não for preciso ele permanece em *low power mode* (modo de baixo consumo de energia).

TABELA I
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS TRABALHOS [5], [6], [7], [8]

Trabalho	TV Digital [5]	Wi-Fi [6]	Multi-Banda [7]	Híbrido [8]
Fonte de Energia	RF	RF	RF	RF/Solar
Frequência	512 – 566 MHz	2.45 GHz	900 - 1800 - 2100 MHz e 2.45GHz	2.28 - 2.55 GHz
Ganho Máximo	7.3 dBi	8 dBi	6 dBi	7.4 dBi
Polarização	Linear	Circular	Vertical	Circular
Sensibilidade	14.6 dBm ou -37 dBm	-15.6 dBm	-15dBm	-15.6 dBm 2.8 V
Carga	16bit PIC MCU	Microcontrolador ULP	Resistor de 11k\Omega	PMU (bq25504) MCU
Tensão de Saída	3 V	800 mV	1 - 4 V	80 - 300 mV

b.1) Monitoramento Ambiental

Se baseia em uma grande quantidade de nós sensores espalhados por um ambiente urbano ou rural, como mostra a Fig. 11, que permite um melhor gerenciamento e administração do mesmo. Os nós sensores são equipados com *wake-up radio*, que em modo de baixo consumo de energia aguardam uma chamada de ativação da central de comando, para desta forma, poderem enviar suas informações [9]. Um exemplo dessa aplicação é colocar os nós sensores em locais onde animais se movimentam, acionando os rádios no momento em que ficam dentro do alcance dos sensores, que garante a precisão na coleta de dados.

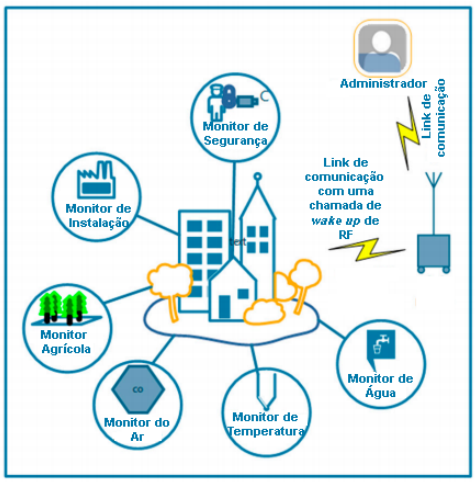


Fig. 11. Monitoramento Ambiental. Adaptado de [9].

b.2) Redes elétricas inteligentes

É uma tecnologia de sensores que permite o controle e monitoramento de uma cadeia de distribuição energética, para que sejam mais eficientes, com uma extensão inteligente da estação de energia até a casa do usuário. Um sistema com esta abordagem é reproduzido na Fig. 12, adaptada de [9], onde um sinal de *wake-up radio* é utilizado para ativar postes de luz, que estavam em modo de baixo consumo de energia.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos relacionados a captação de energia de RF têm se mostrado efetivos. Esse artigo trouxe uma abordagem teórica de 4 técnicas diferentes, mostrando seus parâmetros de construção, e também abordou as principais aplicações para o uso dessas tecnologias. Como futuros trabalhos, sugere-se o desenvolvimento e aprimoramento de diferentes métodos de captação de energia RF, fazendo para os mesmos, medições e

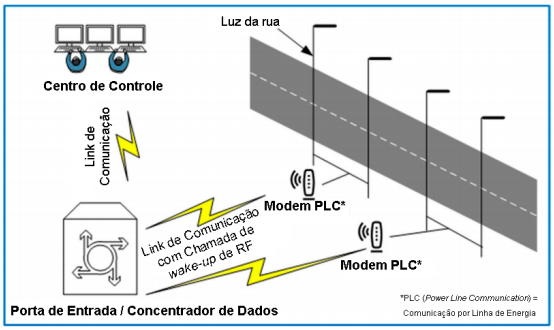


Fig. 12. Sistema de monitoramento em redes elétricas inteligentes. Adaptado de [9].

análises, tanto teóricas quanto práticas. Com isto, o leque de aplicações será ampliado.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao CNPq pelo apoio financeiro, que nos incentivou através do aporte de bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

[1] K. Ashton, "Entrevista com o criador do termo Internet das Coisas", Finep, Janeiro 2015, Disponível em: http://finep.gov.br/noticias/todas-noticias/4446-kevin-ashton-entrevista-exclusiva-com-o-criador-do-termo-internet-das-coisas. Acessado em: 14/03/2020.

[2] K. L. Lueth, "Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating", IoT Analytics, Agosto 2018, Disponível em: https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/. Acessado em: 14/03/2020.

[3] "6 Ways You'll Directly Benefit from the Internet of Things", IEEE Innovation Network. Disponível em: https://innovationatwork.ieee.org/6-iot-benefits/. Acessado em: 21/03/2020.

[4] Adnan Harb, "Energy harvesting: State-of-the-art", *Renewable Energy*, Volume 36, Issue 10, Pp. 2641-2654.2011, Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110002703.

[5] R. J. Vyas, B. B. Cook, Y. Kawahara and M. M. Tentzeris, "E-WEHP: A Batteryless Embedded Sensor-Platform Wirelessly Powered From Ambient Digital-TV Signals,"in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 61, no. 6, pp. 2491-2505, June 2013.

[6] Y. Chen and C. Chiu, "Maximum Achievable Power Conversion Efficiency Obtained Through an Optimized Rectenna Structure for RF Energy Harvesting,"in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 5, pp. 2305-2317, May 2017.

[7] V. Kuhn, C. Lahuec, F. Seguin and C. Person, "A Multi-Band Stacked RF Energy Harvester With RF-to-DC Efficiency Up to 84%,"in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 63, no. 5, pp. 1768-1778, May 2015.

[8] Bito, Jo et al. "A novel solar and electromagnetic energy harvesting system with a 3-D printed package for energy efficient Internet-of-Things wireless sensors,"in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, v. 65, n. 5, p. 1831-1842, 2017.

[9] Bello, Hilal & Xiaoping, Zeng & Nordin, Rosdiadee & Xin, Jian. (2019)."Advances and Opportunities in Passive Wake-Up Radios with Wireless Energy Harvesting for the Internet of Things Applications". *Sensors*. 19. 3078. 10.3390/s19143078.

Aplicação da Blockchain em problemas de Engenharia de Telecomunicações

Pedro L. de Oliveira, Murilo Dourado, Guilherme P. Aquino, Alessandra C. Domiciano, Francisco A.S. do Carmo
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
pedro.lopes@get.inatel.br, murilodourado@get.inatel.br, guilhermeaquino@inatel.br,
alessandracarolina@get.inatel.br, francisco.assis@inatel.br

***Resumo*—Uma *blockchain* é, nos mais simples termos, uma série de registros imutáveis de blocos de dados imutáveis que são gerenciados por grupos de computadores. Cada um destes blocos de dados é seguro e ligado a outros blocos de dados utilizando princípios criptográficos. Portanto, como principal característica, a *blockchain* ajuda a garantir a validade de uma transação registrando-a não apenas em um registro principal, mas também em um sistema distribuído conectado de registros, todos conectados por meio de um mecanismo seguro de validação.**

Originalmente, a *blockchain* foi criada para propósitos relacionados ao *bitcoin* [1], sendo a base tecnológica para as criptomoedas atuais. No entanto, essa tecnologia não está limitada a essa aplicação e, com isso em mente, foram pensados novos cenários para sua utilização, exclusivamente na área de Engenharia de Telecomunicações e que serão apresentados neste documento.

***Index Terms*—Blockchain, IoT, Validação de serviços, Registro Seguro da Gestão de Mudanças, Bilhetagem.**

I. Introdução

A *blockchain* nada mais é do que uma lista de registros e acontecimentos, disposta em formato de blocos. Esses blocos são criados em formato de corrente, em que cada bloco existente está ligado a um bloco sucessor e a outro bloco antecessor, dessa forma possibilitando que as informações desejadas fiquem salvas dentro dessa cadeia de blocos [2]. Além disso, ela se mostra revolucionária por conter três principais pilares que a sustentam. O primeiro pilar é a transparência, ou seja, todos os dados já escritos dentro de cada bloco podem ser acessados a qualquer momento e por qualquer usuário. Logo em seguida vem o quesito da imutabilidade, ou seja, tem-se se a vantagem de saber que todas as informações contidas nela jamais foram ou serão alteradas. Por fim está a característica de ser uma tecnologia que atua de forma descentralizada, assim se tornando praticamente impossível de ter seus dados fraudados, pois sua rede não estará em apenas um servidor, mas sim em todas as máquinas que fazem parte da cadeia de blocos.

A blockchain hoje é a base tecnológica para todas as criptomoedas existentes. No entanto, sua utilização ultrapassa o universo das criptomoedas e pode ser usada para os mais diversos fins como, contratos inteligentes, pagamento virtual, crowdfunding, armazenamento de arquivos, proteção de propriedade intelectual e, também, dentro da engenharia de telecomunicações [3].

Basicamente, a blockchain pode ajudar as operadoras de serviços de telecomunicações a se prevenirem de fraudes [4], que definham suas receitas financeiras, bem como, a gerirem melhor as identidades dos seus usuários [5], prevenindo que os mesmos sofram algum ataque de autenticação. Além disso, a blockchain pode ser uma boa solução ao problema de segurança que afligem os sistemas de Internet das coisas (IoT — *Internet of Things*) [6].

O objetivo deste trabalho de iniciação científica é apresentar um estudo preliminar sobre a utilização da blockchain em problemas relacionados à engenharia de telecomunicações. Nesse artigo foram explorados mais a fundo um total de 2 problemas que podem ser resolvidos com a *blockchain*, aqui denominados de: i) validação de serviços prestados por provedores de acesso à Internet, ii) falha de bilhetagem de usuários de telefonia. Outros dois problemas levantados durante o estudo também são apresentados nesse artigo, porém, de forma mais sucinta: iii) validação de comunicação M2M (Machine-to-Machine), iv) validação de mapas de cobertura e v) Registro seguro da gestão de mudanças. Esses três últimos sugerem uma continuação desse estudo aqui apresentado.

Para cumprir com o objetivo desse artigo, o mesmo se encontra organizado da seguinte forma. A Seção II traz uma abordagem fundamental sobre a *blockchain*. A Seção III traz uma análise sobre o problema de validação de serviços prestados por provedores de acesso à Internet (ISP – *Internet Service Provider*) e mostra um experimento criado durante esse estudo para demonstrar como a *blockchain* pode resolver esse problema. A Seção IV apresenta uma análise sobre o problema da falha de bilhetagem em sistemas de telefonia e mostra um experimento criado durante esse estudo para demonstrar como a *blockchain* pode resolver esse problema. A Seção V traz uma análise sucinta sobre outros problemas da área de engenharia de telecomunicações que podem ser resolvidos com o uso da *blockchain* e pode ser vista como uma seção de trabalhos futuros. Por fim, a Seção VI traz as principais conclusões obtidas com esse estudo.

II. Blockchain

Como já citado, a *blockchain* é formada por uma cadeia de blocos. Esses blocos possuem uma formatação que se adéqua à aplicação. Ou seja, para cada aplicação, o bloco é criado de uma forma distinta e com informações distintas dentro deles. Nesse trabalho, um bloco sempre será criado contendo a seguinte formatação:

Bloco[índice]:
Timestamp // Informação // Hash anterior // Nonce

A *timestamp* é basicamente uma formatação de data e hora, para que haja uma ordem cronológica das informações e da formação dos blocos. Também previne possíveis alterações, caso a obtenção dessa seja feita de forma automatizada. Geralmente uma *timestamp* tem o seguinte formato: DD/MM/YYYY hh:mm:ss.

O campo informação traz de fato o que será guardado no bloco. Portanto, se adequará a aplicação, podendo conter uma única informação específica, ou várias informações.

Antes de entender a necessidade do *hash* anterior na formatação do bloco é preciso entender o que é um *hash*, como ele é gerado e por fim, como ele é validado. O *hash* nada mais é que uma função de criptografia irreversível que ao receber em sua entrada uma determinada informação, que possui um tamanho qualquer, retorna um código de tamanho fixo em sua saída. Além disso, é importante que se saiba que dado o resultado de um *hash*, é impraticável, ou quase impossível, descobrir qual fora a informação tratada pela função. Ainda, as funções de *hash* geram saídas descorrelacionadas quando as entradas possuem diferenças discretas. Ou seja, uma minúscula alteração do dado de entrada, resultará em um valor completamente diferente na saída da função de *hash* [7]. Vale ressaltar que independente do tamanho da informação, o tamanho do *hash* é fixo. Existem inúmeras funções de *hash* na literatura. Nesse artigo a função de *hash* usada será a MD5.

A validação de um *hash* é feita através do conceito de nível de segurança (SL – *Security Level*). Que deve ser estipulado de acordo com a aplicação, que consiste, basicamente, no número de zeros no início do *hash*. Portanto, um *hash* com SL 5 é um *hash* com cinco zeros em seu início, como: 000007198086c86bda72b01d1e3bde19. O *hash* anterior nesse caso servirá como uma corrente, que atrela um bloco a outro, caso um bloco seja alterado, seu *hash* será alterado, e, consequentemente, seu sucessor também será alterado, uma vez que o *hash* do anterior é utilizado para formar o seu próprio.

Por fim, o *nonce* é o elemento que valida um conceito muito importante para a *blockchain*, a prova de trabalho (*Proof of Work*). Um *nonce* nada mais é que um número adicionado ao bloco, ou à informação do bloco, que altera seu *hash*. É com o *nonce*, que os *hashs* se tornam válidos. Para tal, a blockchain irá colocar valores aleatórios para o *nonce* e concatená-lo à informação. Ao gerar o *hash* dessa concatenação, verifica-se quantos zeros existem no início do mesmo. Para atingir o nível de segurança desejado é necessário encontrar um *nonce* que, adicionado à informação, forme um *hash* com zeros suficientes em seu início. Sendo assim, é necessário gastar processamento para que o *nonce* seja encontrado, ou seja, se ele foi encontrado, trabalho foi demandado. Por isso o nome do conceito é prova de trabalho.

Esse conceito de blocos será usado para solucionar os problemas de engenharia de telecomunicações apresentados no restante desse trabalho.

III. Validação de serviços prestados por ISPs

Um problema interessante do ponto de vista da engenharia de telecomunicações está relacionado ao fato de algum cliente conseguir verificar e provar se seu ISP está, de fato, oferecendo os serviços de acordo com os contratados.

A ideia proposta nesse estudo consiste em o usuário, ou uma operadora virtual, conseguir comprovar de maneira cabal (por meio da *blockchain*) que o serviço prestado pela operadora corresponde ao contratado pelo usuário em questão. A validação é feita com um relatório mensal, gerado através de uma aplicação feita na linguagem de programação *python*, que concatena informações de taxa de *download*, *upload*, conectividade da rede, data e hora de acesso em um bloco da *blockchain*. Esta aplicação é processada por um dispositivo ligado diretamente ao enlace de Internet que chega à residência do usuário. Esse, por sua vez, fará a obtenção do *nonce* e, consequentemente a formação do bloco. Aferindo os dados obtidos, com os assinados em contrato é possível que detectem incoerências e, quando estas ocorrerem, haverá a viabilidade de ser efetuado um ressarcimento pelos serviços não prestados.

Os dados estipulados para a validação dos serviços prestados pelo ISP são: Porcentagem de blocos mostrando que há conexão com a Internet, porcentagem de blocos mostrando que não há conexão, taxa média de transferência de dados de *download*, taxa média de transferência de dados de *upload* e *atraso*. A escolha foi feita baseada no montante de informações providas por uma das aplicações utilizadas, o `speedtest-cli`, que foi desenvolvido pelo serviço da SpeedTest.net.

A. Experimento e Resultados

Dada a proposta, atacou-se a situação problema que, novamente, é a existência de conflitos entre clientes contratantes de um serviço de Internet e seus respectivos provedores, quanto à qualidade dos trabalhos prestados. Para isso, foi construído um algoritmo que, baseado na ferramenta anteriormente citada (*Speedtest.net*) e aliado à *blockchain*, valida se o serviço prestado condiz com o contrato fechado.

O algoritmo construído é ilustrado por um diagrama de blocos mostrado na Figura 1.

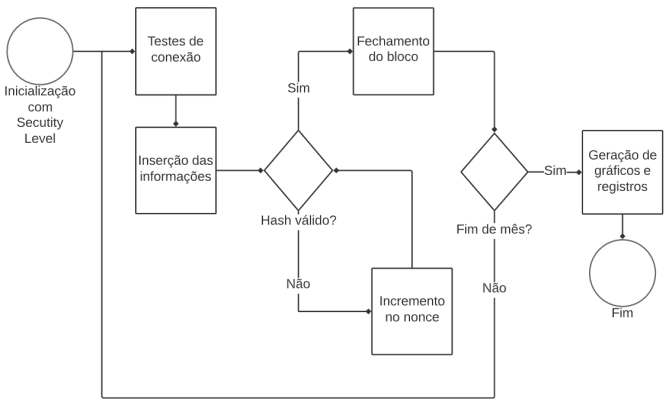


Figura 1. Diagrama em blocos do algoritmo de verificação de serviços prestados pelos ISPs.

O algoritmo criado permite que o usuário gere blocos de dados confiáveis contendo os dados de suas medições. Além disso, possibilita a criação de gráficos com médias diárias das

métricas. Além de também possuir um sistema de geração automática dos registros em arquivo cuja extensão é .txt, que por sua vez podem ser conferidos através de ferramentas computacionais. Finalmente, há uma ferramenta de busca que possibilita a pesquisa de blocos baseada em datas, tornando fácil encontrar os dados desejados em um dado momento específico.

Para fins de prova de conceito, foi realizado um experimento ao longo de uma semana com testes contínuos, ocorrendo em uma rede privada. Os resultados de tal experimento são exibidos nas Figuras 2, 3 e 4.

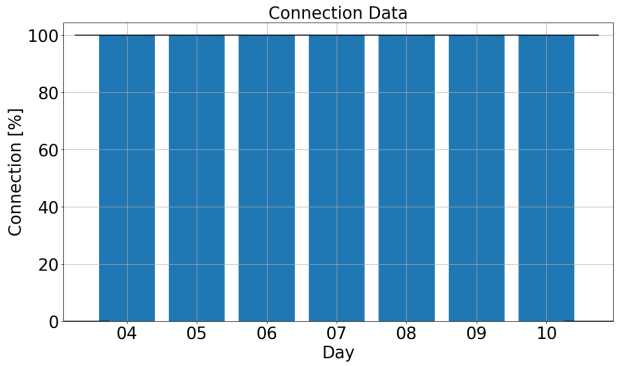


Figura 2. Porcentagem de sucesso ao realizar a tentativa de se conectar à internet

Pode-se perceber por meio da Figura 2 que durante os testes de conectividade com a Internet, o usuário obteve sucesso em todas as tentativas de conexão em todos os dias analisados.

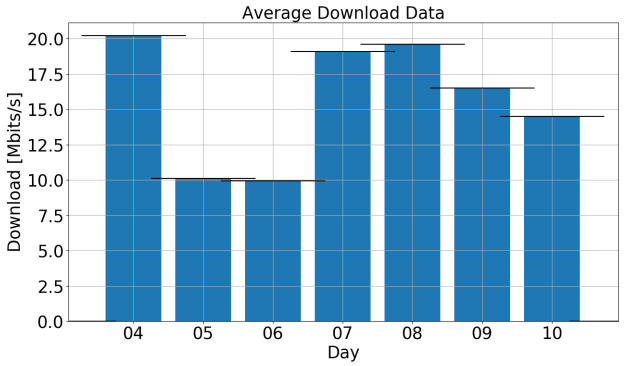


Figura 3. Taxa de *Downlink* experimentada pelo usuário, em Mbps

Por meio da Figura 3 é possível verificar qual foi a média da taxa de *download* experimentada pelo usuário durante todos os dias de testes. É possível verificar que a média da taxa de *download* varia entre 10 Mbps e 20 Mbps. Se o contrato do usuário estiver trazendo informações contrárias às experimentadas pelo usuário, esse terá como mostrar que o ISP não está cumprindo com o contrato. A mesma conclusões podem ser verificadas na Figura 4, porém, relacionadas à taxa de transferência de *upload*.

Além dos gráficos, a ferramenta criada também faz o fechamento de blocos, usando a mesma ideia da *blockchain*. Nesses blocos, todos os dados relacionados à conectividade e

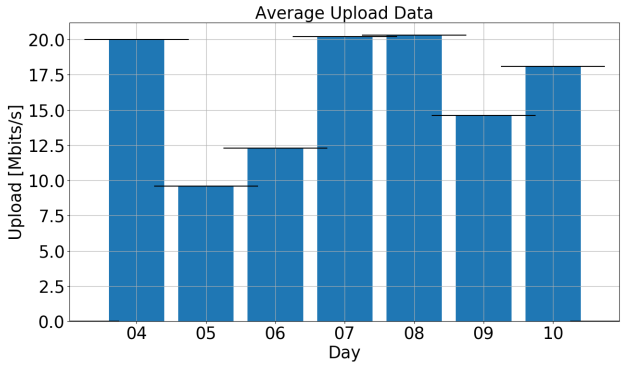


Figura 4. Taxa de *Uplink* experimentada pelo usuário, em Mbps

às taxas de transmissão e recepção de dados são registrados juntamente com o *hash* que mostram a prova de trabalho.

O Bloco formado após o processamento segue o seguinte padrão: Data e hora // Taxa de downlink // Taxa de uplink // Hash do bloco antecessor // Posição do atual bloco na cadeia // Nonce.

Sendo assim, um bloco real formado após o tratamento dos dados utilizados, é mostrado a seguir:

21/01/2020 21:56:14 // Status da rede: Conectado // Download: 3.61 Mbit/s // Upload: 2.32 Mbit/s // 000004188add8ffdd51c89838f293df1000c27114c36c412fc2f0c13cadaff0d // 1 // 298563.

Qualquer indivíduo que tenha acesso aos blocos poderão versificar a vericidade dos dados registrados no mesmo bloco. É importante mencionar que o teste feito corresponde apenas ao usuário fazer suas próprias medidas e registrá-las dentro dos blocos. Portanto, se trata apenas de uma prova de conceito. Para o perfeito funcionamento dessa ferramenta dentro de uma *blockchain*, será necessário que outros elementos na rede confirmem que as medidas feitas pelo usuário específico sejam verdadeiras.

IV. Falha de bilhetagem de usuários de telefonia

A falha de bilhetagem em rotas de interconexão é uma das falhas que mais prejudicam a receita da operadora de telefonia [8]. Tal falha ocorre quando, uma operadora de telefonia presta algum tipo de serviço para um cliente de outra, e esta não fica ciente de que seu usuário utilizou recursos da primeira. Com isso, a operadora que prestou o serviço cobrará a outra operadora, porém essa outra não arrecadará a quantia por parte do usuário, dessa forma arcando com os custos envolvidos.

Nesse estudo foi elaborada uma aplicação para se fazer a prova de conceito de como a *blockchain* pode resolver o problema de falha de bilhetagem. A aplicação consiste em suprir a *blockchain* com blocos cuja informação são CDR's (*Call Detail Records*) dos usuários. Um CDR é um registro produzido por uma conexão telefônica que pode conter a duração da chamada telefônica, os números envolvidos, falhas de conexão que foram encontradas, entre outros dados [9]. Portanto, com esses dados em mãos é possível que ao final de um ciclo de cobrança, o usuário seja cobrado pelo uso, uma

vez que será armazenado o tempo de utilização, localidade, recursos demandados e, consequentemente o valor envolvido para tal feito. Numa visão mais generalista, a *blockchain* irá prover o valor que cada operadora deve pagar para a outra e também quanto o usuário deverá pagar à sua própria operadora.

Contendo uma série de registros de CDRs na blockchain, as operadoras se certificarão que estão fazendo as cobranças de forma devida, eliminando o conflito de divergências entre elas. Quando uma dada operadora verificar, pelos registros confiáveis, que o seu processo de bilhetagem está falhando, ela poderá disparar ações que irão corrigir as falhas do processo.

A. Experimento e Resultados

A aplicação desenvolvida nesse estudo tem por base duas principais atividades: i) registrar de forma segura os CDRs gerados por centrais telefônicas dados e ii) calcular os valores que uma determinada operadora deve pagar para a outra operadora em uma rota de interconexão qualquer.

Para fazer um experimento mais realista, foram utilizados dois PABX (*Private Automatic Branch Exchange*) Ision IP 2000 da empresa Leucotron [10] interconectados por um tronco E1 que emula a rota de interconexão entre duas operadoras distintas. NA configuração feita, os telefones conectados aos PABXs podem se comunicar através de chamadas internas ou externas. Além do mais, tal equipamento tem a capacidade de aferir qual tipo de ligação foi realizada, onde esta ligação se originou e qual foi o seu destino, além de informar qual foi o tempo de utilização de cada ligação individualmente, montando assim o CDR desejado.

De posse dos dois PABXs, foram gerados inúmeros CDRs tanto para ligações internas quanto externas. Assim, a aplicação gerada nesse estudo deverá apenas coletar os CDRs que são gerados para as chamadas externas, que são de fato o objeto de estudo sobre a falha de bilhetagem. As chamadas internas foram realizadas para que o montante de CDRs em cada PABX fossem diferentes, tornando o cenário mais realista.

A aplicação desenvolvida utiliza linguagem *Python* e tem como objetivo tratar e criar blocos com as informações contidas nos CDRs coletados em cada um dos PABXs. A Figura 5 ilustra o diagrama em blocos da aplicação criada para análise das falhas de bilhetagem.

No início do processo, deve-se ler todos os CDRs gerados pelos PABXs. O CDR gerado pelo PABX Leucotron tem a seguinte formatação:

```
CDR Original: S4 400 01/11/19 15:51:52
15:51:52 00:31:41 00:31:41 00:00:04
00:00:00 t029 001 700.
```

Após o tratamento inicial feito pela aplicação criada, o CDR tratado irá possuir a seguinte mostrada a seguir. Perceba que foi inserida uma informação quanto ao custo da ligação, no caso 1901 ETH. Isso foi feito com base na duração da chamada, 1901 segundos e foi atribuido, apenas para prova de conceito, um valor a ser pago de 1 ETH [11] por segundo de duração da chamada. É importante mencionar que o ETH (Ethereum) é uma moeda virtual que será usada para se fazer um pagamento entre as operadoras. Essa moeda foi escolhida em função das facilidades que se tem para se usar a rede Ethereum para estabelecimento de contratos inteligentes [12].

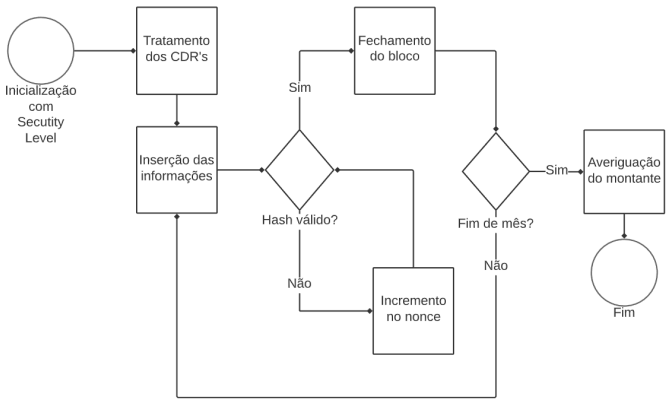


Figura 5. Diagrama de blocos do algoritmo Blockchain para averiguação de montante

```
CDR Tratado: Ligação: E / Origem: 400
/ Destino: 700 / Duração: 00:31:41 /
Efetuada em: 01/11/19 15:51:52 / Custo:
1901 [ETH].
```

Após o fechamento do bloco pela blockchain, tem-se o CDR validado cm a formatação mostrada a seguir. Perceba que o *hash* da prova de trabalho foi inserido no bloco, juntamente com as outras informações necessárias para a geração desse *hash*.

```
CDR em bloco: 06/11/2019 13:31:26
// 01/11/19 15:51:52 // 400 //
700 // 00:31:41 // Externa //
000009e7c9557ebe2a931ef4d11d36dae788391d
6dfe535c8312fc5fe38875bb // 2 // 3645500.
```

Dessa forma, os blocos podem ser acessados por qualquer operadora, e os resultados mostrados pelos CDRs validados podem ser analisados para fins de busca de possíveis sinais de falha de bilhetagem dentro dessa rota específica.

Ao final de cada mês a aplicação faz o cômputo do quanto uma operadora terá que pagar a outra. Ou seja, de posse de todos os CDRs validados, a aplicação calcula a diferença de tempo de chamadas entre as duas operadoras. Portanto, para que não haja conflito entre as partes, ambos os PABX, ao executarem o algoritmo proposto devem chegar à mesma conclusão, exemplificada abaixo através de uma mensagem na saída da aplicação:

```
"PABX1 deve pagar 527 [ETH] ao PABX2.",
```

que é gerada através de um bloco de tarifação, criado pela aplicação, que possui a seguinte forma:

```
05/11/2019 20:13:15 // Bloco de Tarifação
// PABX2 recebe // PABX1 paga //
527 [ETH] // Tarifação tipo 01 //
000005f995750c05d1fefee66d609 // 26 //
88562
```

Para fins de efetivar uma transação segura fora construído um *Smart Contract* provido pela rede *Ethereum*, utilizando-se da linguagem de programação *Solidity*, pois por meio deste é possível que ambas as partes tenham plena certeza, por meio de um algoritmo, que o montante só será distribuído se certas condições ocorrerem, nesse caso, quando ambos os PABX emitirem um relatório condizente.

V. Outros problemas de engenharia de telecomunicações que podem ser resolvidos com a *blockchain*

Além dos dois problemas apresentados anteriormente, durante esse estudo também foram levantados outros problemas que poderiam ser resolvidos com o uso da *blockchain*. Nessa seção, esses problemas serão colocados de forma sucinta e poderão ser melhores explorados em um estudo futuro.

O primeiro problema consiste em um registro seguro de gestão de mudanças. Basicamente, a ideia baseia-se em registrar na *blockchain* as atualizações feitas nos equipamentos de rede de uma dada empresa. Feito isso, é possível ter os registros de cada mudança já realizada, contendo o responsável pela mudança, quais foram as mudanças feitas, data e hora da mudança e também conter todos os demais dados que se façam necessários. Com isso, é possível obter-se um histórico confiável de todas as alterações na rede em questão, possibilitando que, caso haja algum problema ocasionado por uma modificação indevida no sistema, o responsável seja identificado prontamente. Além disso, uma base de *backups* confiáveis estará a disposição para se fazer um ponto de restauração. Nesse caso, os dados contidos no bloco seriam: Firmware anterior, firmware atualizado, autor/IP/máquina da alteração, data e hora.

Um segundo problema atende a uma área das telecomunicações com grande crescimento nos últimos anos, a Internet das coisas (IoT – *Internet of Things*). Essa área compreende todos os dispositivos que devem estar conectados a todo momento com a Internet e também aqueles que se comunicam entre si, gerando um tipo de comunicação entre máquinas, denominado de M2M (*Machine to Machine*). Muitas aplicações em IoT tem como principal fornecedor de informações os sensores, porém é necessário estabelecer uma conexão entre esses e o servidor dessas informações. Essa conexão muita das vezes não possui monitoramento ou segurança. Caso as informações sejam interceptadas e alteradas pode-se gerar uma falha em cadeia por se tratar de máquinas conversando. Um erro ou alteração pode acarretar em muitos outros. Com isso em mente, a *blockchain* é de extrema valia pelo seu quesito de descentralização, pois fazendo com que a informação chegue ao servidor por diferentes vias, a interceptação torna-se muito mais difícil, por fim, antes de gravá-la é necessário que cinquenta por cento dos nós mais um, concordem que a informação está correta. Vale ressaltar que de posse das localidades que enviaram informações incorretas, torna-se fácil a identificação e rastreamento de nós corrompidos.

O último problema em discussão se trata da validação de mapas de cobertura de operadoras. Em um estudo preliminar, pôde-se observar que os dados disponibilizados pelas operadoras em seus *websites*, não se mostram tão coerentes na prática. Normalmente as áreas de cobertura apresentados, mostram uma área de cobertura amplamente difundida. Porém, não parecem representar uma fidelidade com os dados observados na realidade, principalmente quando se leva em consideração zonas rurais e estradas. Sendo assim, é possível aplicar à *blockchain* os dados retirados da utilização dos próprios usuários da operadora, como potência do sinal recebido e latência, que dão uma boa margem para estimar se, naquele local, o serviço que virá a ser prestado será de péssima, má, boa ou ótima qualidade. Com um grande contingente de dados vindos dos celulares dos próprios usuários é possível estimar novos mapas de cobertura com maior confiabilidade e precisão, garantidos pela própria *blockchain*, o que possibilita ao futuro usuário escolher a melhor operadora para a localidade em que o mesmo se encontra.

VI. Conclusão

Visto o discorrer do trabalho, conceitos adquiridos e estudos realizados, concluiu-se que a tecnologia da *blockchain* se mostrou efetiva ao ser utilizada nos problemas de "Validação de serviços prestados por ISPs" e "Falha de bilhetagem de usuários de telefonia", uma vez que tais temas foram solucionados ao utilizar as provas de conceito, neste artigo, propostas. Além de que, fora constatado que os demais temas propostos são potencialmente solúveis ao se utilizar das ferramentas estudadas, e com a criação de cenários adequados.

Se faz válido ainda, incutir neste tópico o fato de haver espaço para um futuro estudo das soluções para as aplicações que não obtiveram suas provas de conceito edificadas

Referências

[1] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system," disponível em https://bitcoin.org/bitcoin.pdf.

[2] J. Lou, Q. Zhang, Z. Qi, and K. Lei, "A blockchain-based key management scheme for named data networking," in *2018 1st IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking (HotICN)*, Aug 2018, pp. 141–146.

[3] A. Babu and B. Davis, "How blockchain can impact the telecommunications industry," Agosto 2016, disponível em https://www2.deloitte.com.

[4] S. Kou, H. Yang, H. Zheng, W. Bai, J. Zhang, and Y. Wu, "Blockchain mechanism based on enhancing consensus for trusted optical networks," in *Asia Communications and Photonics Conference*, Guangzhou, China, March 2017.

[5] Y. Sun, L. Zhang, G. Feng, B. Yang, B. Cao, and M. A. Imran, "Blockchain-enabled wireless internet of things: Performance analysis and optimal communication node deployment," *IEEE Internet of Things Journal*, 2017.

[6] F. Xu, F. Yang, C. Zhao, and C. Fang, "Edge computing and caching based blockchain iot network,," in *1st IEEE International Conference on Hot Information-Centric Networking*, Shenzhen, China, 2018.

[7] J. Fridrich and M. Goljan, "Robust hash functions for digital watermarking," in *Proceedings International Conference on Information Technology: Coding and Computing (Cat. No.PR00540)*, March 2000, pp. 178–183.

[8] C. E. S. Rosa and G. P. Aquino, “Uma simples metodologia para análise de perda de receita de operadoras telefônicas devido à falha de bilhetagem em rotas de interconexão,,” in *Seminário De Redes e Sistemas de Telecomunicações do Instituto Nacional de Telecomunicações*, Santa Rita do Sapucaí, Brazil, 2014.
[9] O. Jukić and I. Heđi, “The use of call detail records and data mart dimensioning for telecommunication companies,” in *2012 20th Telecommunications Forum (TELFOR)*, Nov 2012, pp. 292–295.
[10] Leucotron, “Ision IP, central telefônica PABX,” disponível em: https://www.leucotron.com.br/pabx-ision-ip.
[11] Foxbit, “O que é ethereum?” 2017, disponível em: https://foxbit.com.br/o-que-e-ethereum/.
[12] A. Pinna, S. Ibba, G. Baralla, R. Tonelli, and M. Marchesi, “A massive analysis of ethereum smart contracts empirical study and code metrics,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78 194–78 213, 2019.

Aro Magnético Para Deficientes Auditivos

Stefany Mariane Pereira Rezende, Phellype Augusto Pereira, Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
stefany@geb.inatel.br, phellypeeaugusto@gec.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

***Abstract*—The hearing deficiency affects a large portion of the of the world's adult population harming the communication and making, a lot of times, necessary the use the use of audible devices. The magnetic hoop allows the sounds' direct transmission to the audible devices without unfavorable distance's effects, echo or ambient's noise. The present paper reports how improvements in magnetic hoop's existing circuits, developed at the Inatel's Assistive Technology Transfer and Development Center to decrease noises from amplification, eletrical network and magnetic fields commonly present around the ambients, were made. This way it was possible to allow this circuit's reproducibility, ensuring the best audible signal, promoting the user's accessibility.**

***Index Terms*—Hearing loop, hearing deficiency, deafness, assistive technology.**

***Resumo*—A deficiência auditiva acomete uma grande parcela da população adulta mundial prejudicando a comunicação, fazendo se necessario, muitas vezes o uso de aparelhos auditivos. O aro magnético permite uma transmissão direta do som ao aparelho auditivo sem os efeitos adversos da distância, do eco ou do ruído ambiente. O presente artigo relata como foram feitas melhorias nos circuitos existentes do aro magnético, desenvolvido no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva do Inatel, para diminuir os ruídos oriundos da amplificação, rede elétrica e dos campos magnéticos comumente presentes nos ambientes. Assim foi possível permitir a reprodutibilidade deste circuito, garantindo assim melhor sinal audível, promovendo acessibilidade do usuário.**

***Palavras chave*—Aro Magnético, deficiência auditiva, surdez, tecnologia assistiva.**

I. Introdução

A linguagem é um dos meios mais importantes da comunicação e interação do ser humano. A audição é um pré-requisito para aquisição e desenvolvimento da linguagem, sendo que essas funções são correlacionadas e interdependentes [1].

A deficiência auditiva é a incapacidade de ouvir sons abaixo de 40 decibéis. De acordo com a Organização Mundial de saúde (OMS), aproximadamente 15% da população adulta mundial apresenta perda auditiva [2]. Pode ser detectada em crianças no primeiro mês de vida, através da triagem auditiva, composta tanto pelo exame de audiometria, quanto pelo de potencial evocado auditivo do tronco encefálico. Os pacientes que fogem dos padrões nos exames são direcionados a equipes especializadas que o acompanham e indicam o tratamento ideal [3].

A falta de um acompanhamento médico adequado pode resultar em isolamento social, em incapacidades e desvantagens psicossociais, além de limitar a qualidade de vida. Um dos tratamentos indicados são as próteses auditivas, os chamados Aparelhos de Amplificação Sonora Individual (AASI), que são recursos tecnológicos capazes de proporcionar benefícios quando não existem possibilidades de tratamento clínico e cirúrgico [1, 4].

O uso de próteses auditivas perde a eficiência quando usada em ambientes muito ruidosos, já que se trata de dispositivos de amplificação sonora, o que amplia todo e qualquer som, trazendo sons competitivos e prejudicando o usuário [5, 6, 7].

O Aro Magnético consiste em um circuito que capta o som através de um microfone e que recebe o sinal sonoro e transforma em sinal elétrico, esse sinal é amplificado e é transmitido através de uma bobina de indução. A recepção do sinal é realizada pela bobina T existente em grande parte dos aparelhos auditivos, não havendo necessidade de adaptação dos aparelhos [8]. Sendo assim, o aro magnético é um dispositivo de escuta assistida cujo objetivo é melhorar a qualidade dos sons captados por aparelhos auditivos, possibilitando a melhora da audição em ambientes fechados onde existem ruídos competitivos, como ocorre em teatros, salas de aula, auditórios, cinemas etc [9]. Esse dispositivo transformou a vida de pessoas com deficiência auditiva em alguns países, como EUA, Argentina e países da Europa, colaborando com a inclusão social [7]. Contudo, o aro magnético ainda não é utilizado no Brasil e um baixo número de artigos científicos foram encontrados sobre esse tema, que abordem dados técnicos, como por exemplo, a impedância da bobina de indução.

Com base nas informações obtidas, o aro magnético vem sendo desenvolvido no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) desde o início de 2015. A fim de trazer acessibilidade a pessoas usuárias de próteses auditivas. Até então foram desenvolvidas outras versões do Aro Magnético. Tem-se como objetivo nesse trabalho a filtragem do som, a fim de suavizar ruídos e permitir a reprodutibilidade da tecnologia.

II. Metodologia

O presente estudo de melhorias nas placas existentes levou em consideração os circuitos desenvolvidos no ano de 2018. Os autores realizaram um levantamento de arquivos anteriores, tais como, esquemas elétricos e artigos, a fim de permitir a reprodutibilidade. Para auxiliar no estudo, foi realizada a engenharia reversa para esclarecer a função de cada componente do circuito.

O circuito de pré-amplificação foi desenvolvido para captar sinais de qualquer dispositivo que possua saída para fone de ouvido. Para amplificação de potência foi utilizado o CI TDA2009, com um dissipador de alumínio para proteção térmica. O circuito é alimentado com uma fonte de 12 V / 5 A, com um fusível para a proteção contra alta corrente elétrica.

Para os circuitos que apresentavam ruídos oriundos da amplificação, foram feitos testes e pesquisas para solucionar os problemas existentes.

O método adotado e que foi mais eficiente foi a troca dos fios rígidos, por onde o sinal de áudio passa, por fios blindados. O cabo blindado é constituído por uma "malha" de fios que envolve um fio central. Essa malha funciona como uma gaiola de Faraday, uma blindagem elétrica, que forma uma superfície condutora que envolve uma dada região do espaço e que pode, em certas situações, impedir a entrada de perturbações produzidas por campos elétricos e ou eletromagnéticos externos evitando interferências eletromagnéticas no fio central [10]. Os fios centrais são ligados aos polos das entradas e saídas de áudio, a malha do cabo é soldada na malha de terra do circuito. Ao final da troca por cabos blindados foram realizados novos testes com dispositivos emissores de áudio. Foi utilizado um celular Iphone 6S, um Ipad 4ª geração e um *notebook*. Foi executada uma mesma música nos 3 dispositivos. Estes foram conectados ao Aro Magnético através de um cabo P2, onde o áudio amplificado foi ouvido sem distorções. Esse teste ocorreu de forma empírica contando com a percepção dos autores e de voluntários sem perda auditiva diagnosticada ou aparente.

III. Resultados e Discussões

A. Eliminação de ruídos

A eliminação dos ruídos se deu com as blindagens dos cabos por onde o sinal de áudio passa. Foram feitos testes para observar se os ruídos eram audíveis e também para verificar se havia interferência de campo magnético oriundos de dispositivos comumente presentes nos ambientes, como ventiladores. O teste consistiu em ligar um ventilador próximo ao circuito, já que esse possui um motor que gera um campo magnético através de uma corrente elétrica circulando na sua bobina, podendo gerar correntes parasitas que podem resultar em ruídos prejudicando o funcionamento do circuito. O sinal de saída do circuito foi medido no osciloscópio e verificou-se que o circuito não sofreu interferência, já que ele permaneceu como o de entrada, estando apenas amplificado. Foram realizados testes a fim de verificar se havia ruído vindo da rede elétrica. Para isso utilizou-se dispositivos emissores de áudio, como celulares e *notebooks*, conectados a rede elétrica com seus respectivos carregadores. Foi observado que em nenhum dos testes o sinal audível foi distorcido. Um último teste foi feito para detectar a eficiência do aro com a voz humana, o teste foi realizado com o microfone sem fio na sala de aula, da marca Shure, que contém um receptor P2 que foi conectado na entrada de áudio do amplificador. O som em teste com o aparelho auditivo não sofreu ruído, chegando limpo e sem interferência. Os testes feitos pelos autoures foram de forma empírica. Os testes em seres humanos necessários deverão ser feitos após a liberação do Comitê de Ética em Pesquisa para validação da eficiência do sistema.

B. Produção de arquivos de layout para reprodutibilidade do projeto

O esquemático foi montado no software *Altium Designer*, para melhor identificação dos componentes, foram removidos espaços vazios e houve diminuição no tamanho das trilhas. Manteve-se a mesma disposição dos componentes das versões anteriores[9]. Na atualização atual houve uma redução considerável no tamanho da placa que anteriormente possuía uma dimensão de 11,4cm x 7,7cm, e atualmente, a nova dimensão é de 9,2cm x 6cm, como mostra a Figura 1. Também foram removidos um resistor, um conector e alguns jumpers, que não possuiam função no circuito. A Figura 2 apresenta o esquema elétrico do circuito.

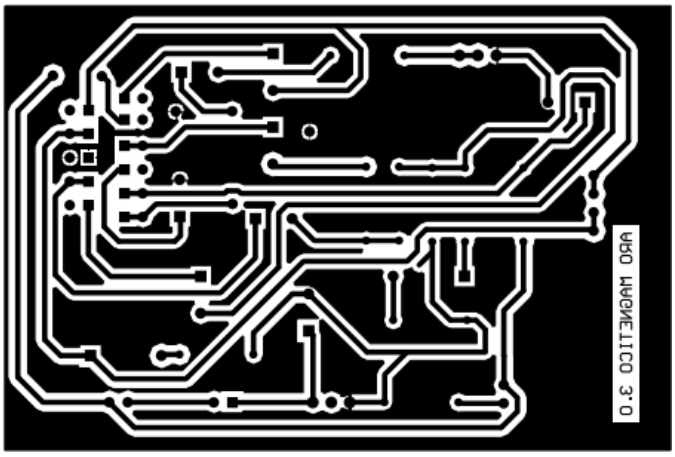


Fig. 1. Esquemático da placa do aro magnético

IV. Conclusão

Este estudo propôs-se a entender a necessidade dos usuarios de proteses auditivas, e promover a acessibilidade seja dentro de sala de aula, em cinemas e ate metrôs. Espera-se que este estudo possa contribuir para a transferência da tecnologia desenvolvida e que facilite a aprendizagem do deficiente auditivo por recursos tecnológicos, trazendo elementos contributivos para uma prática pedagógica mais inclusiva.

Pesquisas futuras devem voltar-se ao desenvolvimento de um circuito que não necessite da bobina T, tendo em vista que essa tecnologia tem se tornado obsoleta.

Referências

[1] Cladi Inês Gatto e Tania Maria Tochetto. "Deficiência auditiva infantil: implicações e soluções". Em: *Revista Cefac* 9.1 (2007), pp. 110–115.

[2] *Estimativas*. World Health. URL: https://www.who.int/pbd/deafness/estimates/en/.

[3] Priscila Karla Santana Pereira, Adriana de Souza Martins, Márcia Ribeiro Vieira e MF de Azevedo. "Programa de triagem auditiva neonatal: associação entre perda auditiva e fatores de risco". Em: *Pró-Fono Revista de Atualização Cientıfica* 19.3 (2007), pp. 267–78.

[4] Natália Michelato Silva, Fernanda Cevithereza Paiva e Cláudia Alexandra Bolela Silveira. "Grupoterapia e deficiência auditiva infantil: trabalhando com mães e crianças". Em: *Revista da SPAGESP* 13.2 (2012), pp. 56–67.

[5] Rodrigo Brayner de Farias e Iêda Chaves Pacheco Russo. "Saúde auditiva: estudo do grau de satisfação de usuários de aparelho de amplificação sonora individual". Em: *Rev. soc. bras. fonoaudiol* 15.1 (2010), pp. 26–31.

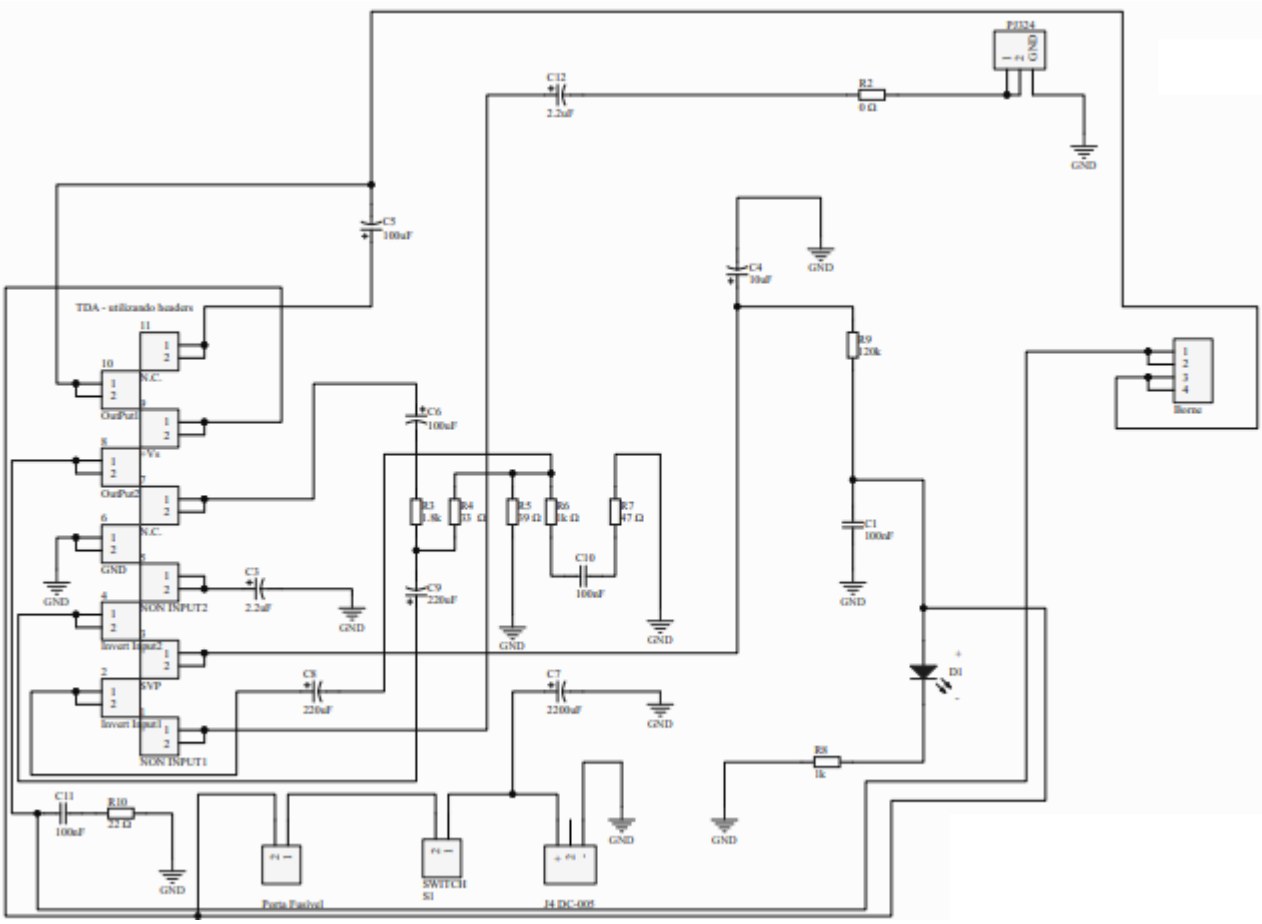


Fig. 2. Esquema elétrico

[6] Viviane Dias de Ávila, Ana Cristina de Oliveira Mares Guia, Amélia Augusta de Lima Friche, Ludimila Souza Nascimento, Doriana Ozólio Alves Rosa e Sirley Alves da Silva Carvalho. “Relação entre o beneficio do aparelho de amplificação sonora individual e desempenho cognitivo em usuário idoso”. Em: *Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia* 14.3 (2011), pp. 475–484.

[7] Adriano de Oliveira Gianotto, Heitor Romero Marques e José Manfroi. “A inclusão social da comunidade surda nas novas tecnologias”. Em: *Multitemas* 48 (2015).

[8] V Toranzos, C Aquino, E Ricciardi e O Lombardero. “Audıfono múltiple en sistemas de aros magnéticos para hipoacúsicos”. Em: *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica* 2 (2015), pp. 302–306.

[9] Filipe L Lopes, Diogo D Bernardes, Rani de S Alves, Samuel de SL Moreira e Fabiano V de Carvalho. “ARO MAGNÉTICO PARA MELHORAR A QUALIDADE DA AUDIÇÃO DAS PESSOAS USUÁRIAS DE APARELHO AUDITIVO”. Em: *Anual— n. VIII— ISSN 2358-3568* (), p. 287.

[10] Alex Bellucco e David Cordeiro Marcondes. “1, 2, 3 Gravando: registrando o áudio com qualidade em sala de aula”. Em: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 33.2 (2016), pp. 641–666. ISSN: 2175-7941. DOI: 10.5007/2175-7941.2016v33n2p641. URL: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n2p641.

AUTORES

Stefany Mariane Pereira Rezende Graduanda em Engenharia Biomédica pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações. Bolsista de Iniciação Cientifica no CDTTA- Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva. Coordenadora Geral do Crea Jr- Santa Rita do Sapucaí.

Phellype Augusto Pereira É graduando em Engenharia da Computação pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações. Aperfeiçoamento em Ilustração(2017) pela Escola Técnica Residência Educação. Bolsista de Iniciação Científica no CDTTA - Centro de Desenvolvimento e Transferencia de Tecnologia Assistiva. Monitor do INATEL, atuando com a ferramenta Altium Designer. Tem interesse nas áreas de Tecnologia e Desenvolvimento de Jogos e Computação Gráfica.

Filipe Bueno Vilela Graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.

Estudo de Método não Invasivo para Monitoração da Pressão Sanguínea

Gabriele Maria Silva, Tulio Wilian Caproni, Elisa Rennó Carneiro Déster,Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
gabrielemaria@geb.inatel.br, tulioc@gec.inatel.br, elisa.renno@inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

***Abstract*—Currently, the major cause of death in Brazil is due to cardiovascular diseases. Among the factors that influence the abandonment or non-adherence to treatment for these diseases, is the difficulty of adequate follow-up for patients, both within the health units and in home monitoring. The need for continuous monitoring motivates the development of equipment that offers comfort, mobility and practicality to its users. Based on the above problem, a non-invasive and continuous blood pressure measurement technique, called photoplethysmography, has been studied, used from the emission and capture of vital signs through light beams.**

***Index Terms*—Blood pressure, photoplethysmography, biomedical signals.**

***Resumo*—Atualmente a maior causa de óbitos no Brasil se da por doenças cardiovasculares. Dentre os fatores que influenciam no abandono ou na não adesão ao tratamento a essas doenças, está a dificuldade de acompanhamento adequado aos pacientes, tanto dentro das unidades de saúde, quanto no monitoramento domiciliar. A necessidade de um monitoramento contínuo motiva o desenvolvimento de equipamentos que ofereçam conforto, mobilidade e praticidade a seus usuários. Com base no exposto problema vem sendo estudado uma técnica de medição de pressão arterial não invasiva e contínua, chamada fotopletismografia, utilizada a partir da emissão e captacão dos sinais vitais através de feixes luminosos.**

***Palavras chave*—Pressão arterial, fotopletismografia, sinais biomédicos.**

I. Introdução

A hipertensão arterial é uma doença crônica caracterizada pelos níveis elevados da pressão sanguínea nas artérias, sendo a doença com mais números de óbitos no país. No ano de 2018 cerca de 24.7% dos óbitos no Brasil foram recorrentes a doenças cardiovasculares [1]. O elevado número de óbitos é em sua maioria dado pela dificuldade do acompanhamento adequado aos pacientes, tanto dentro das unidades de saúde, quanto no monitoramento domiciliar, estando diretamente relacionadas ao abandono ou ao não tratamento adequado a doenças como a hipertensão [2].

Encontram-se dispníveis no mercado algumas técnicas para a medição da pressão arterial (PA). No entanto, a mais comumente utilizada foi proposta por Korotkoff em 1905, que indica as variações de uma coluna de mercúrio do esfigmomanômetro verificadas através de um procedimento auscultatório [3]. Contudo, este método se utiliza de técnicas intermitentes, fornecendo valores momentâneos. Sua acurácia pode ser prejudicada pelo fenômeno de resposta do manguito, assim como do ”efeito do jaleco branco”, que é a alteração da pressão devido a variações emocionais causadas pela aproximação de profissionais da saúde [4].

Diferente da medição no hospital ou no consultório, em casa, o paciente está mais tranquilo e dentro de sua rotina. Por isso, o monitoramento residencial é fundamental para tratamentos em que o paciente possa ficar em casa *(home care)*, conferindo ao profissional da saúde mais dados do estado de saúde do paciente, auxiliando assim no diagnóstico e em seu tratamento adequado. Ao ser acompanhado constantemente é possível ajustar a medicação do paciente e até prevenir situações de risco a tempo de evitar um evento cardiovascular grave [5]. Sendo assim a necessidade de um monitoramento contínuo é cada vez maior, o que motiva desenvolvimentos de equipamentos que ofereçam conforto, mobilidade e praticidade a seus usuários [6].

A técnica que vêm sendo utilizada é a fotopletismografia que efetua por meio óptico a medição e registros de modificações de volume de uma parte do corpo decorrentes de fenômenos circulatórios [6]. Para uma análise fidedigna da pressão arterial é preciso considerar alguns fatores físicos, como o volume de sangue e a complacência do vaso sanguíneo e fisiológicos, como o débito cardíaco, derivado a partir da frequência cardíaca pelo débito sistólico, e a resistência vascular periférica. Assim como a captação de dois sinais bioelétricos, o primeiro sendo a frequência cardíaca registrada atráves da fotopletismografia responsável pelo sinal da curva PPG (Figura 1) e o segundo sinal trata-se de um eletrocardiograma, responsável por medir a atividade elétrica do coração, fornecendo como resposta a curva de Eletrocardiograma (ECG) (Figura 2) [8].

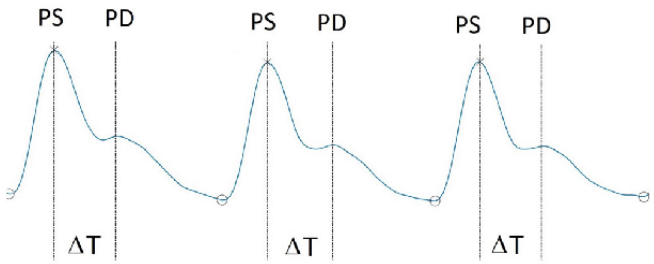


Fig. 1. Representação de um sinal de onda de pulso típico

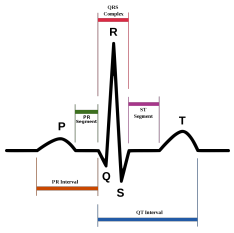


Fig. 2. Representação de um sinal de Eletrocardiograma

Para o cálculo da pressão é necessário relacionar as duas curvas mencionadas anteriomente, pois vem sendo estudado o método da fotopletismografia do tempo de trânsito de pulso de pressão, no qual nos permite controlar os picos de pressão fornecido pelas curvas e a diferença de tempo entre eles, variáveis importantes para o cálculo final da pressão [9].

Com isso o presente trabalho propôs desenvolver um dispositivo *wearable* que consiga captar os dois sinais em um único sistema, evitando ao máximo a presença de ruídos externos, como por exemplo a luminosidade, ou qualquer interferência externa, como por exemplo a luminosidade ambiente, com a finalidade de calcular a pressão arterial não invasiva (PANI) [10].

II. Metodologia

Após amplos estudos sobre os conceitos referentes ao sistema cardiovascular, pressão arterial, sinais vitais e métodos de medição atuais, como o esfigmomanômetro digital, a fotopletismografia foi o método definido de melhor eficácia para captação e análise dos dados. Com isso foram estudados seus conceitos, funcionamento e aplicações.

Inicialmente, foi construído um primeiro protótipo a partir da utilização do sensor de oximetria de pulso e frequência cardíaca MAX30100 da fabricante *Maxim Integrated*, que possui dois diodos emissores de luz (LEDs) e um fotoacoplador conectados a um processador analógico de sinais.

Para o processamento do sensor MAX30100 foi utilizado o microcontrolador Arduino MEGA 2560, programado em linguagem *Wiring*/C++, o que permitiu a captação do sinal da frequência cardíaca, dado por uma onda pletismográfica (PPG).

Posteriormente, foram realizados testes de medições com o protótipo para avaliar a estabilidade do sinal da PPG captado e a suscetibilidade do sensor a interferências do meio externo quando exposto a luminosidade. Os testes foram feitos pelos prórpios pesquisadores a fim de verificar a sensibilidade e precisão do sensor, sendo realizado através do posicionamento do dedo indicador sobre o LED do sensor em ambientes com e sem a presença da luz.

Então, foi desenvolvido um gabinete para o sensor através de modelamento 3D realizado no *software* Tinkercad e impresso em filamento de Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) na impressora 3D e o circuito foi realocado ao microcontrolador NODE MCU juntamente com o sensor MAX30100, visando a diminuição das interferências. Inicalmente encontradas e melhor aquisição do sinal, o gabinete fez com que o circuito se isolasse do meio externo diminuindo as interferências causadas pela luz.

Em paralelo com os testes do sinal da PPG, foi estruturada a captação da atividade elétrica do coração, representada pelo sinal de eletrocardiograma (ECG). Para isso, foi utilizada uma placa de circuito impresso desenvolvida pelos pesquisadores utilizando resistores, capacitores, circuitos integrados como o AD620, OPA2604 e o TL074CN para captação e filtragem do sinal.

A análise do sinal foi feita através de fontes, osciloscópios, placa de circuito impresso e um simulador de paciente para ECG. Os testes foram relizados utilizando eletrodos descartáveis colocados nos próprios pesquisadores para análise da forma de onda, posteriormente os eletrodos foram colocados no simulador de paciente com um intuito de garantir uma maior estabilidade do sinal.

As formas de onda foram analisadas no osciloscópio para garantir suas características. Como a onda plotada no osciloscópio se mostrou fidedigna a esperada foi feito um circuito de condicionamento do sinal com o intuito de restringir em uma faixa de tensão que estivesse dentro dos valores aceitos pelo NODE MCU.

Com o intuito de garantir maior estabilidade para análise do sinal a placa de circuito impresso foi trocada por um Sensor Cardíaco Arduino AD8232 ECG, que sozinho já é um bloco integrado comercial de condicionamento de sinal e pode ser acoplado diretamente ao microcontrolador.

III. Resultados e Discussões

No primeiro teste utilizando o MAX30100 integrado a um microcontrolador Arduino MEGA2560 encontrou-se interferências relacionada aos testes expostos diretamente à luz ambiente, ao simular uma espécie de bloqueio à luminosidade externa observou um sinal mais limpo, com menor interferências de ruídos.

Outro aspecto observado foi a interferência do posicionamento do dedo indicador para com a captação do sinal, o que levou a mudança do gabinete de medição para melhor bloqueio da luminosidade e direcionamento da posição correta do dedo indicador para medição, como mostrado nas figuras a seguir.

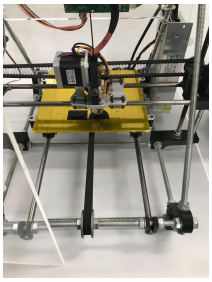


Fig. 3. Gabinete sendo impresso

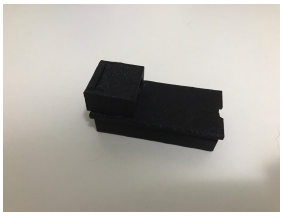


Fig. 4. Gabinete atual finalizado - Externo

Fig. 5. Gabinete atual finalizado - Interno

Para melhor filtragem e estabilização do sinal foram feitas alterações no código padrão de calibração do *software* juntamente com a implementação de uma função capaz de retornar a média das medições feitas. Isso foi feito para maior precisão dos dados e controle do tempo de retorno da medição, como mostrado na Figura 6.

```
if (oxi <= 100 ) {

  if(i==0){
    somaB=0;
    somaO=0;
    somaT=0;
   }
 if ( bpm >0 && oxi>50){
    Serial.print(" S2 ");
    carregando=1;
    i++;
 }
 if(i>0 && bpm >0 && oxi>50){
  somaB+=bpm;
  somaO+=oxi;
  somaT+=temp;
  }
  if(i==30){
    MO=somaO/30;
    MB=somaB/30;
    MT=(somaT/30);
    Serial.println("");
    Serial.print(MO);
    Serial.print(" oxi              ");
    Serial.print(MB);
    Serial.print(" Bpm              ");
    Serial.print(MT);
    Serial.println("");
    carregando = 2;
    i=0;
  }
}
```

Fig. 6. Código das médias para amostragem

Em busca de uma comunicação wireless, o circuito foi realocado ao microcontrolador NODE MCU, visando sua utilização para a criação de um página web utlizada para demonstração dos dados adquiridos até então no *plotter* e monitor serial do próprio microcontrolador. O intuito era apresentar os dados de uma maneira mais dinâmica e acessível durante a 38ª Feira Tecnológica do Inatel - FETIN, como mostrado na Figura 7.

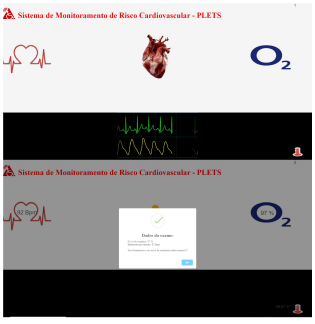


Fig. 7. Interface de reconhecimento de dados

Paralelamente à estabilização do sinal da PPG e implementações para a FETIN foi estruturada a captação do ECG, de modo a ser analisada em conjunto com a PPG.

O primeiro teste consistiu na placa de circuito impresso alimentada por uma fonte simétrica de nove Volts com os eletrodos conectados aos próprios pesquisadores, em lugares como os punhos (direito e esquerdo) e cotovelo, sendo o último o ponto de referência ao terra. A saída do circuito foi conectada a um osciloscópio onde foi possível observar a onda e consequentemente verificar a captação do sinal com esse modelo de conexão.

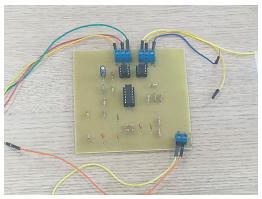


Fig. 8. Placa de ECG desenvolvida

Mesmo com a captação correta do sinal, havia muita instabilidade nas formas de onda e um tempo de resposta longo, devido a complexidade da conexão e aos movimentos do próprio pesquisador ao ser concetado aos eletrodos. Sendo assim foi feito um segundo teste, desta vez utilizando o simulador de paciente. Dessa forma o sinal ao ser captado se tornou mais estável porém ainda tinha um tempo longo de resposta. Na Figura 9 pode-se observar o sinal de ECG com maior instabilidade e fora da faixa de captação esperada.

Fig. 9. Sinal do ECG conectado ao usuário

Para resolver a instabilidade e limitar a captação na faixa de tensão esperada, pois essa ultrapassava a faixa de acesso permitida do microcontrolador, não permitindo o acoplamento de modo íntegro do circuito, fez-se necessário um circuito de condicionamento, como mostrado na Figura 10, do sinal com o intuito de restringir em uma faixa de valores aceitos pelo microcontrlador. Na Figura 11 podemos ver o sinal com mais clareza e dentro dos padrões estabelecidos.

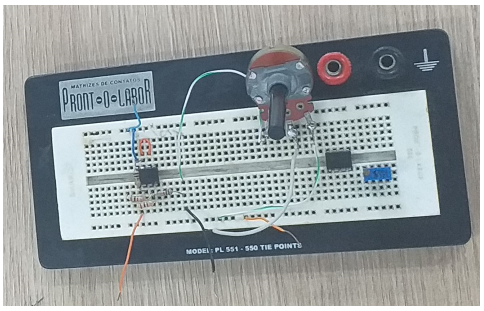


Fig. 10. Circuito de condicionamento

Mesmo após o condicionamento houve instabilidade do sinal, que não permitia uma análise fidedigna do mesmo, o que accrretou atraso na pesquisa e nos levou a troca do protótipo por um módulo pronto de sensor cardíaco chamado AD8232, que sozinho já é um bloco integrado de condicionamento de sinal e pode ser acoplado diretamente ao Microcontrolador.

Durante o tempo de espera do AD8232, foram feitas novas tentativas de estabilização do sinal com o circuito antigo, porém sem nenhum êxito. Paralelo ao *hardware* foram feitas

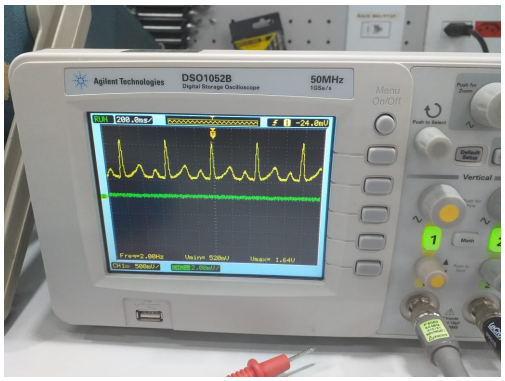


Fig. 11. Sinal condicionado ligado no simulador de paciente

algumas modelações no *software*, tentando ajustar ao máximo para quando o *hardware* estivesse pronto. Com isso foram criadas funções para calcular o tempo gasto provocado por cada pico de onda gerada após cada medição, função essa aplicada tanto no sinal da PPG quanto do ECG, como mostrado na Figura 12.

```
tempoPPG = millis()- tempoMillisPPG;
Serial.println("Beat!");
Serial.println(" ");
Serial.print("Tempo PPG :");
Serial.print(tempoPPG);
Serial.print(" ms  -  ");
tempoMillisPPG = millis();
Serial.print("Heart rate:");
Serial.print(pox.getHeartRate());
Serial.println("bpm");
Serial.print(pox.getSpO2());
Serial.println("%");
pox.update();
 ECG = analogRead(A0);
  if(ECG > 700 ){
    if(ECG < ECGAtual){
      tempoECG = millis()- tempoMillisECG;
      if ( tempoECG > 200 ) {
        Serial.println(" ");
        Serial.print("Tempo ECG :");
        Serial.print(tempoECG);
        Serial.print(" ms  -  ");
        Serial.print(60000/tempoECG);
        Serial.println("bpm");
      }
      tempoMillisECG = millis();
    }
    ECGAtual = ECG;
  }
```

Fig. 12. Código para captção do tempo - PPG e ECG

Ao chegar o AD8232 houveram algumas dificuldades para aquisição do sinal, pois era necessário uma versão específica do Arduino para a captação do sinal de ECG que não fora mencionada nos dados de fabricação nem aquisição do produto, sendo a mesma descoberta depois de inúmeras tentativas, com diversas versões, sendo a versão 1.6.6 do Arduino a utilizada com êxito como pode-se ver nas figuras a seguir.

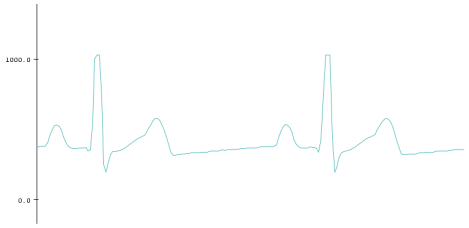


Fig. 13. Onda Eletrocardiograma

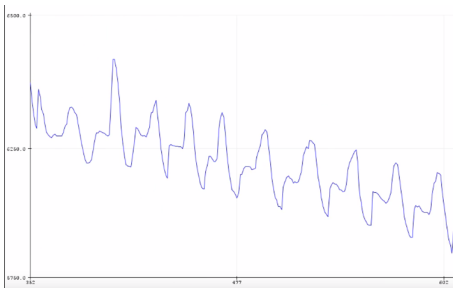


Fig. 14. Onda Frequência Cardíaca

Após a captação das ondas foi feita uma análise do tempo real gasto para medição da frequência cardíaca e do eletrocardiograma, como mostrado na Figura 15.

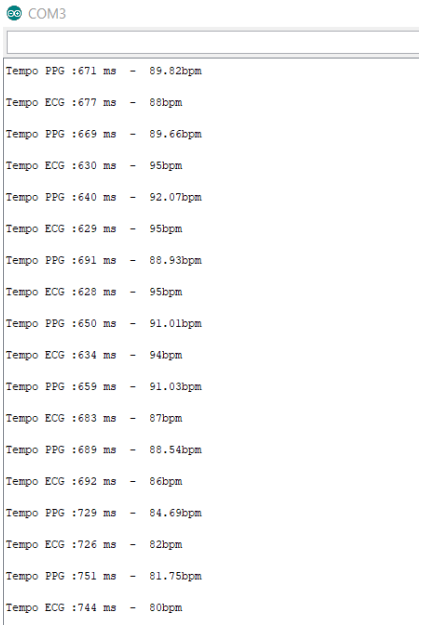


Fig. 15. Tempo encontrado em cada pico

O tempo real encontrado em tais medições é uma das variáveis para o cálculo da velocidade de pulso.

$$VP = (0.5) * h/t \tag{1}$$

Na equação (1) temos o cálculo da velocidade de pulso, onde h refere-se a altura do paciente e t ao tempo gerado por cada pico em milissegundos . Sendo assim a pressão sistólica e diastólica é dada por:

$$PD = (0.04940722 * VD) + 17.400072 \tag{2}$$

$$PD = (0.05089855 * VD) + 65.25590972 \tag{3}$$

IV. Conclusão

O projeto propôs o desenvolvimento de um dispositivo capaz de informar a pressão de forma não invasiva e contínua, tomando como base a utilização de meios ópticos, como a fotopletismografia. Por ser um sinal vital que abrange diferentes comportamentos do organismo humano, outras variáveis entraram em pauta, como o tempo de transição de pulso, o que levou ao estudo não só da frequência cardíaca, mas também da

atividade elétrica do coração. Com isso foi-se capaz de calcular o tempo gasto em milissegundos parar gerar os picos das ondas de frequência cardíaca e eletrocardiograma em conjunto com seus respectivos valores, o que levou ao cálculo algébrico da pressão sistólica e diastólica em conjunto com constantes matemáticas já estabelecidas e uma variável de fácil acesso, como a altura do paciente.

REFERÊNCIAS

[1] VII DIRETRIZES BRASILEIRAS DE HIPERTENSÃO, Volume 107. Disponível em: *http://publicacoes.cardiol.br*

[2] LESSA, Renata Carlos Azevedo Estratégias para diminuir a baixa adesão ao tratamento dos pacientes hipertensos [dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

[3] CORRÈA, Luiz Antonio Ferreira.Sistema não invasivo de monitorização da pressão arterial e da onda de pulso utilizando a fotoplestimografia [dissertação]. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2006.

[4] MARTINS, Rui Miguel Silva. Desenvolvimento de um sensor de fotoplestimografia para monitorização cardíaca para aplicação no pulso [dissertação]. Coimbra: Faculdade de Ciência e Tecnologia, 2010.

[5] BRUNO. Guia do Estetoscópio, 2014. Disponível em: *http://guiadoestetoscopio.com.br/esfigmomanometro/*

[6] DOMINGOS, José Guilherme. Pulseira para monitoramento de queda de batimento cardíaco de idosos [dissertação] Curitiba: Universidade Positivo, 2005.

[7] YOUSEFI R., NOUTANI M., OSTADABBAS S. e PANAHI I.A Motion-Tolerant Adaptive Algorithm for Wearable Photoplethysmographic Biosensors IEEE J. Biomed. Health Inform. Vol. 18, Num. 2, pag. 670–681, Março 2014.

[8] LI K., WARREN S. e NATARAJAN B. Photoplethysmograms Acquired by a Wireless Reflectance Pulse Oximeter Vol. 6, Num. 1, pag. 54–63, Fevereiro 2012.

[9] VENEMA B., SCHIEFER J., BLAZEK V., BLANIK N. e LEONHARDT S.Evaluating Innovative In-Ear Pulse Oximetry for Unobtrusive Cardiovascular and Pulmonary Monitoring During Sleep Vol. 1, pag. 2700208–2700208, 2013.

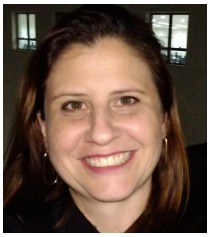
[10] TAMURA T., MAEDA Y., SEKINE M. e YOSHIDA M.Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present, Electronics Vol. 3, Num. 2, pag. 282–302, Abril 2014.

AUTORES

Gabriele Maria Silva Técnica em Informáica Industrial pelo Centro de Educação Profissional Tancredo Neves, graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de iniciação científica do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel e monitora de Química e Ciências dos Materiais da mesma instituição.

Tulio Wilian Caproni Cursando o 8º período de Engenharia da Computação no Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), formado em Técnico em Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSuldeMinas), atualmente estagiário em desenvolvimento de softwares na empresa Leucotron Tecnologia da Informação.

Filipe Bueno Vilela Graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.



Elisa Renno Carneiro Dester Fisioterapeuta formada pela Universidade Gama Filho (RJ) em 1999 ; Mestre em Ciências da Motricidade Humana pela Universidade Castelo Branco (RJ) em 2003; Professora do curso de pós graduação em Engenharia Clínica e Biomédica do Inatel; Professora do curso de Engenharia Biomédica do Inatel; Fisioterapeuta responsável pelo serviço de saúde da mulher do Hospital das Clínicas Samuel Libânio.

Desenvolvimento de goniômetro eletrônico para interpretação e comparação de feedback em biomecânica

Leandro Coutinho de Oliveira, Filipe Bueno Vilela, Elisa Rennó Carneiro Dester
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
leandrocoutinho@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, elisa.renno@inatel.br

***Abstract*—The goniometry technique used by physiotherapists is essential in carrying out exams and obtaining diagnoses for the purpose of treatment. Its foundation is based in obtaining anatomical angles through joint movements. However, this technique is capable of presenting crucial errors, providing inefficient treatments due to a failed diagnosis. The result of this flawed equipment makes physiotherapy lacking accuracy and reliability in certain functions. As a result, a study seeks the development of an electronic goniometer in order to improve the equipment and solve problems related to the conventional goniometer.**

***Index Terms*—Anatomical angles, eletronic goniometer, goniometry, physiotheraphy.**

***Resumo*—A técnica de goniometria usada por fisioterapeutas é essencial na realização de exames e na obtenção de diagnósticos para se destinar um tratamento. Seu fundamento é baseado na obtenção de ângulos anatômicos através de movimentos articulares. No entanto, essa técnica é capaz de apresentar erros cruciais, fornecendo tratamentos ineficientes em virtude de um diagnóstico falho. O resultado desse equipamento falho torna a fisioterapia carente de exatidão e confiabilidade em determinadas funções. Em virtude disso, um estudo busca o desenvolvimento de um goniômetro eletrônico, a fim de aperfeiçoar o equipamento e sanar problemas relacionados ao goniômetro convencional.**

***Palavras chave*—Ângulos anatômicos, fisioterapia, goniometria, goniômetro eletrônico.**

I. Introdução

A fisioterapia, profissão voltada para o setor da saúde, realiza os mecanismos de recuperar, avaliar e corrigir alguma disfunção de origem anatômica ou fisiológica a fim de melhorar, manter ou restaurar o bem-estar físico e fisiológico de um indivíduo [1]. Através de diferentes métodos, a realização de uma avalição ou de um tratamento em si ocorre com o auxílio de alguns equipamentos, como por exemplo o eletroestimulador, o incentivador respiratório e o goniômetro.

O eletroestimulador é utilizado para realizar o trabalho muscular em situações nas quais os músculos não estejam recebendo sinais nervosos o suficiente [2]. Suas aplicações podem ser encontradas em inchaços de pernas e braços, úlceras, atrofia muscular e até em órgãos sensoriais, como a retina [3].

O incentivador respiratório é capaz de causar diversos benefícios se aplicados em contextos diferentes. Em pós-operatórios, por exemplo, possui a finalidade de melhorar a eficiência das trocas gasosas e prevenir complicações pulmonares [4]. Além disso, sua utilizacão como exercício de rotina pode recuperar e reabilitar a função pulmonar, aumentando a resistência das vias aéreas [5].

O goniômetro é usado para obter os valores de ângulo anatômico de acordo com os movimentos articulares realizados pelos membros. Suas principais funções são auxiliar no diagnóstico de médicos para o tratamento de lesões e a melhoria na prática de atividades físicas. Esse equipamento necessita que sua utilização seja em tempo real, ou seja, à medida que o paciente realiza o movimento, há a necessidade de medir a angulação em que o braço está antes, durante e ao término da realização do movimento [6].

O goniômetro utilizado atualmente possui duas hastes (também chamadas de braços) e com graduação em graus. Um dos braços é considerado como ponto fixo, estando apoiado no paciente com o auxílio do profissional de saúde e se tornando imóvel durante o exame. Já o outro braço é manuseado pelo médico, que se movimenta de acordo com o movimento do paciente, tentando ser manuseado da forma mais precisa para determinar a angulação realizada por uma flexão, por exemplo. Além disso, a haste que entrará em movimento precisa ser regulada para o ponto zero, ou seja, o ponto inicial do movimento, podendo ou não ser o mesmo local do ponto fixo [7].

As vantagens desse equipamento se encontram no seu baixo custo, fácil mensuração e boa acessibilidade, além de uma confiabilidade considerada de boa a excelente. Contudo, algumas singularidades podem comprometer os valores obtidos pelos equipamentos, resultando em diagnósticos, tratamentos e resultados equivocados [8].

De início, a probabilidade de erro na obtenção das medidas ocorre durante a realização do exame, pois o usuário do goniômetro e o paciente precisam estar em sintonia durante o movimento realizado. Ademais, a aplicabilidade do equipamento em algumas articulações, como a de tronco por exemplo, possui uma confiabilidade baixa para realizar o exame com precisão [7]. Um outro ponto que pode causar distorções nos valores obtidos está ligado ao físico do paciente. Tomando como exemplo um indivíduo obeso realizando o movimento de abdução do braço, o ponto inicial do movimento pode ser diferente do que ele seria capaz de realizar, pois o acúmulo de gordura na região onde o braço está colado ao corpo pode fazer com que o movimento já comece com uma angulação indesejada. Devido à isso, a adequação do equipamento à casos específicos como esse acaba sendo desprezada e quando é realizada, a confiabilidade dos valores pode ser comprometida.

Em virtude das desvantagens apresentadas pelo goniômetro convencional, algumas técnicas foram introduzidas para serem alternativas à goniometria. Um exemplo é o *kinect*, um equipamento capaz de captar os movimentos do usuário, podendo detectar articulações. Através da sua programação, o *kinect* pode apresentar os ângulos articulares através da identificação de poses, onde uma pose é considerada um conjunto de subposes envolvendo as articulações. Sendo assim, para a obtenção dos valores, é necessária uma margem de erro para o cálculo tanto das subposes quanto para a pose, a posição final que terá sua angulação medida pelo *kinect*. Existem diferentes maneiras de realizar os cálculos para se determinar os ângulos, uma delas, considerada com uma boa performance, é dada pelo produto escalar das coordenadas num plano 3D [6]. O custo, a implementação, a complexidade e os valores duvidosos foram os empecilhos que mantiveram o goniômetro como o equipamento para medição de ângulos anatômicos.

Além do *kinect*, uma técnica chamada de fotogrametria computadorizada foi testada para substituir os goniômetros convencionais. A fotogrametria é um recurso que, com o auxílio de uma câmera e um computador, o usuário é capaz de avaliar a postura e tomar notas das alterações identificadas no paciente. No entanto, essa técnica exige complexidade, mão de obra especializada e equipamentos de alta qualidade, pois uma distorção na padronização das imagens, por exemplo, pode interferir diretamente nos resultados [8].

Visto as diversas vertentes da fisioterapia e a importância do goniômetro para a realização dos exames, cresce a exigência para que os valores de ângulo fornecidos pelo equipamento sejam precisos, a fim de obter resultados melhores durante o tratamento. Com isso, este estudo possui o objetivo de aperfeiçoar a técnica de goniometria com o desenvolvimento de um goniômetro eletrônico. Esse equipamento terá seu fundamento nas vantagens do goniômetro atual, como baixo custo e fácil mensuração. Ademais, confiabilidade, precisão dos valores e adequação aos diversos tipos de ângulos e movimentos que englobam a goniometria serão as melhorias. Com isso, o goniômetro eletrônico buscará uma melhor adequação a cada paciente, mantendo a praticidade e a acessibilidade do equipamento convencional.

II. Metodologia

A. Características dos movimentos

Um dos fatores primordias levado em consideração foi a questão dos possíveis movimentos, como eles seriam reproduzidos e em quais eixos. Os movimentos de rotação são orientados pelo eixo longitudinal, podendo ser divididos em medial e lateral, os de abdução e adução analisados pelo eixo ântero posterior e os de flexão e extensão pelo eixo látero lateral. Sendo assim, o goniômetro pode ser usado em todos os eixos para analisar ângulos de diversos movimentos diferentes.

Dada a possibilidade de movimento em 3 eixos diferentes, cada movimento realizado sempre será em um espaço bidimensional, onde um eixo vai servir de braço fixo e outro de braço móvel, esse acompanhando o movimento do paciente para obter a angulação.

B. Sensor de giroscópio e acelerômetro

Para o desenvolvimento do goniômetro eletrônico foi utilizado o sensor de aceleração e giro MPU-6050. O acelerômetro é capaz de detectar as variações de aceleração durante um movimento, podendo atuar em um ambiente tridimensional [9]. O giroscópio é um conjunto de sensores inerciais que fornece os valores de velocidade, também tendo sua atuação nos 3 eixos [10]. Em virtude das carcaterísticas apresentadas, apenas a função de giroscópio do MPU-6050 será utilizada para o cálculo dos ângulos.

A captação dos valores ocorre através da sua ligação com as portas analógicas do microcontrolador Arduino, onde há uma programação que permite a obtenção dos valores do giroscópio. No entanto, o sensor irá fornecer apenas as distâncias percorridas em cada eixo (X, Y ou Z). Com isso, o algoritmo precisa fazer a conversão desses valores para polar, para que se obtenha as medidas dos ângulos.

A comunicação entre o sensor e o microcontrolador ocorre por *two-wire interface* (I2C), um circuito integrado ou também chamado de interface de dois fios [11]. Essa interface possui uma estrutura mestre escravo, na qual o mestre pode ordenar a leitura ou a escrita em relação ao escravo. Neste caso, o escravo será o MPU-6050 e o microcontrolador fará o papel de mestre [12]. Além disso, os dispositivos permanecem sincronizados e conectados o tempo todo, para diminuir falhas e trabalhar em tempo real [13]. Os pinos do MPU-6050 utilizados pela interface são o SCL, conectado na porta analógica A5 do Arduino e o SDA, conectado na porta A4.

C. Código e filtro de Kalman

O fundamento do goniômetro é obter os valores de ângulos anatômicos, no entanto, o MPU-6050 fornece as distâncias percorridas em cada eixo. Sendo assim, à partir dessas informações, os valores captados pelo sensor passam por uma programação capaz de transformar essas distâncias em ângulos. Esses cálculos são realizados com base em um sistema de navegação, nesse caso através do referencial *Roll, Pitch e Yaw* (RPY), que consistem na rotação do seu próprio eixo, respectivamente eixos X, Y e Z. O Arduino já possui pastas conhecidas como bibliotecas, que possuem cálculos e determinações pré definidas para diferentes sensores e módulos, sendo uma delas para o obtenção de ângulo, dessa forma, possibilitando um código menos complexo e extenso.

Apesar do *software* possuir uma possibilidade pequena de erros, os valores necessitam de precisão, para que o diagnóstico do paciente seja correto. Para que isso ocorra, é necessária a implementação de um filtro no código, pois o MPU-6050 pode apresentar diversos ruídos que vão influenciar nos seus resultados. Após a obtenção dos dados através da comunicação I2C entre o Arduino e o sensor, esses valores são atribuídos à variáveis que vão passar pelo filtro, de modo que algum possível ruído não esteja presente no resultado final.

Para implementar o código com a utilização do MPU-6050, será utilizado o filtro de Kalman. Esse filtro se destaca por sua habilidade em sistemas lineares que possuem algum ruído e incertezas sobre os dados. Um ponto importante é a eficiência do filtro em manter o sinal desejado em ótimo estado, extraindo

os valores desejados livre de ruídos [14]. Assim como a biblioteca destinada ao MPU para se obter os ângulos, existe uma destinada ao filtro, propiciando uma facilidade na sua utilização e na atribuição dos sinais que serão filtrados. Com a implementação do filtro de Kalman, esses cálculos sofrem algumas alterações, pois dentro da sua biblioteca existem instâncias. Sendo assim, com base nos valores obtidos pelo MPU, o filtro de Kalman irá receber essas informações com a finalidade de eliminar algum ruído que possa estar presente, minimizando as chances de erro.

O filtro de Kalman é considerado um algoritmo fundamentado na recursividade com diversas aplicações na engenharia. Todo o processo que ocorre dentro da bilioteca do filtro se baseia em equações matemáticas que realizam uma estimativa de dados em duas etapas conhecidas como predição e correção. Na primeira etapa, o filtro realiza a predição dos valores medidos no estado anterior, enquanto na segunda etapa, também conhecida como atualização, o filtro trata as informações obtidas com base no fator de erro encontrado. Desse modo, o filtro realiza uma otimização do estado, tornando os resultados mais precisos e assertivos [15].

D. Captação e transmissão de dados

Os dados fornecidos pelo MPU e processados pelo programa do Arduino serão acessados pelo usuário por modo de uma conexão sem fio, através de *bluetooth*. Utilizando o módulo *bluetooth* HC-05, as informações oriundas do Arduino podem ser transmitidas para um *notebook* ou celular de forma simultânea. A comunicação entre o módulo e o Arduino ocorre de forma serial, sendo uma forma rápida e barata de transmissão de dados. Além disso, o módulo é capaz de ser configurado para um modo mestre e um modo escravo.

O modo escravo do HC-05 vai permitir que ele apenas receba as informações interpretadas pelo Arduino, enquanto o modo mestre possibilita que, através do equipamento que esteja recebendo os dados, um comando possa ser enviado para o microcontrolador. Em virtude dos diferentes movimentos a serem realizados e da singularidade de adequação do goniômetro, o modo mestre do HC-05 irá contribuir possibilitando ao usuário que ele escolha seu ponto inicial, ou seja, onde será seu ponto fixo para que, a partir daí, possa ser calculado a angulação.

A implementação do modo mestre é similar ao do modo escravo, as diferenças são: há mais uma ligação entre as pinagens do HC-05 e o Arduino; o código precisa ser reestruturado para receber os comandos do usuário e o aplicativo utilizado para receber os dados precisa possuir a função que permite o envio de comandos. Em relação ao aplicativo, já existem alguns disponíveis e de fácil acesso que se adequam as exigências do modo mestre e permitem sua utilização.

E. Esquema elétrico

Diante de todos os elementos necessários apresentados, as funções e particularidaes do goniômetro, foi elaborado um esquema elétrico, explícito na Figura 1.

Com relação à alimentação do dispositivo, é estudado uma bateria recarregável, para que não tenha fios interferindo no acoplamento do paciente e nem na realização do exame. Já que as informações serão transmitidas por *bluetooth*, não há

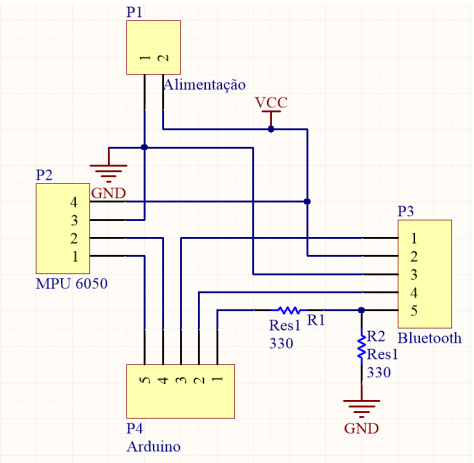


Fig. 1. Esquema elétrico.

a necessidade de um *display*, com apenas botões necessários, como ligar/desligar, para tornar o goniômetro mais prático e simples.

F. Testes

Os testes foram divididos em duas partes principais: um *software* com o filtro de Kalman e o outro sem, para analisar a interfêrencia dos ruídos. Todas os testes foram utilizando o plano XY.

Em virtude de estudos anteriores, pesquisas e um teste que representava o movimento de adução/abdução, ficou evidente que o filtro de Kalman seria indispensável e mais testes foram conduzidos, agora somente com a programação que contenha o filtro.

Adiante, os testes foram realizados para comprovar a eficiência do filtro, quanto à sua precisão e estabilidade. Sendo assim, os testes foram realizados em um circuito de controle, com movimentos leves que simulavam um exame com o goniômetro convencional, todos com uma variação de 90 graus. Além disso, era de interesse descobrir como o equipamento funcionaria com uma variável de controle, ou seja, um *push button* que poderia zerar as variáveis atribuindo o ponto zero, o ínicio do exame de acordo com o usuário.

III. Resultados e discussões

Em relação à realização dos movimentos para testes, as Figuras 2 e 3 ilustram o ambiente em que o experimento foi realizado.

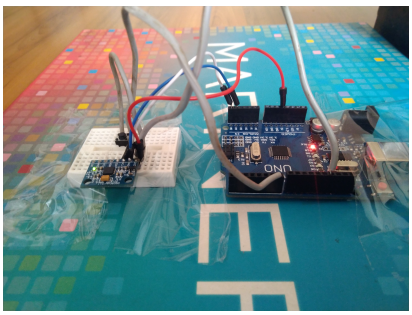


Fig. 2. Paralelo ao solo

Além de estabilidade e valores precisos, o sensor também correspondeu de maneira satisfatória ao botão de calibração.

Foram consideradas as duas hipóteses de calibração, o equipamento paralelo e perpendicular ao solo, e assim, ambos os casos apresentaram eficiência.

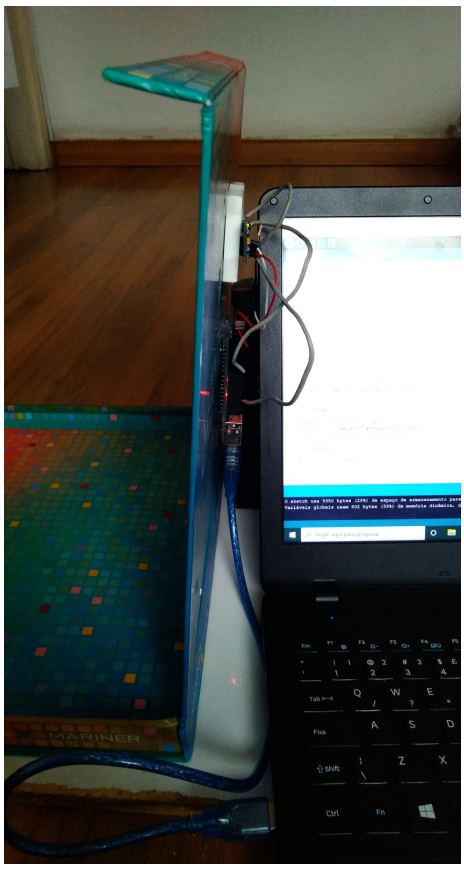


Fig. 3. Perpendicular ao solo.

O primeiro teste foi realizado para comprovar estudos anteriores, que o MPU-6050 poderia apresentar ruídos nos valores finais. Sendo assim, a Tabela I mostra que o filtro precisa estar presente para se obter resultados mais sólidos e precisos, além de proporcionar mais estabilidade ao equipamento durante as medições.

TABELA I
SEM O FILTRO

Calibrar	Eixo X	Eixo Y
1	0.00	0.00
0	-0.51	0.08
0	-1.45	-0.82
0	-1.94	0.19
0	-80.38	4.12
0	-90.61	0.91
0	-89.16	2.51
0	-88.98	2.10
0	-24.53	0.38
0	-4.89	-1.63
0	-5.15	-1.99
0	-5.24	-2.18
0	-5.54	-2.40
0	-5.54	-3.25
0	-5.58	-3.03

Para se obter todos os outros resultados seguintes, foi usado o *software* que contém o filtro de Kalman. Com isso, os testes realizados para comprovar a precisão e eficiência do filtro de Kalman obtiveram bons resultados como mostra a Tabela II.

TABELA II
COM O FILTRO

Calibrar	Eixo X	Eixo Y
1	0.00	0.00
0	0.49	1.32
0	-0.66	0.27
0	-61.04	2.31
0	-89.33	2.12
0	-91.88	1.71
0	-90.59	2.40
0	-88.76	2.65
0	-54.95	1.48
0	-13.15	1.83
0	-0.01	1.49
0	1.43	1.45
0	0.37	1.65
0	0.45	1.70

Já que o equipamento atualiza as informações de segundo em segundo, a Tabela III contém apenas alguns valores obtidos do teste citado.

TABELA III
AVALIANDO A CALIBRAÇÃO

Eixo X	Calibrar	Eixo Y
0.00	1	0.00
0.22	0	0.51
-0.66	0	1.64
-34.09	0	1.72
-93.40	0	-4.71
-90.21	0	-1.59
-87.03	0	-1.23
0.00	1	0.00
-1.61	0	2.63
4.69	0	0.36
68.16	0	1.75
89.47	0	0.95
88.71	0	0.63
89.45	0	2.33

De modo geral, o goniômetro eletrônico teve uma boa avaliação nos testes quanto à precisão e confiabilidade dos valores. Além disso, a calibração com praticidade e exatidão é um diferencial e propicia a solução de um dos problemas que causam diagnósticos falhos.

IV. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um goniômetro eletrônico apresentou grandes resultados de início. Através de teste similares a movimentos realizados durante o exame comandado por um fisioterapeuta mostrou que os componentes utilizados para compor o equipamento estão com um bom funcionamento.

O sensor MPU-6050 com o auxílio do filtro de Kalman implantado em seu *software* apresentou valores confiáveis de ângulo e uma estabilidade considerável acerca das informações transmitidas em tempo real. A comunicação I2C entre o microcontrolador e o sensor facilitou a interpretação e a obtenção de dados, além de se adequar a exigência do exame de corresponder simultaneamente ao movimento realizado.

Com isso, o equipamento se torna promissor para ser incrementado e testado com outros tipos de movimentos, principalmente nos mais complexos, como a movimentação do tronco, por exemplo. Além disso, após seu aperfeiçoamento, um estudo

comparativo entre exames realizando o goniômetro convencional e o eletrônico vai ser fundamental para confirmação da praticidade e viabilidade desse novo equipamento.

Após o desenvolvimento do goniômetro eletrônico, a fisioterapia pode ganhar uma grande contribuição na otimização dos tratamentos, melhorando sua qualidade, podendo diminuir o tempo do processo, se tornando mais acessível e prático para o paciente.

Referências

[1] 2017 São Paulo: BIREME / OPAS / OMS. *Descritores em Ciências da Saúde: DeCS*. URL: http://decs.bvs.br/ (acesso em 10/01/2020).

[2] A. Monteiro e R. Luiz e T. Kelly. "Proposta de criação de um simulador de músculos do membro superior para aplicação com eletroestimulador". Em: *Workshop de gestão tecnologia industrial e modelagem computacional* (2017), pp. 43–44. URL: http://www.revistas.uneb.br/index.php/gestecimc/article/viewFile/2979/1919.

[3] E. Italo e M. Miceno e B. Teixeira. "Implementação de um estimulador elétrico via circuito integrado 555N". Em: *ForSCIENCE* 6 (2018), pp. 1–10. ISSN: 2318-6356. DOI: 10.29069/forscience.2018v6n1.e344. URL: http://www.forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/download/344/189.

[4] R. Rosa e G. Santos e B. Siqueira e M. Toneloto. "Inspirômetro de incentivo invertido como excitador da musculatura respiratória em indivíduos saudáveis". Em: *Revista Intellectus* 25 (2019), pp. 3–5. ISSN: 1679-89022. URL: http://www.revistaintellectus.com.br/ArtigosUpload/25.273.pdf.

[5] M. Luna e S. Galvao e T. Luiza e M. Pinto e P. Fernandes e J. Filho e F. Policarpo. "Análise da resistência do incentivador respiratório em indivíduos jovens". Em: *Fisioterapia Brasil* 14 (2013), pp. 1–6. ISSN: 2526-9747. DOI: http://dx.doi.org/10.33233/fb.v14i1.362. URL: https://portalatlanticaeditora.com.br/index.php/fisioterapiabrasil/article/view/362/0.

[6] G. Cardoso e A. Elisa. "Biblioteca de Funções para Utilização do Kinect em Jogos Eletrônicos e Aplicações NUI". Em: *XI SB Games* 11 (2012), pp. 1–4. URL: http://sbgames.org/sbgames2012/proceedings/papers/computacao/comp-short_08.pdf.

[7] I. Sacco e S. Alibert e B. Queiroz e D. Pripas e I. Kieling e A. Kimura e A. Sellmer e R. Malvestio e M. Sera. "Confiabilidade da fotogrametria em relação a goniometria para a avaliação postural de membros inferiores". Em: *Revista Brasileira de Fisioterapia* 11 (2007), pp. 1–8. ISSN: 1413-3555. URL: https://www.redalyc.org/pdf/2350/235016481013.pdf.

[8] D. Iunes e F. Castro e H. Salgado e I. Moura e A. Oliveira e D. Bevilaqua-Grossi. "Confiabilidade intra e interexaminadores e repetibilidade da avaliação postural pela fotogrametria". Em: *Revista Brasileira de Fisioterapia* 9 (2005), pp. 1–9. ISSN: 1413-3555. URL: https://www.researchgate.net/profile/Anamaria_Oliveira/publication/284695881_Confiabilidade_intra_e_interexaminadores_e_repetibilidade_da_avaliacao_postural_pela_fotogrametria/links/57a8923008ae0107eee64a03/Confiabilidade-intra-e-interexaminadores-e-repetibilidade-da-avaliacao-postural-pela-fotogrametria.pdf.

[9] M. Oliveira e J. Maia. "Avaliação da actividade física em contextos epidemiológicos. Uma revisão da validade e fiabilidade do acelerómetro Tritrac–R3D, do pedómetro Yamax Digi-Walker e do questionário de Baecke." Em: *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto* 1 (2001), pp. 1–16. URL: https://rpcd.fade.up.pt/_arquivo/artigos_soltos/vol.1_nr.3/010.pdf.

[10] V. Carrara e P Milani. "Controle de uma Mesa de Mancal a Ar de um Eixo Equipada com Giroscópio e Roda de Reação". Em: *V Simpósio Brasileiro de Engenharia Inercial* 5 (2007), pp. 1–7. URL: https://www.researchgate.net/profile/Valdemir_Carrara/publication/242098649_Controle_de_uma_Mesa_de_Mancal_a_Ar_de_um_Eixo_Equipada_com_Giroscopio_e_Roda_de_Reacao/links/0c9605289fdcfbd1e2000000.pdf.

[11] Michael McRoberts. *Arduino Básico - 2ª Edição*. 2ª. Novatec Editora, 2015. ISBN: 978-85-7522-404-5.

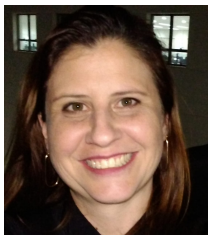
[12] D. Fedorov, A. Ivoylov, V. Zhmud e V. Trubin. "Using of Measuring System MPU6050 for the Determination of the Angular Velocities and Linear Accelerations". Em: *Automatics Software Enginery* 1 (2015), pp. 1–6. URL: http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/A%26SE-1-2015-11_0.pdf.

[13] D. Mena. "Controlador de processos e dispositivos com redundância de operção por protocolo de comunicação I2C". Em: *18º Congresso Nacional de Iniciação Científica* 18 (2018), pp. 1–9. URL: http://conic-semesp.org.br/anais/files/2018/trabalho-1000001119.pdf.

[14] R. Cardoso e R. Figueiredo e H. Pinheiro e H. Abílio. "Estruturas de sincronismo monofásica e trifásica baseadas no filtro de Kalman". Em: *Sba: Controle Automação Sociedade Brasileira de Automatica* 17 (2006), pp. 1–21. ISSN: 0103-1759. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-17592006000400010. URL: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-17592006000400010&script=sci_arttext&tlng=ES.

[15] W. Oliveira e E. Nunes. "Implementação em c: filtro de kalman, fusão de sensores para determinação de ângulos". Em: *ForScience* 5 (2017), pp. 1–18. ISSN: 2318-6356. DOI: https://doi.org/10.29069/forscience.2017v5n3.e287. URL: http://www.forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/287.

Autores



Elisa Rennó Carneiro Dester é fisioterapeuta formada pela Universidade Gama Filho (RJ) em 1999 ; Mestre em Ciências da Motricidade Humana pela Universidade Castelo Branco (RJ) em 2003; Professora do curso de pós graduação em Engenharia Clínica e Biomédica do Inatel; Professora do curso

de Engenharia Biomédica do Inatel; Fisioterapeuta responsável pelo serviço de saúde da mulher do Hospital das Clínicas Samuel Libânio.

Filipe Bueno Vilela é graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA) do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.

Leandro Coutinho de Oliveira é graduando em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia Assistiva (CDTTA), monitor de Física pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Coordenador financeiro no Crea Jr-MG Núcleo Santa Rita do Sapucaí em 2019 e participante da Fetin 2019, com classificação em terceiro lugar do prêmio Fapemig e terceiro lugar do prêmio Inatel (nível 2).

Estudos Práticos Sobre Robôs Trekking

Alexandre Baratella Lugli, Egídio Raimundo Neto, Nicole Escobar Alves,
Thaís Escobar Alves, Wanderson Eleutério Saldanha
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratella@inatel.br, egidio.neto@inatel.br, nicoleescobar@gec.inatel.br, thaisescobar@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

***Abstract*—This paper presents the initial studies and development of an autonomous vehicle named Bullacha. Performed by the Robotics and Artificial Intelligent Laboratory, it aims robot competition at Autonomous Trekking category. To evaluate the prototype, our team performed experiments during the IRONCup competition.**

***Index Terms*—Autonomous, Ardupilot, Mission Planner, Robotics, Trekking.**

***Resumo*—Este artigo apresenta os estudos iniciais e o desenvolvimento de um veículo autônomo chamado Bullacha. Realizado pelo Laboratório de Robótica e Inteligência Atificial, este estudo visa competições de robôs na categoria Trekking Autônomo. Para avaliar o protótipo, nossa equipe realizou experimentos durante a competição IRONCup.**

***Palavras chave*—Autônomo, Ardupilot, Mission Planner, Robótica, Trekking.**

I. Introdução

Em junho de 2012, na cidade de Jaguariúna - SP, aconteceu a 8ª edição da Winter Challenge, maior competição de robótica da América Latina. O evento é promovido pela Robocore, empresa pioneira no desenvolvimento da robótica nacional e que, ao realizar essa edição do evento, além das tradicionais categorias de combate de robôs e as categorias autônomas de sumôs e seguidor de linha, iniciou uma nova modalidade na competição, a de robôs *trekking* [1].

O *trekking* tornou-se uma categoria constantemente presente nas maiores competições nacionais de robótica. Os robôs, totalmente autônomos e terrestres, têm como objetivo fazer um percurso passando por 3 marcos distribuídos ao longo de um gramado em ambiente aberto. No final, vence aquele que completar o circuito em menor tempo [2].

Visando abranger as áreas de estudos e, consequentemente, a participação em competições da RobotBulls, equipe de robótica do Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações, em janeiro de 2019, iniciaram-se os estudos, dentro do laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Inatel, para o desenvolvimento do Bullacha, primeiro robô *trekking* pró da equipe.

Com o propósito de relatar todo o desenvolvimento do robô *trekking*, este artigo está organizado da seguinte forma: na seção II são apresentados as 3 versões do robô desenvolvido e a diferença entre eles. A seção III aborda todos os materiais utilizados na construção do último modelo. A seção IV explica em detalhes a metodologia utilizada para o desenvolvimento do veículo. Na seção V são explicadas as regras da competição de robôs *trekking*. Na seção VI são apresentados os resultados obtidos e, por fim, na seção VII são apontadas as conclusões desse estudo.

II. Histórico

Durante o primeiro ano de estudo e desenvolvimento da categoria *trekking*, foram construídos três modelos distintos, abordando diferentes métodos de navegação.

O primeiro veículo, construído com o objetivo de participar da IRONCup - Inatel Robotics Nacional Cup - 2019, utilizou um microcontrolador Arduino Uno, dois sensores ultrassônicos HC-SR04, para a detecção dos obstáculos e navegação, um sensor de luminosidade BH1750, para a detecção das placas metálicas, e dois motores escovados, cada um impulsionando uma roda traseira, na configuração *skid steering*, ilustrado na Figura 1. A estrutura toda foi feita em MDF.

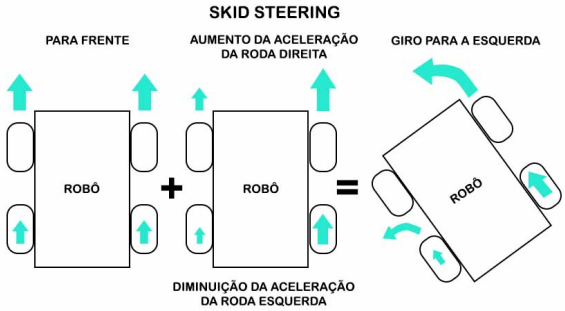


Fig. 1. Movimento *Skid Steering*.

O desempenho durante a competição não foi satisfatório, pois o robô não tinha uma referência de direção quando estava longe dos cones, os sensores ultrassônicos mostravam dificuldades para detectar o formato oval dos cones, a estrutura não era resistente e os motores forneciam baixa velocidade, sendo inviáveis para uma competição que exige alta velocidade.

O segundo veículo, construído com o objetivo de participar da Winter Challenge 2019, contava com uma estrutura pronta da marca Traxxas, com configuração *steering and throttle*, conforme ilustrado na Figura 2.

Uma controladora de vôo, HKPilot32, fornece as informações dos sensores internos: giroscópio, magnetômetro e acelerômetro para a Raspberry Pi 3 B+, responsável por pegar essas informações, processar o código com a lógica de navegação e enviar os comandos de volta para os periféricos.

O *script*, desenvolvido em linguagem *python* e responsável por obter as informações dos sensores, fazia comunicação com a controladora via protocolo MAVLink.

A navegação foi feita usando os valores de rotação em torno do eixo z, o *Yaw*, obtidas do acelerômetro, sensor interno da controladora. Com essa informação, foi construída uma lógica

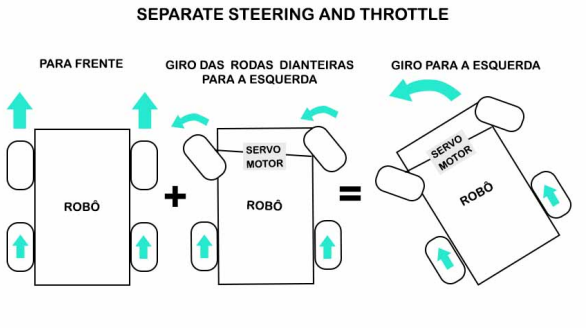


Fig. 2. Movimento com *Steering and Throttle*.

de controle PID (Proporcional Integral Derivativo) para que o veículo mantivesse em linha reta e seguisse o ângulo desejado.

Com essa nova estratégia, o robô conseguiu chegar na primeira base, validando uma tomada de tempo e obtendo um resultado melhor se comparado ao primeiro veículo.

A estrutura física mostrou-se resistente às irregularidades do terreno. Porém, o dados obtidos diretamente dos sensores internos da controladora não mostraram estabilidade.

O terceiro veículo, estudo deste artigo, mantém a mesma estrutura mecânica do segundo veículo, conforme a Figura 3. Porém, toda a navegação escrita em código foi substituída por um *software* de controle, com interface gráfica, voltado para veículos autônomos.

Fig. 3. Versão atual do Bullacha

III. Materiais e Métodos

Nesta seção serão apresentados os principais componentes utilizados para o desenvolvimento da última versão do robô *trekking* da equipe RobotBulls.

A. Mecânica

Para a estrutura física do veículo optou-se por um modelo Traxxas Stampede XL-5, de 324 mm de largura e 241 mm de altura, conforme mostrado na Figura 4.

O modelo é a prova d'água, atinge uma velocidade máxima de 50 km/h com o motor Titan 12T 550 e contém ventilador integrado para resfriamento, que o torna adequado para a categoria, que exige resistência ao clima e alta velocidade [4].

A escolha de uma estrutura pronta para o novo robô, deu-se pelo fato de que a construção do zero de uma estrutura adequada demandava muito tempo, sendo a navegação a área de interesse e estudo.

Fig. 4. Traxxas Stampede XL-5 [3]

B. Eletrônica

Para a alimentação do sistema utiliza-se uma bateria de NiMH (*Nickel-Metal Hydride*) de 3000 mAh, 8.4V e 7 células.

Para o controle de velocidade do motor utiliza-se a ESC (*Electronic Speed Control*) XL-5, que oferece detecção de baixa tensão, proteção contra desligamento térmico e é composta por conectores banhados a ouro [5].

C. Sensor de Metal

Para detectar as placas metálicas e realizar a sinalização luminosa, desenvolveu-se um sistema de chaveamento com imã. Em uma ponta de um fio rígido foi colocado um botão preso no veículo e em outra ponta, um imã. A chave, por sua vez, está conectada em uma fita de LED (Light Emitting Diode) enrolada em torno da carcaça.

A fita de LED é ativada quando o robô atravessa a placa metálica. Nesse momento, o imã é puxado para baixo e o botão é pressionado, sinalizando, assim, que o robô chegou em um marco, como mostra a Figura 5.

D. Controladora

A controladora de vôo, HKPilot32, baseada no projeto de *hardware* aberto Pixhawk, foi utilizada para fazer a navegação do veículo. Essa controladora possui um processador ARM Cortex M4 e sensores integrados, tais como, um giroscópio ST Micro L3GD20 de 16 bits e 3 eixos, um acelerômetro e magnetômetro ST Micro LSM303D de 14 bits e 3 eixos, um acelerômetro e giroscópio MPU 6000 de 3 eixos e um barômetro MS5611 MEAS [6].

Além dos sensores integrados, utilizou-se um módulo GPS (*Global Positioning System*) U-blox NEO-7M com uma bússola HMC5883L integrada e um par de telemetrias de 915 MHz, conforme ilustrado na Figura 6:

E. Mission Planner

Para a navegação e controle do veículo, utilizou-se do *software* Ardupilot com o *software* de controle Mission Planner

O *software* Ardupilot, composto por um conjunto de ferramentas, tais como, *softwares* de navegação (*firmware*) e *softwares* de controle (*Ground Control Station - GCS*), é um *open source* gratuito com funcionalidades avançadas e navegação em tempo real. Em sua plataforma é possível realizar a configuração e calibração dos sensores internos e externos da controladora, ativar o piloto automático, monitorar o status do veículo, simular e operar o veículo em primeira pessoa

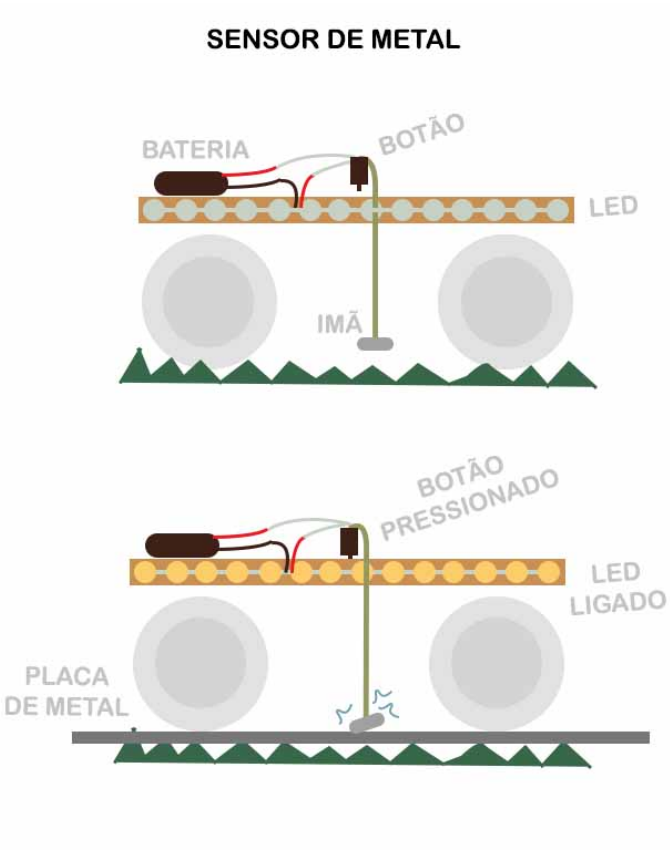


Fig. 5. Sensor de metal feito com um botão e um imã.

Fig. 6. Controladora de vôo HKPilot32, módulo GPS e telemetrias [7].

[9]. Sua aplicação é voltada completamente para projetos de veículos autônomos e não tripulados.

IV. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do veículo, utilizou-se a estrutura do Traxxas Stampede como base, com a bolha, estrutura que reveste o veículo, substituída por uma placa retangular de madeira, com o propósito de servir como apoio para os componentes eletrônicos de navegação do veículo.

Durante uma competição, o veículo deve executar o trajeto independentemente das condições climáticas, portanto uma proteção foi adicionada. Essa proteção é composta por um recipiente de plástico transparente rígido e um saco plástico prendendo-o ao veículo, permitindo o movimento de abrir ou fechar.

O motor é conectado à ESC, que por sua vez fornece energia para o servo, tendo os fios de alimentação interligados. Os pinos de sinal e terra, da ESC e do Servo, são conectados na controladora, como ilustrado na Figura 7.

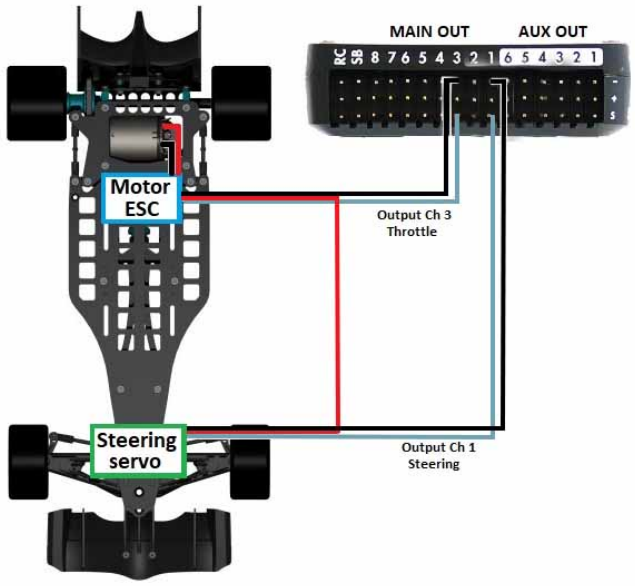


Fig. 7. Conexões dos motores [8]

Através do par de telemetrias, o veículo faz comunicação com o *software* Mission Planner, como ilustrado na Figura 8.

No *software*, algumas modificações são necessárias para o funcionamento correto do mesmo e do veículo. Inicialmente, deve-se fazer a instalação do *firmware* ArduRover na controladora, através da aba *Inicial Setup*. E também, reajustar alguns parâmetros para esse tipo de veículo, com motor e direção separados [9]:

Servo3_Function = 70 (Motor)

Servo1_Function = 26 (Steering)

Para evitar o "*toilet bowling*", efeito que faz o veículo girar em círculos, o seguinte parâmetro foi alterado:

Servo1_Reveresed = 1

Com as mudanças de parâmetros, o motor do veículo já respondia com o *Motor Test*, localizado na aba *Inicial Setup/Optional Hardware/Motor Test*, confirmando que as mudanças estavam corretas.

Com o ajuste final foi necessário calibrar os sensores. A *Accel Calibration* é responsável pela calibração do acelerômetro [10] e o *Compass* pela calibração do magnetômetro [11]. Com os sensores calibrados e os parâmetros ajustados, iniciou-se a primeira missão autônoma.

Para realizar a missão, os seguintes passos foram seguidos: em *Flight Plan* marcou-se os pontos desejados no mapa. Em seguida, clicou-se em *Write*, momento em que as informações são salvas na controladora e, posteriormente, clicou-se em *Read*. Para dar um *Armed* no veículo, é necessário estar no modo *Loiter*. A missão só é iniciada quando o modo é alterado para *Auto* [12].

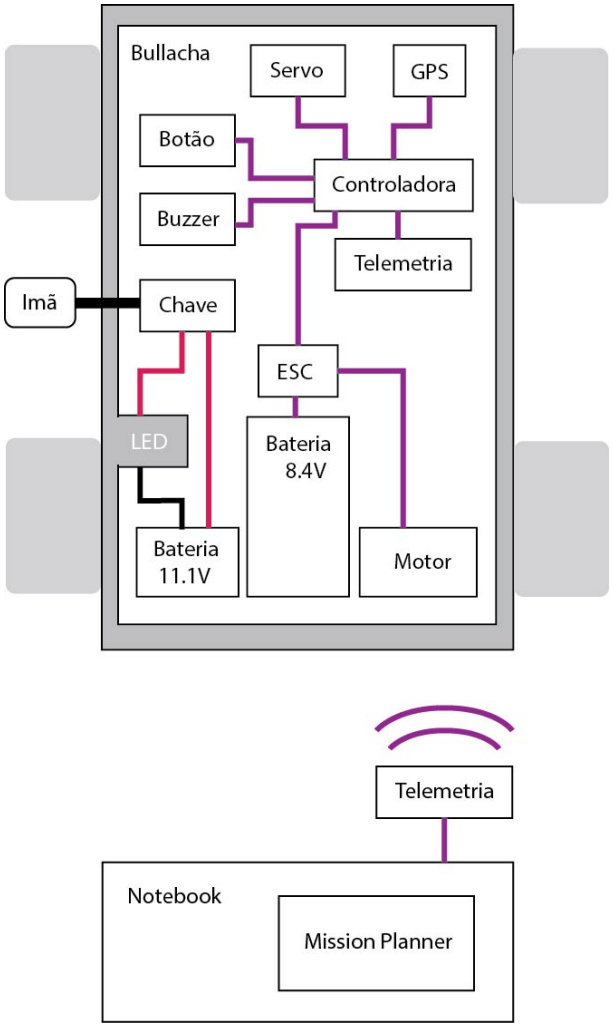


Fig. 8. Ilustração de conexões dos hardwares.

V. Regras da competição

Em uma competição de robôs *trekking*, certas regras devem ser seguidas, dentre elas:

A. Especificações do Robô

Nessa categoria, o robô pode ter no máximo uma dimensão de 500mm de largura, 500mm de comprimento, 500mm de espessura e ainda deve contar com uma sinalização luminosa para indicar a sua chegada nos marcos [2].

B. Ambiente de Competição

A competição do *trekking*, por acontecer em um ambiente aberto e natural, pode contar com imperfeições no gramado, tais como, desníveis e pedras, e ainda estar suscetível às condições climáticas do dia. O robô deve ser capaz de superar os obstáculos para chegar nos marcos [2].

Os 3 marcos são definidos por chapa de metal de cor branca e de dimensões aproximadas de 1000mm de largura, 1000mm de comprimento e 2mm de espessura [2]. Cones de sinalização na cores laranja e branco com altura de 50cm podem ser solicitados à organização para que sejam colocados no centro dos marcos [2].

Durante o percurso, os competidores devem ficar afastados 2m do robô. Com exceção do juiz, que pode exceder esse limite, se julgar necessário [2].

C. A Partida

Durante todos os dias de competição, o campo fica aberto para teste dos robôs. No entanto, há um cronograma no qual cada robô terá seu respectivo horário durante o dia para fazer a tomada de tempo oficial [2].

São 3 chances de tomada de tempo para que o robô realize o percurso, passando pelos marcos e sinalizando toda vez que uma parte do robô estiver em contato com as placas brancas. Só assim ele poderá seguir para o ponto seguinte [2].

Os 3 marcos são posicionados pelo campo, conforme a Figura 9.

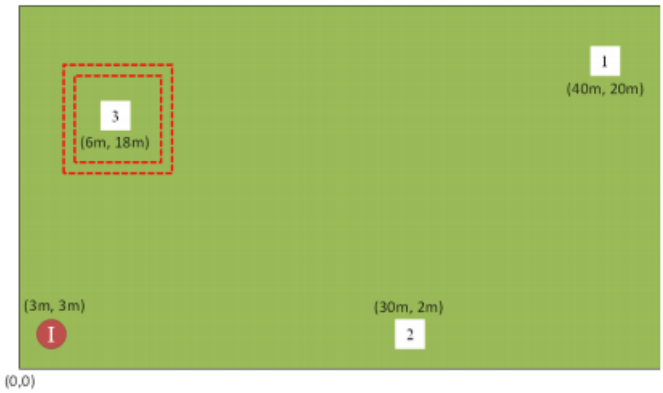


Fig. 9. Distribuição dos marcos pelo campo [2].

O robô deverá ser capaz de chegar nos marcos de forma autônoma e na seguinte ordem: do ponto inicial para o marco 1, do marco 1 para o 2 e do marco 2 para o 3. No último marco há obstáculos para dificultar o acesso do robô, que deve contorná-lo a fim de completar o percurso [2].

Em uma tomada de tempo, a contagem inicia-se no ponto de partida e termina quando o robô chega no último marco e faz a sinalização [2].

As 3 chances de tomadas de tempo oficiais e consecutivas caracterizam uma partida. Cada partida pode durar no máximo 10 minutos [2].

Ao fim da partida, a classificação final segue o seguinte critério, em ordem decrescente: tempo gasto para completar o percurso até o marco 3; tempo gasto para completar o percurso até o marco 2 e tempo gasto para completar o percurso até o marco 1 [2].

VI. Testes e Resultados

Os resultados e validação do projeto até então são feitos em competições acadêmicas de nível nacional.

Na IRONCup 2019, sediada pelo Inatel em parceria com a empresa Robocore, o robô não conseguiu validar a tomada de tempo, assim como outros 2 robôs dos 7 inscritos na competição [13].

Na 15º edição da Winter Challenge, dentre 19 robôs inscritos na categoria, Bullacha ficou com a 5ª colocação [14].

E na IRONCup 2020, com 8 robôs inscritos na categoria, apenas um robô da equipe RioBotz, da universidade PUC Rio,

conseguiu validar a tomada de tempo chegando apenas no primeiro marco e garantindo o troféu de primeiro lugar na competição [15].

Embora não tenha conseguido completar o percurso durante a tomada de tempo oficial, nesta última competição, Bullacha apresentou grandes melhorias tanto na mecânica quanto no *software*. No entanto, nos testes, foi o único robô a fazer o percurso passando por todas as 3 bases.

VII. Conclusão

Após a participação do veículo autônomo, Bullacha, na competição IRONCup 2020, conclui-se que a estrutura mecânica atendeu todos os desafios de relevo do campo e de mudanças climáticas. A utilização da placa controladora com o *software* Mission Planner, mostrou bons resultados nos testes durante a competição, conseguindo alcançar as três bases uma vez ao longo dos 3 dias do evento. No entanto, por variação do GPS e interferências magnéticas externas, o veículo percorria o mesmo percurso, mas não passava sobre base. Essa variação não permitiu uma validação nas tomadas de tempo oficial da competição.

A instabilidade do GPS mostrou-se falho na detecção das bases, sendo necessário o estudo e implementação de outros sensores de detecção para auxiliar na navegação do veículo, quando este estiver aproximando-se de uma base alvo. Outro ponto observado é a falta de conhecimento avançado dos parâmetros existentes no *software*.

Com o objetivo de aprofundar o conhecimento na área de navegação autônoma, concluiu-se a importância da existência de uma segunda vertente de estudo em paralelo, para continuar o desenvolvimento do projeto de navegação em código python sem o auxílio do *software* Mission Planner. Também faz-se necessário um estudo para minimizar os problemas de variação do GPS e de interferências magnéticas externas. Adquirir um novo GPS mais preciso ou utilizar um segundo GPS para corrigir os erros do primeiro e aplicar os conceitos de Gaiola de Faraday, são alternativas a serem estudadas pela equipe.

Referências

[1] Robocore. *Winter Challenge 8ª Edição*. URL: robocore.net/eventos/wc8 (acesso em 09/03/2020).

[2] Robocore. *Regras Robô Trekking*. URL: robocore.net/upload/attachments/regras_robotrekking_2018_05_06_172.pdf (acesso em 09/03/2020).

[3] Traxxas. *The Traxxas Stampede XL-5*. URL: https://www.amazon.ca/Traxxas-Stampede-Scale-Monster-2-4GHz/dp/B0192Y8G1O (acesso em 09/03/2020).

[4] Traxxas. *The Traxxas Stampede XL-5*. URL: traxxas.com/products/models/electric/36054-1stampede (acesso em 09/03/2020).

[5] Traxxas. *The Traxxas Stampede XL-5*. URL: https://traxxas.com/products/parts/escs/3018Rxl5waterprooflvd (acesso em 09/03/2020).

[6] HobbyKing. *HKPilot32 Autónoma Veículo 32Bit Controle Set w Módulo/Powe*. URL: hobbyking.com/pt_pt/hkpilot32-autonomous-vehicle-32bit-control-set-w-power-module.html?___store=pt_pt (acesso em 09/03/2020).

[7] HobbyKing. *Complete Parameter List*. URL: https://hobbyking.com/pt_pt/hkpilot32-autonomous-vehicle-32bit-control-set-with-telemetry-and-gps-915mhz.html?___store=pt_pt (acesso em 09/03/2020).

[8] Ardupilot. *Motor and Servo Configuration*. URL: https://ardupilot.org/rover/docs/rover-motor-and-servo-connections.html (acesso em 09/03/2020).

[9] Ardupilot. *Complete Parameter List*. URL: ardupilot.org/rover/docs/parameters.html#cruise-throttle (acesso em 09/03/2020).

[10] Ardupilot. *Accelerometer Calibration*. URL: ardupilot.org/plane/docs/common-accelerometer-calibration.html (acesso em 09/03/2020).

[11] Ardupilot. *Compass Calibration*. URL: ardupilot.org/plane/docs/common-compass-calibration-in-mission-planner.html (acesso em 09/03/2020).

[12] Ardupilot. *Missão autônoma no Mission Planner*. URL: https://ardupilot.org/rover/docs/auto-mode.html (acesso em 09/03/2020).

[13] Robocore. *Classificações da IronCup 2019*. URL: robocore.net/eventos/ironcup-2019/2 (acesso em 09/03/2020).

[14] Robocore. *Classificações da Winter Challenge 15ª Edição*. URL: robocore.net/eventos/wcxv/2 (acesso em 09/03/2020).

[15] Robocore. *Classificações da IronCup 2020*. URL: robocore.net/eventos/ironcup-2020/2 (acesso em 09/03/2020).

Desenvolvimento de um Robô para Competições na Categoria Mini-Sumô 500g

Alexandre Baratella Lugli, Egídio Raimundo Neto, Lucas de Oliveira Saldanha,
Vinícius Lemos de Aguiar, Wanderson Eleutério Saldanha
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratella@inatel.br, egidio.neto@inatel.br, lucassaldanha@gea.inatel.br, vaguiar@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

***Abstract*—This document presents the developed studies and results of the work carried out at the Robotics and Artificial Intelligence Laboratory, representing RobotBulls, from the National Telecommunications Institute, INATEL, with the purpose of developing a 500g mini-sumo robot for national and international competitions of robotics. Detailed processes for project development and results achieved are presented, aiming to understand the category in its entirety.**

***Index Terms*—Artificial Intelligence, Competitions, Mini-Sumo, Robotics.**

***Resumo*—Neste documento são apresentados os estudos desenvolvidos e resultados do trabalho realizado no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial, representando a RobotBulls, do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL, com o propósito de desenvolver um robô Mini-Sumô de 500g para competições nacionais e internacionais de robótica. São apresentados os processos detalhados para o desenvolvimento do projeto e os resultados alcançados, almejando compreender a categoria em sua totalidade.**

***Palavras chave*—Competições, Inteligência Artificial, Mini-Sumô, Robótica.**

I. Introdução

A Equipe RobotBulls[1], sediada no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), desenvolve diversas pesquisas e projetos envolvendo a área de robótica e inteligência artificial para competições a níveis nacionais e internacionais nas várias categorias presentes, como Seguidor de Linha (*Follow Line*), Futebol VSSS (*Very Small Size Soccer*), Futebol simulado 2D, Combate *AntWeight* e *FairyWeight*, *Trekking*, Sumô LEGO, Sumô 3 Kg e Mini-Sumô. A Figura 1 ilustra o logo da equipe.

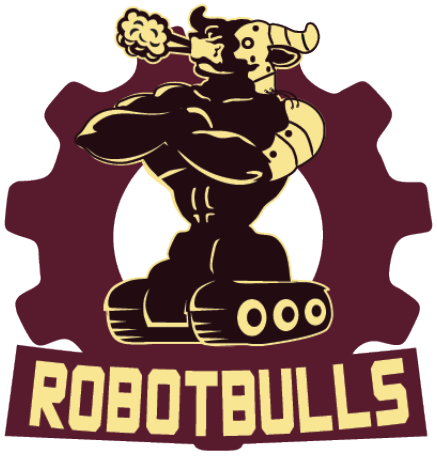


Fig. 1. Logo da equipe *RobotBulls*.

Este trabalho, tem como objetivo apresentar um estudo sobre a categoria de sumô de robôs Mini, bem como, detalhadamente, o processo de desenvolvimento de um projeto para competições de robótica. Nas seções que seguem será apresentado na seção II as regras gerais da categoria, na III os detalhes do desenvolvimento do robô, na IV os testes e resultados obtidos durante todo o processo e na V as conclusões sobre todas as informações demonstradas.

II. Regras

Em específico, as disputas das categorias de sumô não se diferem dos combates humanos, ou seja, tem como objetivo retirar o adversário da área de luta, fazendo com que o primeiro robô que encostar na superfície fora do campo de disputa perca o *round*. No caso do Mini-Sumô, todos os torneios seguem uma regulamentação semelhante, em que os robôs devem respeitar uma limitação de dimensão e peso já estipulado pela categoria e acima de tudo serem totalmente autônomos.

A área de disputa, denominada *dojô*, segundo as regras da *RoboCore*, deve ser de placa de MDF (*Medium Density Fiberboard*), ter um diâmetro de 77 cm e uma espessura de 2,5 cm, conforme ilustrado na Figura 2 [2].

Fig. 2. Dojô.

Obrigatoriamente, o dojô deve possuir duas linhas de início, denominadas *shikiri*, marrons (ou equivalentes para absorção de luz infravermelha), as mesmas devem ser paralelas e centradas no ringue, com espessura de 1 cm, largura de 10 cm e 10 cm de distância entre elas. Deve possuir, também, uma linha de borda que consiste em uma faixa circular com a largura apropriada para a respectiva classe, no caso 2,5 cm [2].

Inicialmente, os robôs devem ser posicionados dentro da área da *shikiri* simultaneamente, e após serem acionados, devem aguardar 5 segundos (tempo necessário para os competidores se afastarem da área da disputa) e assim iniciar o seu movimento.

Uma partida consiste em três *rounds* com um tempo total de três minutos (podendo ser estendida pelos juízes), será iniciada ao comando do juiz principal e continua até um competidor conquistar a vitória em dois *rounds* através de dois pontos de *Yukô* (ponto concedido quando o robô adversário legalmente tocar o espaço fora do dojô, conforme a Figura 3), o vencedor da partida é determinado pelo juiz [2].

Caso a partida não seja vencida por nenhuma equipe dentro do tempo limite estipulado, um *round* estendido poderá ser disputado, na qual a equipe que receber o primeiro ponto de *Yukô* será a vencedora [2].

Fig. 3. Caso de derrota [3].

Vale ressaltar que durante a partida, os competidores não podem realizar nenhuma mudança considerável no robô, como a troca da bateria, troca da lâmina em casos de desgaste ou até mesmo a troca da roda, sendo permitidas apenas alterações sutis como por exemplo, um aperto de parafusos.

Os robôs devem ser autônomos (não há interferência humana após iniciado a luta) e respeitar ao limite de dimensão e peso referente a sua respectiva classe, no caso o Mini-Sumô possui um critério de 10 cm x 10 cm de tamanho e 500 gramas de peso, sendo avaliado todo início de partida, conforme a Figura 4. Não há limitação de altura para um robô [2].

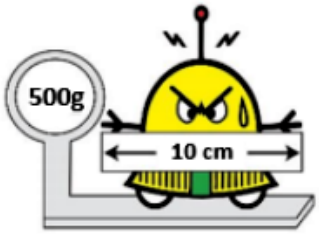


Fig. 4. Limites do robô [3].

De acordo com o regulamento oficial da *All Japan Robot-Sumo Tournament* (AJRST)[4], algumas regras se diferem. No caso, os robôs devem ser acionados através de um controle remoto pelo juiz, sem a necessidade de esperar cinco segundos para entrar em combate. Da mesma forma, o robô deve ser desligado pelo juiz ou por algum controle remoto do próprio competidor.

III. Desenvolvimento

A equipe tem hoje um total de 4 robôs na categoria Mini-Sumô, sendo todos desenvolvidos em sua maior parte dentro do próprio laboratório de robótica. No caso do robô mais recente, denominado *BlackBull* (Figura 5), será especificado suas etapas de desenvolvimento a seguir.

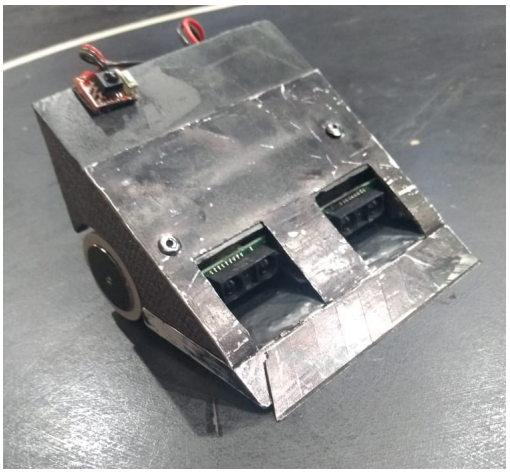


Fig. 5. Robô *BlackBull*

A. Componentes

Os componentes foram escolhidos de acordo com a aplicabilidade no robô. Foram especificados os seguintes componentes:

- 1 bateria LiPo 3s 11.1V 500mAh, para a alimentação do circuito.
- 2 sensores infravermelhos analógicos, que possibilitam calcular a distância de objetos, e estimar a posição do robô adversário. Um sensor infravermelho emite um feixe de luz invisível ao olho humano, e transforma o índice de reflexão em uma tensão proporcional a distância do objeto.
- 2 motores DC (*Direct Current*) Maxon modelo DCX16S [5] de 12V, com uma caixa de redução de 5,3:1, que fazem a locomoção do robô. Cada motor e sua respectiva caixa de redução tem uma rotação sem carga de 521 RPM (*revolutions per minute*), e um torque nominal de 27,51 mNm.
- 1 microcontrolador MSP430G2553 [6], que é o componente que armazena a lógica do robô.
- 1 módulo *Micro-Start*, que é utilizado em competições oficiais para inicializar o robô.

B. Eletrônica

A parte eletrônica do robô foi desenvolvida em uma placa de circuito impresso (PCI). Essa placa (Figura 6) é composta por um microcontrolador, responsável por gerenciar os sinais de entrada e saída, um driver para distribuir a potência dos motores, entradas para sensores infravermelhos e outros periféricos de saída e de entrada, como *LED*s (*Light Emitting Diode*) e botões, para seleção de configurações. Para a alimentação da placa há uma entrada de bateria.

Fig. 6. PCI desenvolvida.

C. Mecânica

A parte mecânica foi desenvolvida em um *software* de modelagem 3D (Figura 7) chamado *SolidWorks*. A sua mecânica pode ser dividida em duas partes: o chassi e a carcaça.

O chassi é feito de alumínio, e foi confeccionado a partir do processo de usinagem. O material foi escolhido pela sua baixa densidade, de forma que o peso reduzido no chassi torne possível adicionar mais peso em outras partes do robô. A parte frontal é inclinada para a fixação da lâmina.

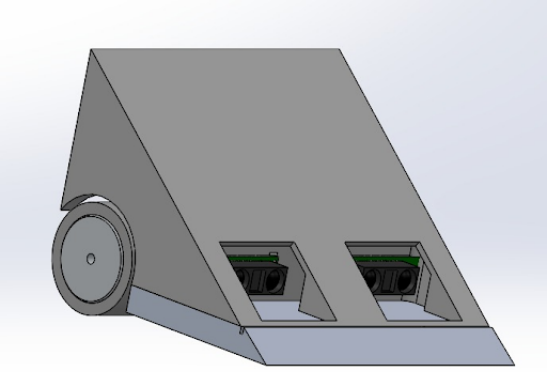


Fig. 7. Modelo em 3D no *SolidWorks*

No entanto, percebeu-se que a frente do robô se levantava com facilidade devido à locomoção. Para evitar esse problema, foram feitos furos na parte inferior frontal do robô e foi adicionado peso utilizando chumbo, o que ajudou a amenizar esse problema.

A carcaça foi feita pelo processo de impressão 3D e o material escolhido foi ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), por possuir uma maior dureza quando comparado a outros polímeros. Na parte frontal da carcaça, foi adicionada uma chapa de zinco, para aumentar a resistência da peça. A carcaça tem uma inclinação, o que dificulta a identificação por sensores adversários.

Tanto o chassi quanto a carcaça são tingidos de preto, com o intuito de dificultar a identificação do robô pelos sensores infravermelhos dos adversários.

D. Firmware

O *firmware* é desenvolvido em linguagem *wiring*, que é uma adaptação da linguagem C++ para sistemas embarcados. A IDE (*Integrated Development Environment*) utilizada foi a IDE Energia. O microcontrolador utilizado é o MSP430G2553 da *Texas Instruments*[6].

É utilizada uma lógica discreta, em que a partir da leitura dos sensores infravermelhos, estima-se a posição do adversário, e procura a melhor maneira de avançar. O microcontrolador envia um sinal PWM (*Pulse Width Modulation*) para o driver, que representa a potência que será aplicada em cada um dos motores. Não é permitido alterar a programação durante uma partida, logo, o microcontrolador é pré-programado com diversas estratégias diferentes.

Após posicionado no dojô, é selecionada a jogada que mais se adequa à situação. A decisão da estratégia varia de acordo com o tipo de robô aversário, o posicionamento dos robôs e das estratégias utilizadas nos *rounds* anteriores. Evita-se utilizar a mesma estratégia em dois *rounds* consecutivos, porque uma vez que o adversário conhece uma estratégia, ele pode tentar combatê-la no *round* seguinte. Após o movimento inicial, o robô gira em seu próprio eixo, com o objetivo de localizar o adversário. Se o adversário for localizado, o robô avança, corrigindo sua movimentação, visando atacá-lo de frente.

IV. Testes e Resultados

Os testes dos robôs da categoria Mini-Sumô são feitos no próprio laboratório da equipe *RobotBulls* através de amistosos, teste de força e de velocidade. A validação final é feita pela participação em competições universitárias brasileiras e no torneio mundial. Em ambas as situações é possível avaliar o comportamento do robô em função de sua mecânica, seu controle e, principalmente, pela obtenção de conquistas.

A equipe nesta categoria se destaca amplamente em âmbito nacional e internacional, obtendo diversos troféus e posições de destaque nas últimas competições. Observa-se pelas colocações nos principais torneios no Brasil e no mundo. Em competições nacionais, a equipe *RobotBulls* conquistou troféus em todas as competições do último ano e está a mais de três anos conquistando troféus em todas as competições que participa.

Na *Inatel Robotics National Cup* (IRON Cup), em Santa Rita do Sapucaí-MG, em março de 2019, terminou a competição com o segundo, terceiro e oitavo lugar, dentre 28 robôs. No torneio *RSM Challenge*, em Mogi das Cruzes-SP, em abril de 2019 terminou com o troféu de terceiro lugar. No Torneio SMILE de robótica, em São Caetano do Sul-SP, em maio de 2019, concluiu a competição com o segundo, terceiro, sétimo e nono lugar, dentre 35 robôs.

Na *Winter Challenge* XV, em Concórdia-SC, em setembro do mesmo ano, finalizou a competição com o terceiro, oitavo, décimo quarto e vigésimo lugar, dentre 47 robôs. No Torneio *Bosch* de Robótica, em Campinas-SP, em outubro de 2019, terminou a competição com o segundo, terceiro, quarto e décimo terceiro lugar. Já na primeira competição do ano, em fevereiro de 2020, na IRON Cup, foi conquistada a primeira, a quarta, décima terceira, e a décima nona posição, entre 52 robôs.

A Figura 8 ilustra os robôs utilizados nas ultimas competições e parte dos troféus consquistados pela equipe em 2019 e 2020 na categoria Mini-Sumô.

Fig. 8. Robôs e troféus conquistados na categoria.

Em dezembro de 2019, participando pela primeira vez do mundial, o *All Japan Robot-Sumo Tournament* [3], em Tóquio - Japão, o robô *BlackBull* ficou entre os oito melhores da categoria, entre vários robôs de diversos países do mundo.

No projeto mais recente, foi testado um novo motor, e notou-se um desempenho de destaque. Com o modelo de motor antigo, geralmente queimavam-se em média de dois a quatro motores por competição, já com o modelo novo [5], ainda não foi registrado nenhum problema, mesmo tendo participado de quatro competições de alto nível desde a *Winter Challenge*, em setembro de 2019.

Além disso, houve uma alteração no *firmware*, em que o robô avança com velocidade crescente ao encontrar o adversário. Na versão antiga, ele partia com velocidade máxima, fazendo com que seus ataques fossem pouco precisos. Outro problema que foi solucionado com essa alteração é que o robô, ao partir com a velocidade máxima, acabava elevando sua parte frontal. Já com o *firmware* atualizado isso não ocorre, além de que seus ataques raramente falham.

Por fim, vale ressaltar que a IRON Cup 2020 foi a primeira competição certificada pelo *All Japan Robot-Sumo Tournament*, o torneio mundial de sumô de robôs no Japão. Com a conquista da primeira colocação através do robô *BlackBull* a equipe *RobotBulls* foi a primeira equipe do Brasil a garantir vaga na competição internacional pela categoria Mini-Sumô neste ano que acontecerá, como de costume, em Tóquio nos dias 13 e 14 de dezembro.

V. Conclusão

Comparando os resultados dos robôs em todas as últimas competições disputadas, nota-se um crescimento no desempenho dos robôs, tornando os resultados extremamente satisfatórios. Mesmo com resultados que excederam as expectativas, há como serem melhorados.

Para projetos futuros, estuda-se uma maneira melhor de sensoriamento e estratégias, de modo a tornar o robô mais efetivo em sua movimentação ofensiva e defensiva.

Os conhecimentos adquiridos durante o desenvolvimento dos robôs é totalmente benéfico, uma vez que proporciona aprendizado em diversas áreas, como eletrônica, firmware e mecânica, além de aprimorar o raciocínio lógico e trabalho em equipe.

Referências

[1] *Página da web da equipe de robótica do Inatel – RobotBulls.* URL: inatel.br/robotica (acesso em 28/02/2020).

[2] RoboCore. *Regras Sumô*. URL: https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore__regras_sumo_165.pdf (acesso em 20/03/2020).

[3] Fujisoft. *All Japan Robot-Sumo Tournament*. URL: https://www.fsi.co.jp/sumo/index.html (acesso em 10/12/2019).

[4] Fujisoft. *All Japan Robot Sumo Tournament Official Regulation*. URL: https://www.fsi.co.jp/sumo/robot/en/rule.html (acesso em 20/03/2020).

[5] Maxon. *DCX 16 S*. URL: https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8833375141918/19-EN-78.pdf (acesso em 10/03/2020).

[6] Texas Instruments. *MSP430G2553*. URL: http://www.ti.com/microcontrollers/msp430-ultra-low-power-mcus/overview.html (acesso em 11/03/2020).

Sistemas Robóticos para Competições nas Categorias de Sumô 3Kg

Alexandre Baratella Lugli, Danilo de Oliveira Palma, Darlan Borges Ajlune, Egidio Raimundo Neto,
José Marcolino Ribeiro Neto, Marina Ribeiro Barba, Matheus Lemos de Aguiar, Wanderson Eleutério Saldanha
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratella@inatel.br, danilo.palma@gea.inatel.br, darlanborges@gec.inatel.br, egidio.neto@inatel.br,
jose.marcolino@gea.inatel.br, marina.ribeiro@gec.inatel.br, matheusa@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

***Abstract*—In the present study, the results of robotic systems in the 3kg Sumo category are presented, developed at the Robotics and Artificial Intelligence Laboratory of the National Telecommunications Institute, INATEL, with the objective of developing and applying artificial intelligence techniques and systems automation. Featuring all mechanical structure, electronics and logic contained in the robot's firmware and correlating to fundamental technological advances in emerging industries.**

***Index Terms*—Process Automation, Electronics, Logic, Mechanics, 3kg Sumo.**

***Resumo*—No presente estudo, são apresentados os resultados dos sistemas robóticos na categoria de Sumô 3kg, desenvolvidos no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL, com o objetivo de desenvolver e aplicar técnicas de inteligência artificial e automatização dos sistemas. Apresentando toda estrutura mecânica, a eletrônica e toda lógica contida no *firmware* do robô e correlacionando aos avanços tecnológicos fundamentais nas indústrias emergentes.**

***Palavras chave*—Automatização, Eletrônica, Lógica, Mecânica, Sumô 3kg.**

I. Introdução

A Automação está presente em diversos processos industriais, e cada vez mais integra o cotidiano das pessoas. Neste contexto da indústria 4.0, os sistemas robóticos ganham destaque como um dos grandes pilares dos avanços tecnológicos. Visando o desenvolvimento desse ramo da engenharia, é perceptível uma grande relevância no que diz respeito ao ensino desses conhecimentos aos alunos que posteriormente serão os responsáveis pela consolidação das novas aplicações na indústria emergente. A fim de instigar a descoberta lúdica da tecnologia e validar os conhecimentos na prática, cada vez mais surgem novas competições voltadas ao desenvolvimento da robótica.

Dentro desse meio, uma categoria vem se destacando no cenário mundial e começando a crescer dentro do Brasil: o Sumô 3kg. Assim como a luta de origem oriental, o objetivo desses robôs é tirar o adversário do campo de batalha, denominado *dohyō*. Por ser dividido em duas modalidades, autônoma e rádio-controlada, possibilita uma grande diversificação nos conhecimentos abordados, com conceitos de eletrônica, programação e mecânica, simulando situações próximas das aplicações reais de engenharia.

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL[1]. Os pesquisadores desta categoria integram a *RobotBulls*, equipe de robótica que representa o INATEL, participando de todo desenvolvimento lógico e físico do robô, trabalhando com equipamentos e tecnologias atuais e aprimorando capacidades interpessoais, levando à prova todo o estudo ao participar de competições nacionais e internacionais durante todo o ano com o modelo a ser descrito.

A Figura 1 apresenta o logo da equipe de robótica do Inatel.

Fig. 1. Logotipo da equipe RobotBulls.

Com este artigo, tem-se o objetivo de desenvolver sistemas robóticos inteligentes, com ênfase na categoria do Sumô 3kg, demonstrando a importância dos robôs como forma de desenvolver novas tecnologias com a utilização de inteligência artificial. Este estudo está estruturado no seguinte formato: nas seções II até V são descritos os módulos Funcionamento e regras das partidas, Mecânica, Eletrônica e *Firmware*. Em seguida têm-se os Testes e Resultados e, por fim, a Conclusão do estudo.

II. Funcionamento e Regras das Partidas

Os sistemas robóticos desenvolvidos são dimensionados com base nas regras de cada competição. No Brasil, as regras vigentes foram elaboradas pela *Robocore*, empresa responsável pela organização de grande parte dos campeonatos no âmbito nacional[2]. Na categoria do Sumô 3kg, tem-se a subdivisão entre os robôs autônomos e os rádio-controlados.

Para competir, os robôs passam inicialmente por um processo de validação, fazendo-se cumprir medidas pré-estabelecidas de dimensões e de peso. Comum para ambas as categorias, é necessário que o robô seja constituído por um limite de 20cmx20cm, se tratando de comprimento e largura,

podendo ter altura ilimitada; o robô deve caber em um cubo vazado com essas dimensões. Em relação ao peso total, como o próprio nome da categoria define, o robô passará por uma pesagem, não podendo ultrapassar 3 kg antes do início da partida.

As disputas são realizadas entre dois robôs em uma área circular preta denominada *dohyō*, constituído por uma placa de aço com 154 cm de diâmetro e 5 mm de espessura delimitado por uma faixa branca de 5 cm ao redor da arena, chamada *tawara*. Pelo fato do *dohyō* ser constituído de material metálico, os robôs comumente são otimizados com ímãs em sua estrutura com o propósito de aumentar sua força normal, podendo ultrapassar 100 kgf dependendo da disposição e quantidade destes ímãs adotados em sua mecânica[3]. A Figura 2 apresenta o *dohyō*, onde são realizadas as disputas.

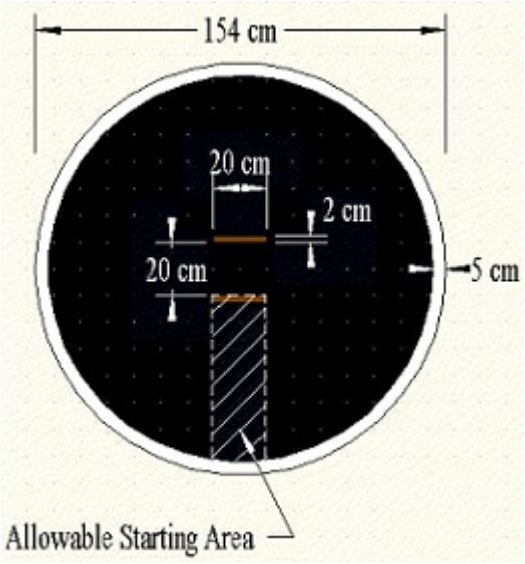


Fig. 2. Dohyō[4].

Uma partida consiste em 3 *rounds*, e é vencida pela equipe que primeiro conquistar 2 pontos *yuko*, sendo equivalente à vitória de um round. Para conquistar um *yuko*, o robô deve colocar o adversário para fora do *dohyō*. Outra maneira de conquistar um ponto é se o adversário cometer duas penalidades. Inicialmente, as equipes posicionam os robôs em seus respectivos lados do *dohyō*, atrás das linhas divisórias que ficam no centro, denominadas *shikiri-sen*. Cada uma possui 20cm de extensão, afastadas 20cm uma da outra. Ao menos uma parte do robô deverá estar em contato com uma área atrás da *shikiri-sen*, que se estende até a borda do *dohyō*, conforme demonstrada na Figura 2, sendo passível de penalização em caso de mau posicionamento. A Figura 3 apresenta o posicionamento dos robôs no *dohyō*[3].

Fig. 3. Posicionamento dos robôs no Dohyō.

Na categoria Autônoma, após o posicionamento é realizada uma contagem regressiva pelo juiz e, ao serem autorizados, os competidores acionam seus robôs simultaneamente, que só podem entrar em operação após 5 segundos. Assim, é imprescindível a utilização de uma lógica conectada com a utilização dos sensores. Desse modo, o robô deve se movimentar integralmente de maneira autônoma sem ocorrer nenhuma interferência humana até encontrar o adversário e retirá-lo da área compreendida pelo *dohyō*. Já na categoria Rádio-Controlada, ao serem autorizados, tem-se a presença de um operador, ou seja, um responsável direto pela pilotagem, exigindo extrema precisão nos movimentos para retirar o oponente, visto que devido à velocidade dos robôs a luta ocorre na maioria das vezes em poucos segundos.

No que tange a categoria Rádio-Controlada algumas especificações são exigidas a fim de padronizar o sistema de controle proporcional, composto por um rádio e um receptor. São definidas algumas faixas de frequências e modulações aceitas[3]:

• Freqüências: 27MHz, 72MHz, 75MHz, 333MHz, 433MHz, 900MHz e 2.4GHz;

• Modulações: AM, FM, PCM, PPM e enlaces únicos, como DSM e outras;

Além disso, alguns casos devem ser levados em consideração para ponderar acerca das infrações ocorridas, sendo consideradas penalidades. Ao infringir duas regras durante a batalha é dado um ponto *yuko* ao adversário. Se algumas das seguintes situações acontecerem, é aplicada uma penalidade ao operador: o robô expandir seu tamanho não se comportando como um único corpo; assim que posicionado o robô, o operador movimentá-lo; o tempo de acionamento ser desrespeitado; alguma parte mecânica se desprender da estrutura do robô; posicionamento não condizente com as regras. Além disso, falta de cordialidade ou respeito, violações e advertências que infrinjam as regras também podem causar advertências à equipe, cabendo ao juiz avaliar as situações e tomar as medidas cabíveis[3].

III. Mecânica

Uma das principais partes do desenvolvimento destes sistemas robóticos é sua mecânica. Esta é essencial para o posicionamento dos motores, engrenagens, rodas, rolamentos e lâmina, devendo também ser levada em consideração a inserção dos demais componentes elétricos e eletrônicos, e ao mesmo tempo, ter a capacidade de suportar altos choques devido às altas forças normais dos robôs. Quando um robô retira o outro do *dohyō* sempre existe um impacto mecânico sobre a estrutura e principalmente sobre os pontos de apoio deste, que são os locais em que grande parte da força de um choque é dissipada, exigindo que as peças sejam bem planejadas e presas de forma adequada e robusta.

Para alinhar todas as peças do sistema, o planejamento e a especificação do robô são desenvolvidos no software *Solidworks*, com desenhos em 3D, visando simular toda montagem, riscos e impactos do robô[5]. Dessa forma, é possível suprir a necessidade de fixação dos componentes e projetar peças sob medida que depois passam por um processo de escolha de material e usinagem para serem fabricadas. Vale

ressaltar a importância destas atividades, tendo em vista o papel fundamental de sustentar os motores e rolamentos em suas posições, dando a devida proteção para suportar as vibrações e os constantes choques.

O projeto se inicia com o desenvolvimento de uma parte inferior, comumente denominada de base do robô. Tal estrutura fornece a sustentação para as demais peças, sendo o principal ponto de fixação para o restante da mecânica. Nela, são contidos os furos para prender a lâmina e as rodas, os suportes dos rolamentos externos e internos e a sustentação dos motores. Levando em consideração o pequeno espaço entre a base e o *dohyō* são relevantes os tamanhos das cabeças dos parafusos, em que tem-se uma cavidade responsável por escondê-las para não existir o risco de tocar o *dohyō*.

A lâmina é uma parte imprescindível para a estratégia nos robôs de sumô, possuindo o papel de ser a parte frontal na absorção de choques. A ideia é ser extremamente fina e se projetar debaixo do adversário com o intuito de retirar o contato de suas rodas com o *dohyō*, o que consequentemente afastará os ímãs do chão, diminuindo significativamente a resistência do adversário ao ser empurrado. Devido a quantidade de choques a lâmina deve ser desenvolvida com aço, passando por um processo de têmpera para aumentar sua dureza. Outra parte importante é o ângulo de posicionamento da lâmina, sendo fixada na base do robô por 7 parafusos que garantem uma inclinação de aproximadamente 19º.

Os rolamentos também são peças de grande importância para o encaixe dos sistemas de engrenagem e de rodas. A priori, cada engrenagem deve possuir um rolamento de cada lado para garantir o perfeito alinhamento dos eixos. O projeto em questão conta com um um par de engrenagens em cada roda, sendo uma delas diretamente conectada ao eixo do motor, denominada de pinhão, que dispensa o uso de rolamento. Dessa forma, o pinhão será responsável por transmitir a rotação à segunda engrenagem que se encontra diretamente presa na roda, que por sua vez, exige o uso dos rolamentos que possuem um diâmetro interno de 6mm.

Para fixação dos rolamentos, foram desenvolvidas duas peças em alumínio, sendo uma externa e a outra interna. A função dessas peças abrange mais do que apenas prender os rolamentos, tal que o suporte externo possui uma projeção até a parte da frente do robô, servindo como uma peça de proteção e suporte para o rolamento, deixando o sistema mais robusto. O suporte interno, por sua vez, possui a função de fixar os rolamentos e o motor, garantindo dessa maneira um alinhamento entre os centros desses rolamentos, assegurando que a roda esteja devidamente ajustada e as engrenagens no correto encaixe.

Dessa forma, o conjunto mecânico encontra-se planejado para que o motor trabalhe em sua máxima potência, possuindo também uma peça central responsável por prender exclusivamente os dois motores. Levando em consideração a fixação e as vibrações dessa região, no robô em questão são utilizados motores DC, mais especificamente o motor DCX 32L de 18V da linha DCX da fabricante Maxon, sendo considerado um motor compacto e potente[6]. Seguem abaixo algumas de suas principais características:

Tensão de alimentação: 18 [V]
Velocidade nominal: 8070 [rpm]
Corrente nominal: 5,42 [A]
Torque nominal: 101 [mNm]
Eficiência: 88%

A Figura 4 apresenta o motor utilizado na confecção dos robôs.

Fig. 4. Motor Maxon DCX 32L.[6].

Devido ao uso dos ímãs, a constante de torque é uma das especificações mais valiosas do robô, pois será fundamental para movimentação do robô mesmo com uma força normal elevada. Porém, velocidade e torque são grandezas inversamente proporcionais, assim, o chamado sistema de redução é composto por um par de engrenagens que são responsáveis por diminuir a rotação e aumentar o torque. Tentando encontrar um equilíbrio, foi usada a proporção de 4,3:1 dada pela razão do número de dentes da engrenagem maior pelo número de dentes da engrenagem menor (pinhão). Como pode ser visto na equação (1):

$$Redução = \frac{Nºdentesengrenagem}{MaiorNºdentesdopinhão} = \frac{56}{13} = 4,3 \quad (1)$$

É válido ressaltar que a distância entre os centros das engrenagens também é fundamental para o encaixe perfeito do sistema mecânico, determinando o contato entre os dentes das duas engrenagens, diminuindo assim o desgaste das peças e possibilitando uma eficiência mais alta[7]. Neste caso, módulo da engrenagem utilizada é de 0,6. O cálculo completo é apresentado pela equação (2):

$$\text{Distância} = \frac{\sum num.engrenagens * módulo}{2}$$
$$\text{Distância} = \frac{(13+56)*0,6}{2} = 20,77mm \quad (2)$$

Dessa maneira, é possível determinar a velocidade nominal aproximada do robô apartir da equação (3):

$$\text{Velocidade} = \frac{\frac{v.nominal}{redução} * 2\pi r}{60} \quad (3)$$

Sendo ”r”o raio da roda,com valor de 0,0225m, tendo assim uma velocidade aproximada de:

$$\text{Velocidade} = \frac{\frac{8070}{4,3} * 2\pi 0,0225}{60} \quad (4)$$

Para melhor entender a proporção, tais números correspondem a percorrer o *dohyō* quase três vezes em 1 segundo, mostrando-se muito veloz. Característica que é um diferencial para as demais equipes brasileiras. Assim, a velocidade será fundamental na parte de planejar as estratégias para retirar o adversário da arena.

É necessário complementar, que a utilização dos ímãs de neodímio é pensada na base, na qual são feitos furos do exato tamanho do imã, para fixação por pressão. Dessa forma, os imãs com formatos retangulares e circulares ficam contidos na base, pois ambos possuem a mesma espessura. No total, o robô deste estudo possui 18 furos para ímãs, sendo 7 retangulares com 10kgf e 11 circulares com 13kgf. Pensando na melhor distribuição possível, são utilizados em torno de 15 ímãs, totalizando 174kgf aproximadamente, visto que tal força é dependente da distância que os ímãs se encontram do *dohyō*. Assim é nítida a necessidade de motores potentes e um alto torque, pois o robô precisa se movimentar livremente durante a partida.

Porém, sem ligá-lo, nas mãos do operador deve parecer uma "rocha", como descreve o competidor e Engenheiro Mecânico, Firat Faris Dede no livro Sumo robot Black Book[8]. A ideia de velocidade e da força magnética parecem contraditórias, mas na verdade é necessário um equilíbrio para poder usufruir da potência máxima dos motores. É fácil de compreender quando se pensa em uma pessoa correndo de meias em uma superfície deslizante, sem a aderência e o atrito não será possível correr rapidamente. No sumô, tais situações se assemelham, mostrando que a utilização dos ímãs é fundamental para movimentação e controle do robô, baseados na aderência garantida pelos ímãs. A Figura 5 apresenta a estrutura mecânica do robô.

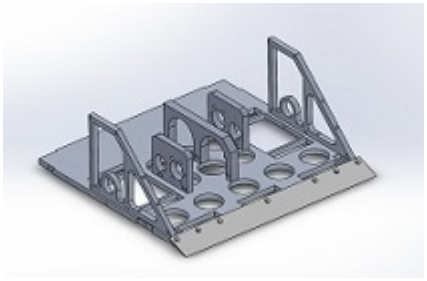


Fig. 5. Estrutura mecânica.

IV. Eletrônica

A eletrônica é responsável por conectar todas as partes do robô necessárias para o seu funcionamento. São elas: a bateria, o microcontrolador, o módulo *Bluetooth*, o *driver* dos motores e os sensores de fibra óptica e infravermelhos. A bateria utilizada é feita de Lítio Polímero (LiPo) e contém 5 células ligadas em série. Cada célula, quando totalmente carregada, armazena 4,2V, totalizando 21V, os quais alimentam diretamente o *driver* e os sensores, tanto os de linha, quanto os infravermelhos. É válido ressaltar que os motores possuem tensão de 18V e neste sistema é colocado diretamente 21V, o que não é o ideal, exigindo mais dos motores e diminuindo sua vida útil, porém é compreensível com a curta duração dos *rounds*. O microcontrolador escolhido pela equipe foi o STM32F103C8T6, um circuito integrado da ST *Microeletronics* que apresenta uma arquitetura ARM - MCU 32 BITs *Cortex* M3, 64KB de memória *flash* e 20KB de memória RAM. Ele foi escolhido devido a sua alta capacidade de processamento, com um *clock* interno de 72MHz. A fim de facilitar a sua utilização, o microcontrolador é incorporado a uma placa de desenvolvimento chamada *Blue Pill*. Esta placa é alimentada com 5V, tensão esta retirada da placa do driver, que contém um regulador interno[9].

A Figura 6 apresenta a placa de desenvolvimento utilizada no robô.

Fig. 6. Placa de desenvolvimento Blue Pill[9].

O driver dos motores é um modelo Roboclaw da Basic Micro, ideal para motores DC. Ele possui 2 canais de 60A cada, suportando até 120A de pico. Um diferencial deste controlador são os diversos modos de controle disponíveis, como controle por tensão, PWM (pulse width modulation) e comunicação serial. O modo utilizado é o de comunicação serial, possibilitando o controle com apenas um fio. Cada motor é ligado a um dos canais sendo controlado separadamente.[10]

A Figura 7 apresenta o *driver* utilizado no robô.

Fig. 7. Driver Roboclaw 2X60A[10].

Os olhos do robô são os sensores discretos com supressão de fundo da série BGS-Z30CP e BGS-Z30CN. Esses sensores apresentam um tempo de resposta de 0.5ms, que é um valor satisfatório para esta categoria, pois como a maioria dos robôs é veloz, o sensor tem que ser capaz de reconhecer o adversário e tomar as decisões cabíveis. Outra característica importante é o seu alcance, ou seja, a distância máxima que o robô adversário pode estar e o sensor consiga identificá-lo. O sensor apresenta uma faixa visível de aproximadamente 50 cm na superfície escura. Vale ressaltar que o ângulo de inclinação do objeto a ser detectado, influencia diretamente no valor desta distância. Neste projeto, os sensores são protegidos com a utilização de uma placa de fibra de carbono inclinada, presa a um dos suportes usinados, conferindo maior resistência ao robô.

A série BGS-Z30CP é PNP, apresentando nível lógico alto quando acionado, e alta impedância caso contrário. Existem duas resistências em série ligadas ao terra no pino de saída do sensor. Nesse caso, é lido o valor de tensão no resistor conectado ao terra, sendo 0V quando não há nada sendo identificado na frente do sensor, e 3.3V quando há. Já a série BGS-Z30CN é NPN, entregando 0V na saída em caso de reconhecimento, e alta impedância caso contrário. Nesta situação, é ligado um resistor de *pull-up* na entrada do microcontrolador, para que seja lido 3.3V se nada estiver na frente do sensor[11].

Também seguindo esta mesma analogia da visão do robô, existem os sensores de fibra óptica desenvolvidos pela empresa Sense. Estes apresentam como função a identificação da superfície preta ou branca do *dohyō*, cuja informação é de extrema importância, pois assim, consegue-se ter uma noção da posição do robô e tomar a melhor decisão. Estes sensores possuem uma inteligência artificial integrada, com capacidade de aprender qual a diferença entre a região preta e branca. Assim como os sensores BGS-Z30CP, estes contêm uma saída PNP, apresentando alta impedância, caso esteja reconhecendo preto, e nível lógico alto em caso de branco. Semelhantemente, é conectado dois resistores em série da saída para o terra, permitindo a leitura de 3.3V em caso de aproximação da borda e 0V em contrapartida.

Para acionamento do robô e escolha da estratégia, é utilizado um módulo *Bluetooth*. Ele utiliza comunicação serial para receber informações que são enviadas de um aplicativo de celular e repassar para o microcontrolador. É alimentado com 5V. As partes citadas, quando separadas, não são capazes de garantir o funcionamento do robô, e para isso criou-se uma placa auxiliar no *software* de desenvolvimento *Altium designer*, que foi levado até uma equipe especializada para ser confeccionada, integrando toda a eletrônica. A Figura 8 apresenta a placa de circuito impresso utilizada no robô.

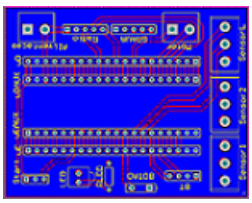


Fig. 8. Placa auxiliar.

V. Firmware

O *firmware* é o cérebro do robô, pois é ele o responsável por controlar os motores, fazer a leitura dos sensores e escolher qual a melhor decisão a ser tomada durante a partida.

Para programar o microcontrolador, é utilizada a linguagem *Wiring*, que foi criada baseada na linguagem C, associada ao ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Arduino[12]. Para ser possível utilizar o STM32 nessa IDE, é necessário instalar uma placa na plataforma para facilitar a programação, chamada STM32duino. A principal vantagem se dá pela facilidade que o *software* proporciona, com uma linguagem de alto nível e de simples aprendizagem.

Existem várias jogadas para diversas situações e posicionamentos iniciais do robô. Há aquelas que se destacam e são comuns a várias equipes na categoria. Além da jogada que permite o livre controle do robô, denominada RC(rádio controlada), são comuns também mais duas estratégias principais.

A primeira é a jogada em que o robô gira no próprio eixo, procurando o adversário nos seus arredores. Nela, os sensores laterais servem para reconhecer se o adversário está ao seu lado, caso necessário inverte-se o sentido para o qual o robô gira. Os sensores frontais são responsáveis por guiar o robô até o adversário, mandando máxima potência apenas se o sensor central esteja acionado. Os sensores de borda são irrelevantes nessa jogada, uma vez que, ainda que venha a sair do *dohyō*, aquele que empurrar o adversário para fora primeiro ganha a partida.

A segunda jogada é utilizada quando a primeira é insuficiente para encontrar o adversário. O robô anda até encostar no *tawara*, gira, e repete o processo. Se algum dos sensores visualizar o adversário, a primeira jogada passa a ser executada.

As demais são jogadas iniciais, para que o robô possa chegar a alguma posição específica do *dohyō*. Cada posição inicial possibilita diversas estratégias de locomoção, o que é muito importante.

VI. Testes e Resultados

O início em competições na categoria Sumô 3kg ocorreu na IRONCup-Inatel Robotics National Cup em março de 2019, evento nacional de robótica realizado no Instituto Nacional de Telecomunicações, Inatel, em Santa Rita do Sapucaí, MG. Ao utilizar motores RS775 com redução 4,3:1, foi apresentado baixo torque, além da utilização de uma carcaça mecânica modelada em impressão 3D. O conjunto destas características resultou em uma estrutura pouco compacta que se quebrava facilmente, levando a um desempenho não tão satisfatório nas primeiras competições disputadas. Em função destes resultados, ocorreu uma reestruturação das ideias acerca do projeto e a remodelação do robô vigente, principalmente nas partes mecânicas, as quais foram trabalhadas posteriormente com usinagem nas principais peças.

Em setembro, no *Winter Challenge* 2019, evento latino americano de robótica, o robô *PitBull* conquistou 2º lugar na categoria Rádio-Controlada em meio aos 19 robôs participantes e a 1ª colocação na categoria Autônoma dentre 22 os robôs inscritos, conquistando assim, a certificação para o campeonato mundial *All Japan Robot-Sumo Tournament*, principal competição do sumô de robôs no mundo.[13] O robô vencedor ainda utilizava alguns traços de impressão 3D, porém com muito mais resguardo aos pontos frágeis do robô, que já contava com a implementação de reforços, através da implementação chapas de aço e fibra de carbono para suportar o contato direto com o adversário.

Já na competição do Torneio *Bosch* de Robótica, ocorrida outubro de 2019, a usinagem completa foi testada no robô ao invés dos recursos 3D utilizados anteriormente. Apesar da queima de um motor, o robô conquistou o 3º lugar na categoria Autônoma.

Após a conquista da vaga para o campeonato mundial no Japão, realizado em dezembro de 2019, foram desenvolvidos dois robôs, sendo um para cada categoria do 3kg (*Bullbasaur* - Rádio-Controlado e *PitBull* - Autônomo), por não poderem desempenhar a mesma função devido à simultaneidade das

lutas no torneio. No torneio, as duas disputas resultaram em derrotas, mas serviram como uma experiência que trouxe grande aprendizado para a equipe pela discrepância que se pôde observar em relação ao nível dos demais times por diversos fatores como componentes, estratégias e sensoriamento, por exemplo, agregando conhecimento ao que era aplicado até então nos robôs e fundamentando novas ideias e projetos para melhorias.

No ano de 2020, na 4ª edição da *IRONCup*, no INATEL, os 2 robôs, *Bullbasaur* e *PitBull*, competiram em ambas as categorias conquistando o terceiro na rádio-controlada, em que disputaram 13 robôs inscritos. Com o fim desta competição pôde-se verificar a evolução que a equipe alcançou desde a edição do torneio do ano anterior, em que as atividades na categoria iniciaram-se efetivamente; melhorias mecânicas, de controle e movimentação foram nitidamente percebidas refletindo tanto nos troféus conquistados quanto no amplo aprendizado obtido. Com o resultado de 4 troféus nas 6 competições disputadas no período de menos de um ano, alcançou-se assim, os objetivos definidos à categoria.

VII. Conclusão

Mediante o exposto, pode-se observar a importância do conjunto de conceitos tratados na categoria, sustentados pelos ramos da mecânica, programação e física. Tais conhecimentos são de extrema relevância e aplicabilidade para o segmento da engenharia, e estão diretamente vinculados à atual indústria, cenário no qual estão constantemente inseridos dados os avanços tecnológicos.

Desde o planejamento do projeto do robô até a sua construção e programação é nítido o embasamento técnico-científico trabalhado por seus desenvolvedores. Ademais, integrar todas as partes constituintes e fazê-las entrar em operação de modo sincronizado e assertivo em prol de um objetivo remete diretamente às atividades que o setor industrial tem desenvolvido atualmente.

O entendimento teórico aliado ao desenvolvimento prático do projeto, a eletrônica para controle e sensoriamento, a inteligência artificial embarcada atrelada à programação e a tomada de decisões são algumas das aptidões que se pôde trabalhar no âmbito deste processo. Vale ressaltar que são ferramentas que abrem inúmeras possibilidades para o desenvolvimento de pesquisas no campo acadêmico e em situações que retratam aplicações industriais reais.

Para as próximas competições a equipe visa implementar melhorias com base nas estratégias, nos métodos e nas trocas de experiências que pôde observar nos torneios com os demais times, principalmente do mundial no Japão. A fim de agregar aos próximos projetos com as ideias mais consolidadas e que garantam o melhor desempenho possível do robô somado àquilo que experimentou desde o primeiro torneio, com as evoluções que vieram a cada etapa. Portanto, foi notório que o projeto cumpriu seus objetivos pelos resultados apresentados e pelo avanço obtido, projetando a equipe como uma das mais desenvolvidas no cenário nacional. A Figura 9 apresenta um dos robôs da categoria criado pela equipe.

Fig. 9. Robô Bullbasaur.

Referências

[1] Inatel. *Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial*. URL: https://inatel.br/robotica/ (acesso em 04/02/2020).

[2] RoboCore. *RoboCore- Robótica e Automação*. URL: https://www.robocore.net (acesso em 09/03/2020).

[3] RoboCore. *Regras Sumô*. URL: https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore__regras_sumo_165.pdf (acesso em 20/03/2020).

[4] unicundi. *Luchador Sumo 3Kg*. URL: https://ecit-unicundi.webnode.es/concursos-de-robotica/categorias/sumo-3kg/ (acesso em 05/03/2020).

[5] SolidWorks. *Software de Projeto CAD 3D*. URL: https://www.solidworks.com/pt-br (acesso em 09/03/2020).

[6] Maxon. *DCX 32 L*. URL: https://www.maxongroup.com/medias/sys_master/root/8833375928350/19-EN-90.pdf (acesso em 10/03/2020).

[7] Christopher Burke Robert F. Handschuh. *Simulated Single Tooth Bending of High Temperature Alloys*. URL: https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20130000795.pdf (acesso em 15/02/2020).

[8] Firat Faris Dede. *Dicas e táticas para melhores robôs de sumô*. URL: https://www.jsumo.com/sumo-robot-blackbook-pdf-ebook-tips-tactics-for-better-sumo-robots (acesso em 15/02/2020).

[9] st. *Medium-density performance line ARM®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. interfaces*. URL: http://https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf (acesso em 10/03/2020).

[10] Basicmicro. *RoboClaw Series Brushed DC Motor Controllers*. URL: http://downloads.basicmicro.com/docs/roboclaw_user_manual.pdf (acesso em 07/03/2020).

[11] Optex. *Laser type and high power narrow beam LED type BGS*. URL: https:https://www.optex-ramco.com/index.php?route=module/product_downloads/get&did=96 (acesso em 03/02/2020).

[12] Arduino. *Plataforma Arduino*. URL: https://www.arduino.cc/ (acesso em 03/01/2020).

[13] Fujisoft. *ALL JAPAN ROBOT-SUMO TOURNAMENT*. URL: https://www.fsi.co.jp/sumo/index.html (acesso em 15/12/2019).

Sistema de Controle para Robôs Aplicados no IEEE *Very Small Size Soccer (VSSS)*

Alexandre Baratella Lugli, Egídio Raimundo Neto, João Victor de Oliveira Gomes Ribeiro,
Stefany Rodrigues Lau, Wanderson Eleutério Saldanha,
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratela@inatel.br, egidio.neto@inatel.br, wsaldanha@inatel.br, stefany.rodrigues@gea.inatel.br, joao.v@gea.inatel.br

***Abstract*—This paper describes the development of the robotics team of the National Telecommunications Institute (INATEL), RobotBulls, for the IEEE Very Small Size Soccer category. The information presented involves electronics, computer vision, artificial intelligence and mechanical aspects, with the objective of applying studied concepts about the control system for autonomous robots.**

***Index Terms*—Computer vision, PID control, robotics.**

***Resumo*—Este trabalho descreve o desenvolvimento do time da equipe de robótica do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), RobotBulls, para a categoria IEEE *Very Small Size Soccer*. As informções apresentadas envolvem eletrônica, visão computacional, inteligência artificial e mecânica, com o objetivo de aplicar conceitos estudados acerca do sistema de controle para robôs autônomos.**

***Palavras chave*—Controle PID, robótica, visão computacional.**

I. Introdução

O objetivo desse documento é apresentar o trabalho realizado pela Equipe de Robótica do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), a RobotBulls [1], com a categoria IEEE VSSS, bem como as regras das competições e o processo de desenvolvimento de um time de futebol de robôs.

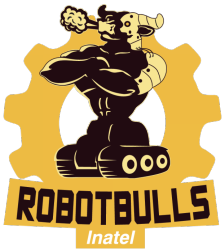


Fig. 1. Logo da equipe RobotBulls [1]

Tal categoria tem se mostrado muito eficiente para fomentar as pesquisas na área de robótica devido a sua complexidade intrínsica e os desafios recorrentes durante as partidas, necessitando do desenvolvimento de habilidades que envolvem *hardware, firmware* e *software*.

Os estudos são detalhados nas seções que seguem, sendo apresentados o Desenvolvimento do *Hardware* na seção III, que engloba os aspectos mecânicos - estrutura do robô, disposição das partes que o constituem e especificações dos motores e rodas - e eletrônicos (características dos componentes e circuitos necessários), além da Visão Computacional na seção IV que abrange o tratamento da imagem capturada pela câmera e a identificação e localização dos robôs no campo. Também é descrito o Desenvolvimento do *Software* na seção V, com o método de testes, tomada de decisões e a utilização da inteligência artificial embarcada para a navegação dos robôs. Por fim, são apresentados os resultados na seção VI, mediante aos testes realizados tanto em laboratório quanto em competições.

II. Diretrizes da categoria VSS

Na categoria *Very Small Size Soccer* (VSSS) do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), duas equipes de 3 robôs com dimensõess de até 7,5 X 7,5 X 7,5cm jogam uma partida de futebol. Os robôs são autônomos e controlados remotamente por um computador que processa a imagem de uma câmera - posicionada acima do campo - e comanda os robôs, como é descrito no tópico 2.1 das regras oficiais da competição [2].

A. Características estruturais

A intensidade luminosa na competição deve ser fixa, em valores próximos a 1.000Lux, as câmeras normalmente são configuradas antes das partidas para trabalhar com esses valores. A textura do campo é similar a de uma mesa de ping-pong, o que é importante para determinar o material da roda e os motores a serem utilizados. As dimensões do campo podem ser vistas na Figura 2.

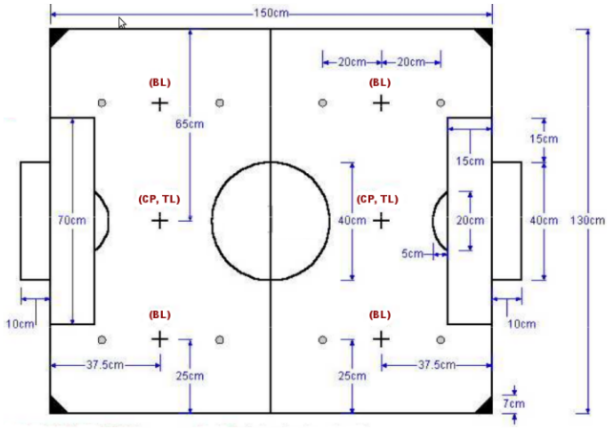


Fig. 2. Dimensões do campo [2]

Cada equipe pode usar apenas um computador, sobretudo dedicado ao processamento visual e para reconhecimento de posições. A Figura 3 mostra a configuração da estrutura necessária para uma partida.

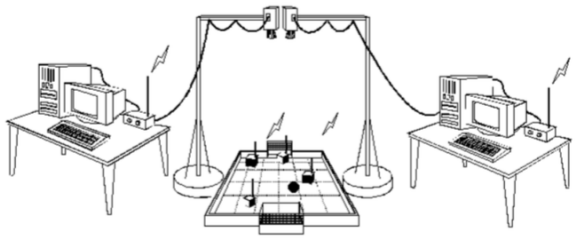


Fig. 3. *Setup* de uma partida [2]

B. Especificações dos robôs

Todos os robôs devem possuir uma região visível na parte superior, o que é levado em consideração ao modelar a carcaça dos robôs. Ainda na superfície, uma cor (azul orou amarelo), a ser definida pelos organizadores, identificará times distintos. Um robô dentro da área do próprio gol (Regra 1.4) deverá ser considerado como ”goleiro”, no entanto esse papel pode ser trocado dinamicamente durante a disputa, assim um robô dentro de sua própria área sempre será considerado como o goleiro. Porém não poderá haver dois jogadores e a bola dentro da própria área simultaneamente, o que carateriza pênalti para o time adversário. O mesmo pode ocorrer caso dois jogadores no ataque entrem juntos na área do time oponente, sendo marcado tiro de meta. Cada robô deve ser totalmente independente, com baterias e motores contidos em si mesmo. Somente comunicaçãoo sem fio é ser permitida para todos os tipos de interações entre o computador host e um robô. Nenhum dos robôs, exceto o designado como goleiro, é permitido a encobrir mais do que trinta por cento da bola, em vista superior. A Figura 4 detalha as dimensões do robô em relação as vistas do campo e a bola.

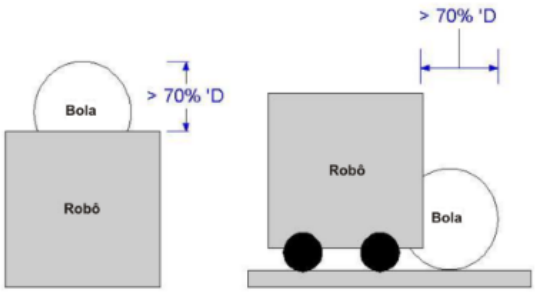


Fig. 4. Encobrimento máximo da bola [2]

C. Partidas

Cada partida tem 2 períodos iguais, com 5 minutos cada, além de um intervalo de meio tempo de 10 minutos de duração. Porém o jogo pode acabar antes, assim que um dos times fizer uma diferença de 10 gols no placar. Os times devem projetar seus robôs para suportar a máxxima duração do jogo.

III. Desenvolvimento do hardware

O hardware dos robôs pode ser dividido em duas partes: Mecânica e Eletrôica. Ambas as partes serão detalhas a seguir.

A. Eletrônica

A eletrônica do robô é composta da seguinte maneira:

a.1) Step-down

O regulador de tensão *Step-down* tem a função de transformar uma tensão alta em uma tensão menor. No projeto foi utilizado o regulador ST1S41 [3]. Ele opera com uma faixa de tensão de entrada de 4 á 18 volts, que é suficiente, visando o fato de que o circuito é alimentado com uma baterial de Li-po de 2 células, que resulta em uma tensão nominal de 7,4V. A saída é ajustada em 6 volts para alimentar a ponte-H, que é responsável por alimentar os motores. É utilizado um divisor de tensão para alimentar o microcontrolador com 3.3 volts, que suporta até 4 ampères de corrente de saída.

a.2) Microcontrolador e rádio

O microcontrolador é responsável pelo processamento de todas as informações que entram e saem para os demais periféricos. O componente escolhido foi o STM32WB55CE [4] que é um microcontrolador multiprotocolado, *wireless* de 32 bits com FPU (unidade de ponto flutuante - *float point unit*), com frequência de processamento de 64 MHz. Essa escolha foi devido a facilidade de implementação da comunicação utilizada. Esse possuí uma antena embutida na placa, um transmissor RF que suporta *Bluetooth* 5 e IEEE 802.15.4-2011 PHY (*Physical layer*).

a.3) Ponte-H

O IHM13A1 é o dispositivo ponte-H utilizado. Ele é caracterizado como uma ferramenta de desenvolvimento de gestão de energia que trabalha na forma de sinal PWM (*pulse width modulation*). Utiliza uma tensão de entrada de 1,8 a 10 volts e serve como placa de expansão de driver de motor *brush* DC de baixa tensão para ser usado com placa núcleo STM32.

a.4) Encoder

O ENX 10 EASY/QUAD [5] utilizado é um equipamento que converte os movimentos de giro do motor em pulsos elétricos, conhecido como *encoder*. Trabalha com 3 canais fazendo um máximo de 1024 leituras por giro. A tensão fornecida é de 5 volts em corrente contínua, opera com uma frequência máxima de 500 kHz e pode fornecer a leitura até uma velocidade máxima de 30000 rpm (rotações por minuto). A Figura 5 representa o enconder utilizado.

Fig. 5. Encoder utilizado no projeto [5]

a.5) Placa de Circuito Impresso

Devido ao limite de tamanho da estrutura de *hardware*, houve um estudo minucioso para analisar a melhor disposição dos componentes na placa e escolheu-se desenvolver o layout

através da ferramenta *Altium*. Com essa ferramenta criou-se uma biblioteca com todos os componentes utilizados de acordo com seus *datasheets*. Uma das principais ligações eletrônicas da placa de circuito impresso são os *drivers* que estão ligados em paralelo, para garantir que não haja sobrecarga durante as disputas de bola que envolvam força.

B. Mecânica

Neste seção são descritas as informações estruturais do rôbo e as características dos motores e rodas utilizados.

b.1) Estrutura

Para manter-se dentro dos limites impostos pela categoria, ou seja, tamanho máximo de 7,5mm x 7,5mm x 7,5mm (sem uniforme) utilizou-se o software SolidWorks para projetar a estrutura do rôbo. Através dessa ferramenta foi possível simular as dimensões da estrutura, do motor (com encoder), da bateria e da placa. O material utilizado para fabricação do rôbo através de impressão 3D foi o PETG-XT que apresenta alta resistência a choques mecânicos, evitando assim rachaduras em sua estrutura, além de não sofrer alterações de cor e deformação. A Figura 6 mostra estrutura básica do robô.

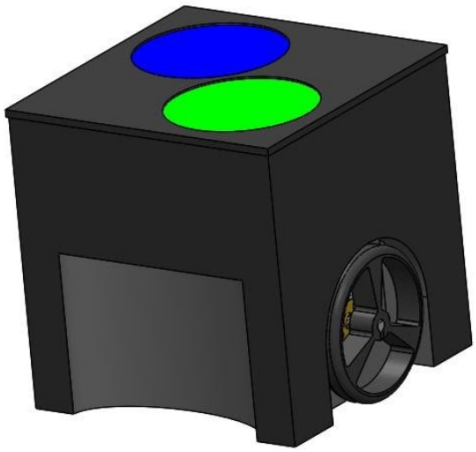


Fig. 6. Estrutura do robô

b.2) Motores e Rodas

O motor utilizado pela equipe foi o DC-MAX 22 S [6]. Ele possui rotação de 7030rpm, torque nominal 11,5mNm. Devido à disposição do encoder alogando ainda mais seu comprimento, houve a necessidade de deslocar o motor do eixo central do robô. Isso acarretou na necessidade da utilização de engrenagens para reajustar a rotação das rodas e adicionar redução no giro.

As rodas, por sua vez, foram pensadas para evitar a derrapagem nas curvas mais bruscas visando aumentar a velociade para que o robô pudesse chegar mais rápido a bolinha sem perder sua precisão. Sendo assim, o material escohido foi o poliuretano líquido (poly 74-20) [7] que ao enrijecer adere bem ao campo e evita que o motor gire em falso.

IV. Visão Computacional

As imagens capturadas pela câmera durante a partida são tratadas e identificadas através de métodos que estão descritos abaixo.

A. Câmera

A câmera utilizada é ELP- USBFHD01M-MFV. Ela possui uma resolução de 480*pixel*, com uma taxa de quadros de 120fps (quadros por segundo - *frames per second*). O conector de sua entrada é 2.0. Junto a ela, utilizou-se uma lente de 2.8-12mm varifocal.

B. Transformação Linear 2D

Um dos processos mais custosos computacionalmente dentro do módulo da visão, é a transformação da imagem da câmera para o plano de duas dimensões. Esta transformação é de extrema importância, visto que aumenta a precisão da identificação dos objetos na imagem. Com ela, é possível remover possíveis distorções na lente da câmera, selecionando apenas a área útil. Um exemplo de transformação pode ser visto na Figura 7.

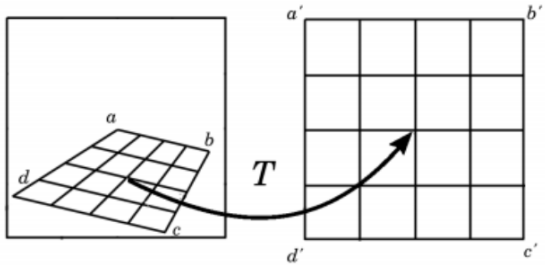


Fig. 7. Método de conversão de 3D para 2D implementado

C. Filtro de ruídos e conversão HSV

Após a filtragem da imagem, ela é convertida do espaço de cores RGB (vermelho, verde e azul - *red, green and blue*) para o HSV (matriz, saturação e valor - *hue, saturation and value*), a fim de localizar a centroide dos objetos e agrupá-los. Essa filtragem é feita através de uma matriz de convolução. A interface que permite o ajuste das cores para identificação das informações pertinentes a localização dos objetos pode ser vista na Figura 8.

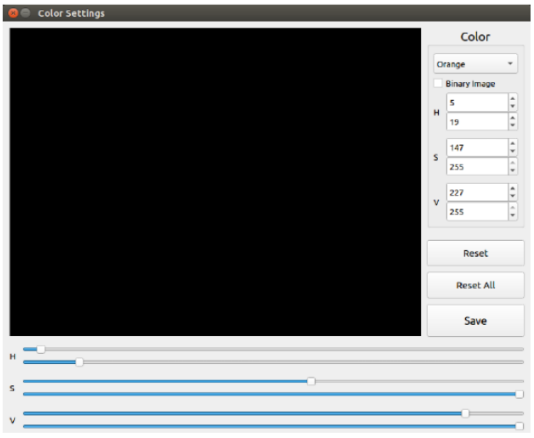


Fig. 8. Ajuste das cores para HSV

D. Identificação

A identificação dos rôbos é essencial nesta categoria. Ela é feita através de um *tag* com cores, formatos e tamanhos diferentes. Através dela, é possível identificar um rôbo e seu time. A Figura 9 demonstra uma *tag*. Não existe uma *tag* fixa

para um time. A cada partida esta tag pode mudar em comum acordo entre as equipes.

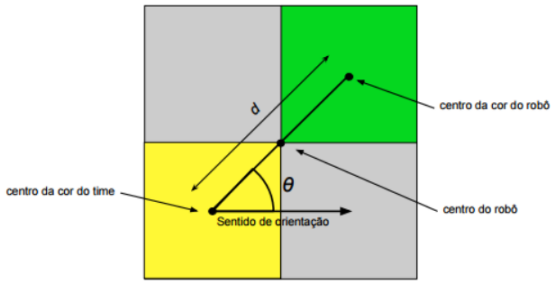


Fig. 9. Sistema de cores para identificação e orientação dos robôs

Em determinados locais do campo, pode ocorrer de uma cor perder ou ganhar intensidade em função da iluminação, o que acaba sendo um problema. Visando corrigir isto, antes de iniciar a partida, sempre se calibra todas as cores em todas as posições do campo em que é possível perceber que há mudança de luminosidade. Sendo assim, não tem risco de perder-se a identificação de uma cor durante a partida.

E. Mapeamento do campo

A fim de melhorar a precisão das delimitações do campo, desenvolveu-se um programa que recebe a imagem da câmera e dá possibilidade ao usuário de certificar se nenhuma parte de fora do campo é captada. Caso isso aconteça, é possível redimensionar o campo no programa.

Esse foi um programa que sentiu-se a necessidade de desenvolver para resolver determinados problemas relacionados com as linhas do campo e posição de câmeras.

V. Desenvolvimento de Software

A metodologia de testes e tomada de decisões, baseados em conceitos de inteligência artificial para garantir a precisão e eficiência na movimentação dos robôs serão descritas neste capítulo.

A. Simulador

Procurando aumentar a produtividade no desempenho de estratégias, optou-se por utilizar um simulador [8] desenvolvido pela comunidade VSSS, denominado VSS-SDK. O simulador também permite otimizar os testes dos robôs. A Figura 10 ilustra a tela do simulador.

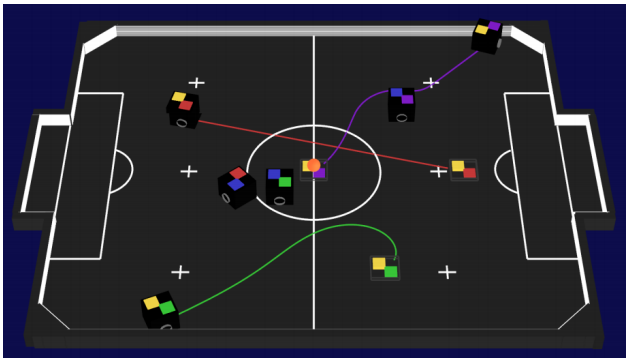


Fig. 10. Simulação [8]

No passado, costumava-se sempre alterar uma função e e realizar testes com os robôs para validar. Porém, as vezes prever uma determinada situação acaba sendo algo não tão trivial e o simulador pode ser utilizado para facilitar a solução desse problema. Implementado pela própria comunidade do VSSS, o simulador permite simular diversas situações e, avaliando os resultados obtidos, pode-se otimizar o tempo dedicado ao ajuste do time.

Sendo assim, toda a lógica é testada previamente e exaustivamente no simulador. Após ser transferida para os robôs, aumenta-se consideravelmente as chances de que o time se comportará como esperado. Caso não aconteça isso, é mais fácil identificar os pontos de correção ou melhoria.

B. Máquina de estado

Toda a estratégia é feita em uma máquina de estados, na qual a posição da bola é colocada como prioridade. A partir disso, atribui-se uma função para cada jogador do time, levando em consideração seu posicionamento em relação à bola. Porém, existem métodos mais eficientes equivalentes, sendo uma das próximas metas a serem atingidas no projeto, alterar essa lógica e implementar o conceito de árvore de comportamento [9], a fim de tomar as decisões com maior taxa de acertividade.

C. Software

Para a visualização dos robôs pela câmera e melhor entendimento de sua movimentação no campo, bem como a escolha das jogadas - respeitando as condições definidas pela máquina de estados apresentadas no tópico anterior - foi criado um software no qual é possível observar a movimentação da bola e a trajetória do robô até seu ponto futuro a fim de realizar análises do movimento e, mediante à resposta corrigir os erros antes mesmo das partidas acontecerem. Tamém é possível selecionar a formação. A tela principal pode ser vista na figura 11.

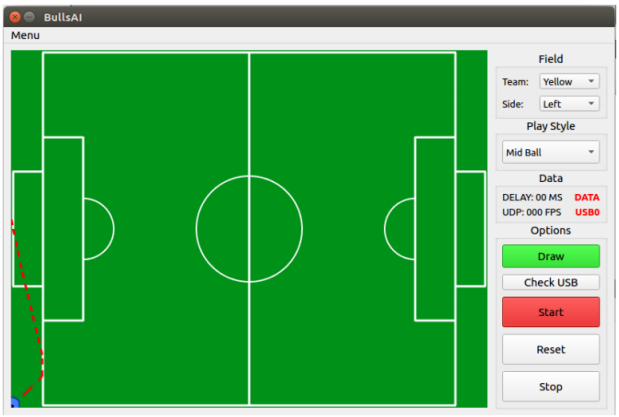


Fig. 11. Mapeamento no software

D. Navegação

A fim de melhorar a navegação dos rôbos, utiliza-se o UVF (Campo Vetor Unidade - *Unit Vector Field*) [10], pois, dentre os diversos tipos de navegações estudadas e testadas, foi a que apresentou melhor eficiência devido à sua resposta mais rápida e precisa para as trajetetórias que possuíam curvas mais acentuadas. A Figura 12 demonstra o funcionamento do UVF.

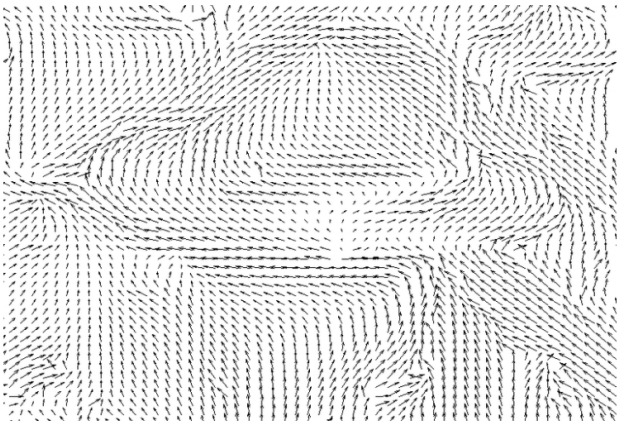


Fig. 12. Plotagem de sistema UVF feita através do *software* MatLab [10]

Buscando manter a estabilidade e a constância da trajetória do rôbo, utilizou-se dois tipos de controle PID (Proporcional Integral Derivativo), um via software, configurado pelo código da inteligência usando a angulação do robô como erro, e outro via firmware, através da leitura do encoder que permite verificar as rotações do motor e compará-las com a quantidade ideal.

Unindo o controle PID ao sistema UVF o comportamento do robô no campo fica mais fluido, permitindo o aumento significativo da velocidade sem prejudicar a navegação, mantendo assim a intregridade dos movimentos executados durante uma partida, dessa forma é possível ter mais posse de bola e marcar mais gols, desviando dos openentes (obstaculos) com o UVF e seguindo o trajeto da maneira mais precisa possível com o PID.

VI. Testes e resultados

Para validar seu desempenho em função dos estudos realizados, a equipe participa de algumas competições tanto no âmbito nacional, quanto no latino americano, nas quais submete os robôs aos mais diversos cenários de jogo, colocando-os à prova.

As competições são: a *Inatel Robotics National Cup* (IRONCup), promovida pelo Inatel, a *Latin American Robotics Competition* (LARC), realizada juntamente com a CBR (Competição Brasileira de Robótica) e a *Winter Challenge*, promovida pela Robocore.

A RobotBulls está presente nas competições desde a LARC 2015, na cidade de Uberlânia/MG. A partir da edição de 2016, em Recife/PE a equipe conseguiu resultados positivos em sua pesquisa e se tornou conhecida ao encerrar a competição como vice-campeã. Em2017,a LARC aconteceu em Curitiba/PR e a equipe foi consagrada campeã invicta. Já em 2018, a RobotBulls se manteve entre os melhores times, porém, dessa vez conquistando o vice-campeonato, o que motivou o time a intensificar as pesquisas e se superar para, no ultimo ano em Rio Grande/RS, conquistar o topo do pódio pela segunda vez.

Nas outras duas competições a equipe também é destaque, sendo campeã invicta da IRONCup em 2018, vice-campeã na edição de 2019 e voltando ao topo em 2020. Além da conquista do primeiro lugar na Winter Challenge em 2018.

VII. Conclusão

Pode-se concluir, portanto, que os estudos têm sido bem aproveitados e estão trazendo resultados muito positivos para a equipe, porém ainda existem diversas possibilidades de melhoria, nas quais é possível aplicar os conhecimentos adquiridos nesse trabalho, bem como as experiênias vivenciadas com outras equipes nas competições citadas anteriormente. Com os resultados obtidos, por meio dos experimentos práticos nos jogos durante as competições, é evidente que as metas vêm sendo alcançadas e os estudos aplicados foram de extrema relevância. Para os próximos meses tem-se o interesse em aperfeiçooar o time e até mesmo criar um novo, visando a participação na categoria 5 contra 5 e a conquista do primeiro lugar em todas as oportunidades.

Referências

[1] *Página da web da equipe de robótica do Inatel – RobotBulls.* URL: inatel.br/robotica (acesso em 10/03/2020).

[2] IEEE. *Very Small Size Soccer (VSSS) Rules*. URL: http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2009_ptbr.pdf (acesso em 10/06/2019).

[3] STMicroelectronics. *ST1S41*. URL: https://www.st.com/en/power-management/st1s41.html (acesso em 22/04/2019).

[4] STMicroelectronics. *STM32WB55CE*. URL: https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32wb55ce.html (acesso em 27/04/2019).

[5] Maxon Group. *Encoder ENX 10 QUAD, 1 CPT*. URL: https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/sensor/encoder/ENX/ENX10QUAD/ENX10QUAD01 (acesso em 22/04/2019).

[6] Maxon Group. *DC-max 22 S Ø22 mm, graphite brushes, sintered bearings*. URL: https://www.maxongroup.com/maxon/view/product/motor/dcmotor/DC-max/DC-max22/DC-MAX22S01GBSL529 (acesso em 19/04/2019).

[7] MoldFlex. *POLY 74-20 - BORRACHA DE POLIURETANO*. URL: https://www.moldflexmodelagem.com/poliuretano/poly-74-20 (acesso em 28/08/2019).

[8] VSS-SDK. *Um projeto opensource que auxilia equipes na construção de times de futebol de robôs*. URL: https://github.com/VSS-SDK/VSS-SDK (acesso em 18/05/2019).

[9] M. Colledanchise. *Behavior Trees in Robotics and AI*. 1st. 2015.

[10] Khan Academy. *Vector Fields*. URL: https://www.khanacademy.org/math/multivariable-calculus/thinking-about-multivariable-function/ways-to-represent-multivariable-functions/a/vector-fields (acesso em 19/02/2019).

Development of 2D and 3D Game Assets to be Used in an Educational Game

Luciano Matheus Corrêa, Gabriel Pivoto Ambrósio, Katia Esper Izar Verniano e Renzo Paranaíba Mesquita
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
luciano.correa@gec.inatel.br, gabrielpivoto@gec.inatel.br, katiaesper@gmail.com, renzo@inatel.br

***Abstract*— The process of learning has been passing through a lot of changes. New ways of teaching are being developed, making it more efficient and interactive, all thanks to technology. Students and teachers can use new tools and resources to accomplish tasks and do scientific activities. Therefore, these tools need to be imersive, and that is the case of 3D games. Since this game type is closer to the real world, it is easier to keep the attention of the player while he learns, without removing his focus. This article reports on the modeling of 3D assets that will be used in an educational mobile game, that aims to help kids with Autism Spectrum Disorder (ASD) in the process of learning new words.**

***Index Terms*— 3D Modeling, Educational Game, Serious Games, Blender.**

I. Introduction

Technology has changed the way people live, and more, it has also changed the way people learn. Thanks to technology, now it is possible to accomplish tasks that once were difficult or even impossible to reach. With its advance, new tools and resources are been developed, and they can make the learning process more efficient, dynamic and interactive. Students can discover areas of interest and explore new content that would take ages using only books. Furthermore, with the use of internet, people have access to a huge amount of information, wherever they want. Not only students, but teachers also have benefits using technology. There are resources such as projectors, computer softwares and other tools they can use to make their classes more interactive, enjoyable and keep the attention of the students. People minds work faster using technological resources, and if they are properly used, the educational process can be potentialized [1].

However, not everyone can properly enjoy technology due to the lack of softwares for them. That is the case of people with ASD. According to the United Nations (UN), in a global scale, 1 percent of the world population have ASD. In counterpart, World Health Organization (WHO), says that 1 in 160 kids have autism. For these kind of people, especially kids, assistive technologies could enhance not only their learning skills, but also their behaviour, communication and social skills [2].

Nonetheless, these assistive technologies need to be immersive, in order to keep the attention of the player, and easy to access. In this context, one technology that stands among the others, and can even be the best of them, are serious 3D games. Once playing a 3D game, the player gets engaged with its environment and context, being exposed to the target language the game aims to help with, increasing the motivation of the player to communicate [3]. However, modelling 3D objects to use in a game is not a simple task. The modeled objects need to be proportional, in order to give the player a real world impression, and also fit in the game context. What is more, 3D objects have a computational cost, directly proportional to its number of faces and edges. It means that, objects need to be modeled to keep the game soft and fluid.

Once verified the 3D games potential in the learning process, this article reports on the development of 3D objects and assets to be used in a serious game that aims to help austistic children in the process of literacy. The modeling of each asset, such as the scenario and its elements, the main character, the obstacles and the importance of them in the game are described in the following topics.

The remainder of this paper is organized as follows: section II provides a summary of related works that also presented important 3D games focused in education. Section III highlights individual details of important tools and techniques that were used in this work in order to create the proposed solution. Section IV presents details of how these tools and techniques were integrated in order to model the referred assets. Finally, in section V, a summary of authors conclusions and lessons learned are presented.

II. Related Works

Some authors have already addressed the problem of children learning disorders and proposed some solutions to work over this issue in a different and ludic way, for example, making use of electronic games.

For example, the work developed by Ali et al. is a 3D environment to simulate a classroom, aiming to help kids with attention disorders. During the game, it is necessary to accomplish different tasks on the board without losing the focus when a distraction happens, like kids running and waving or a paper planing across the board. As a result, the game was tested and some kids improved their attention after playing the game repeatedly [4]. Figure 1 illustrates the idea of this game.

Following this reasoning, Silva et al. also presented a work targeting people with learning disorders, and more specifically, people with ASD. They proposed a 3D game called Knowledgemon Hunter. The game consists on a mobile 3D environment, where the player can capture monsters to know their information. Each monster will present a different kind

Fig. 1. Game 3D classroom environment proposed by Ali et al.

of information, that can be managed by the kids parents. The game interface shows the avatar of the player and three buttons: the first is a menu where it is possible to see the already collected monsters and their respective information, the second let the player see witch monsters are nearby and the third allows to chat with other players. As a conclusion, the authors say that the game remove autistic kids from isolation, since they need to walk and capture monsters. What is more, they improve their communication, once the player is allowed to chat with other players. The game is in development phase and they aim to test it with real players in the future [5]. Figure 2 illustrates an idea of the game.

Fig. 2. Knowledgemon Hunter game

It is also possible to highlight the work of Young et al. It was developed a 3D game called ARmatika, that aims to help kids who have difficulties at learning mathematics. In the game, the player can choose one of ten classes to play, each one of them composed of several levels that contains ten questions. In order to answer the questions, the player can move the character to the monster with the right answer and attack it. The game questions are simple, and the player will need to fill the blanks in a series or solve basic operations. The authors concluded that the game increased the motivation of the player to learn the factors associated with competitions, awards and penalties [6]. Figure 3 illustrates the idea of the game.

Fig. 3. ARmatika

III. Used Development Technologies

In order to create the proposed assets, some specific and important tools were used. These tools are briefly discussed in the following subtopics.

A. *Adobe Photoshop*

Adobe Photoshop [7] is a paid software for editing two-dimensional images and available for Microsoft Windows, Mac OS X and mobile devices (Adobe Photoshop Express). Developed and published by Adobe Systems, it is considered the market leader in professional image editors. The program was launched in 1990 for Mac OS and was intended to be a professional tool for image manipulation.

The program has numerous tools for various types of work, from a simple digital drawing to a complex manipulation of an image. Among these resources, it is worth mentioning some, such as the immense variety of brushes, where in addition to the standard brushes, the user can find numerous others available on the Internet, such as oil paint brushes or brushes that imitate textures of fabrics or rocks; vector drawing tools; layer system, which allows the overlapping or grouping of images; the ease in manipulating texts, where the user can write whatever he needs and edit as he wishes; among many other functions available for the desired purpose.

For the creation of the artworks (illustrations) of this project, it was used Photoshop CS6 version.

B. Blender

Blender [8] is an open source software for 3D modeling available for Microsoft Windows, Mac OS X and Linux. Developed and published by the Blender Foundation, it is considered one of the best software for 3D modeling in the market.

In addition to 3D modeling, the program has several other tools and resources available to users such as animation, texturing, compositing, rendering and video editing. Applications such as games, movies, presentations and others can easily make use of elements available in this tool.

For the creation of the 3D models of this project, it was used Blender version 2.79.

IV. Developed Game Assets

After some meetings and discussions with the team, it was accorded that the game will follow an Infinite/Endless Runner genre. This kind of game is characterized to be linear and the player must avoid obstacles as they continuously scroll onto the screen, with the simple objective of not crashing into anything for as long as possible. This genre has several famous games such as Temple Run, Subway Surfers and Sonic Dash.

In this game, the player plays the role of Max, a boy who is always cheerful, curious and interested about learning new things. For this reason, his conscience begins to act, but in a more intuitive way, where two characters are presented, Foco (the thunder), which represents the willpower of Max, and Cuca Fresca (the cloud), which represents his lazy side. So, Max decides to embark on new adventures with his two new friends in order to learn new stuff. Although Max will be able to experience new adventures in the future, in this game in particular the player needs to control him in a waterfall rapids with the aim of avoiding obstacles and mainly assembling words with the syllables that appear along the way.

Any game needs elements to compose it, ranging from decoration on the stage to the main character himself. These elements have a name widely used by developers, they call it assets. This feature is nothing more than all the game content that was not made by the programmers, but by 3D designers and modelers. The assets can be textures, maps, sprites, characters, etc.

Modeling a 3D object is not as simple as it may appear. It is necessary to always be attentive and take several precautions with the objects proportions. The modeler must always be attentive. An arm or a leg, for example, cannot be larger than the other or with a size that do not correspond to what it should be. Moreover, the modeler must be aware of the number of faces and vertices of the objects. If it does not receive attention, it can cause serious processing problems. A good strategy is produce models with a smaller number of faces (known as Low Poly objects), in order to reduce the processing time.

Several assets were originally created to be implemented in the future proposed game. They can be divided into four categories that are presented in the following subsections.

A. Main Character

Starting with the main character of the game. Before starting its modeling, several sketches were made, both for the creation of the character as well as to create your model sheet. 2D drawings of the character in various angles were made to be used as a guide and assisting the 3D modeling process.

After having the model ready, its textures were created, separating each specific mesh in Blender and using Adobe Photoshop to paint each part, such as clothes for example. As it is a game in which the player needs to cross a river, after the completion of the character, a canoe was created to serve as a vehicle. Figure 1 and Figure 2 shows the solo character and him sitting in his canoe, respectively.

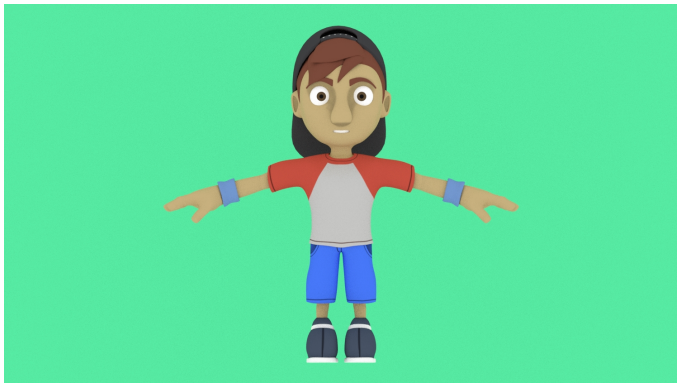


Fig. 4. Main character

Fig. 5. Main character on the boat

B. Scenario

Unlike the main character, the model of the map and the trees were created using the low poly technique to make the game more optimized. Finally, the objects had their textures created and developed in Adobe Photoshop. Figure 6 shows the map and Figure 7 the modeled tree.

In the center of the map comes a river, but due to the complexity to create water element in 3D games, it will be necessary to use a resource widely used by other developers, i.e, download it from the Unity's asset store.

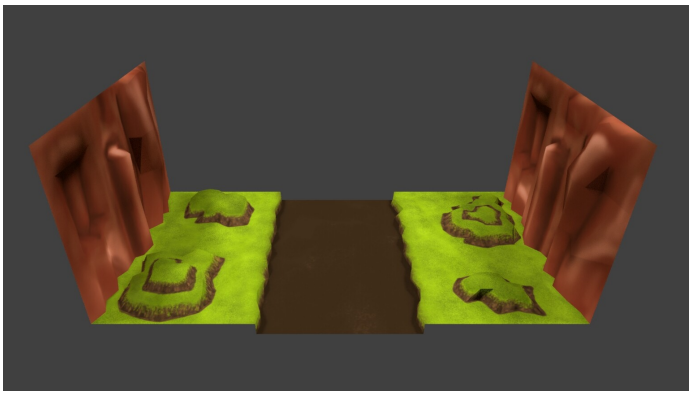


Fig. 6. 3D low poly scenario

Fig. 7. 3D low poly tree

C. Obstacles

The latest models developed were obstacles, which appear throughout the game. Its development was similar to all the others, and like the map and the trees, these models were also modeled in low poly and had their textures more detailed. Thus, three different obstacles were created, namely a fish, a branch and a stone, which are shown in Figure 8.

D. Artwork

Finally, after modeling all the 3D objects, 2D artworks were also created to compose the game in order to contextualize the game history to the children. Tell histories and involve the player on it through the game can hold the attention of the player [9]. Figure 9 depicts one of the 2D artworks created to the game.

V. Conclusions

It is well known that games not only entertain, but are also a potential tool to practice any kind of content. Besides being more attractive than the old methods of teaching, serious games can offer an immersive experience that keep players exposed to information while they have fun.

3D characters and assets give a real world impression, making a kid feel free to explore its environment and learn at the same time. Besides, interacting with 3D objects and other characters is a great method of training social skills,

Fig. 8. 3D low poly obstacles

Fig. 9. Original game artwork illustration to be used at the beggining of the game

enhancing the willingness of the kids to communicate with his teachers and parents about his feelings and thoughts.

Although the models were successfully completed and had satisfactory results, during their development process, some difficulties were experienced. Creating the model sheet of the main character required extra work once it is not easy to keep different human body proportions. Another challenge was the complexity in keeping the models with few polygons, thus, always needing to be aware of the number of faces during the modeling process. Some objects needed to be recreated in order to save polygons as much as possible but without losing its good appearance and representation.

However, modeling the 3D assets was only a part of the

whole project. Aiming to help kids with learning disorders, as future work, the objects will be used to develop the mechanics of a 3D game to help kids in the literacy process, trying to make they feel more comfortable and confident while learning.

REFERENCES

[1] R. Raja and P. Nagasubramani, "Impact of modern technology in education," *Journal of Applied and Advanced Research*, vol. 3, p. 33, 05 2018.

[2] F. P. Júnior, "Quantos autista há no brasil?," 2019. Available in `https://www.revistaautismo.com.br/nao-categorizado/quantos-autistas-ha-no-brasil/`. Accessed in Fev/20.

[3] H. Reinders, *Digital Games and Second Language Learning*, pp. 329–343. 01 2017.

[4] A. Ali and S. Puthusserypady, "A 3d learning playground for potential attention training in ADHD: A brain computer interface approach," in *2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, IEEE, Aug. 2015.

[5] S. D. Silva, F. M. M. Neto, R. M. de Lima, F. T. de Macedo, J. R. S. Santo, and W. L. N. Silva, "Knowledgemon hunter: A serious game with geolocation to support learning of children with autism and learning difficulties," in *2017 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, IEEE, Nov. 2017.

[6] J. C. Young, M. B. Kristanda, and S. Hansun, "ARmatika: 3d game for arithmetic learning with augmented reality technology," in *2016 International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, IEEE, 2016.

[7] A. Systems, "Adobe photoshop." Available in `https://www.adobe.com/br/products/photoshop.html`. Accessed in Jan/20.

[8] B. Foundation, "Blender." Available in `https://www.blender.org/`. Accessed in Jan/20.

[9] C. Prandi, S. Mirri, P. Salomoni, and E. Mazzoni, "MecWilly in your pocket: On evaluating a mobile serious game for kids," in *2016 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, IEEE, June 2016.

Detecção Online de Distúrbios de Qualidade de Energia Elétrica Utilizando Redes Neuro-Fuzzy Evolutivas

Danielle Abreu Fortunato, Márcio Wladimir Santana, Israel Teodoro Mendes
Departamento de Elétrica - DENEP
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG
danielle.afortunato@gmail.com.br, marciosantana@cefetmg.br, israelt@cefetmg.br

Abstract – Power quality disturbances can occur in various parts of the damaged Power system. For this reason, automatic, detection of disturbances with high level of accuracy low computation cost is of fundamental imortance. They Will be considered as evolving neuro-fuzzy networks, they areadaptive processing systems inspired by the information processing characteristics of their structure and updating their parameters according to a data flow. Accept your learning process, as the evolving neuro-fuzzy can be suitable for changes that occur in a system. A proposal for a neuro-fuzzy network is a eGNN evolving granular neural network. In the pré-processing step of the input data, the Hodrick and Prescott filter Will be considered, which divides or input signal into the trend componente and cryclical component and eliminates or noise present in the signal. Detection os disturbances was achieved with mean accuracy of 98%.

***Index-terms* – Granular neural networks, disturbances, power quality.**

***Resumo* – Distúrbios de qualidade de energia elétrica podem ocorrer em várias partes do sistema de energia podem causar prejuízos financeiros. Por isso, é de fundamental importância a detecção automática destes distúrbios com alto nível de acurácia e baixo custo computacional. São consideradas as redes neuro-fuzzy evolutivas as quais são redes capazes de adaptar continuamente sua estrutura e atualizar seus parâmetros de acordo com um fluxo de dados. Devido seu processo de aprendizagem, as redes neuro-fuzzy evolutivas podem adaptar-se às variações que ocorrem em um sistema, evoluindo continuamente ao longo do tempo. A rede neuro-fuzzy proposta é a eGNN (evolving Granular Neural Networks). Na etapa de pré-processamento dos dados de entrada será considerado o filtro de Hodrick e Prescott, que divide o sinal de entrada em componente de tendência e componente cíclica e elimina o ruído presente no sinal. A detecção de distúrbios foi alcançada com acurácia média de 98%.**

***Palavras-chave* – Redes neurais granulares, distúrbios, qualidade de energia elétrica.**

I. INTRODUÇÃO

Atualmente a qualidade da energia elétrica é um requisito de grande importância para as concessionárias de energia, pois está diretamente relacionada à competitividade em praticamente todos os setores industriais e de serviços. Sobretudo nas últimas duas décadas ocorrem várias mudanças no setor elétrico, tais como a alteração da natureza das cargas, diversificação dos tipos de cargas, e o surgimento de novas tecnologias de geração e inserção de energia na rede elétrica. Assim, tais alterações afetaram de forma negativa a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) promovendo o aumento dos estudos relacionados a essa área e a busca por qualidade passou a ser preocupação não apenas de órgão reguladores, mas também de consumidores e agentes diversificados do setor elétrico nacional. Um exemplo que evidencia tais mudanças citadas é o uso de Geração Distribuída (GD), onde a geração de energia elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores independente da potência, tecnologia e fonte de energia [1].

É importante considerar o aumento das *smart grids* (redes inteligentes de energia) no sistema elétrico, que são uma nova arquitetura de distribuição de energia elétrica, mais segura e inteligente, que integra e possibilita ações a todos os usuários a ela conectados. Assim, a energia tradicionalmente gerada, transmitida e distribuída de forma radial, a partir de instalações das concessionárias, poderá, também, ser gerada e integrada às redes elétricas a partir de unidades consumidoras. Com base neste novo conceito de geração e consumo de energia elétrica podem, surgir distúrbios de QEE não previstos. Modelos de detecção e classificação evolutivos são capazes de identificar novos distúrbios, pois sua base de regras ou estrutura conexionista evolui de acordo com o fluxo de dados [2]-[3]-[4].

O objetivo deste trabalho é realizar a detecção automática de distúrbios de qualidade de energia elétrica presentes em sistemas elétricos de potência utilizando sistemas computacionais inteligentes, sendo que esses distúrbios podem ocorrer em várias partes do sistema de energia causando prejuízos financeiros tanto às concessionárias fornecedoras de energia quanto para os seus consumidores. Apresentando assim, uma rede *neuro-fuzzy* eGNN como proposta de solução para o problema de detecção de distúrbios em sinais de tensão. A detecção deve acontecer em modo *online* e em tempo real,

ou seja, os dados pré-processados são enviados diretamente à rede *neuro-fuzzy*. São abordados os seguintes distúrbios neste trabalho: harmônicos, interrupção-curta, afundamento de tensão (*sag)*, elevação de tensão (*swell*) e transitório oscilatório.

II. MATERIAL E MÉTODOS

A. Filtro Hodrick e Prescott

Hodrick e Prescott propuseram um método, um filtro, conhecido pelas iniciais de seus nomes (HP). A proposta do filtro é decompor o sinal em suas componentes de tendência e cíclica/aleatória. Em essência, removem-se as flutuações de baixa frequência dos sinais ou séries. A hipótese é de que, nessa separação, a variabilidade de baixa frequência representa a tendência em prazo mais longo e a variabilidade de frequência mais alta representa os ciclos mais curtos e/ou aleatórios [2].

Atributos extraídos dos sinais decompostos são importantes na distinção entre diferentes tipos de distúrbios. Em um sinal temporal, a componente de tendência é a mudança gradual observada, por meio da variação dos valores de amplitude, ao longo do tempo e que se mantém ao se remover os componentes de ciclos, sazonalidades e fatores aleatórios. O filtro HP busca extrair a tendência, que é considerada estocástica, mas com variações suaves, ao longo do tempo e não correlacionadas com o ciclo, por meio da minimização com respeito a τ_t da expressão (1):

$$j = min \sum_{t=1}^{T} C_t{}^2 + \lambda \sum_{t=3}^{T} (\Delta^2 \tau_t)^2 \qquad (1)$$

em que $c_t \triangleq y_t - \tau_t$ e $\Delta^2 = (1-L)^2$, com L sendo o operador de defasagens, por exemplo $Lx_t = x_{t-1}$.

Na equação (1), T é a quantidade de amostras de dados em questão, e λ é um parâmetro que penaliza a variabilidade da tendência. O parâmetro λ é o parâmetro de suavidade com o qual se controla a aceleração da componente de tendência, isto é, as variações na taxa de crescimento da componente de tendência. O primeiro termo da equação (1) é a soma dos desvios da série com respeito à tendência ao quadrado e é uma medida do grau de ajuste. O segundo termo é a soma de quadrados das segundas diferenças das componentes de tendência e é uma medida do grau de suavidade.

B. Raiz do Valor Quadrático Médio

O valor RMS (*root mean square*) ou valor eficaz é uma medida da magnitude de uma quantidade variável. O valor pode ser calculado para uma série de valores discretos ou para uma função contínua. O valor eficaz da tensão de um sinal elétrico é um atributo eficiente para detecção de distúrbios, em especial daqueles que geram variações consideráveis na amplitude do sinal, como afundamento/elevação de tensão, e interrupções. O valor eficaz de um sinal x para uma coleção de N valores $\{x_1, x_2, ..., x_N\}$ é dado pela equação (2):

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x(i)^2}, \qquad (2)$$

onde N é o número de amostras.

Para uma função variável contínua, $f(t)$, definida no intervalo $T1 \leq t \leq T2$, o valor RMS de um sinal x é dado pela equação (3):

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2} [f(t)]^2 dt}. \qquad (3)$$

C. Redes Neurais Granulares Evolutivas

O conceito de redes neurais granulares (GNN) foi inicialmente estabelecido em [5], a partir do qual foram propostas outras abordagens, dentre elas a eGNN em [6]. Ambas as abordagens enfatizam redes neurais artificiais capazes de processar dados originalmente numéricos ou granulares. Entretanto, eGNN focaliza aprendizagem incremental on-line a partir de fluxo de dados. A aprendizagem em GNN e eGNN segue um princípio comum que envolve dois estágios conforme ilustrado na Figura 1. Primeiro, grânulos de informação – intervalos ou conjuntos fuzzy – são construídos a partir de uma base de representação numérica. Em seguida, a aprendizagem – construção e refinamento – da rede neural é baseada nos grânulos de informação ao invés de nos dados originais. Assim, a rede neural não é exposta a todos os dados de treinamento, muito mais numerosos que os grânulos, por exemplo, quando não transportando novas informações, exemplos são descartados.

Fig.1. Projetos de Redes neurais Granulares.

Fundamentalmente, modelos eGNN processam dados observando um fluxo somente uma vez. eGNN começa a aprender a partir de uma base de regras vazia e sem conhecimento prévio das propriedades estatísticas dos dados e classes. A abordagem consiste em formar limites discriminantes entre classes a partir da granulação do espaço característico usando hiper-caixas *fuzzy.*

A escolha dos parâmetros iniciais de modelos é crucial na obtenção de soluções. Esta questão é de certa forma facilitada se os algoritmos de aprendizagem contemplam mecanismos que adaptam continuamente os parâmetros. O tamanho máximo ρ que um grânulo pode assumir no espaço de atributos define a capacidade do modelo em capturar limites discriminantes não-lineares entre classes.

Um procedimento para adaptar ρ continuamente é proposto a seguir: primeiro considere que $\{\gamma^1,...,\gamma^\Theta\}$ sejam os grânulos criados após um certo número de passos de processamento

HG. Se a quantidade de grânulos Θ cresce a uma taxa maior que um limiar η, então ρ é aumentado como na expressão (4):

$$\rho(novo) = \left(1 + \frac{\Theta}{HG}\right)\rho(velho) \quad (4)$$

Ao contrário, se Θ cresce a um taxa menor que η, então o ρ é diminuído como na expressão (5):

$$\rho(novo) = \left(1 + \frac{(\eta - \Theta)}{HG}\right)\rho(velho) \quad (5)$$

O valor de *ρ(novo)* é mantido constante nos próximos passos.

Redes eGNN aprendem a partir de um fluxo de dados $x^{[h]}$, $h = 1,2,....$ Os exemplos de treinamento podem ou não ser acompanhados de um rótulo de classe $C^{[h]}$. Cada grânulo de informação γ^i da coleção finita dos grânulos existentes $\gamma = \{\gamma^1,...,\gamma^c\}$, definido no espaço de atributos $X \subseteq R^n$, é associado a uma classe C_k da coleção finita de classes $C = \{C_1,...,C_m\}$ no espaço de saída $Y \subseteq N$. eGNN associa os espaços de atributos e de saída usando grânulos extraídos do fluxo de dados e uma camada de neurônios T-S.

A rede neural tem uma estrutura em cinco camadas, como ilustra a Figura 2. A rede *neuro-fuzzy* foi implementada no software MatLab® 2014 (uso acadêmico individual). São três parâmetros de entrada para cada distúrbio.

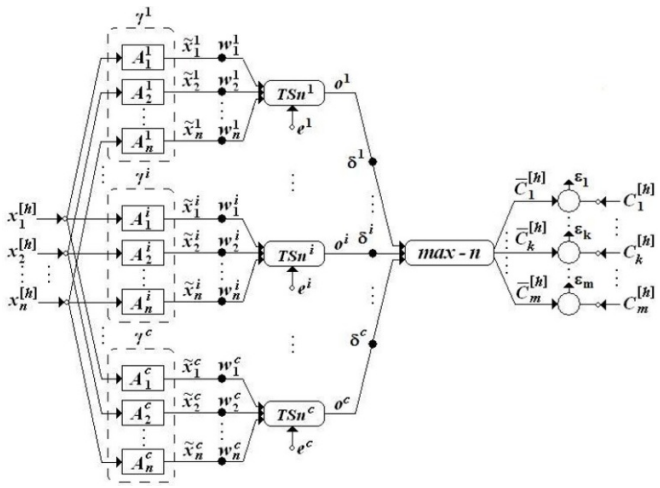


Fig.2. Topologia da rede *neuro-fuzzy* utilizada.

A camada de entrada apresenta vetores característicos $x^{[h]} = (x^1,...,x^j,...,x^n)^{[h]}$, $h = 1,...$, à rede neural; a camada granular consiste de um conjunto de grânulos γ^i $\forall i$ formado como um escopo do fluxo de dados. Sobreposição parcial de grânulos são permitidas; a camada de agregação contém os neurônios T-S, TSn^i $\forall i$. Eles agregam graus de pertinência para gerar medidas de compatibilidade o^i $\forall i$ entre exemplo e grânulos; na camada de decisão, as medidas de compatibilidade são comparadas e a classe $\bar{C}_k$ associada ao grânulo γ^i que apresentou a maior compatibilidade para um dado exemplo é induzida na saída da rede; a camada de saída compreende indicadores de rótulos de classes. Todas as camadas, exceto a camada de entrada, evoluem dado o fluxo $x^{[h]}$, $h = 1,2,....$ A adaptação paramétrica e estrutural do classificador eGNN pode ser realizada de diferentes maneiras dependendo da da aplicação, isto é, o número de classes pode ser automaticamente controlado quando tem-se esta informação de antemão. O número de grânulos na estrutura do modelo pode também ser limitado se memória e tempo de processamento são restrições. Em ambientes desconhecidos ambos, o número de grânulos e classes, podem ser automaticamente controlados pelo algoritmo de aprendizagem [7].

III. METODOLOGIA

A. Obtenção de Sinais para Análise

As amostras necessárias para a análise do algoritmo foram artificialmente geradas pelo software MatLab® 2014 (uso acadêmico individual), de acordo com a regulamentação do IEEE [8]. Atributos dos sinais artificialmente gerados são compatíveis com a norma adotada no sistema elétrico brasileiro. A frequência de amostragem realizada foi de 15.360Hz. A taxa de amostragem de 256 amostras por ciclo foi inicialmente considerada baseando-se no Teorema da Amostragem de Nyquist® Shannon [9].

O ruído branco foi definido de modo que atenda a relação sinal-ruído (SNR - *signal-to-noise ratio*) desejada como mostra a expressão (6):

$$SNR = 20log\frac{A}{\sqrt{2\sigma}}[dB] \quad (6)$$

Na prática, sinais de tensão medidos nos sistemas elétricos possuem relação sinal ruído entre 50dB e 70dB [10]. Com a finalidade de analisar diferentes níveis de ruídos presentes no sinal, são utilizadas as relações sinal-ruído 20dB, 30dB, 40dB, 50dB, 60dB.

As características de cada evento de QEE, como amplitude e fase, são atribuídas de maneira aleatória em intervalos com distribuição uniforme. As amplitudes adotadas neste trabalho são normalizadas, ou seja, a tensão de pico nominal tem valor unitário. A fase é atribuída aleatoriamente, dentro do intervalo [-π; π] com distribuição uniforme. Foram gerados 6000 vetores de dados para cada valor de SNR, sendo 1000 eventos para cada classe e considerou-se dez ciclos da senóide como janela deslizante.

B. Sistema de Monitoramento

O monitoramento de distúrbios, em geral, compreende basicamente a obtenção de variáveis e a aplicação de um algoritmo que realize a detecção baseada nas variáveis escolhidas como indicadoras da existência de distúrbios. Neste trabalho a obtenção de variáveis indicadoras de distúrbios foi feita a partir dos resultados obtidos com o emprego do filtro HP, da variância e do valor eficaz. A construção do modelo detector foi realizada em modo *online* a partir de um fluxo de

dados. A construção e adaptação de detectores em modo *online* é uma clara contribuição do trabalho à área de QEE.

O esquema geral do sistema de monitoramento proposto neste trabalho é ilustrado pelo diagrama em blocos da Figura 3. O sinal a ser processado pelo classificador é o vetor "X" resultante do pré-processamento do sinal com distúrbio através filtro HP, variância dos sinais e do valor RMS.

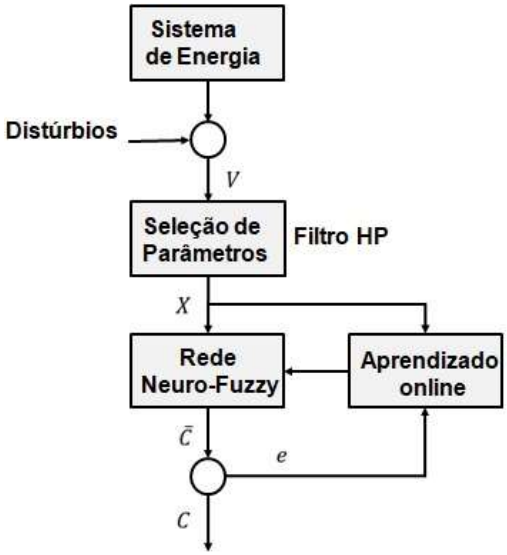


Fig.3. Sistema de monitoramento proposto.

C. Filtro Hodrick Prescott

O filtro Hodrick-Prescott é utilizado para separar o sinal elétrico em componente cíclica e de tendência, a fim de possibilitar a extração de características dos sinais. O filtro HP busca extrair a tendência do sinal, assim, o ruído presente no sinal (componente de alta frequência) é apresentado na componente cíclica, proporcionando análise livre de interferência do ruído quando se analisa a componente de tendência.

A análise de dados com base no filtro HP é amplamente utilizada em ciclos reais de negócios (macroeconomia), para extrair a tendência de sequências de dados como, por exemplo, dados de produto interno bruto e de ações. Mais raramente a análise HP é empregada, no contexto de previsão de séries temporais, em geral [2].

A Figura 4 apresenta um sinal elétrico particular, o qual possui frequência fundamental de 60Hz, relação sinal-ruído de 20dB e amplitude de 1pu. No entanto, está poluído com um distúrbio do tipo *spike*, proveniente de energização de fontes chaveadas, como fontes de computadores pessoais, e em chaveamento de cargas. Provocam a queima de placas de computadores e de rede, HD, fiação de rede e telefones.

Nota-se através da Figura 4 que o filtro HP decompôs o sinal original, em duas componentes: componente de tendência e componente cíclica. O ruído presente no sinal e o distúrbio *spike*, ambos componentes de alta frequência, apresentaram-se na componente cíclica. Enquanto o sinal livre de ruídos apresentou-se na componente de tendência, ou seja, o sinal de frequência fundamental em 60Hz sem distúrbio e sem ruído.

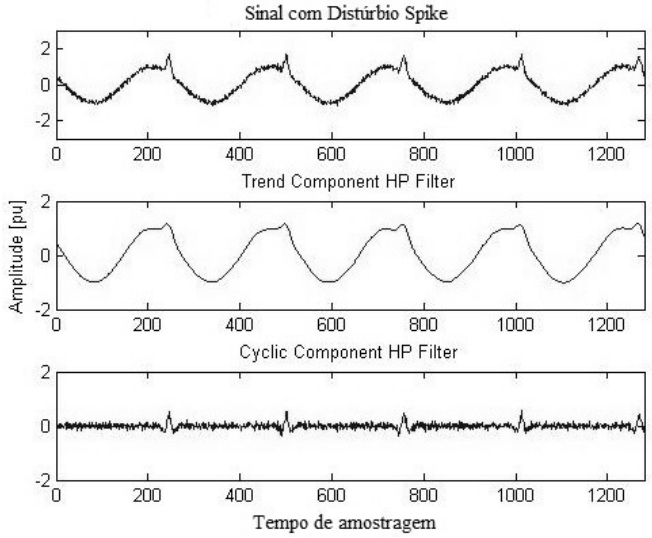


Fig.4. Filtro HP atuando em sinal com distúrbio *Spike*.

Os parâmetros selecionados através do filtro HP são descritos a seguir:

1. Vt – variância do sinal da componente de tendência;
2. Vrms – valor eficaz do sinal original;
3. Vmax – valor máximo do sinal original;
4. Vmin – valor mínimo do sinal original;
5. VrmsT – valor eficaz da componente de tendência;
6. VmaxT – valor máximo da componente de tendência;
7. VrmsC – valor eficaz do sinal da componente cíclica;
8. VmaxC – valor máximo da componente cíclica;
9. VminC – valor mínimo da componente cíclica.

IV. RESULTADO E DISCUSSÃO

A. Detecção de Distúrbios Elétricos

Neste item, é analisado o desempenho de detecção utilizando as redes *neuro-fuzzy*. Os sinais analisados contêm dez ciclos da senoide, a fim de se verificar a robustez do sistema. A relação sinal-ruído terá variação entre 20dB a 60dB. A detecção de distúrbios compreende basicamente a extração de parâmetros e a aplicação de um algoritmo que realize a detecção baseada nos parâmetros extraídos. O índice de desempenho, utilizado pelos modelos propostos, é calculado como se segue na equação (7) abaixo:

$$Acc = \frac{VP + VN}{VP + VN + FP + FN}.100\% \qquad (7)$$

onde, *Acc* é a acurácia; *VP* e *VN* são os verdadeiros positivos e verdadeiros negativos, respectivamente; *FP* e *FN* são os falsos positivos e falsos negativos, respectivamente.

A Tabela 1 resume o desempenho de detecção, para os distúrbios considerados neste trabalho, em virtude da relação sinal-ruído e do número de ciclos da senoide considerando a utilização da rede *neuro-fuzzy*.

TABELA 1
DESEMPENHO DE DETECÇÃO DE DISTÚRBIOS ELÉTRICOS (%)

Eventos	20dB	30dB	40dB	50dB	60db
Harmônico	99,70	98,40	100	99,90	99,90
Interrupção Curta	99,90	99,90	99,60	99,90	100
Swell	97,30	99,70	98,90	99,90	99,90
Sag	94,90	91,90	95,10	93,80	93,70
Transitório Oscilatório	99,10	100	99,80	99,80	99,90

Nota-se na Tabela 1 que os melhores resultados foram para o distúrbio harmônico, interrupção-curta, *swell* e Transitório oscilatório, totalizando uma média de 98%. Já para o distúrbio *sag*, o desempenho da rede foi em média de 93% para toda relação sinal-ruído, isto ocorre porque, se o afundamento for de muita intensidade, o distúrbio se confunde com uma interrupção curta e se o afundamento for de baixa intensidade, o distúrbio se confunde com um sinal sem distúrbio.

B. Matriz de Confusão

A matriz de confusão é um método de apresentação sintetizado que simplifica a análise do funcionamento classificador. Ela oferece uma medida efetiva ao mostrar o número de classificações corretas entre detecção ou não do distúrbio em um sinal. O nome deriva do fato de que ela torna mais fácil ver se o sistema está confundindo as classes. As entradas da matriz são representadas por $M(C_i, C_i)$, indicando o número de exemplos de N que são da classe C_i mas que foram classificados pela hipótese h como sendo da classe C_j como mostra a equação (8):

$$M(C_i, C_j) = \sum_{\{\forall (x,y) \in N : y = C_i\}} \|h(x) = C_j\| \qquad (8)$$

onde o número de acertos, para cada classe, localiza-se na diagonal principal $M(C_i, C_i)$ da matriz; os demais elementos $M(C_i, C_j)$, para $i \neq j$, representam erros na classificação. A matriz de confusão possibilita analisar a porcentagem de assiduidade das diversas amostras associadas a uma classe, assim como permite o entendimento e a quantificação das amostras classificadas de forma errada [11].

A Figura 5 apresenta as matrizes de confusão que são utilizadas para avaliar o índice de acertos para detecção do harmônico, interrupção-curta e *sag* com relação sinal 30dB, 10 ciclos de análise da senoide e 2000 amostras.

Percebe-se através da matriz de confusão para o distúrbio harmônico em (a), que houve confusão das amostras da classe 1 (distúrbio) com a classe 0 (sinal sem distúrbio), ou seja, 31 amostras foram classificadas erradas como sinal sem distúrbio. Entre a classe 0 e a classe 1 houve confusão de 1 amostra classificada errada como sendo sinal com distúrbio. Dessa forma, a rede neural obteve um desempenho total de 98,4% na detecção do distúrbio. Através da matriz de confusão para o distúrbio Interrupção-curta em (b), que houve confusão das amostras da classe 1 (distúrbio) com a classe 0 (sinal sem distúrbio), ou seja, 2 amostras foram classificadas erradas como sinal sem distúrbio. Entre a classe 0 e a classe 1 houve confusão de 1 amostra classificada errada como sendo sinal com distúrbio. Dessa forma, a rede neural obteve um desempenho total de 99,9% na detecção do distúrbio. Enquanto que para o distúrbio *Sag* em (c), que houve confusão das amostras da classe 1 (distúrbio) com a classe 0 (sinal sem distúrbio), ou seja, 14 amostras foram classificadas erradas como sinal sem distúrbio e 148 amostras foram classificadas erradas como sendo sinal com distúrbio, totalizando um desempenho de 91,9% na detecção de distúrbios.

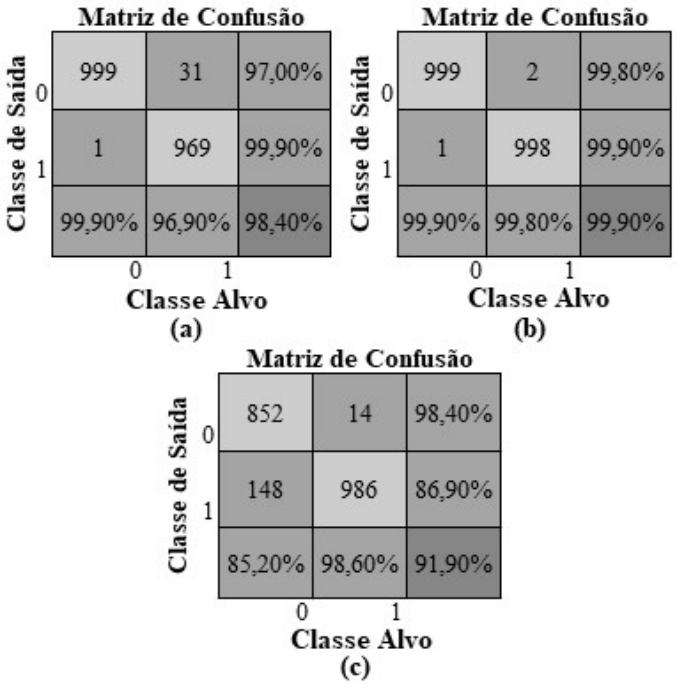


Fig.5. Matriz de confusão para (a) Harmônico (b)Interrupção-curta (c)*Sag* para 30db com 2000 amostras.

A Figura 6 apresenta as matrizes de confusão utilizadas para avaliar o índice de acertos para detecção dos distúrbios (d) *swell* e (e) transitório oscilatório com relação sinal-ruído de 20dB.

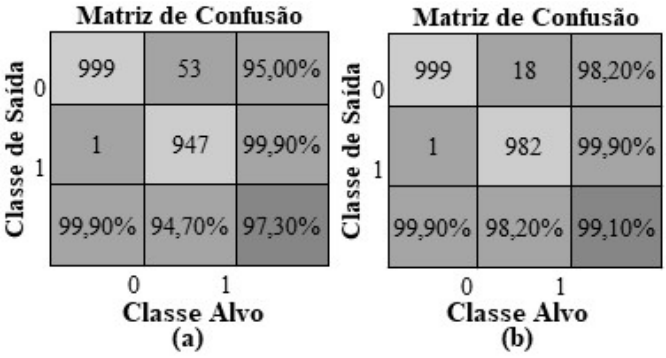


Fig.6. Matriz de confusão para (d) *Swell* e (e)Transitório Oscilatório de 20db com 2000 amostras.

Nota-se através da matriz de confusão para o distúrbio *swell* em (a), que houve confusão das amostras da classe 1 (distúrbio) com a classe 0 (sinal sem distúrbio), ou seja, 53 amostras foram classificadas erradas como sinal sem distúrbio. Entre a classe 0 e a classe 1 houve confusão de 1 amostra classificada errada como sendo sinal com distúrbio. Dessa forma, a rede neural obteve um desempenho total de 97,3% na detecção do distúrbio. Percebe-se através da matriz de

confusão para o distúrbio transitório oscilatório em (b), que houve confusão das amostras da classe 1 (distúrbio) com a classe 0 (sinal sem distúrbio), ou seja, 18 amostras foram classificadas erradas como sinal sem distúrbio. Entre a classe 0 e a classe 1 houve confusão de 1 amostra classificada errada como sendo sinal com distúrbio. Dessa forma, a rede neural obteve um desempenho total de 99,1% na detecção do distúrbio.

V. CONCLUSÃO

Diversos os tipos de distúrbios ocorrem no sistema de energia elétrica relacionados à qualidade da energia, os quais podem ser classificados em categorias que variam quanto ao efeito, duração e intensidade. É de suma importância que tais distúrbios, independentemente do fator causador ou grau de efeito sejam identificados e classificados para que medidas de correção sejam tomadas. Tais medidas são a ferramenta para melhoria contínua da qualidade de energia elétrica no sistema em análise.

A rede neural fuzzy granular evolutiva faz a detecção de dados em modo *online* e lida com mudanças de conceito eficientemente. O modelo proposto apresentou alto desempenho para baixo SNR, possibilitando a Análise eficiente com poucos ciclos da senóide e baixo custo computacional, ou seja, pouco tempo de processamento, enfatizando assim, a eficiência da etapa de pré-processamento.

Com base nos resultados obtidos, serão considerados para trabalhos futuros estudos para a melhoria da acurácia na detecção do distúrbio tipo *sag*, ainda na etapa de extração de parâmetros. E também realizar análise de detecção e classificação dos distúrbios abordados, como também de outros tipos de distúrbios de QEE não contemplados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE. "*A eficiência Energética e o Novo Modelo do setor Energético".* Relatório Técnico Rio de Janeiro, 2011.

[2] M. Santana., "Agrupamento Incremental de Fluxo de Dados para Análise e Monitoramento da Qualidade de Energia". 2017. 98 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

[3] Silva, S. et al. (2018). "Evolving neuro-fuzzy network for real-time high impedance fault detection and classification. Neural Computing and Applications". p. 1-14.

[4] Soares, E. et al. (2019). "Evolving Fuzzy Set-based and Cloud-based Unsupervised Classifiers for Spam Detection". IEEE Latin America Transactions, v. 17, n. 09, p. 1449-1457.

[5] W. Pedrycz; W. Vukovich. Granular Neural Networks. Neurocomputing, 36: 205-224, 2001.

[6] D. Leite; P. Costa Jr.; F. Gomide. Evolving Granular Classification Neural Networks. Int. Joint Conference on Neural Networks, 1: 1736-1743, 2009.

[7] D. Leite; P. Costa Jr.; F. Gomide. Granular Approach for Evolving System Modeling. Lecture Notes in Computer Science (to appear), 2010.

[8] IEEE "recommended practice for monitoring electric power quality". New York: IEEE, 2009. 91 p.

[9] NYQUIST, Harry. Certain topics in telegraph transmissiona theory. Proceedings of the IEEE, v. 90, n 2, p. 280-305, 2002.

[10] Josif. J. T, J.; Miograd. D. K and Vladimir. V. V, "*A new power system digital harmonic analyzer"*. IEEE Transactions on Power Delivery, New York, v. 22, n. 2, p. 772–780, Apr. 2007.

[11] TAN, P.-N. et AL, "Introduction to data mining". Noida: Pearson Education India, 2006. 165 p.

AUTORES

Danielle Abreu Fortunato é Graduanda do curso de Engenharia Elétrica, Bacharelado pelo Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais/Campus IX. Técnica em Eletrotécnica pelo Centro Federal De Educação Tecnológica De Minas Gerais/Campus IX (2013). Atuou como estagiária no setor administrativo de apoio à Coordenação de Administração e Diretoria do CEFET-MG Nepomuceno/campus IX no período de 2015-2017. Atua como estagiária na empresa Aviário Santo Antônio Ltda (ASA), auxiliando no gerenciamento da manutenção industrial, desenvolvendo habilidades para garantir os indicadores de desempenho dos equipamentos e na melhoria de boas práticas de fabricação.

Márcio Wladimir Santana possui graduação em Engenharia Elétrica (2001) pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL e Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação (2017) pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Doutorado em Engenharia Agrícola em andamento pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Atualmente é professor efetivo no CEFET/MG Unidade IX Nepomuceno-MG, lotado no Departamento de Elétrica - DENEP. Atualmente é coordenador do curso Técnico em Eletrotécnica, coordenador do Eixo Conversão de Energia do curso de graduação em Engenharia Elétrica.

Israel Teodoro Mendes é graduado em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações (2009) pelo Instituto Politécnico da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), e Mestre em Engenharia Elétrica (2013) pelo mesmo instituto. Doutor em Engenharia Agrícola / Instrumentação (2018) pelo programa de pós-graduação em engenharia Agrícola no "Centre for Development of Instrumentation Applied to Agriculture" da Universidade Federal de Lavras (UFLA), e desenvolve sua pesquisa na área de sensores inteligentes. Atualmente ocupa o cargo de chefe do departamento de Engenharia Elétrica na mesma unidade.

Softwares para o desenvolvimento visual da mídia: Uma pesquisa sobre ferramentas da computação gráfica e suas utilidades

João Pedro Machado Ferreira, Aguinaldo de Souza Júnior e Renzo Paranaíba Mesquita
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
joaoferreira@ges.inatel.br, aguinaldojunior@gec.inatel.br, renzo@inatel.br

***Abstract*— With the popularization of the computers and the internet, the Computer Graphics has emerged with the objective of 2D or 3D representation on a virtual field. Such technology developed itself in a huge scale in the last decades and originated various tools with multiple functions under the graphic spectrum. This paper aims to carry out a survey of the main tools used by graphic content producers in five different areas in order to serve as a reference point for those who want to get involved or learn more about one of these worlds.**

***Index Terms*— Graphic tools, Image Manipulation, Pixel Art, 3D modeling, Vector Graphics, Digital Painting**

***Resumo*— Com a popularização dos computadores e da internet, surgiu a Computação Gráfica com o objetivo de representar imagens 2D ou 3D num meio virtual. Tal tecnologia se desenvolveu em grande escala nas últimas décadas e deu origem a diversas ferramentas com múltiplas funções dentro do espectro gráfico. Este artigo tem como objetivo realizar um levantamento das principais ferramentas utilizadas por produtores de conteúdo gráfico em cinco diferentes áreas a fim de servir como ponto de referência para aqueles que queiram se inserir ou saber mais sobre um destes mundos.**

***Palavras chave*— Ferramentas gráficas, Manipulação de Imagens, Pixel Art, Modelagem 3D, Vetores gráficos, Pintura Digital.**

I. Introdução

A computação gráfica tem se tornado mais importante a cada dia. Tal sucesso se deve à importância da comunicação visual provida pela percepção humana, além do decrescente preço da manufatura dos dispositivos para computador. Esses fatores contribuem para a popularização do poder gráfico e torna os consumidores e produtores de conteúdo cada vez mais exigentes.

Por parte dos consumidores, esses que seriam jogadores de video game, espectadores de séries e filmes, leitores de gibis, usuários de interfaces ou qualquer pessoa que se utilize de um dispositivo com interação visual, há sempre a expectativa de receber um conteúdo de maior qualidade.

Já os produtores de conteúdo, precisam utilizar cada vez mais de ferramentas e técnicas mais avançadas para entregar resultados mais intuitivos e/ou estéticos aos consumidores. Hoje, por exemplo, filmes que fazem uso de recursos modernos de renderização e produção podem chegar a utilizar de tecnologia de tão alto nível que apresentam resultados quase indistinguíveis da realidade graças à evolução de aspectos gráficos como representação de materiais, simulação de luz, rasterização e vetorização de imagens.

Mas, para prover todo este conteúdo gráfico de qualidade, tanto por parte dos consumidores quanto por parte dos produtores de conteúdo, ferramentas gráficas específicas e poderosas precisam de ser usadas nos bastidores para atenderem às expectativas. Este artigo tem como objetivo fazer um levantamento das principais ferramentas do mercado da computação gráfica que estejam presentes dentro das seguintes áreas: Manipulação de Imagens, Pixel Art, Modelagem 3D, Vetores Gráficos e Pintura Digital. A intenção é que o mesmo sirva de ponto de referência tanto para iniciantes quanto veteranos que queiram saber mais sobre cada uma destas áreas e suas principais ferramentas disponíveis para uso.

A seguir este artigo está organizado da seguinte forma: a seção II explica de forma breve e objetiva do que se trata cada uma das cinco áreas abordadas neste artigo e presentes dentro da computação gráfica. A seção III apresenta as principais ferramentas usadas em cada uma delas destacando suas principais características. Por fim, na seção IV, são apresentadas as conclusões dos autores.

II. Recursos Gráficos

Dentre todos os recursos que podem ser utilizados para o desenvolvimento de artes digitais, foram categorizados cinco neste artigo por serem largamente utilizados por profissionais desta área. São eles: a Manipulação de Imagens Digitais, Pixel Art, Modelagem 3D, Vetores Gráficos e Pintura Digital. Este tópico fará uma breve revisão conceitual de cada um destes recursos e suas principais características.

A. Manipulação de Imagens Digitais

A Manipulação de Imagens, mais utilizada como método para se editar fotos, nada mais é que a utilização de ferramentas de *software* para alterar a representação original de uma imagem a fim de criar uma nova interpretação. Fotos são utilizadas em todos os campos da arte, seja direta ou indiretamente, tendo como exemplo imagens promocionais, texturização de figuras 3D modeladas em ambiente virtual, o *Photobashing* no campo da Pintura Digital, conforme ilustrado pela Figura 1, e o resultado mais conhecido, a alteração direta de fotos para a indústria, ilustrado pela Figura 2.

Fig. 1. Arte feita com *Photobashing*, por John J. Park

Fig. 2. Manipulação direta de fotos (Fonte: Zanuara.com)

Em casos como o *Photobashing* e a textura para modelos tridimensionais, o principal intuito é a agilização do processo da pintura, assim sendo utilizado largamente na indústria do cinema e dos games, para o desenvolvimento rápido de *concept art*, modelos 3D e estilização. Quando utilizada diretamente em imagens, é normal que a intenção seja a correção de falhas, sejam elas originárias da máquina fotográfica, dos modelos fotografados ou do próprio fotógrafo.

A maior dificuldade com relação à alteração de imagens é sua viabilidade em dadas situações específicas, ou seja, a não ser que o editor tenha a possibilidade de tirar as próprias fotos, ele deve atentar-se a diversos fatores como luz, sombra e proporções quando se junta diversos elementos numa imagem. Em casos controlados, onde, por exemplo, uma pintura digital é produzida a partir de uma foto, seu desenvolvimento torna-se mais viável, tendo em vista que o artista depende apenas dos elementos da imagem escolhida, mas onde há mais de um elemento fotográfico é necessário maior cuidado e atenção para que a imagem seja coesa e sua interpretação não seja prejudicada.

B. Pixel Art

Os computadores geram imagens por meio de monitores, esses apresentando diversas tecnologias diferentes como LCD, CRT, OLED e outros. Ainda assim, cada *display* apresenta um número determinado de pixels, esses que são diversos pontos luminosos que são manipulados individualmente. Observando a evolução tecnológica e dos recursos gráficos, com grande destaque nos consoles de video games que contavam com pouco processamento e memória, nota-se grande incremento de pixels usados para gerar uma mesma imagem, ou seja, maior resolução.

Sendo assim, a constatação de que qualquer imagem gerada por computador seja *Pixel Art* é natural, mas errônea. Como definido por Silber, autor de *Pixel Art for Game Developers* [1], *Pixel Art* é definida pelo uso intencional de cada pixel posto na tela, ou seja, o conteúdo exibido pelo computador não é uma representação em pixels (seja em baixa ou alta resolução) de uma imagem, mas sim uma configuração onde cada ponto foi colocado com um propósito. Seguindo como exemplo, a arte mostrada na Figura 3 teve sua resolução reduzida, isso não a categoriza como *Pixel Art*, já que sua versão em baixa resolução nada mais é que uma representação de uma arte original. Já a Figura 4 é uma *Pixel Art*, onde todos os pontos adicionados na imagem foram intencionais.

Fig. 3. Uma imagem que teve sua resolução reduzida não se categoriza como *Pixel Art*. (Arte do Jogo *Castlevania: Symphony of the Night*)

Fig. 4. Exemplo de uma *Pixel Art* (Sprite do jogo *Sonic The Hedgehog*)

O motivo para a *Pixel Art* ser usada ainda hoje se dá, principalmente, pelo saudosismo dos desenvolvedores e artistas, que homenageiam jogos das décadas de 80 e 90, além de ser um formato que exige menos dos processadores de computador

quando comparada com gráficos 2D e 3D vetorizados, sendo adotado por diversos artistas de jogos *Indie* e pequenas produtoras [2]. Sua maior complicação é justamente o maior motivo para ainda ser usada, que é a exigência da simplificação de todo e qualquer elemento que será inserido no ambiente da *Pixel Art*.

C. Modelagem 3D

A modelagem 3D teve início nos anos 80 com o lançamentos de programas *computer-aided design* (CAD) como o AutoCAD, usados nos primeiros projetos de computação gráfica. A Figura 5 ilustra um exemplo dos primórdios da modelagem 3D.

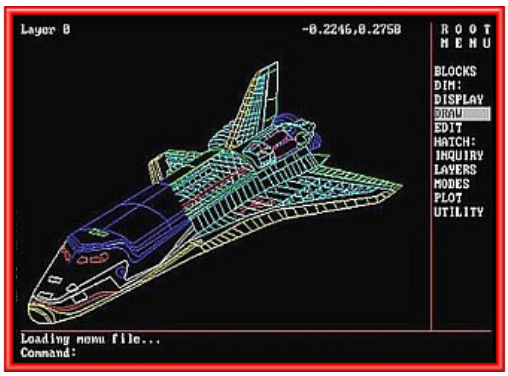


Fig. 5. Interface de uma das primeiras versões do AutoCAD. Na tela, um modelo que vinha como amostra de modelo tridimensional

Atualmente, a modelagem 3D tem um uso de grande abrangência. Criação de cenários e personagens para video games, animações, projetos de engenharia e arquitetura, auxílio na medicina com modelos de estruturas complexas como órgãos e músculos, impressão 3D, ensino nas escolas e diversas outras são possibilidades do uso do 3D.

A produção de esculturas tridimensionais se dá, na maioria dos casos, através da junção de centenas de polígonos que simulam superfícies curvas. Existem também métodos com a utilização de superfícies diretamente curvas e volumetria.

O 3D se mostra muito eficiente e adaptável com diversas mídias, mas sua utilização geralmente exige certos requisitos mínimos do usuário, como placas gráficas e processadores que suportem o uso das ferramentas geradoras do 3D, assim, se tornando menos acessível que outros tipos de arte.

D. Vetores Gráficos

Vector Graphics, Vetor Gráfico ou Vetorização, é o termo utilizado para imagens geradas através de equações matemáticas, traduzidas em pontos que são conectados em linhas ou curvas, também chamados *Vector Paths* (Caminhos Vetoriais)[3]. Essas imagens, se aumentadas, distorcidas e/ou recortadas, não perdem sua qualidade graças à sua constituição matemática, que se altera proporcionalmente de acordo com a deformação provocada sobre a imagem [4]. Alguns dos primeiros usos de imagens vetoriais foram em monitores do *Semi-Automatic Ground Environment (SAGE)*[5], um grande sistema de computadores coordenadores de informação por radar.

Imagens vetorizadas são usadas principalmente na construção de telas de *softwares* (*front-end*) e conteúdo gráfico para publicidade como criação de imagens e vídeos de alta resolução. Sua utilização é vantajosa justamente por sua capacidade de manter sua resolução em alta qualidade como mostrado na Figura 6, caso contrário de imagens do tipo *raster* ou *bitmap* que são contruídas através de diversos pixels, limitando a resolução.

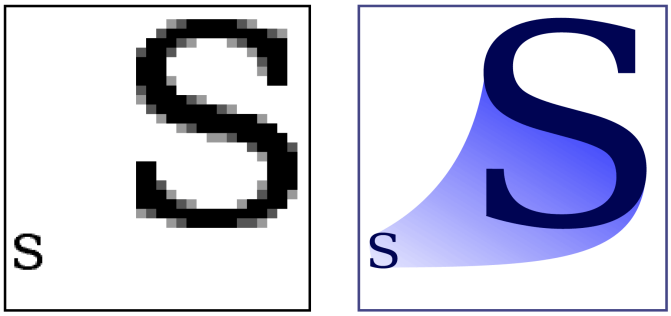


Fig. 6. Comparação entre a distorção de uma imagem do tipo *raster* e uma vetorizada.

Por causa de suas capacidades, imagens vetoriais tornam-se mais pesadas que *raster*, assim sendo usadas apenas quando necessário, como em animações, onde elementos devem ter sua resolução constantemente alterada, e interfaces interativas, como *websites* responsivos, sistemas operacionais, aplicativos e jogos.

E. Pintura Digital

O Desenho ou a Pintura digital, conhecido pelo termo em inglês *Digital Painting*, surgiu com a ideia de transpor a qualidade de imagens feitas através de métodos tradicionais para um ambiente onde o processo de criação seria facilitado e melhorado. Imagens são geradas em computadores desde o início da década de 60, mas foi em 1984, com o computador Apple Lisa, que o primeiro programa feito com o intuito de possibilitar o desenho no ambiente digital foi criado. Em 1987 surgiria o Photoshop, criado por Thomas Knoll, que se tornaria o programa mais utilizado por pintores digitais.

O Desenho digital tem como principal objetivo agilizar e facilitar a criação de artes. Sem limitações físicas como a paleta de cores, o tempo que o pigmento leva para secar, o custo do material utilizado e a impossibilidade de desfazer erros. Com o meio digital, problemas como esse foram solucionados e novas possibilidades foram criadas. Como mostrado na Figura 7, o processo para a criação de uma imagem torna-se mais rápido e mais apropriado para as novas exigências da industria.

No artigo científico de Chen et al. [6], há a categorização dos tipos de sistema de pintura, assim classificados: processual (*procedural*), que são mais rápidos e com resultados limpos, mas são limitados e incapazes de gerar efeitos não identificados; os baseados em exemplo (*example-based*), com resultados e grande detalhamento apesar das complicações apresentadas

Fig. 7. Processo de criação para carta do jogo *Hearthstone*, por Eric Kenji

com repetitividade e descontinuidade, além de ter dificuldade em misturar cores; e por último, os baseados em simulação (*simulation-based*), que podem oferecer grande realismo dependendo dos modelos físicos em que foi construído.

III. Ferramentas Populares

Este tópico apresenta uma relação das ferramentas mais populares utilizadas em cada uma das cinco áreas destacadas neste trabalho.

A. *Softwares para Manipulação de Imagens Digitais*

i. Adobe Lightroom: O Adobe Lightroom é um programa voltado exclusivamente à edição de fotos digitais.Possui alta capacidade de armazenamento das fotos e ferramentas intuitivas para que o usuário consiga se adaptar mesmo não sendo um fotógrafo profissional. Suas edições variam de controle de luminosidade e sombra, até características relacionadas as cores, saturações, efeitos pré definidos, ótica e detalhamento. É possível salvar suas edições e reaplica-las em outras fotos da galeria com facilidade através de sua ferramenta de pré definição. Se trata de um programa pago, tendo uma versão para computador e *smarthpone*, ambas possuindo teste grátis e pode ser baixado através do site da Adobe ou da Playstore em *smarthpones*.

ii. Adobe Photoshop: Adobe Photoshop é o programa mais usado no ramo da produção de ilustrações e manipulação de imagens em toda a indústria. Desde *Concept Arts* de personagens,edição de fotos, cenários para filmes, jogos e animações para quadrinhos, o Photoshop é a ferramenta de maior versatilidade, apoio da comunidade e eficiência de todo o mercado. Possibilitando o uso de diversos formatos, além do seu próprio (PSD), ele opera com imagens rasterizadas mas também pode ser uma ferramenta de edição com suporte para imagens vetorizadas. Se tratando de manipulação de imagem, possui sua ferramenta de borrar, que é utilizada para diversos propósitos, como tirar conteúdos indesejados de fotos ou até deixar mais uniforme a interação entre os pixels adjacentes, a varinha mágica, que permite a seleção de certas partes da imagem para alteração de conteúdo, cor, tom e saturação e também suas ferramentas de filtro e luz que permitem aos fotógrafos dar um acabamento sofisticado a foto em que estão trabalhando. A interação entre os *softwares* da empresa Adobe permite que o usuário se sinta confortável para trabalhar em outras áreas gráficas sem que o formato do arquivo seja comprometido, sendo eles:

- Adobe ImageReady: edição de imagens para a internet;
- Adobe InDesign: edição de texto;
- Adobe Illustrator: edição de gráficos vectoriais;
- Adobe Premiere: edição de vídeo não-linear;
- Adobe Encore DVD: edição destinada a DVDs.

Sua interface apresenta uma curva de aprendizado mediana por conta de sua vasta possibilidade de alterações e adaptações, sendo compensada por sua praticidade.

iii. GIMP: GIMP (*General Image Manipulation Program*) é um programa de código aberto à comunidade, criado em 1995 por Spencer Kimball e Peter Mattis como um projeto de faculdade e atualmente é mantido por voluntários da comunidade e desenvolvedores independentes. O GIMP foi fundamentado como uma alternativa gratuita ao Photoshop e cresceu consideravelmente através dos anos, recebendo reparos por parte da comunidade. Sua abordagem é diferente pois trabalha com *plugins*, que são recursos externos que podem ou não ser adicionados ao programa com a necessidade do usuário, tornando o programa em si razoavelmente menos custoso computacionalmente que seus concorrentes e habilitando uma gama de possibilidades para a abordagem especifica de cada usuário em questão, tendo assim, uma considerável parte das ferramentas que os outros programas de edição de imagem possuem através das suas centenas de *plugins* disponiveis atualmente.

B. *Softwares para Pixel Art*

i. Aseprite: O Aseprite é um dos programas mais populares entre os artistas de Pixel Art e pode ser encontrado a venda em seu próprio site ou na plataforma Steam. O *software* oferece uma interface intuitiva e organizada, apresentando um sistema de camadas que facilita o processo de criação, além de ferramentas que possibilitam a animação de *sprites*, alteração e ajuste cores, resolução e paletas personalizadas para um visual referente a consoles 8, 16 e 32 bits.

ii. Pyxel Edit: Pyxel Edit é um programa criado através da linguagem ActionScript 3 como um aplicativo *Adobe Air* e está disponível de forma paga e gratuita, sendo a gratuita uma versão inferior. Possuindo ferramentas semelhantes as do Aseprite, é bastante utilizado para criação de mapas, pois sua ferramenta única identifica importações de imagens pixeladas e cria através delas padrões que podem ser repetidos até que formem uma fase de um jogo fluida sem um padrão de repetição aparente.

iii. GraphicsGale: GraphicsGale é um *software* aberto que tem como principal função criar imagens e animações no estilo pixel art. O programa é indicado principalmente para iniciantes por sua versatilidade e ferramentas, além de possuir uma interface editável e bem estruturada.

C. *Ferramentas e Softwares para Modelagem 3D*

i. ZBrush: O ZBrush é um programa criado originalmente com um perfil de ilustração, mas se destacou no ramo do 3D. O software é constituído pela modelagem 3D mesclada com o

2.5D, possibilitando a pintura, texturização e armazenamento de informações complexas como comportamento da luz e da cor, e volta-se principalmente para a criação artística, ou seja, a escultura 3D. Apresenta diversas ferramentas que o tornam um dos programas mais completos do mercado, como seus Pincéis Tridimensionais que possibilitam a edição detalhada dos modelos, o *Polypaint*, possibilitando a pintura dos modelos sem uma textura feita previamente, *Dynamesh* sendo um gerador de polígonos uniformes sobre o modelo, facilitando o processo de topologia, *Transpose* que proporciona a edição da pose de um modelo sem a necessidade de um *Rigging*, dentre diversas outras [7]. O ZBrush é um software pago e de baixa acessibilidade, mas compensa por sua infinidade de ferramentas e apoio da comunidade, o que o torna um dos programas mais populares no meio profissional artístico.

ii. Maya: O software Maya é um dos mais utilizados no mercado, principalmente na produção de grandes filmes [8], inicialmente conhecido por sua presença na criação do filme *Dinossauros*, também tendo participação no desenvolvimento de obras como *Toy Story 2*, *Monstros S.A.*[9], *Senhor dos Anéis: As duas torres*, *Era do Gelo* e também na criação de jogos como *Overwatch* e *We Happy Few*. Diversos *plug-ins* são criados por terceiros, sendo desde usuários até grandes empresas como a *Pixar Animation* e estão disponíveis.

iii. Blender: Blender é um software de código aberto para o público, criado em 1988 pela *Neo Geo Studio* originalmente sendo uma aplicação in-house e anos depois, em 2002, tornando-se um software aberto sob a licença GPL (*GNU General Public License* regido pela *Blender Foundation*. Apresentando diversas ferramentas provenientes do próprio programa ou criadas pela comunidade, o Blender serve ao propósito da modelagem, animação e texturização 3D, 2D, e 2.5D, ilustração e edição de vídeos, podendo ser aplicado em produções animadas de diversos perfis, como realidade virtual, aumentada e tradicional, além de se mostra eficiente em áreas como a impressão 3D [10]. Atualmente, a empresa *Blender Institute* é a principal produtora independente que se utiliza apenas de um software aperto para a produção de longas, curta metragem animados e jogos, como o recente *"Agent 327: Operation Barbershop"*. O Blender tem uma grande comunidade que apoia o software, fornecendo novas ferramentas com diversos propósitos, além de apresentar grande suporte àqueles que estão sendo introduzidos ao programa. [11].

D. Ferramentas e Softwares para Vetores Gráficos

i. Adobe Illustrator: Illustrator é o programa dominante no quesito de vetorização. Sua comunidade é vasta e usa do programa para diversos propósitos. Com uma interface elaborada e intuitiva, utiliza-o em criações como logos, ilustrações, elementos para animações, entre outros. Ainda que seu concorrente Corel Draw seja mais usado para impressões, a prévisualização de material a ser impresso é de maior efetividade no Illustrator.

ii. Corel Draw: O Corel draw foi criado no ano de 1987, pela *Corel Corporations*, atualmente é o segundo *software* mais usado do mercado e apresenta diversas ferramentas. Embora seja principalmente usado para a criação de impressões de alta qualidade, tem capacidades equiparadas a seu concorrente, o Adobe Illustrator. Sua interface é de fácil entendimento e amigável ao usuário, o tornando uma opção viável para iniciantes.

iii. Inkscape: O Inkscape é um programa aberto ao público para edição e oferece *download* gratuito. Com interface intuitiva e de fácil adaptação, é recomendado para iniciantes no ramo dos Vetores Gráficos.Suas funcionalidades podem ser comparadas ao Corel Draw e ao Adobe Illustrator, tendo vantagem por sua possibilidade de editar diretamente o código fonte do arquivo e de exigir menos do processamento da máquina. Devido a liderança da Adobe no mercado, a compatibilidade do formato dos arquivos é um problema para o Inkscape, além de apresentar certos *bugs* durante a sua execução.

E. Ferramentas e Softwares para Pintura Digital

i. Adobe Photoshop: Como citado na seção III.ii, o Photoshop é uma das ferramentas mais populares do mercado para criação e alteração de imagens digitais. Em pintura e desenho digital, ele oferece diversas ferramentas ao artista, como camadas, canais, pincéis editáveis, marcações, formas, seleções e distorções, sendo disponibilizada também a linha do tempo para que uma possível animação seja elaborada.

ii. Autodesk Sketchbook: O Autodesk Sketchbook é um programa gratuito fornecido pela Autodesk. Seu maior destaque é sua interface intuitiva e confortável para o usuário, deixando à mostra apenas itens essenciais para o trabalho do artista, possibilitando uma total edição de acordo com o conveniente, além de suportar diversos formatos (inclusive o PSD, proveniente do Photoshop), o que o torna eficiente e versátil em suas tarefas. O Sketchbook é um programa recomendado para iniciantes e profissionais devido a sua versabilidade e efetividade, oferecendo um ambiente receptivo.

iii. Krita: Sendo considerado o melhor software para pintura digital em 2019 pelo TechRadar [12], é uma ferramenta grátis de *software* livre[13] e código aberto[14]. Seu diferencial se encontra no formato de cores disponibilizado, sendo a única ferramenta grátis com todos os esquemas de cores disponíveis e quantidade de bits por imagem. A ferramenta possui seu próprio formato de arquivo o (KRA) e todos os outros utilizados pela comunidade artística. Permite o trabalho com imagens rasterizadas tão qual as renderizadas, não necessitando de outro *software* como é trabalhado pelo Photoshop. Por ser um *software* de código aberto, possui quase todas as ferramentas necessárias para edição de foto e imagem que as outras ferramentas listadas neste trabalho.

IV. Conclusão

Com o advento da computação, cada vez mais ferramentas poderosas se encontram disponíveis para facilitar a vida das pessoas, e isso não seria diferente no cenário de geração de conteúdos gráficos.

A computação gráfica abriu as portas para criação de conteúdos cada vez mais precisos e realistas, porém, as áreas

que um profissional pode se envolver e as ferramentas que ele pode utilizar são tantas que às vezes se direcionar de forma adequada pode ser um desafio.

Este trabalho teve como objetivo relacionar as mais populares áreas de destaque dentro da computação gráfica e, por meio de pesquisas, realizar um levantamento e breve descrição das principais ferramentas disponíveis para uso em cada um delas no mercado.

Com a pesquisa foi possível perceber que existe uma carência de artigos e outros materiais que melhor exploram estas ferramentas. Por isso, sugere-se como trabalho futuro, realizar um estudo comparativo e experimental entre elas a fim de conhecer de forma precisa os prós e contras de cada uma.

REFERÊNCIAS

[1] D. Silber, *Pixel Art for Game Developers*. CRC Press, 2016.

[2] J. Dawe and M. Humphries, *Make Your Own Pixel Art: Create Graphics for Games, Animations, and More!* No Starch Press, 2019.

[3] Vectr, "What are vector graphics?," 2019. Disponível em `https://vectr.com/`. Acessado em Fev/20.

[4] D. Dawber, *Learning Raphaël JS Vector Graphics*. Packt Publishing Ltd, 2013.

[5] V. Burnham and R. Baer, *Supercade: A Visual History of the Videogame Age, 1971-1984*. MIT Press, 2001.

[6] Z. Chen, B. Kim, D. Ito, and H. Wang, *Wetbrush: GPU-based 3D Painting Simulation at the Bristle Level*. The Ohio State University and Adobe Research, 2015.

[7] ZBrush, "Zbrush features," 2019. Disponível em `http://pixologic.com/zbrush/features/zbrush4r2/dynamesh/`. Acessado em Jan/20.

[8] K. Murdock, *Autodesk Maya 2019 Basics Guide*. SDC Publications, 2018.

[9] K. Paik, L. Iwerks, J. Lasseter, S. Jobs, and E. Catmull, *To Infinity and Beyond!: The Story of Pixar Animation Studios*. Chronicle Books LLC, 2015.

[10] G. Fisher, *Blender 3D Printing Essentials*. Packt Publishing, 2013.

[11] T. Mullen, *Mastering Blender*. Wiley, 2011.

[12] Krita, "Krita," 2020. Disponível em `https://krita.org/en/`. Acessado em Mar/20.

[13] Gnu, "What is free software?." Disponível em `www.gnu.org/philosophy/free-sw.pt-br.html`. Acessado em Jan/20.

[14] RedHat, "What is open source software?." Disponível em `https://www.redhat.com/en/topics/open-source/what-is-open-source-software`. Acessado em Jan/20.

Desenvolvimento de um Circuito de Medição e Controle para Luminárias Públicas LED Utilizando o Smart Plug da Pixel Ti

Nathan Ribeiro da Cunha Azevedo, Carlos Alberto Ynoguti
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
nathanazevedo@gea.inatel.br, ynoguti@inatel.br

***Abstract*—This work presents the development of a measurement and control circuit for LED public lighting fixtures using the MSP430I2040 embedded in Pixel Ti's Smart Plug *hardware* with NEMA 7 pins standard. It is concluded that the method of extracting the measurements by serial communication is functional and that it is possible to achieve a measurement accuracy of less than 0.1% by calculating the calibration constants.**

***Index Terms*—MSP430I2040, NEMA 7 Pins, Public Lighting Fixture, Smart Plug.**

***Resumo*—Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito de medição e controle para luminárias públicas LED utilizando o MSP430I2040 embarcado no *hardware* do *Smart Plug* da *Pixel Ti* com o padrão NEMA 7 pinos. Conclui-se que o método de extração das medidas por comunicação serial é funcional e que é possível alcançar uma precisão de medição inferior a 0.1% através do cálculo das constantes de calibração.**

***Palavras chave*—Luminárias Públicas, MSP430I2040, NEMA 7 Pinos, Smart Plug.**

I. Introdução

A iluminação pública elétrica compõe as paisagens urbanas desde o final do século XIX, sendo importante para a segurança pública e desenvolvimento urbano [1]. Nos últimos anos, luminárias públicas tradicionais como as de vapor metálico têm se tornado obsoletas sendo substituídas pelas luminárias de LED (*Light-Emitting Diode* - Diodo Emissor de Luz). As lâmpadas LED possuem melhor custo-benefício em relação à eficiência luminosa, temperatura de cor, fluxo luminoso, vida útil e consumo [2].

A gestão da iluminação pública no Brasil é de responsabilidade total dos municípios desde 2014 e representa a segunda maior despesa municipal, a primeira se trata da folha salarial. Por isso, os gestores do serviço público buscam por novas soluções para reduzir esse gasto [3]. O sistema de iluminação pública LED dimerizável e com telegestão, é uma solução adotada em grandes centros urbanos para aumentar os índices de economia da iluminação pública [4].

A redução da visibilidade das vias públicas através da *dimerização*, variação da luminosidade do ponto de luz, reduz o consumo das luminárias, proporciona economia de energia e reduz a emissão de gás carbônico. Porém, pode proporcionar atraso nas reações dos motoristas, originando acidentes e condições favoráveis à criminalidade [5]. Por isso, nesse tipo de sistema de iluminação existem sensores que adaptam a luminosidade das vias públicas a condições pré-fixadas como por exemplo: a intensidade do tráfego de pessoas e de veículos [6]. Já a gestão remota da iluminação pública, pode atuar na identificação de problemas de funcionamento, análise da redução da vida útil das luminárias, reconhecimento de furto de energia, medição de energia, cadastro de ativos, acionamento e alteração da luminosidade das luminárias de maneira individual ou em grupo [2].

Luminárias de LED são acionadas em sua maioria por circuitos de baixo custo, relés fotoelétricos, utilizando o padrão NEMA (*National Electrical Manufacturers Association* - Associação Nacional de Fabricantes Elétricos) 3 pinos. Este utilizado em conjunto com os relés, é uma boa opção visando apenas o acionamento tendo como referencial o nível de luminosidade, movimento ou um horário pré-definido [7]. Porém, se for necessário implementar um sistema de iluminação com telegestão e *dimerização*, é necessário o uso do padrão NEMA 7 pinos. O circuito de controle utilizado com o último padrão deve permitir o acionamento, a *dimerização* e o monitoramento de consumo [8].

A proposta deste trabalho é desenvolver e testar um circuito de medição e controle para luminárias públicas LED, usando o padrão NEMA 7 pinos. O artigo está estruturado em 6 seções. A Seção II, descreve aspectos técnicos e econômicos da iluminação pública no Brasil. A Seção III refere-se aos materiais e métodos do trabalho. A Seção IV trata dos resultados alcançados. Por fim, a Seção V aborda a conclusão e a Seção VI os trabalhos futuros.

II. Iluminação Pública no Brasil

Estima-se que no Brasil existam mais de 18 milhões de pontos de iluminação, sendo que sua distribuição está diretamente ligada à concentração demográfica. Os pontos estão mais concentrados nas grandes cidades, com destaque para o sudeste e o nordeste brasileiro, atendendo a 95.5% das famílias. As lâmpadas utilizadas são em sua maioria HPS (*High Pressure Sodium* - Sódio de Alta Pressão) e de vapor de mercúrio. A presença das lâmpadas LED ainda é menor do que as luminárias tradicionais e sua taxa de penetração no sistema de iluminação pública nacional é lenta [9].

A. Aspectos Econômicos

O custo elevado da energia elétrica no Brasil, combinado com a queda do preço da tecnologia LED, torna a modernização na iluminação pública uma oportunidade econômica vantajosa, tanto para o setor público como para o setor privado [9]. Os municípios tendem a procurar por

soluções para reduzir a despesa gerada pela iluminação pública, da qual passou a ser responsável nos últimos anos [3].

A conversão dos 18 milhões de pontos é estimada em 28 bilhões de reais. Nesse valor está inclusa apenas a instalação de luminárias de LED comandadas por relés fotoelétricos; evidentemente para implantar um sistema de telegestão, esse valor deve ser maior [7]. O alto custo se justifica pela situação macroeconômica do Brasil, que encarece os custos de investimento em infraestrutura, devido às taxas elevadas de empréstimo, alto custo para importação dos produtos e a desvalorização do real [9].

O acesso às linhas de crédito públicas é outro grande desafio: os programas criados pelo governo federal para incentivar a eficiência energética como o PROCEL (Programa Nacional para Iluminação e Sinalização Semafórica Eficiente) - RELUZ, não terão fundos suficientes para realizar a modernização nos 5570 municípios do Brasil. Para atingir os níveis de investimento desejados, é necessária a participação do setor privado. Entretanto, para atrair esse capital são necessárias condições favoráveis para o investimento, através dos processos de concessão e privatização [9].

A tecnologia LED proporciona índices de economia que variam de 40 a 70% e o sistema de telegestão, aumenta esse índice em mais 10% [9, 10]. O maior projeto de modernização do Brasil, foi feito através de parceria público-privada na cidade de Belo Horizonte: onde 160 mil postes foram convertidos para a tecnologia LED. Sendo que 33 mil possuem sistema de telegestão, totalizando um investimento de 400 milhões de reais e proporcionando uma economia anual de 25 milhões (45% do gasto com energia elétrica) [11].

B. Aspectos Técnicos

Durante a *dimerização*, existem parâmetros da rede elétrica que podem ser afetados significativamente [12], um deles é o fator de potência: quanto mais próximo de 100% de *dimerização* a luminária está, mais próximo de 1 é o fator de potência [2]. Luminárias sem correção de fator de potência, quando *dimerizadas* em 30%, que é o mínimo permitido pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), podem chegar a um fator de potência na ordem de 0.6 [13]. No Brasil o valor mínimo permitido é de 0.92 para usuários do grupo A, que são unidades com consumo maior ou igual a 2.3kV, caso contrário são tarifados com relação à energia reativa [3], a iluminação pública se encaixa no grupo B, onde essa tarifação não existe. Porém, se o sistema de iluminação for implementado em uma unidade do grupo A este fator deve ser levado em consideração.

III. Materiais e Métodos

Para desenvolver o circuito de medição e controle, utilizou-se o *Smart Plug* da Pixel Ti comunicando-se serialmente com um NODE MCU (*Microcontroller Unit* - Unidade Microcontroladora) . Conectou-se o *Smart Plug* ao padrão NEMA 7 pinos, instalado em uma luminária pública de 50W, para fazer o acionamento e a medição. Utilizou-se o microcontrolador para tratar as medidas recebidas do *Smart Plug* e enviá-las via protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport* - Transporte Telemétrico de Fila de Mensagens) para uma aplicação *web*, Figura 1. Para implementar o sistema de medição fez-se necessário compreender o protocolo de comunicação serial do MSP430I2040 e suas técnicas de calibração [7, 14].

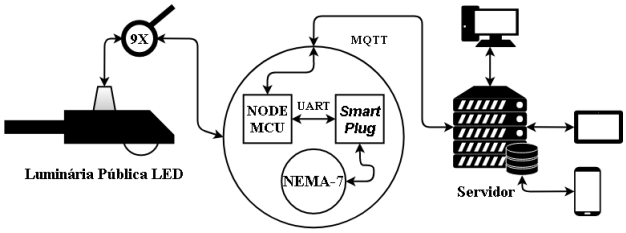


Fig. 1. Diagrama do circuito de controle e medição desenvolvido.

A. Padrão NEMA 7 Pinos

O sistema de iluminação com telegestão é implementado com base no padrão NEMA 7 pinos. O padrão tem 7 contatos metálicos, 3 para acionar e alimentar o circuito de medição e controle, 2 para *dimerizar* e outros 2 para implementar o sensoriamento e a medição [8]. O circuito é soldado em uma base NEMA 7 pinos que é encaixada em um receptáculo fixo na parte superior da luminária. Para proteger o circuito, é rosqueada na base uma abóboda de policarbonato com proteção IP65, Figura 2.

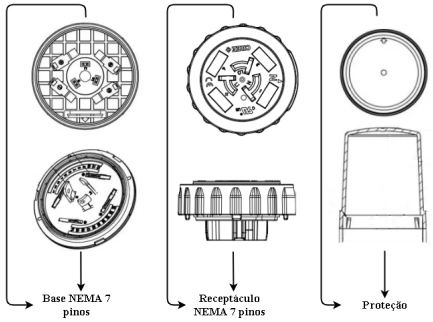


Fig. 2. Base, receptáculo e proteção para o padrão NEMA 7 pinos.

B. Smart Plug

Na Figura 3 mostra-se o *Smart Plug* que é um dispositivo *mesh* que faz parte da linha de automação residencial *e-comfort* da Pixel Ti. Este contém o MSP430I2040 embarcado em seu *hardware*, permitindo o acionamento e desacionamento de cargas conectadas à tomada de modo remoto. Também permite medir sua potência ativa em tempo real que é disponibilizada em uma aplicação *web* e *mobile* [14, 15].

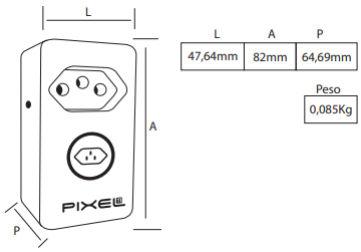


Fig. 3. *Smart Plug* da Pixel Ti.

Com o estudo da comunicação serial do *chip*, possibilita-se fornecer ao usuário final todas as medidas que ele é capaz de fornecer além da potência ativa. E isto pode ser implementado

em qualquer produto que utilize o *hardware* do *Smart Plug* como referência [14].

C. Protocolo de Comunicação Serial

Conforme mostrou-se anteriormente, o MSP430I2040 pode se comunicar com outros dispositivos (*host*) via comunicação serial. Durante seu funcionamento, ele espera por uma sequência de comando em hexadecimal do *host*. Após receber a sequência é feita a checagem dos bytes e a interpretação do campo de dados, para realizar a ação que o *host* deseja. Esse modo de operação do *chip* é chamado de modo de pesquisa e durante esse modo, ele se comunica com o *host* utilizando um protocolo de comunicação [14]. Mostra-se na Figura 4, a sequência de comando para realizar a requisição das medidas básicas.

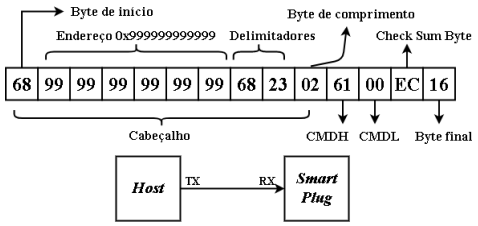


Fig. 4. *Host* envia a sequência de comando para o MSP requisitando medidas.

O *chip* envia ao *host* uma sequência de resposta que contém as informações desejadas no seu campo de dados. Essas precisam ser decodificadas para valores decimais, Figura 5. Os valores convertidos não correspondem aos valores reais, por isso é necessário calibrá-lo. Na subseção posterior aborda-se os métodos de calibração que podem ser utilizados para tal [14, 16].

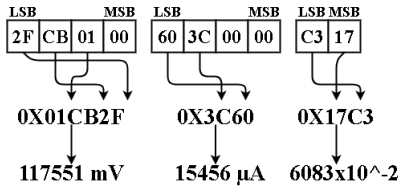


Fig. 5. Exemplo de conversão feita pelo *host* para as medidas de tensão, corrente e frequência.

D. Calibração do Chip

A maneira mais simples para efetuar-se a calibração do *chip*, se dá através do cálculo do Erro de medição, em que $\text{Medida}_{\text{MSP}}$ é a medida calculada pelo *chip* e $\text{Medida}_{\text{REF}}$ é o valor real da medida. A correção das medidas feita dessa maneira pode ser feita pelo *host* ou pelo *chip*: deve-se multiplicar o valor do Erro pela $\text{Medida}_{\text{MSP}}$ e somar o valor obtido à $\text{Medida}_{\text{MSP}}$ [16].

$$Erro = \frac{Medida_{REF} - Medida_{MSP}}{Medida_{MSP}} \tag{1}$$

Já a melhor maneira para se calibrar o *chip* é através do cálculo das constantes de calibração $\text{VGAIN}_{\text{n+1}}$, $\text{IGAIN}_{\text{n+1}}$, $\text{PGAIN}_{\text{n+1}}$, RES e CAP. Esses valores variam de acordo com o *hardware* no qual o *chip* está embarcado e devem ser escritos em uma página da memória *flash* dele. A escrita é feita pelo envio de uma sequência de comando contendo os valores, logo após o envio de uma sequência que ordena que os valores anteriores sejam apagados [14, 16].

$\text{VGAIN}_{\text{n+1}}$ é o novo valor da constante de tensão, V_{REF} é o valor real da tensão medida, V_{MSP} é a medida calculada pelo *chip* e VGAIN_{n} é o valor anterior da constante de tensão. Deve-se obter V_{REF} e V_{MSP} na condição de o *Smart Plug* não estar alimentando alguma carga [14, 16].

$$VGAIN_{n+1} = \frac{V_{REF}}{V_{MSP}} \cdot VGAIN_n \tag{2}$$

$\text{IGAIN}_{\text{n+1}}$ é o novo valor da constante de corrente, I_{REF} é a medida real de corrente, I_{MSP} é o valor de corrente medido pelo *chip* e IGAIN_{n} é o valor anterior da constante de corrente. Deve-se obter I_{REF} e I_{MSP} na condição de o *Smart Plug* estar alimentando uma carga com sua capacidade máxima de 10A [14, 15, 16].

$$IGAIN_{n+1} = \frac{I_{REF}}{I_{MSP}} \cdot IGAIN_n \tag{3}$$

$\text{PGAIN}_{\text{n+1}}$ é o novo valor da contante de potência, P_{REF} é o valor real de potência ativa medido, P_{MSP} é o valor medido pelo *chip*, PGAIN_{n} é o valor anterior da constante de potência e V_{erro} é o erro de tensão (1). Deve-se obter P_{REF}, P_{MSP} e V_{erro} nas mesmas condições de (3) [14, 16].

$$PGAIN_{n+1} = \frac{P_{REF}}{P_{MSP}} \cdot PGAIN_n \cdot (1 + V_{erro}) \tag{4}$$

RES é a constante que faz a compensação da resistência imposta pelos fios de alimentação. $\text{V}_{\text{REF}(\text{I}_{\text{max}})}$ é a tensão real medida e $\text{V}_{\text{MSP}(\text{I}_{\text{Imax}})}$ é a tensão medida pelo *chip*, ambas obtidas com o *Smart Plug* estar alimentando uma carga com a corrente máxima I_{max} que pode ser fornecida [14, 16].

$$RES = \frac{V_{REF(I_{max})} - V_{MSP(I_{max})}}{I_{max}} \tag{5}$$

CAP é a constante que faz a compensação da capacitância imposta pelos capacitores do circuito. P_{apref} é o valor real da potência aparente medido, P_{apmsp} é o valor de potência aparente medido pelo *chip* e f é a frequência da rede. Deve-se obter as variáveis da equação nas mesmas condições de (3) [14, 16].

$$CAP = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{REF}^2} \cdot (\sqrt{P_{apref}^2 - P_{REF}^2} - \sqrt{P_{apmsp}^2 - P_{REF}^2}) \tag{6}$$

Não necessita-se calcular as constantes VAC_OFFSET, IAC_OFFSET, PHASE_CORRECTION, VDC_OFFSET e IDC_OFFSET, pois os valores padrões presentes na memória *flash* são o suficiente para esta aplicação. Porém se o *chip* for utilizado em uma aplicação que necessite de uma precisão de medida inferior a 0.1% estas devem ser calculadas [14, 16].

IV. RESULTADOS

Neste trabalho possibilitou-se obter as medidas básicas, extras e de temperatura. A disponibilização de cada medida ao usuário final, varia de acordo com a aplicação. Nesta disponibilizou-se medidas de duas categorias, porém não todas, Tabela I. O *chip* ainda possibilita a medição de tensão e corrente DC (*Direct Current* - Corrente Contínua), porém estas medidas não são alvo deste estudo, pois o *Smart Plug* é um produto focado em medidas AC (*Alternating Current* - Corrente Alternada) [14].

TABELA I
MEDIDAS DISPONÍVEIS E SUA UTILIZAÇÃO NESTE TRABALHO

MEDIDA	CATEGORIA	RESOLUÇÃO	USO
Tensão RMS	Básica	mV	✓
Corrente RMS	Básica	μA	✓
Potência Ativa	Básica	mW	✓
Potência Aparente	Básica	mW	✓
Potência Reativa	Básica	mW	✓
Fator de Potência	Básica	0.0001	✓
Frequência	Básica	Hz	✓
Offset da Tensão DC	Básica	-	-
Offset da Corrente DC	Básica	-	-
Potência Ativa Fundamental	Extra	mW	-
Potência Reativa Fundamental	Extra	mW	-
Tensão Fundamental	Extra	mV	-
Corrente Fundamental	Extra	μA	-
Distorção Harmônica de Tensão	Extra	0.01%	-
Distorção Harmônica de Corrente	Extra	0.01%	-
Temperatura	Temperatura	0.01°C	✓

As medidas podem ter variações de acordo com a temperatura de operação da placa, esta variação é muito pequena, e é relevante apenas em aplicações em que a precisão das medidas não pode variar muito. A variação da temperatura é causada pela intensidade da corrente e pela temperatura ambiente externa à proteção do circuito. Mostra-se na Figura 6 que o erro das medidas tende a ficar mais negativo conforme a placa se aquece [14, 17].

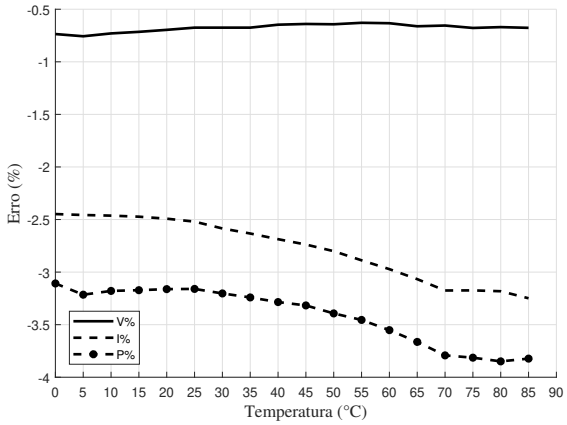


Fig. 6. Gráfico de precisão x temperatura.

Através do estudo teórico sobre o cenário de iluminação pública no Brasil, acredita-se que a medida de temperatura fornecida pelo MSP possa trazer uma funcionalidade diferencial ao circuito. Atuando na manutenção preditiva, identificação de falhas e redução da vida útil das luminárias [14, 18].

Apesar da utilização das constantes de calibração fornecer resultados muito precisos, Tabela II, é importante ressaltar os resultados obtidos com o método de calibração que utilizou-se neste trabalho, Tabela III. Ele se destaca não apenas pela sua fácil implementação, como também pela oportunidade que oferece de calibrar medidas que não são calibráveis através das constantes de calibração. Entre estas últimas pode-se citar: frequência e fator de potência [14].

TABELA II
MEDIDAS OBTIDAS COM CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO

MEDIDA	MEDIDA MSP	MEDIDA REF	ERRO(%)
Tensão RMS(V)	219.883	219.954	-0.032
Corrente RMS(A)	5.002	5.000	0.025
Potência Ativa(W)	1100.050	1099.830	0.020
Potência Aparente(VA)	1100.052	1099.832	0.019
Fator de Potência	1	1	0
Frequência(Hz)	60.83	60	1.38
Temperatura°C	24.9	25	-0.401

Vale destacar, que existem constantes de calibração para calibrar as medidas extras e a temperatura, porém, na documentação atual do *chip*, equações para encontrar estas constantes não são descritas [14, 16]. E os valores de fábrica não são o suficiente para fornecer uma precisão adequada.

TABELA III
MEDIDAS OBTIDAS SEM CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO

MEDIDA	MEDIDA MSP	MEDIDA REF	ERRO(%)
Tensão RMS(V)	126.168	127.021	-0.675
Corrente RMS(A)	0.383777	0.398159	-2.520
Potência Ativa(W)	48.420	50	-3.16
Potência Aparente(VA)	48.517	50	-3
Fator de Potência	1	1	0
Frequência(Hz)	59.98	60	-0.033
Temperatura°C	24.64	25	-1.44

Acredita-se também que o circuito de medição possa atuar na resolução de conflitos entre concessionária e município, no que diz respeito à verificação da tarifação. Este é o maior problema entre ambos, pois não existe uma legislação clara de como deve ser feita essa tarifação, que algumas vezes é estabelecida via contrato entre as partes [9].

V. CONCLUSÃO

O trabalho baseou-se no desenvolvimento e teste de um circuito de controle e medição para luminárias públicas LED. Através de um profundo estudo sobre o protocolo de comunicação do MSP desenvolveu-se uma rotina de requisição, utilizando sequências de bytes em hexadecimal, com as quais obtevê-se medidas básicas, extras e temperatura. Propôs-se métodos de calibração com diferentes níveis de dificuldade para serem implementados, porém com diferentes níveis de precisão. Assim como melhorias para um futuro trabalho utilizando o MSP, baseado em um estudo sobre o cenário de iluminação pública.

VI. TRABALHOS FUTUROS

Na continuação deste trabalho, acredita-se que o circuito de controle e medição para as luminárias deve ter como referência para *dimerizar* as lâmpadas além das condições impostas pela legislação, um sistema de sensoriamento [4]. Fornecendo noções sobre a intensidade do tráfego de pessoas e de veículos, a fim de evitar condições que favoreçam a criminalidade e acidentes de trânsito [1, 6]. Uma proposta para implementar este sistema de sensoriamento, seria através do uso de câmeras e de algoritmos de visão computacional [10].

As câmeras são mais difíceis de se vandalizar do que sensores localizados ao longo da estrutura dos postes de iluminação e são mais fáceis de se instalar, bastando ser posicionadas em um local estratégico na área de interesse [19].

Se for necessário validar o circuito de medição e controle diante da regulamentação do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) [17], não recomenda-se a utilização do método de calibração implementado neste trabalho. O método mais adequado é o do cálculo das contantes de calibração, utilizando instrumentos de medição com precisão de pelo menos 3 casas decimais para tensão e corrente [16].

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi inteiramente financiado pela Pixel Ti. Os autores agradecem o Eng. Henrique Vilela, o Eng. José Carlos Costa Júnior, o aluno Roberto Luiz Assad Pinheiro pelo suporte técnico e o Eng. Cláudio Ribeiro pela orientação.

REFERÊNCIAS

[1] J. Green, C. Perkins, R. Steinbach e P. Edwards. "Reduced street lighting at night and health: A rapid appraisal of public views in England and Wales". Em: *Health & Place* 34 (2015), pp. 171–180. ISSN: 0164-1212. DOI: 10.1016/j.healthplace.2015.05.011. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353829215000775.

[2] L. Linnický, P. Janiga e R. Dubnička. "Electrical Parameters of Dimmable Luminaire". Em: *2018 VII. Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4)*. IEEE, set. de 2018, pp. 1–3. ISBN: 978-1-5386-7924-1. DOI: 10.1109/LUMENV.2018.8521147. URL: https://doi.org/10.1109/LUMENV.2018.8521147.

[3] ANEEL. *Resolução Normativa n. 414*. URL: https://www.aneel.gov.br (acesso em 03/01/2020).

[4] G. Shahzad, H. Yang, A. W. Ahmad e C. Lee. "Energy-Efficient Intelligent Street Lighting System Using Traffic-Adaptive Control". Em: *IEEE Sensors Journal* 16.13 (jul. de 2016), pp. 5397–5405. ISSN: 2379-9153. DOI: 10.1109/JSEN.2016.2557345. URL: https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2557345.

[5] Yanqing Xu, Cong Fu, Eugene Kennedy, Shanhe Jiang e Samuel Owusu-Agyemang. "The impact of street lights on spatial-temporal patterns of crime in Detroit, Michigan". Em: *Cities* 79 (2018), pp. 45–52. ISSN: 0264-2751. DOI: 10.1016/j.cities.2018.02.021. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275117311368.

[6] J. M. Wood, G. Isoardi, A. Black e I. Cowling. "Nighttime driving visibility associated with LED streetlight dimming". Em: *Accident Analysis & Prevention* 121 (2018), pp. 295–300. ISSN: 0001-4575. DOI: 10.1016/j.aap.2018.08.023. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457518305037.

[7] SED (Paraná) et.al. *Manual de iluminação pública*. COPEL. Paraná, 2012, p. 44.

[8] Ilumatic. *BRM-7 para uso em luminárias*. Especificação do Produto. São Paulo, 2018, p. 2.

[9] M. Meyer, L. Maurer, J. Freire e C. De Gouvello. *Lighting Brazilian Cities: Business Models for Energy Efficient Public Street Lighting*. World Bank, 2017. DOI: 10.1596/29537. URL: http://hdl.handle.net/10986/29537. License: CC BY 3.0 IGO.

[10] E. Petritoli, F. Leccese, S. Pizzuti e F. Pieroni. "Smart lighting as basic building block of smart city: An energy performance comparative case study". Em: *Measurement* 136 (2019), pp. 466–477. ISSN: 0263-2241. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.12.095. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224118312405.

[11] O. Machado. *Modernização da iluminação pública em BH gera economia anual de R$ 25 mi*. URL: https://www.canalenergia.com.br (acesso em 03/02/2020).

[12] L.t. Doulos, I. Sioutis, P. Kontaxis, G. Zissis e K. Faidas. "A decision support system for assessment of street lighting tenders based on energy performance indicators and environmental criteria: Overview, methodology and case study". Em: *Sustainable Cities and Society* 51 (2019). ISSN: 2210-6707. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101759. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719304846.

[13] CEMIG. *Projetos de Iluminação Pública*. Manual de Distribuição. Minas Gerais, nov. de 2012, p. 64.

[14] Texas Instruments. *Single Phase and DC Embedded Metering (Power Monitor) Using MSP430I2040*. Especificação do Produto. Dallas, Texas, ago. de 2014, p. 68.

[15] Pixel Ti. *C006TINT Smart Plug*. Especificação de Produto. Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, jul. de 2019, p. 2.

[16] Texas Instruments. *TI Designs Single-Phase AC and DC Power Monitor with Wire Resistance and EMI Capacitor Compensation*. Especificação do Produto. Dallas, Texas, ago. de 2014, p. 50.

[17] INMETRO. *Portaria Inmetro n. 375*. URL: https://www4.inmetro.gov.br (acesso em 05/02/2020).

[18] A. Cachada et al. "Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture". Em: *2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. Vol. 1. IEEE, set. de 2018, pp. 139–146. ISBN: 978-1-5386-7108-5. DOI: 10.1109/ETFA.2018.8502489. URL: https://doi.org/10.1109/ETFA.2018.8502489.

[19] B. Eamthanakul, M. Ketcham e N. Chumuang. "The Traffic Congestion Investigating System by Image Processing from CCTV Camera". Em: *2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (ICDAMT)*. IEEE, mar. de 2017, pp. 240–245. ISBN: 978-1-5090-5210-3. DOI: 10.1109/ICDAMT.2017.7904969. URL: https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2017.7904969.

Comparações na Recuperação de Áudio entre a Modulação Delta e a Modulação Delta Adaptativa

Gabriel Carvalho Mendes
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
gabrielmendes@get.inatel.br

Rausley Adriano Amaral de Souza
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel
rausley@inatel.br

***Abstract*— In this article, it will be explained, in detail, two different techniques of modulation/quantization: the Delta Modulation and the Adaptive Delta Modulation. They will also be put into practice on an audio recovery, pointing their differences and advantages.**

***Index Terms*—Delta Modulation, Quantization Technique.**

***Resumo*—Neste artigo serão explicadas, detalhadamente, duas técnicas diferentes de modulação/quantização: a Modulação Delta e a Modulação Delta Adaptativa. Também serão postas em prática na recuperação de um áudio, apontando suas diferenças e vantagens.**

***Palavras chave*—Modulação Delta, Técnica de Quantização.**

I. INTRODUÇÃO

A Modulação Delta é uma técnica de quantização de 1 bit, que consiste em amostrar o sinal de entrada a uma taxa muito maior que a Taxa de Nyquist, em que a frequência de amostragem é duas vezes maior que a máxima componente de frequência do sinal amostrado(Haykin, 2001), onde ocorre um processo conhecido como *oversampling*. Sua vantagem dá-se pelo fato de ser uma técnica muito simples e eficaz, já que seu modulador consiste apenas de um comparador, um quantizador e um acumulador, todos interligados, como é mostrado nas Figuras 1 e 2.

Por intermédio das figuras, pode ser compreendido o funcionamento do modulador, que resulta em aproximações por meio de pulsos de +Δ ou -Δ, em que Δ é um valor fixo previamente definido, dependendo do valor da amostra na entrada do comparador. Se o valor da amostra atual é maior que a última aproximação, é incrementado Δ, caso contrário, se a amostra tiver um valor menor que a aproximação, é decrementado Δ. O resultado é a forma de onda observada na Figura 2, mais conhecida como *staircase*. Como enfatizado anteriormente, a codificação na saída do modulador é feita por 1 bit, 1 ou 0, que se dá exatamente pelos pulsos + Δ e – Δ, respectivamente. Por exemplo, se há três incrementos sucessivos de Δ, o codificador irá codificar como 1 1 1.

A Figura 2 também comprova o motivo de ser necessário ter uma frequência de amostragem muito alta para uma fidelidade melhor do sinal, já que o espaço entre cada variação de Δ, é exatamente o espaço entre cada amostra, e consequentemente o tempo de cada bit, na codificação.

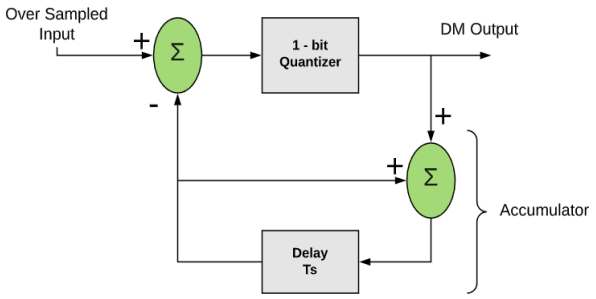


Fig. 1. Diagrama de Blocos (Transmissor)

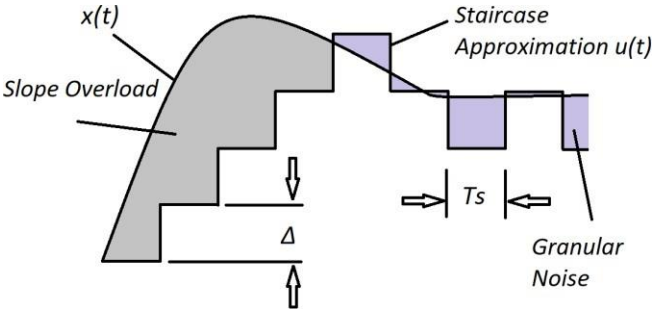


Fig. 2. Modulação Delta

II. SOBRECARGA DE INCLINAÇÃO E RUÍDO GRANULAR

A modulação Delta está sujeita a dois tipos de erros (ou ruídos) frequentes, que são: sobrecarga de inclinação e ruído granular(Haykin, 2001). A sobrecarga de inclinação ocorre quando o sinal de entrada tem uma inclinação muito grande, assim os pulsos de Δ não conseguem acompanhar a mensagem, provocando um ruído na reprodução do sinal. A relação

$$\frac{\Delta}{\mathrm{Ts}} \geq \max\left|\frac{dx(t)}{dt}\right| \qquad (1)$$

deve ser satisfeita para que não ocorra a sobrecarga de inclinação no processo de modulação. Na equação (1), *Ts* é o intervalo de cada amostra, e *x*(*t*) é o sinal a ser modulado. Julgando por essa relação, o mais provável a se fazer é aumentar ainda mais a frequência de amostragem, o que é inviável, ou então aumentar o valor de Δ , para que esse erro seja eliminado. Porém, ao se ter um valor de Δ muito alto, um

outro problema acaba acontecendo no processo, chamado de ruído granular.

O ruído granular ocorre quando o sinal de entrada tem um comportamento quase ou até mesmo constante, ou seja, sua inclinação é muito pequena. Ao entrar nesse estado, com um Δ muito grande, o erro também será grande, já que não terá sinal para ser acompanhado, ocorrendo várias alternações de + Δ e – Δ. As Figuras 3 e 4 ilustram os dois tipos de erros/ruídos descritos anteriormente.

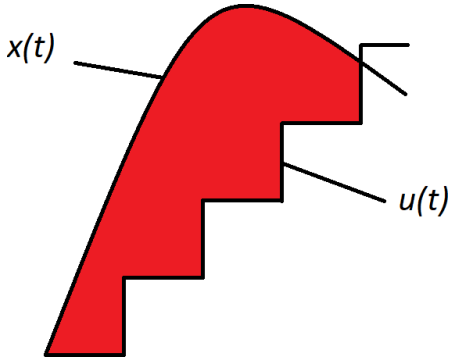


Fig. 3. Sobrecarga de Inclinação

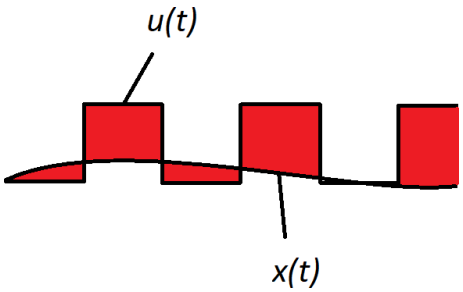


Fig. 4. Ruído Granular

Sabendo disso, pode-se concluir que não é bom ter um valor de Δ muito grande, já que provoca o ruído granular, mas também não se pode ter um Δ pequeno a ponto da aproximação não conseguir acompanhar o sinal. Em posse dessas informações, conclui-se que há um valor otimizado de Δ, que é o balanceamento dos dois erros. Essa relação entre os dois tipos de problema é vista melhor no gráfico da Figura 5.

Como observado, o gráfico mostra a curva que representa relação sinal/ruído da modulação para valores de delta, em que o valor máximo é exatamente o valor otimizado de Δ(Couch II, 2013). Em outras palavras, para a Modulação Delta Linear, em que Δ é um valor fixo, infelizmente não existe um cenário sem ruídos, assim a melhor opção existente é optar pelo valor otimizado de Δ. A Figura 5 ilustra o comportamento da modulação para determinados valores de Δ.

III. MODULAÇÃO DELTA ADAPTATIVA

Felizmente, há uma variação da Modulação Delta Linear em que o valor de Δ é variável em tempo real de acordo com o comportamento do sinal de entrada(Haykin, 2001), assim minimizando os dois tipos de problema. E essa variação é denominada Modulação Delta Adaptativa.

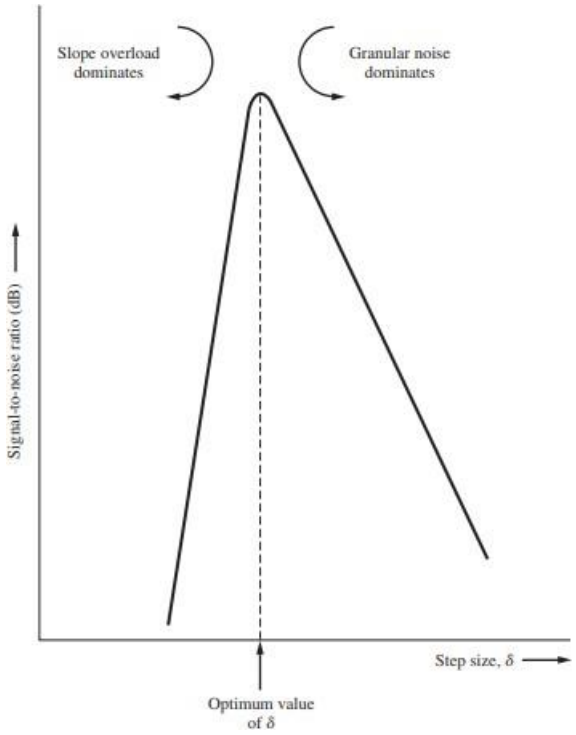


Fig. 5. Relação Sinal-Ruído do Sistema em função do valor de Δ [2].

A Modulação Delta Adaptativa, por meio de um algoritmo, identifica o estado atual do sinal de entrada(Haykin, 2001). Se ele estiver atuando com uma inclinação muito grande, obtendo vários acréscimos ou decréscimos de Δ seguidos um do outro (bits iguais em sequência), o valor de Δ aumenta para cada repetição de bit, evitando a sobrecarga de inclinação. Caso seja identificado que a inclinação é pequena, obtendo + Δ e – Δ alternadamente (bits 1 e 0 intercalados), Δ tem seu valor reduzido para evitar o problema do ruído granular. Lembrando que apesar de haver valores diferentes de Δ ao longo da modulação, a codificação continua sendo por 1 bit (a decodificação no receptor repete o mesmo processo). O gráfico da Figura 6 ilustra o procedimento anteriormente descrito.

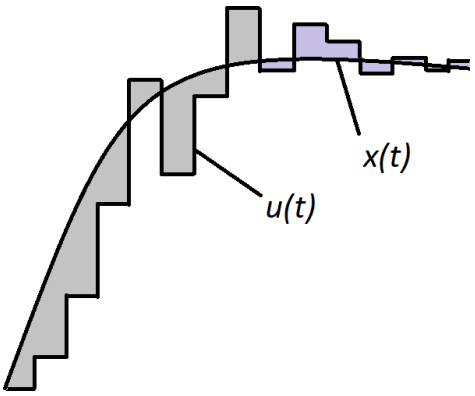


Fig. 6. Modulação Delta Adaptativa

IV. SIMULAÇÃO E COMPARAÇÕES

Com o auxílio da ferramenta Matlab, é possível analisar a eficácia e comportamento das duas técnicas de quantização sob análise, e finalmente fazer algumas conclusões e comparações a respeito. Os códigos feitos estarão disponíveis no Apêndice no fim do artigo.

Como sinal de entrada, foi utilizado um trecho de áudio, de 14 segundos da música *Sweet Home Alabama*, de frequência 44.1 kHz, conforme ilustrado na Figura 7.

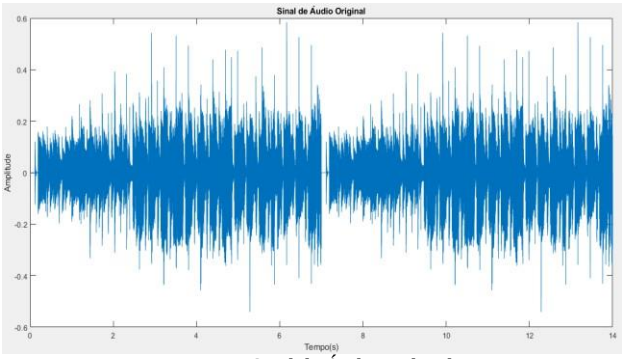


Fig. 7. Sinal de Áudio Utilizado

A. Simulação – Modulação Delta

Na Modulação Delta, foram utilizados como parâmetros, um *step-size* de 0.025 e uma frequência de amostragem extremamente alta.

O código consiste em criar um vetor para a modulação, do mesmo tamanho do vetor de áudio. Em um loop, os elementos dos dois vetores são comparados entre si em um intervalo de *Ts* (período de cada amostra), assim respeitando o parâmetro da frequência de amostragem. Nessas comparações, o conceito utilizado é exatamente o conceito da modulação: comparar o valor dos dois vetores no mesmo instante, e decidir se é incrementado de Δ, ou decrementado de Δ. Os elementos do vetor de modulação fora dos intervalos de *Ts*, são apenas réplicas do elemento do último intervalo *Ts*, assim formando o sinal desejado.

Após feito todo esse processo, o sinal modulado passa por um filtro do tipo passa-baixa, que tem ao objetivo de suavizar o sinal, removendo parte do erro de quantização contido. Os resultados obtidos nessa primeira parte da simulação podem ser vistos na Figura 8, com o sinal de entrada em vermelho, e a modulação em preto. Após a filtragem, o sinal original reconstruído é mostrado na Figura 9.

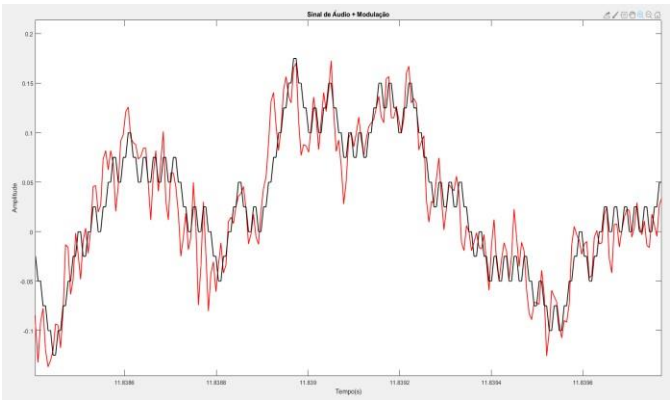


Fig. 8. Sinal Original e Sinal Modulado

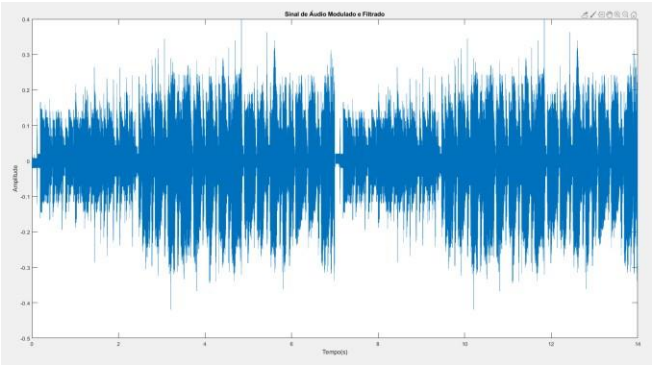


Fig. 9. Sinal Modulado e Filtrado

Foi calculado, por meio de uma ferramenta própria do Matlab, o erro médio quadrático (MSE) desse sinal de saída, relacionado com o sinal de entrada. O resultado obtido foi um erro de 0,0085 ou 0,85%, o que é um resultado muito bom.

E por fim, o sinal de áudio da saída foi reproduzido, assim podendo na prática perceber o quanto o processo de modulação e quantização foi eficaz, e a conclusão foi de que as frequência mais altas, ou os tons mais agudos do áudio original foram um pouco atenuados, e ainda pôde-se ouvir um pequeno ruído de fundo, oriundo do erro de quantização que restou.

B. Simulação – Modulação Delta Adaptativa

Para a Modulação Delta Adaptativa, a implementação do código foi um pouco mais complexa, porém não fugiu dos padrões da Modulação Delta linear. Foi utilizado um *step*-size inicial de 0.05, e frequência de amostragem extremamente alta. Para o código, teve-se que implementar algo a mais no loop de formação do vetor de modulação, para que o valor de Δ se adapte ao comportamento atual do sinal de entrada. O algoritmo utilizado para isso consiste em:

- Caso ocorra duas variações iguais de Δ, o valor do *step-size* aumenta pela metade;
- Caso ocorra duas variações contrárias de Δ, o valor do *step-size* diminui pela metade.

Para que isso aconteça, uma variável auxiliar, chamada de C, é criada, que acompanha cada variação de Δ , por exemplo:

- Se há um incremento de Δ, C recebe 1;
- Se há um decremento de Δ, C recebe 0;

Se, por exemplo, no momento de decisão, a aproximação é de +Δ, e C é igual a 1, indica que a última aproximação também foi de +Δ, assim o código entende que o sinal está no modo sobrecarga de inclinação, e aumenta o *step-size* pela metade, corrigindo o problema. No mesmo cenário, se C for igual a 0, quer dizer que o sinal está operando no modo ruído granular, assim o código diminui o *step-size* pela metade, conforme indicado na Figura 10.

Porém, houve um problema com essa implementação ao utilizá-la no áudio em questão, pois no início do áudio, o sinal opera continuamente no modo ruído granular, assim o *step-size* diminui muito a ponto de a ferramenta reduzir esse valor a zero, não sendo possível acompanhar o restante do sinal. A solução encontrada para que isso não aconteça, foi colocar um valor mínimo para Δ , para que quando houver uma redução no *step-size*, o programa primeiro verificar se esse valor está acima do mínimo, caso contrário, ele parar naquele valor. O valor mínimo utilizado, foi de 0.01.

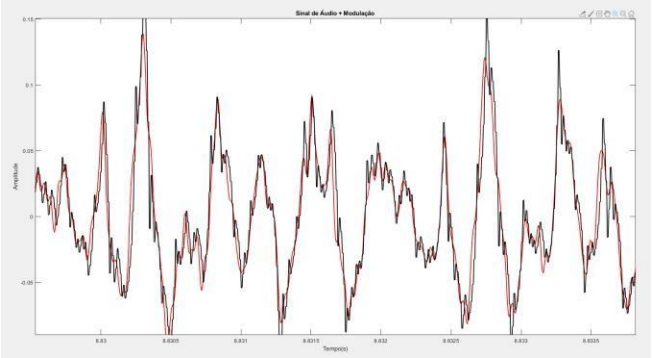


Fig. 10. Sinal Original e Sinal Modulado

O filtro utilizado na recuperação do sinal modulado, foi o mesmo filtro utilizado na Modulação Delta Linear. Visualmente, conforme reproduzido na Figura 11, não há muita diferença se colocadas as duas imagens lado a lado, por isso foram feitos os devidos testes, relatados a seguir:

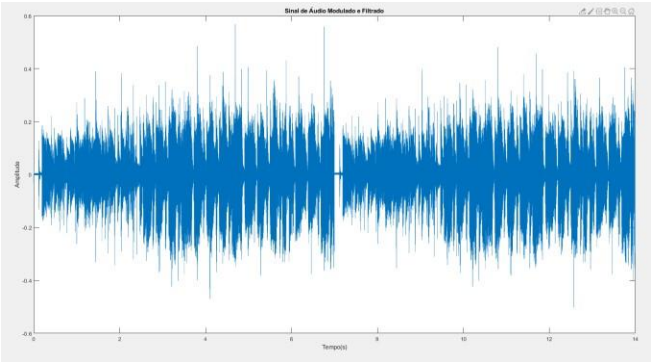


Fig. 11. Sinal Modulado e Filtrado

Como na outra simulação, também foi medido o erro médio quadrático dessa modulação, e para uma surpresa, foi obtido um valor de 0.0266, que equivale 2,66% de erro, maior que a Modulação Delta Linear.

Porém, ao ser feito o teste audível, reproduzindo o sinal na saída do modulador, o ruído observado no primeiro teste é quase inexistente, concluindo que a Modulação Delta Adaptativa conseguiu reduzir quase ao máximo o ruído de quantização, assim sendo mais eficiente no processo de recuperação do sinal de áudio.

V. CONCLUSÃO

Após feitos os devidos estudos, pesquisas e testes, conclui-se que, apesar da Modulação Delta Linear ser bastante eficaz, contém alguns erros e falhas, que por sua vez são corrigidos parcialmente pela implementação da Modulação Delta Adaptativa, que como visto na teoria e provado na prática, é realmente um melhoramento da Modulação Delta.

REFERÊNCIAS

[1] Haykin, S. *Communication Systems;* 4th Edition, 2001. ISBN 9780470009840.
[2] W. Couch II, L. *Digital and Analog Communication Systems*; 8th Edition, 2013. ISBN 9780132915380.
[3] Leon-Garcia, A. *Probability, Statistics, and Random Processes for Electrical Engineering*; 3rd Edition, 2008. ISBN 9780131471221.
[4] Matlab. (10 de Março de 2019) [Online]. Disponível: https://www.mathworks.com/products/matlab.html.
[5] MS Paint (19 de Fevereiro de 2020).
[6] LucidChart (19 de Fevereiro de 2020). [Online]. Disponível: https://www.lucidchart.com

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fapemig, pelo CNPq contrato 308365/2017-8, pela Capes e pela RNP, com recursos do MCTIC, processo No 01250.075413/2018-04, sob o projeto Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, Brasil.

VI. APÊNDICE

Apêndice A – Código para Modulação Delta

```
A=20; %Amplitude do Sinal
Fm=10e3; %Frequência do Sinal
Fs=1700000*Fm; %Frequência de amostragem(Muito maior
que taxa de Nyquist)
n=Fs/Fm; %Número de steps, relacionado diretamente à Fs
delta=0.025; %Tamanho do Step-Size(Delta)


[nt,Fss]=audioread('sweet_home_alabama.mp3');
x=length(nt)*2;%Função mensagem a ser modulada
mt=reshape(nt,[1,x]); %Função mensagem a ser modulada
t=linspace(0,14,x); %Variável de tempo, dependente de
FM para 'travar' a visualização



y=zeros(1,length(mt)); %Criação do vetor staircase
dr=round(length(mt)/n); %dr é a duração de cada degrau

y(1)=mt(1);

for k=1:dr:(length(y)-dr)
    for l=k:1:(k+dr)                    %Desenhando o
Degrau
        y(l)=y(k);
    end

    var=k+dr;

    if y(var)<mt(var)
        y(var)=y(var-1)+delta;
    else
%Verificação(+Delta ou -Delta)
        y(var)=y(var-1)-delta;
    end

end



figure(1);
plot(t,mt,'r','linewidth',1.5);
hold on                                 %Plotagem
plot(t,y,'k','linewidth',1.5);
hold off
title('Sinal de Áudio + Modulação')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Amplitude')


figure(2);
[b,a] = butter(8,0.2,'low');
z = filter(b,a,y);
plot(t,z)
z1 = 2 * z;
title('Sinal de Áudio Modulado e Filtrado')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Amplitude')


figure(3);
plot(t,mt)
title('Sinal de Áudio Original')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Amplitude')



err = immse(z1,mt)
```

Apêndice B – Código para Modulação Delta Adaptativa

```
[nt,Fss]=audioread('sweet_home_alabama.mp3'); %áudio
Fs=1000*Fss; %Frequência de amostragem
n=1700000; %Número de steps
x=length(nt)*2; %Variável para reshape(pc pra pc)
mt=reshape(nt,[1,x]);%Reshape áudio
t=linspace(0,14,x); %Variável tempo
y=zeros(1,length(mt)); %Criação do vetor staircase
dr=round(length(mt)/n); %dr é a duração de cada degrau
delta=max(mt)/10; %Delta inicial
y(1)=mt(1);


for k=1:dr
    y(k)=mt(1);
end
if y(dr)<mt(dr)
        y(dr)=y(dr-1)+delta;
        c=1;
else
        y(dr)=y(dr-1)-delta;
        c=2;
end
for k=dr:dr:(length(y)-dr)
    for l=k:1:(k+dr)
        y(l)=y(k);
    end
    var = k+dr;
    if (y(var) < mt(var))
        if (c == 1)
            delta = delta * 1.5;
        elseif (c == 2)
            if delta < 0.01
                delta = 0.01
            else
                delta = delta * 0.5;
            end
        end
        y(var) = y(var-1) + delta;
        c = 1;
    elseif (y(var) >= mt(var))
        if (c == 1)
            if delta < 0.01
                delta = 0.01
            else
                delta = delta * 0.5;
            end
        elseif (c == 2)
            delta = delta * 1.5;
        end
        y(var) = y(var-1) - delta;
        c = 2;
    end
end


figure(1);
plot(t,mt,'r','linewidth',1.5);
hold on                                 %Plotagem
plot(t,y,'k','linewidth',1.5);
hold off
title('Sinal de Áudio + Modulação')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Amplitude')


[b,a] = butter(8,0.2,'low');
z = filter(b,a,y);


figure(2);
plot(t,z);hold on
z1 = 3 * z;
title('Sinal de Áudio Modulado e Filtrado')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Amplitude')


figure(3);
plot(t,mt)
title('Sinal de Áudio Original')
xlabel('Tempo(s)')
ylabel('Amplitude')

err = immse(z1,mt)
```

Elaboração de um caderno de experimentos práticos sobre Firewall para uso no laboratório de segurança de redes do Inatel.

Nathália D. Magalhães, Ítalo de Rezende, Alessandra C. Domiciano, Guilherme P. Aquino, Francisco A.S. do Carmo
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
nathalia.dias@get.inatel.br, italo.rezende@gec.inatel.br, alessandracarolina@get.inatel.br, guilhermeaquino@inatel.br, francisco.assis@inatel.br

***Resumo*—Atualmente no Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações), no curso de graduação em engenharia de telecomunicações, não há experiências em laboratórios que ensinem aspectos básicos sobre equipamentos de segurança de redes, como Firewalls, IDS (*Intrusion Detection System*) e IPS (*Intrusion Prevention System*). Além disso, o novo currículo em vigência no Inatel prevê a existência de uma nova matéria exclusiva para exploração do conteúdo de segurança de redes e, portanto, será necessária a implantação de um laboratório para abordar esse tema dentro das dependências do Instituto.**

Para suprir essa carência, o objetivo deste trabalho de iniciação científica é gerar um caderno de experimentos práticos que possa ser usado nos laboratórios das matérias que abordem aspectos de segurança de redes. Esses experimentos levarão em consideração a utilização de Firewalls, IDS e IPS instalados dentro das dependências dos laboratórios. De posse desse caderno, professores e alunos poderão realizar experimentos de instalação, avaliação e teste de penetração para fins didáticos, aumentando o conhecimento de todos envolvidos no processo de educação dos cursos de graduação de engenharia de telecomunicações.

Pretende-se utilizar distribuições opensources dos principais equipamentos de Firewall, IDS e IPS já disponíveis e difundidos na Internet. Dessa forma, o custo de implantação destes equipamentos dentro dos laboratórios é minimizado.

***Index Terms*—Firewall, IDS, IPS, Segurança de redes.**

I. Introdução

Quando tratamos de acesso à Internet e as redes em geral devemos ter cuidado com os dados que estão trafegando por estes meios. O uso indiscriminado de informações capturadas nestes ambientes virtuais tem causado grandes impactos tanto para a pessoa física quanto para as grandes organizações.

Uma das soluções de controle para esta situação é a utilização de um Firewall que nada mais é do que um sistema de segurança com a função de restringir ou liberar os acessos entre as redes.

Para [1], é denominado Firewall a utilização em conjunto de hardware e software para isolar e filtrar pacotes que trafegam entre a rede interna e o resto da Internet. Portanto, é correto afirmar que um Firewall é uma barreira entre a rede interna e o resto do mundo e vice versa. Ele opera controlando as entradas e saídas de dados entre as redes existentes e atualmente é um item comum tanto nos computadores pessoais quanto nos grandes servidores e redes de telecomunicações.

Um Firewall pode ser classificado pelo nível de operação em três tipos diferentes: i) filtro de pacotes, ii) Firewall de aplicação ou *proxy* e iii) Firewall de inspeção com estados. O Firewall de filtragem de pacotes analisa todo o tráfego dos pacotes que passa por ele levando-se em conta os critérios de endereçamento IP, tipo do pacote e número de porta da camada de transporte. O Firewall de aplicação ou *proxy* age como um intermediário entre os clientes e servidores da conexão realizando as solicitações no lugar dos clientes e devolvendo as respostas no lugar dos servidores. Por fim, o Firewall de inspeção com estados examina o fluxo de tráfego de ponta a ponta na rede e utilizam-se de uma maneira inteligente para evitar o tráfego de pacotes não autorizados analisando os cabeçalhos dos pacotes e inspecionando o estado de cada fluxo de dados.

O objetivo desse artigo é mostrar os experimentos desenvolvidos para tratar cada tipo de Firewall em um ambiente prático.

Para cumprir com o objetivo desse artigo, o mesmo está dividido da seguinte forma. A Seção II traz uma configuração inicial do PFSense. Logo em seguida, a Seção III mostra todos os passos para se criar uma regra de Firewall de filtragem de pacotes enquanto que a Seção IV mostra os passos para criação de regras para Firewall de nível de aplicação. A Seção V traz as principais conclusões sobre o trabalho.

II. Ajustes inicias para funcionamento do Firewall

Todos os experimentos feitos no caderno do laboratório foram realizados utilizando o sistema de Firewall denominado PFSense [2]. Trata-se de um sistema operacional FreeBSD [3] com funções de filtragem aplicadas às interfaces de conexão de rede. O PFSense será usado em uma máquina virtual com duas interfaces de rede e que está ativa num ambiente de virtualização.

Também serão utilizadas outras duas máquinas virtuais, uma com sistema operacional MS Windows 10 Pro Educacional e outra com sistema Linux Ubuntu Desktop na versão 19.04. Essas máquinas serão usadas para simular o tráfego entre cliente e servidores da rede que contem o Firewall PFSense.

Ao iniciar as atividades, o aluno terá como primeira tarefa ligar o sistema PFSense que está no ambiente de virtualização,

abrir um console remoto e conferir ao final do processo de inicialização, se as duas interfaces de redes estão ativas e com atribuição de endereços IP (*Internet Protocol*), conforme ilustram as Figuras 1 e 2.

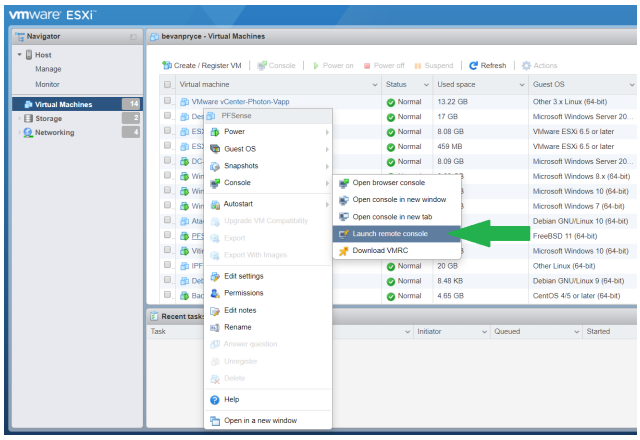


Figura 1. Abrir um console remoto.

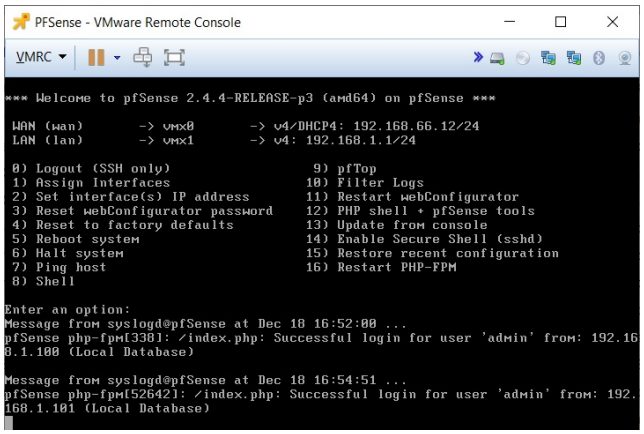


Figura 2. Interfaces de rede com IP atribuído.

A partir da verificação de que as interfaces do PFSense estão com as interfaces de redes com IP atribuído, o aluno poderá efetuar a ligação das outras duas máquinas virtuais envolvidas no experimento que estão no ambiente de virtualização e realizar as ações a seguir:

- Abrir o console remoto da máquina virtual MS Windows 10 Pro Education;
- Realizar o logon com as seguintes credenciais: Usuário = firewall e Senha = firewall123
- Abrir o navegador Google Chrome e digitar o IP 192.168.1.1
- Realizar o logon na interface de configuração do PFSense, com as seguintes credenciais: Usuário = admin e senha = pfsense conforme ilustra a Figura 3

Após a realização do logon, o aluno poderá ver algumas informações sobre o sistema e as diversas guias de acesso existentes no painel de configuração. Dentro do painel de configuração o aluno terá que criar os `Aliases` que serão utilizados nas regras de acesso do Firewall.

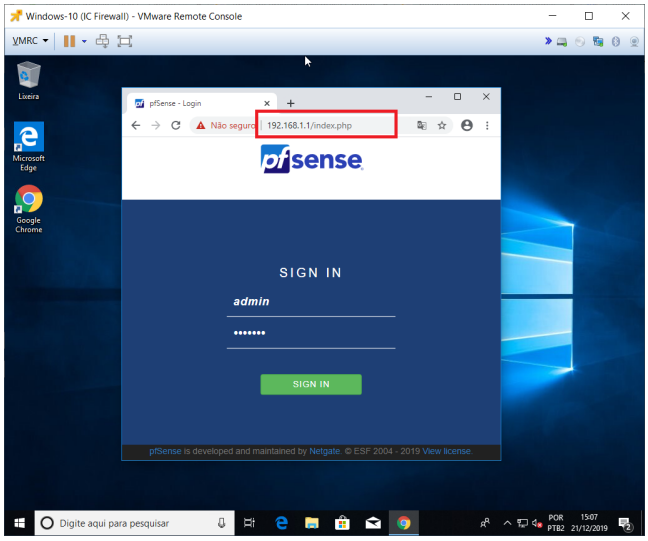


Figura 3. Interface de Logon do PFSense.

Os aliases, também conhecidos como objetos ou endereços, atuam como espaços reservados para agrupar hosts, redes, URLs (*Uniform Resource Locator*) e portas de conexão. Eles são geralmente usados para diminuir o número de alterações que precisam ser feitas quando se cria uma ou mais regras num Firewall. Como exemplo, assuma que você tenha a necessidade de criar uma regra para bloquear um grande número de endereços IP na Internet. Ao criar uma regra para cada um deles a gestão das regras se tornará muito lenta, no entanto, se você criar um `alias` com todos os endereços, bastará aplicar este `alias` em uma única regra e todos eles serão bloqueados de uma única vez facilitando a gestão e garantido a agilidade.

Para a criação do primeiro `Alias`, o aluno terá que acionar a guia Firewall e clicar em Aliases. Perceba, conforme ilustra a Figura 4, que não existem registros criados. A partir desse ponto, o aluno será conduzido a criar um Alias de bloqueio para a URL da rede social Facebook através da guia URLs.

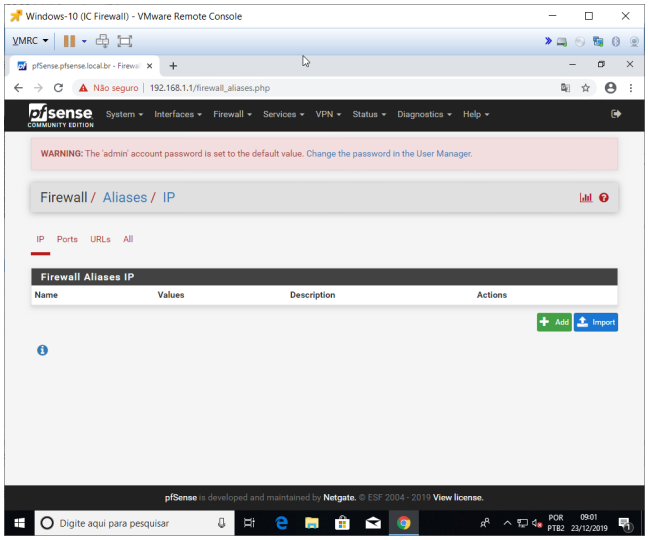


Figura 4. Criando Aliases em URLs.

Para isso, o aluno deverá acionar o botão `Add` e seguir conforme ilustra a Figura 5, preenchendo os campos de acordo com os itens a seguir.

- Nome: Será o nome do alias em relação ao que trata e a rede em que será aplicado;
- Descrição: Uma breve descrição para facilitar a identificação do alias;
- Tipo: Existem sete tipos diferentes para a utilização de uma regra de firewall. O tipo Host(s) deverá ser usado pelo aluno;
- IP ou FQDN (*Fully Qualified Domain Name*): Endereço propriamente dito para o qual pretende-se criar o alias.

É importante observar que FQDN é a sigla para nome de domínio totalmente qualificado ou domínio absoluto e o endereço base de um domínio, tal como em nosso exemplo, facebook.com ou inatel.br. Vale ressaltar que os subdomínios de um domínio raiz também fazem parte do FQDN, ou seja, estão contidos no domínio raiz, um exemplo disso é o endereço pt-br.facebook.com que também é utilizado na criação do alias.

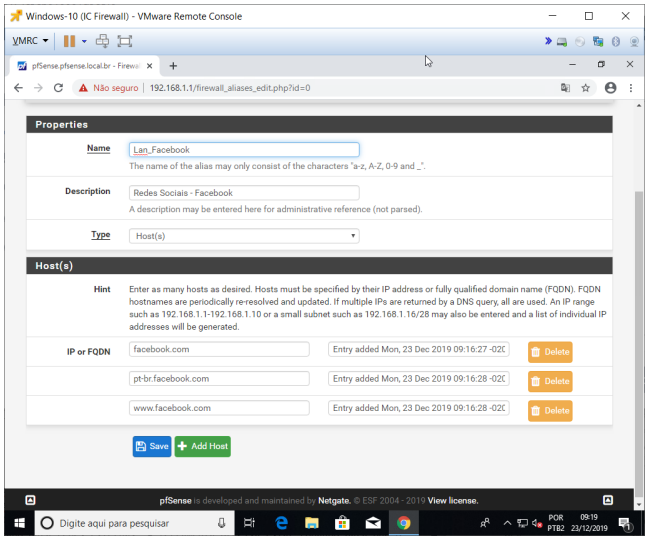


Figura 5. Criando Aliases Facebook.com.

Após a edição, deve-se salvar o alias criado e na sequência aplicar as alterações através do botão `Apply Changes`. A partir daí, o alias já estará disponível para ser utilizado na criação das regras.

III. Criação de Regras do Firewall

No caderno de experimento, o aluno será conduzido a utilizar a guia Firewall e acionar o item `Rules`. Assim, o aluno irá criar a primeira regra de bloqueio ao site do Facebook.com para todos os dispositivos conectados à rede local (LAN – *Local Area Network*) do Firewall. A tela inicial exibe as regras existentes no PFSense, tanto da rede externa (WAN – Wide Area Network) quanto da LAN. O aluno deverá efetuar a criação na guia LAN, conforme ilustra a Figura 6.

Após isso, o aluno deverá ativar o botão `Add` e iniciar a criação da regra preenchendo os campos de acordo com as informações a seguir.

- Action: Block, para criar uma regra de bloqueio;

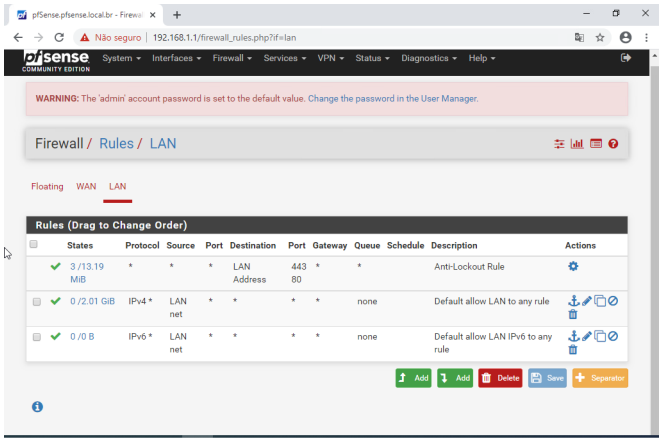


Figura 6. Regras existentes na LAN.

- Disabled: manter desmarcado
- Interface: LAN
- Address Family: IPV4
- Protocol: TCP
- Source: any
- Destination: Single host or alias (digitar no campo Destination Address LanFacebook)
- Destination Port Range: any / any
- Log: permanecer desmarcado
- Description: Bloqueio Facebook

Na sequência o aluno irá salvar a regra e aplicar as alterações. A partir daí, já será possível visualizar a regra na lista de criações da LAN.

Agora, na própria máquina virtual do PFSense, utilizada para efetuar as configurações, o aluno poderá efetuar um teste de acesso ao site do facebook.com e avaliar se realmente a regra já está em funcionamento.

Nesse ponto, todo o acesso aos sites do facebook serão bloqueados quando o aluno tentar fazer um acesso HTTP. Porém, possivelmente, o site https://facebook.com ainda está com o acesso liberado e isso está acontecendo, pois a regra que foi criada, apesar de estar correta, não está posicionada no local onde deve estar na lista de regras. Um firewall tem função hierárquica e conforme a Figura 7, pode-se identificar que existem regras superiores que estão garantindo a liberação de todos os acessos antes da regra da bloqueio do Facebook.

Assim a regra criada não tem efeito algum. Para solucionar esta falha, deve-se posicionar a regra criada logo abaixo da regra `default`, denominada `Anti-Lockout Rule`. Após feito isso, salvar e aplicar as alterações. Agora, efetuando um novo teste ao site do Facebook, o aluno verá que todos os acessos serão bloqueados. Os demais sites podem ser acessados normalmente. Este modelo de criação de regras pode ser utilizado para outros sites, mas lembre-se que tudo começa na criação dos aliases.

IV. Criação de Regras para Firewall de Nível de Aplicação

Além da regra de filtragem apresentada na seção anterior, nesse ponto o aluno será guiado para um experimento que

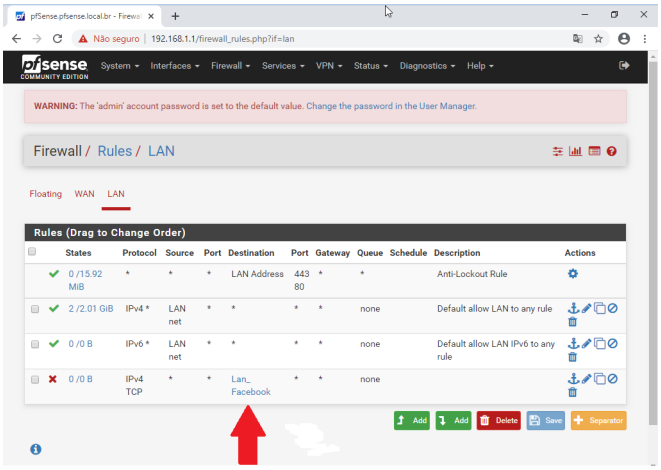


Figura 7. Hierarquia das Regras.

define a criação de regra para portas de conexão FTP (*File Transfer Protocol*), caracterizando um Firewall de nível de aplicação. A sequência de criação do alias é a mesma apresentada anteriormente, com a diferença relacionada ao tipo dele que será Ports. Na Figura 8, tem-se a sequência de criação do alias e a seguir o registro das informações.

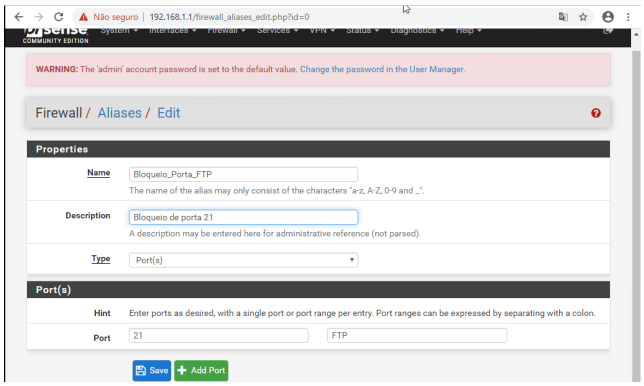


Figura 8. Criando alias para regras de Firewall em nível de aplicação.

- Name: Bloqueio-porta-FTP
- Description: Bloqueio de Porta 21
- Type: Port(s)
- Port: 21
- Description: FTP

Agora, na guia Firewall, o aluno irá escolher o item `Rules` e a interface LAN. Clicar no botão `Add` com seta para baixo e realizar a criação de uma regra utilizando o alias que foi criado. Os itens abaixo são comuns à criação da regra de bloqueio, no entanto, no item `Destination`, o aluno deve configurar os dados de acordo com a Figura 9.

- Action: Block
- Interface: LAN
- Address Family: IPv4
- Protocol: TCP/UDP
- Source: any
- Destination: any
- Destination Port Range: From / To: (other) Custom: Bloqueio-Porta-FTP

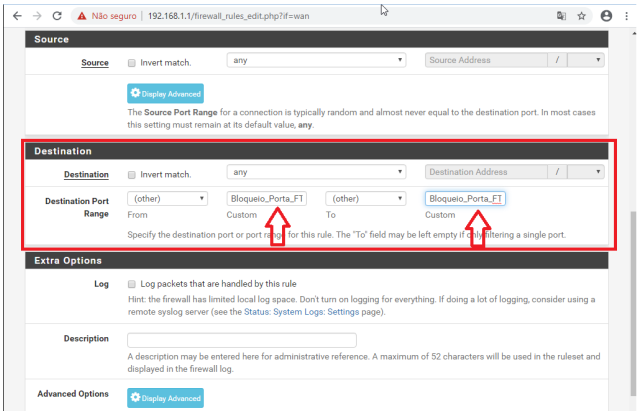


Figura 9. Configuração do item Destination.

No campo `custom`, conforme estão indicando as setas em vermelho, é o local onde deve-se utilizar o alias de bloqueio de porta. Após realizar o preenchimento dos campos, deve-se salvar e aplicar as alterações.

Agora, o aluno poderá realizar o acesso ao site FTP do Inatel no endereço ftp://ftp.inatel.br e se tudo estiver correto, este site não poderá ser aberto e o aluno não deverá visualizar uma caixa de diálogo de logon em seu navegador Web.

Agora, o aluno poderá efetuar um novo acesso a um outro servidor FTP: ftp://ftp.funet.fi/pub/standards/RFC/rfc959.txt, e verificar que a aplicação também foi bloqueada pelo Firewall.

V. Conclusão

Esse artigo resume as experiências práticas que compõem o caderno de experimento que será usado na disciplina de segurança de redes do Inatel. Foram desenvolvidas experiências que guiam o aluno em seus estudos práticos sobre os principais conceitos sobre Firewall. Com o uso do caderno de experimento o aluno terá uma maior aproximação com essa ferramenta que proporcionam um nível de segurança maior às redes de telecomunicações.

Referências

[1] J.F. Kurose and K.W. Ross. *Computer Networking: A Top-down Approach*. Pearson International edition. Addison-Wesley, 2010.

[2] pfSense.org. pfsense a open source security. Disponível em, https://www.pfsense.org.

[3] FreeBSD Project. Freebsd - the power to serve. Disponível em, https://www.freebsd.org.

Elaboração de um caderno de experimentos práticos para uso no laboratório de segurança de redes do Inatel.

Maria Tereza Yassin, Alessandra C. Domiciano, Guilherme P. Aquino, Francisco A.S. do Carmo
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
mariatereza@gec.inatel.br, alessandracarolina@get.inatel.br, guilhermeaquino@inatel.br, francisco.assis@inatel.br

***Resumo*—Atualmente no Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações), no curso de graduação em engenharia de telecomunicações, não há experimentos em laboratórios que ensinem características básicas sobre os principais aspectos de defesa de sistemas informatizados e conectados à Internet. Além disso, o novo currículo em vigência no Inatel prevê a existência de uma nova matéria exclusiva para exploração do conteúdo de segurança de redes e, portanto, será necessária a implantação de um laboratório para abordar esse tema dentro das dependências do Instituto.**

Para suprir essa carência, o objetivo deste trabalho de iniciação científica é gerar um caderno de experimentos práticos que pode ser usado nos laboratórios das matérias que abordem aspectos de segurança de redes. Esses experimentos levarão em consideração a utilização das defesas mais difundidas para os sistemas instalados dentro das dependências dos laboratórios e as principais ferramentas de teste de penetração deverão ser usadas para testar a qualidade dos sistemas de defesa. De posse desse caderno, professores e alunos poderão realizar experimentos de instalação, avaliação e teste de penetração para fins didáticos, aumentando o conhecimento de todos envolvidos no processo de educação dos cursos de graduação de engenharia de telecomunicações.

Pretende-se utilizar distribuições *opensources* das principais ferramentas de pentest já disponíveis e difundidas na Internet. Dessa forma, o custo de implantação destes equipamentos dentro dos laboratórios é minimizado.

***Index Terms*—Confidencialidade, Autenticidade, Integridade, Irretratabilidade, Segurança de redes, PenTest.**

I. Introdução

Quando precisamos estabelecer uma troca de dados segura por uma rede de telecomunicações, é imprescindível assegurar cinco pilares dentro dessa comunicação: i) confidencialidade, ii) integridade, iii) autenticidade, iv) irretratabilidade e, por fim, v) disponibilidade [1]. De maneira resumida, confidencialidade é tornar a informação disponível somente a quem está devidamente autorizado a acessá-la. Já integridade diz respeito a garantir que uma mensagem não sofra alterações não autorizadas. A autenticidade está ligada ao fato de um usuário ou servidor conseguir confirmar a identidade de seu correspondente. A irretratabilidade impede que o emissor ou o receptor negue uma ação realizada. E, por fim, a disponibilidade diz respeito à informação estar sempre disponível para o usuário no momento que ele precisar dela.

No ensino de segurança de redes, esses conceitos da comunicação segura podem ser melhor compreendidos se o aluno for inserido em um laboratório de experimentos práticos, onde possa vivenciar de perto como é possível habilitar esses pilares ou, até mesmo, como fraudá-los dentro de uma comunicação.

Com base nessa visão, o objetivo desse trabalho de iniciação científica é criar um caderno de experimentos práticos que aborde os pilares de confidencialidade, autenticidade, integridade e irretratabilidade. A partir dos experimentos mostrados no caderno, o aluno poderá compreender o que são e quais as implicações de se ter ou não garantidos esses pilares dentro de uma rede. Além disso, ele poderá ter acesso a uma série de ferramentas que irão ajudá-lo a estabelecer os pilares e, também, a fraudar uma comunicação segura. É claro que o intuito de fraudar uma comunicação é entender melhor as vulnerabilidades de alguns sistemas para que seja possível melhorar a defesa deles.

É importante mencionar que o caderno de experimentos foi concluído durante o período da iniciação científica e que ele se encontra disponível para uso de qualquer professor ou aluno do Inatel. Esse artigo irá fazer um resumo sobre os principais pontos dos experimentos contidos no caderno.

O texto se encontra dividido da seguinte forma. A Seção II traz uma análise dos pontos principias do experimento sobre confidencialidade e a Seção III aborda os pontos principais sobre autenticidade. As Seções IV e V trazem, respectivamente, os pontos mais importantes sobre os experimentos de integridade e irretratabilidade. Por fim, a Seção VI traz as principais conclusões desse trabalho.

II. Confidencialidade

De maneira formal, confidencialidade consiste em garantir que apenas pessoas autorizadas possam ter acesso a determinada informação. A forma mais utilizada para se instaurar a confidencialidade é a criptografia [1].

A criptografia é uma técnica que utiliza algoritmos matemáticos e senhas para cifrar e decifrar uma mensagem, visando torná-la ininteligível para terceiros e visível somente ao destinatário. Os dois tipos básicos de criptografia são a simétrica e a assimétrica [1].

A criptografia simétrica, também conhecida como criptografia de chave secreta, utiliza um algoritmo conhecido e uma única chave secreta (senha) tanto na transmissão quanto na recepção dos dados. Essa chave é utilizada tanto para criptografar quanto para decriptografar a informação compartilhada. Já a criptografia assimétrica utiliza, além de um

algoritmo conhecido, pares de chaves pública e privada que se relacionam matematicamente. Nesse processo, a mensagem é criptografada usando a chave pública do destinatário e ela só pode ser decriptografada usando a outra chave dele, a chave privada.

No caderno de experimentos existe um experimento prático de ataque à confidencialidade que implementa o cenário da Figura 1.

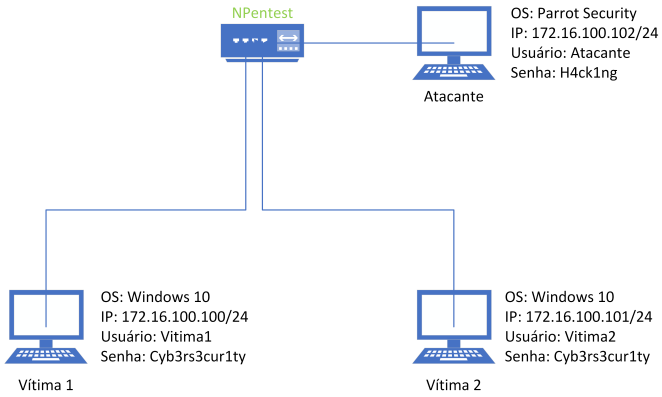


Figura 1. Cenário do experimento de ataque à confidencialidade.

Como ilustrado na Figura 1, existem três máquinas que pertencem à uma mesma rede local e são interconectadas por um switch. Vítima 1 e Vítima 2 são os dois usuários que irão compartilhar um arquivo e Atacante é o usuário que busca espionar essa comunicação e obter acesso ao conteúdo desse arquivo.

O experimento é realizado em duas partes. A primeira consiste em as duas vítimas compartilharem o arquivo confidencial em texto claro e Atacante obter acesso ao arquivo e conseguir ver seu conteúdo após monitorar a comunicação entre elas.

A segunda parte do experimento consiste em Vítima 1 criptografar o arquivo antes de enviá-lo para tentar impedir que Atacante veja seu conteúdo mesmo que consiga obtê-lo.

Durante o experimento, o aluno é direcionado a criar um arquivo de texto na máquina da Vítima 1, que será compartilhado com a Vítima 2. Isso é feito usando o esquema de compartilhamento de arquivos do Windows. Com uso da ferramenta Wireshark [2] o usuário Atacante poderá capturar todos os pacotes SMB2 (*Server Message Block*), usados para se fazer o compartilhamento do arquivo entre as vítimas. De posse desses pacotes, o Atacante poderá verificar o conteúdo do texto informado no arquivo compartilhado.

Assim, o Atacante não só consegue espionar a comunicação entre as vítimas, mas também tomar conhecimento do teor das mensagens trocadas entre elas, pois está em texto claro. Portanto, a confidencialidade da comunicação é quebrada. Os detalhes de como usar cada uma das ferramentas estão definidos no caderno de experimento.

Após observar que é possível interceptar e verificar o conteúdo de arquivos compartilhados, o aluno será conduzido a fazer um novo experimento. Nesse momento, o aluno deve repetir o experimento anterior, porém criptografando o conteúdo do arquivo antes de transferi-lo, para tentar impedir a quebra da confidencialidade. É proposto o uso do software GpgEX [3], através da interface Kleopatra, para fazer a criptografia simétrica. O algoritmo utilizado por padrão é o CAST5 [4].

Assim que o processo de criptografia do arquivo é feito, o aluno o compartilha novamente. E o usuário Atacante novamente captura os pacotes dessa comunicação. Porém, ao tentar abrir o arquivo interceptado, é preciso digitar uma senha para acessar seu conteúdo. Isso significa que, a princípio, está mantida a confidencialidade do conteúdo do arquivo, sendo seu acesso restrito somente a quem tem conhecimento da senha.

Com esse experimento é possível conscientizar o aluno sobre o problema da confidencialidade na troca de arquivos pela rede de computadores.

III. Autenticidade

A autenticidade consiste em verificar a identidade e a confiabilidade de sistemas, usuários(as), servidores, entidades, etc, na rede.

A forma mais conhecida de autenticação simples para usuários é o par login e senha, que serve como indicador para o servidor de que o usuário é realmente quem diz ser. No entanto, o par não oferece muita garantia, pois outra pessoa pode descobri-lo e utilizá-lo para acessar uma conta que não é sua. E também tem se tornado inconveniente, pois os usuários possuem cada vez mais contas em sites, os obrigando a memorizar muitas senhas.

Há outras formas de autenticação mais seguras, como as feitas em duas etapas. Dentre elas estão dispositivos token e códigos de autenticação enviados por e-mail, SMS, etc. Com isso, além de possuir o login e a senha, é preciso ter acesso ao dispositivo token, ao e-mail, ao celular, etc. do dono da conta.

Uma maneira ainda mais segura de garantir autenticidade é a utilização de certificados digitais, que identificam seus portadores em uma transação na internet. Eles possuem validade jurídica e há certificados tanto para empresas quanto para pessoa física. O certificado é emitido por uma Autoridade Certificadora e pode ser armazenado na máquina do utilizador ou em um dispositivo externo, como token USB ou cartão inteligente. Ele contém informações como o nome do utilizador, prazo de validade e chave privada (utilizada para assinaturas digitais).

Quando um usuário acessa um site certificado, o servidor do site envia seu próprio certificado digital para provar que ele é quem diz ser. Essa transferência é feita através do protocolo SSL (*Secure Sockets Layer*) que, além de permitir verificar a autenticidade de servidor e cliente, provê confidencialidade nos dados trocados.

No caderno de experimentos, o aluno deve montar uma rede, cujas topologia e configurações de máquinas são ilustradas na Figura 2.

O experimento é realizado em duas partes: A primeira consiste em Atacante clonar a página de login do site “testphp.vulweb.com", que é HTTP, e Vítima 1 ser direcionada para a página clonada ao fazer o acesso. Dessa forma, atacante recebe os dados fornecidos por Vítima 1 no site falso.

A segunda parte do experimento consiste em Atacante clonar a página de login do site “facebook.com.br", que é

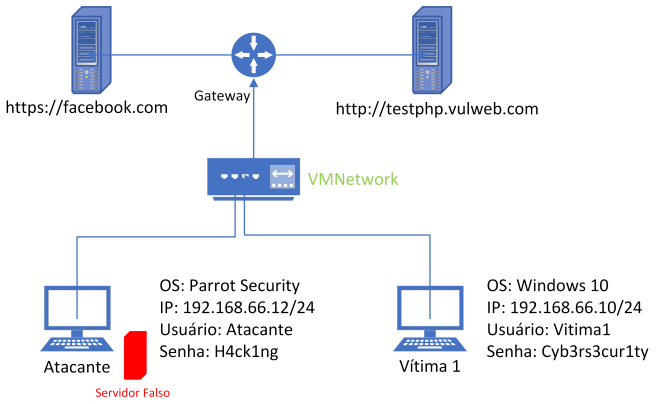


Figura 2. Cenário do experimento de ataque à autenticidade.

HTTPS, e Vítima 1 verificar sua autenticidade através do Certificado Digital, evitando ser enganada.

Para clonar os sites em questão, o aluno deve utilizar o programa `Social Engineering Toolkit`, que é uma ferramenta desenvolvida para facilitar a execução de ataques do tipo Engenharia Social. Na máquina Vítima 1, foi feita uma configuração de DNS, direcionando endereço `testphp.vulnweb.com` para o endereço IP da máquina Atacante. O mesmo foi feito com o endereço `facebook.com.br` para a segunda parte do experimento. Portanto, quando a vítima tentar acessar qualquer um dos sites citados, ela será erroneamente direcionada para a máquina do atacante que contém um clone perfeito do site desejado.

No primeiro caso, ao entrar com o Login e a Senha no site clonado a Vítima 1 fornece seus dados a um site falso. Para Vítima 1, não há como saber que o site que ela acessou primeiro não é o verdadeiro, pois o site legítimo não possui um certificado digital que possa ser verificado. No segundo caso, ao acessar o facebook, a vítima também será redirecionada, porém, o navegador não irá apresentar as informações do certificado digital. Ao analisar essa questão, o aluno poderá verificar que se trata de um clone e, portanto, não irá fornecer suas credenciais.

Como principal conclusão, o aluno pode verificar que os sites clonados pelo SEToolkit são HTTP e não apresentam o certificado digital do site original, quando estes são HTTPS. Dessa forma, é possível para o usuário saber que não está acessando o site verdadeiro quando se trata de uma cópia de site HTTPS, basta verificar a ausência do certificado digital. Os navegadores sempre alertam sobre os sites HTTP, informando que não são seguros. Esses sites, além de não serem autenticados, também não implementam nenhum tipo de criptografia que garanta a confidencialidade dos dados transmitidos na rede, devido a não utilização do protocolo SSL.

IV. Integridade

Garantir a integridade de um arquivo, mensagem ou programa é prevenir adulterações de suas informações ou funções por pessoas não-autorizadas, assim como evitar que eles sejam destruídos sem autorização. Garantir a integridade também é prevenir que erros ou modificações em sistemas corrompam dados de arquivos, mensagens ou programas.

Uma forma de se assegurar a integridade de dados transmitidos é através de funções Hash. Funções Hash são funções matemáticas que comprimem entradas de tamanhos arbitrários em saídas de tamanhos fixos. As funções de Hash mais conhecidas são: MD5(*Message Digest* 5), SHA-1(*Secure Hash* 1) e SHA-256 (*Secure Hash* 256) [1].

Quando duas ou mais entradas distintas geram o mesmo valor de hash ocorre uma colisão. A probabilidade de ocorrência de colisões de Hash é um parâmetro utilizado para aferir a segurança da função. Ou seja, quanto menor a probabilidade de colisão, maior é a segurança da função Hash.

Uma outra forma de garantir integridade é através do código de autenticação de mensagens (MAC – *Message Authentication Code*). Seu funcionamento é similar ao Hash, porém, é preciso que as partes envolvidas na troca das mensagens possuam uma chave secreta, para que o código MAC seja gerado. Suas entradas são uma mensagem de tamanho arbitrário e a chave secreta, e sua saída é um código de comprimento fixo. Ao se alterar a mensagem, é preciso possuir a chave secreta para gerar um novo MAC compatível. Caso contrário, ao se verificar a integridade da mensagem, os MACs serão diferentes, e a mensagem não será considerada íntegra.

O experimento criado para esse pilar deve ser feito utilizando a máquina Linux Atacante. O experimento é realizado em duas partes. A primeira consiste em o funcionário adulterar o arquivo que contém suas informações e, posteriormente, o responsável pelos pagamentos implementar um sistema que garanta a integridade dos dados utilizando Hash. A segunda parte do experimento consiste em utilizar a função MAC para o mesmo fim.

Primeiramente o aluno cria um arquivo que contém alguns dados verdadeiros sobre um funcionário de uma empresa, como, por exemplo, dados bancários. Depois, o Atacante cria uma cópia do arquivo e altera algum dado dele, simulando uma fraude. Após isso, é gerado o hash do arquivo original e ele é anexado ao arquivo, no intuito de possibilitar a verificação de sua integridade. No entanto, o mesmo é feito com o arquivo adulterado. Assim, o aluno irá concluir que a técnica de anexar o Hash ao arquivo nem sempre é segura. Ela somente previne fraudes se apenas o conteúdo do arquivo for alterado. No caso de um terceiro malicioso gerar um novo Hash com as informações alteradas, não será identificada a fraude.

Para se evitar uma fraude como a descrita acima, pode-se utilizar uma outra técnica com um nível maior de segurança, o MAC. Portanto, num segundo momento, o aluno repete o experimento, mas utilizando a função MAC em vez de Hash. Assim, ele pode verificar como essa função pode ser usada para prevenção de ataques à integridade das mensagens.

Todos os passos são listados no caderno de experimento, juntamente com um tutorial de uso das principais ferramentas usadas.

V. Irretratabilidade

Irretratabilidade, ou não-repúdio, é garantir que ações sejam atribuídas indubitavelmente a quem as executou. Estas ações podem ser criação, envio e exclusão de documentos e e-mails, instalação e desinstalação de programas, dentre outras.

Para garantir a irretratabilidade, faz-se o uso da assinatura digital, uma aplicação muito importante da criptografia assimétrica [1]. Como foi visto na sessão sobre confidencialidade, a criptografia assimétrica utiliza uma chave privada e uma pública, relacionadas matematicamente. Na assinatura digital, a chave privada do emissor é utilizada para assinar uma ação, documento ou mensagem, e sua chave pública é utilizada como entrada para a verificação da assinatura.

Uma forma de se facilitar a criação e a verificação de uma assinatura digital, bem como otimizar o armazenamento de assinaturas, é embutir uma função de Hash no esquema da assinatura. Nesse caso, o Hash da mensagem é criptografado utilizando-se a chave privada do emissor. Para verificar a veracidade da assinatura, o receptor gera localmente o Hash da mensagem e este é comparado com o resultado da decriptografia da assinatura do emissor. Caso os Hashs sejam iguais, a assinatura é validada. Como a chave privada usada inicialmente pertence ao emissor específico, ele não poderá negar que fez tal ação, fazendo com que a irretratabilidade esteja presente na conversação.

Os meios mais comuns de assinatura digital são através de ferramentas como Kleopatra, de Tokens USB e de Smart Cards. Os dois últimos são dispositivos físicos e as principais diferenças entre eles são que Tokens USB podem ser conectados diretamente no computador e SmartCards precisam de leitores de cartão para que funcionem.

Assinaturas digitais podem ser utilizadas para substituir assinaturas em documentos físicos, como contratos, pois possuem validade jurídica equivalente ao reconhecimento de firma em cartório. Além disso, muitas empresas bloqueiam seus sistemas e só é possível utilizá-los ao conectar um pendrive que assina as ações. Dessa forma, cada ação de um funcionário é assinada digitalmente e, portanto, o funcionário não poderá negar uma ação que ele tenha feito dentro da empresa.

No experimento proposto, o aluno assina e verifica assinaturas de documentos, assim como observa o que acontece quando o conteúdo de um arquivo assinado é modificado. O aluno é instruído a criar o par de chaves pública e privada, utilizado para a assinatura digital, a partir da aplicação Kleopatra. Depois, os alunos devem trocar e-mail com documentos assinados digitalmente e verificar as assinaturas dos documentos recebidos.

Com esse simples experimento, os alunos podem verificar como gerar e verificar as assinaturas digitais em documentos e ações. Todos os passos para tal tarefa estão listados no caderno de experimento.

VI. Conclusão

Esse artigo resume as experiências práticas que compõem o caderno de experimento que será usado na disciplina de segurança de redes do Inatel. Foram desenvolvidas experiências que guiam o aluno em seus estudos práticos sobre os principais conceitos de segurança cibernética: i) confidencialidae, ii) autenticidade, iii) integridade e iv) irretratabilidade. Com o uso do caderno de experimento o aluno terá uma maior aproximação com as ferramentas que auxiliam tanto em ataques quanto nas defesas dos sistemas de segurança aplicados às redes de telecomunicações.

Referências

[1] W. Stallings, *Criptografia e segurança de redes: princípios e práticas*. Pearson, 2014.

[2] Wireshark.org, “Go deep with wireshark.” disponível em, https://www.wireshark.org.

[3] GPGEx, “Gpg4win - a secure solution.” disponível em, https://www.gpg4win.org.

[4] T. G. C. project, “Class cast5.” disponível em, https://www.gnu.org/software/gnu-crypto/manual/api/gnu/crypto/cipher/Cast5.html.

A Proposal of a Game Concept and 3D Modeling Objects to be used in a Virtual Reality Game to Practice Computer Engineering Fundamentals

João Pedro Giacometti de Souza, Vinícius Mússio Aires, Renzo Paranaíba Mesquita
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
joaopedrosouza@gec.inatel.br, viniciusmussio@gec.inatel.br, renzo@inatel.br

***Abstract*— With the advent of new technologies such as Virtual Reality (VR), teachers and schools in general have the opportunity to offer more immersive activities to students in order to potentialize the learning process. However, despite of the various advantages offered by VR platforms, its construction demands a delicate 3D modeling process of the objects that compose the environment with the goal of bringing more realism and immersion to users. This work aims to present details of 3D modeling objects that will soon be part of a VR game to practice fundamental computing concepts.**

***Index Terms*— Virtual Reality, 3D Modeling, Computing, Blender.**

I. Introduction

Over the years, the technology has been growing and becoming an important tool in education. Nowadays the young people already born in the technological environment, so the traditional teaching methods are becoming obsolete. It's important to note that technology does not replace the teacher and teaching, but support the application of more interactive and dynamic solutions [1].

However, even the creation of these new tools demands qualified professionals. One of the most requested areas are those connected to information technology, especially those inserted in the scope of computing, once it's an area that has needed more professionals to supply the market demands [1].

Among the various technologies available to assist in teaching, Virtual Reality (VR) has been gaining prominence in recent years, as it offers to the user a feeling of being present in certain environments, manipulating virtual objects and conducting training in situations that would not be possible due to the cost, danger or physical impossibilities. In addition, VR provides students a greater interactivity, more contextualized material and simpler didactics, making learning more objective and clear [2].

Naturally, VR applications use 3D objects to compose their scenarios. It is remarkable the importance of these resources when creating a new platform, once they are responsible to provide all the immersiveness and interactivity to the user. So, it is essential that 3D object modeling could be done as accurately and didactically as possible to bring a good level of immersion to the user [3].

The purpose of this work is to present the developed 3D objects to be used in a VR game to practice computing concepts. In the first part of the game logic gates will be adressed once it is a fundamental subject for new computing learners. The goal is that, through this tool, computing students feel more motivated to practice and explore concepts in their field.

The remaining of this paper is organized as follows: in section II, works related to the theme are presented in order to better understand how they used 3D environments for practicing and teaching new concepts. In section III, individual details of each of the technologies used in the development of this work are explored. Section IV details the results of the proposed 3D modeling, and finally, in topic V, the authors conclusions are presented.

II. Related Works

Khairudin et al. [4] explains that using a virtual laboratory can be a good alternative for teaching digital circuits concepts, since the learning can be proceed at anytime and anywhere as long as the user has an Android device. It is known that the knowledge of digital engineering is essential for the arrival of new technologies and to face up Industrial 4.0 Era, so it was developed a laboratory simulated through VR platform where the user can visualize and interact with components and circuits such as logic gates. According to the author, virtual labs can increase the student motivation and also save costs. Figure 1 presents an example of how the virtual lab works.

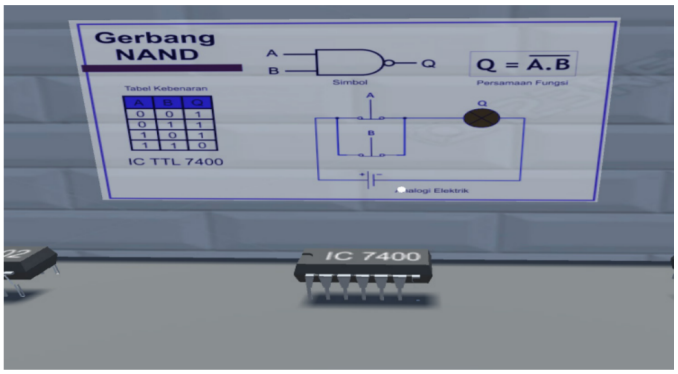


Fig. 1. Virtual Laboratory proposed by Khairudin et al.

Boonbrahm et al. [5] explained the advantages of having

knowledge of digital electronics and how the elements are essential to understand how a computer works. To do so, digital laboratories were proposed to fully teach the students about these concepts. In order to make it, the authors used Augmented Reality (AR) to simulate logical ports, integrated circuits and their inputs and outputs. According to the authors, the advantage of using virtual experiments is the possibility of make it anywhere, anytime, without the bonds of a physic laboratory. In several cases, the only needed device is a smartphone. Figure 2 gives an idea about how their proposal works.

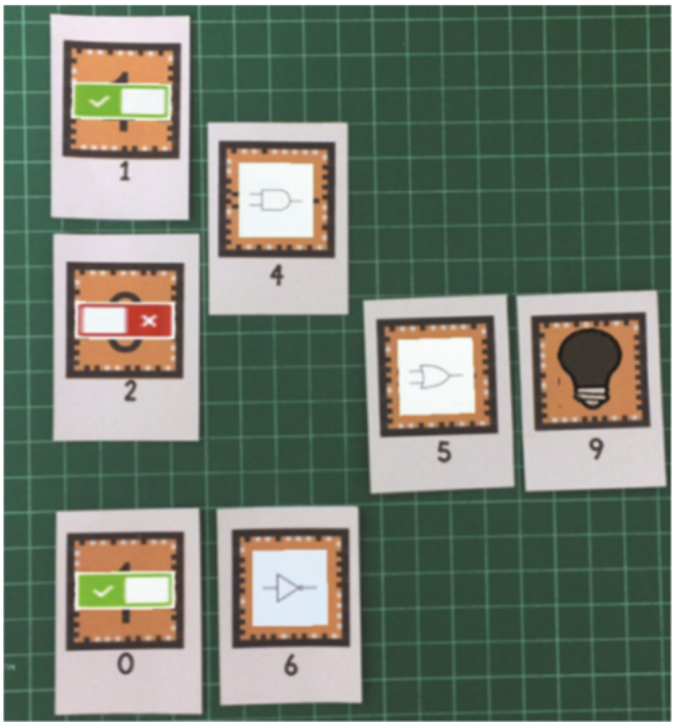


Fig. 2. Logial circuits AR Platform proposed by Boonbrahm et al.

Sanches et al. [6] also proposes the use of technological resources in a ludic way for teaching electrical circuits. It's a first person VR game that works as a 3D puzzle. The game starts with the character in a scenario, which changes depending on the difficulty chosen by the player. Each scene has a proposed electrical circuit, which may contain series, parallel, mixed resistance, set of batteries and a current. When starting a new stage, the proposed electrical circuit presents problems that must be corrected by the player, using the concepts of physics previously acquired in the classroom or by the game. Results obtained through quizzes showed that students approved the use of the game and the immersion offered by it helped the players to better understand some important concepts. Figure 3 depicts the ideia of their puzzle.

III. Employed Technologies

In order to create the proposed 3D objects to be used in the VR platform, different technologies and tools needed to be used and integrated. Individual details of each and their

Fig. 3. Electrical Circuits VR Puzzle proposed by Sanches et al.

respective role in this project are briefly discussed in the following subtopics.

A. *Virtual Reality*

Virtual reality emerged aiming to create a new interface, mainly immersive environments, in which users can interact and visit different scenarios without having to leave their homes. This concept appeared in the 60s with the development of SketchPad by Ivan Sutherland, yet these applications became more accessible in the early 2000s. In this context, user interaction with the virtual environment is one of the most important aspects, which is related to the computer's ability to detect and react to user actions, promoting changes in the application. The more immersive and richer the virtual environment is, the greater is the users engagement and experience [7].

It is possible to find low-cost hardware in order to develop and use applications focused on virtual reality technology. Companies are increasingly looking for innovative ways to improve the production system, such as simulating equipment, components and especially employee training [8].

Currently it is possible to find different types of devices for different applications, the most popular are: Oculus rift, HTC vive and Playstation VR. However, there are other more viable and affordable alternatives on the market focused on mobile devices, such as: Samgung Gear VR, VR Box and Google Cardboard.

B. *Blender*

Blender is a free and open source cross platform tool used for modeling 3D objects, animations and video edition. In addition, it is compatible with Linux, macOS and Windows operating systems [9]. This platform allows the user to use creativity to create totally original scenarios and interactive objects, allowing to export these conceived elements to Unity 3D. Besides that, Blender has an integrated game engine, unlike all existing 3D modeling software, allowing the developer to avoid having to use external tools to create their game.

It's also possible to create games without using any type of programming language, using only a tool that Blender provides called "logic blocks"in which all interactivity is made from text blocks [10].

Blender also has an essential functionality for cross-platform developers, since the software can run on different operating systems (OS), such as: Windows, Linux, MacOS and others, allowing artists to publish their work for all of these OS [10]. Blender version 2.79 was used to model the decorative and interactive objects of this work.

IV. Results

The idea of this project is to create 3D modelings to be used in a virtual reality game with the goal to serve as a ludic plataform where undergraduate engineering students can learn and practice some concepts of computing, starting with digital logic gates.

A. Game Concept

After the related works research, firstly it was necessary to think about a name to the project. As the goal is to create a ludic VR platform to learn and practice computing concepts, the game was baptized as CompVR, in order to simply transmit to the people its idea.

The second part was to work in the game concept. It was defined that, in CompVR, the player will play the role of a character in a futuristic world in which computer networks have been largely invaded. The player discovers that he has the power to enter computer systems to solve these problems. Before being sent to missions, the character with the help of a friend robot undergoes a series of training sessions, in which the concepts of logic gates, their respective truth tables and examples of combinations are presented. After the tutorial, the character is teleported to the stages where he will face several challenges about logic gates that were damaged or modified around the world.

B. 3D Modeling Process

In this subsection, some objects that were developed in order to compose the game scenario are presented.

As a starting point, an assistive robot was modeled, as illustrated in Figure 4, to guide the player throughout the training part, helping him to understand the logic gates. The complexity to model the robot was simple, since most of its parts are basic ordinary geometric shapes. However, in the rounded parts and joints, the manipulation of objects was more difficult.

Much of the challenge was to think of a training room that was composed of technological objects and could immerse the player in a futuristic scenario. This stage was the one that demanded the greatest attention from the developers due to its complexity, such as the teleportation portal, in which there were details to be researched and developed, such as the emission and glass effect. From that, numerous objects were modeled in order to compose the room, considering that the objects must have a limited number of polygons in order not to overload the game. Figure 5 illustrates a general idea of what the training room looks like.

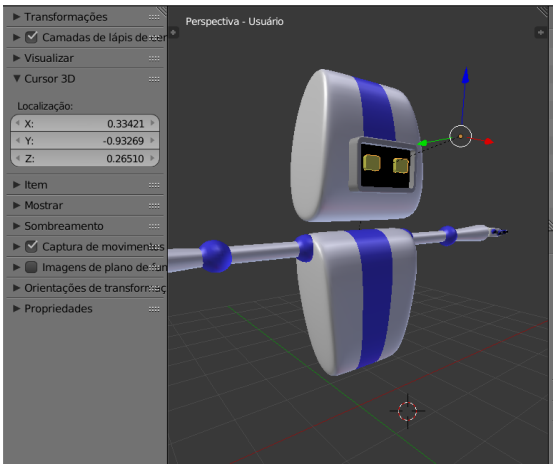


Fig. 4. Assistant Robot

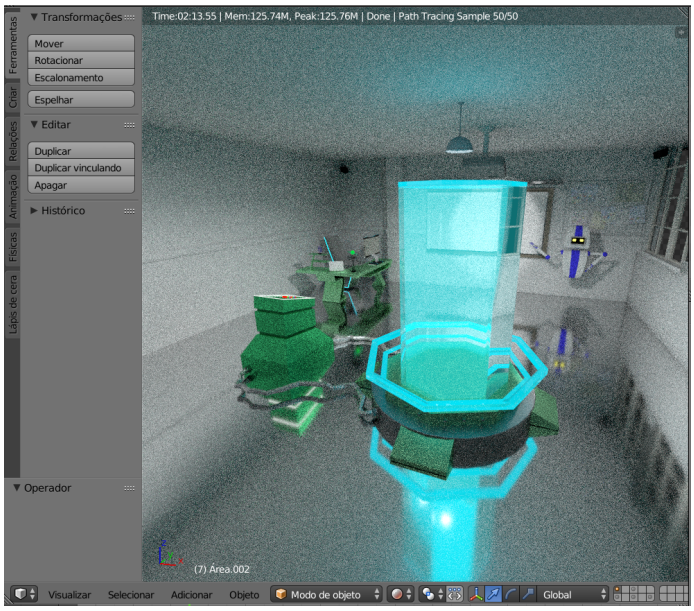


Fig. 5. Training room

Within the training room, objects related to the proposed basic concepts were modeled to achieve a better interactivity and user learning. In this version, logic gates were designed. In addition of presenting their tables of truth [1] to the player, as shown in Figure 6, some combinations among them were also made in order to identify how they would look like in the game, as illustrated in Figure 7. As the combinations may require programming of mechanics and logics, this step will be explored further in the programming part of the project using the Unity 3D tool, which is not covered in this paper.

[1] A truth table is used to show how each individual gate works

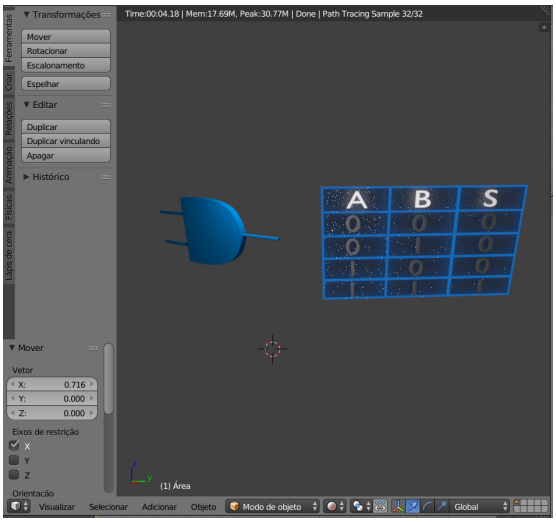


Fig. 6. Gate AND and its Truth Table

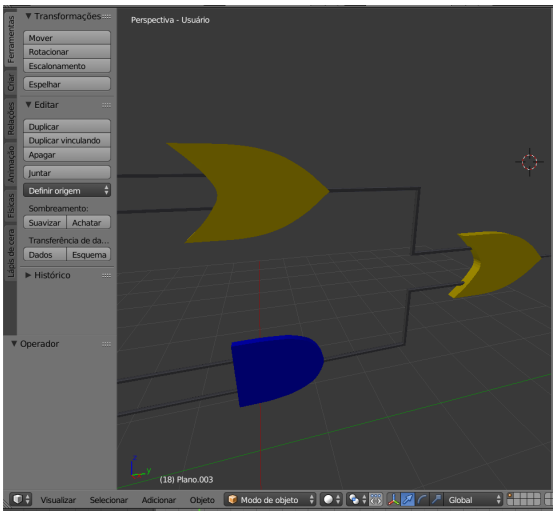


Fig. 7. Combinations among gates

V. Conclusions

As it was presented in the related works, 3D objects modeling has proved to be a great ally in the construction of virtual reality scenarios, because in a playful and creative way they are able to hold users attention more easily, as these are the elements that provide greater immersiveness and interactivity with the scenario.

Throughout the process of creating the objects, several challenges were encountered, mainly related to learning the Blender tool. Despite of being a powerful tool for modeling 3D objects, it requires the patience and willingness of the developer to learn various techniques and resources available in the tool, such as textures, smoothing and shading mode. Another detail was related to the carefulness that the developers have to take with the reduction of polygons of the objects that make up the game. If this number of polygons is not taken into account, the game may require a lot of computational power to run and, consequently, become slow and diminishing the experience of the user.

Although most of the objects that make up the idea of this first version of CompVR are already ripe (logic gates), the next step to be developed will be related to the exportation of the objects to the Unity 3D tool in order to program the game mechanics, make the minimum viable product and test it in a VR device.

REFERENCES

[1] F. Barroso and M. Antunes, "Tecnologia na educação: Ferramentas digitais facilitadoras da prática docente," *Revista Pesquisa e Debate em Educação*, vol. 5, no. 1, 2016.

[2] A. C. Queiroz, R. Tori, and A. Nascimento, "Realidade virtual na educação: panorama das pesquisas no brasil," in *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, vol. 28, p. 203, 2017.

[3] I. Simsek and C. Tuncer, "The design and use of educational games in 3d virtual worlds," in *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, pp. 611–617, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2016.

[4] M. Khairudin, A. Triatmaja, W. Istanto, and M. Azman, "Mobile virtual reality to develop a virtual laboratorium for the subject of digital engineering," 2019.

[5] P. Boonbrahm, C. Kaewrat, and S. Boonbrahm, "Using augmented reality interactive system to support digital electronics learning," in *International Conference on Learning and Collaboration Technologies*, pp. 3–11, Springer, 2017.

[6] P. Sanches, L. Faêda, and A. Machado, "Vrcircuit: Realidade virtual aplicada ao ensino de circuitos elétricos," in *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, vol. 28, p. 887, 2017.

[7] C. Kirner and R. Siscoutto, "Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações," in *Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC*, p. 28, 2007.

[8] A. V. NETTO, L. d. S. Machado, and M. C. F. d. Oliveira, "Realidade virtual: definições, dispositivos e aplicações," *Revista Eletrônica de Iniciação Científica-REIC. Ano II*, vol. 2, p. 34, 2002.

[9] "Blender documentation." `https://docs.blender.org/manual/pt/dev/getting_started/about/introduction.html`. Accessed: 2010-09-30.

[10] A. Brito, *Blender 3D*. Novatec, 2007.

A Review about Two Different Methods to be Applied in Face Recognition in order to Count the Flow of People

Vitor Cusma Vendrami and Renzo Paranaíba Mesquita
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
vitorcusma@get.inatel.br, renzo@gec.inatel.br

***Abstract*— For a long time, turnstiles and infrared sensors have been used as mechanisms to help counting the flow of people in different kinds of places. However, a new kind of technology was introduced in order to perform the counting through cameras, opening a new world of possibilities when it comes to detection and counting of people. This work presents a review of two different methods to be applied in face recognition in order to count the flow of people in public or private spaces.**

***Index Terms*— Computer Vision, Face Detection, People Counting, Python, OpenCV.**

I. Introduction

Controlling the movement of people in public or private spaces is often an important resource for maintaining order or better understand how the space is being used. Over the years and thanks to technological developments, the way of identifying and counting the flow of people in different locations and contexts are improving.

For a long time, counting flow mechanisms were just used to measure the amount of people in a establishment, the data storage was simple and could not offer any more details beyond that. Commonly, it was used access turnstiles and ordinary infrared sensors, allowing just a simple counting. Most of these sensors are used in the entrance of establishments and present some kind of general problems. Multi direction or simultaneous counting, for example, are problems for most of them, and just a few can offer a plausible solution to it. The challenge of these solutions is to be applicable in different environments and try to bring as few limitations as possible.

Based on these limitations, a new kind of technology was introduced in order to perform the counting through cameras. There are a lot of advantages about using this method. It can offer the possibility to gather a most specific data about the flux and be applicable in different environments. It also solves multi directional and simultaneous counting, bringing more precision to the data.

One popular way of counting the flow of people somewhere is through detecting faces. This can be done with different methods, each one with their own advantages and specifics cases. The goal of this paper is to discuss two of these popular methods for face detection. Advantages and disadvantages of each when applied in videos and images are also addressed.

This paper is organized as follows: section II presents related works that also addressed issues related to the use of cameras to better support the question of people detection. Section III discuss two important methods for face detection, one using Haar Cascades and another one using Single Shot Detector. Finally, in section IV, authors conclusions are presented.

II. Related Works

Counting people making use of cameras is a process that are based on various kinds of technologies. This topic presents related works that used face/object tracking applied in different environments.

Before trying to understand how is possible to measure the flux through cameras, it is important to mention one classic example using analog/digital sensors. Zeng et al. [1] develop a study that uses pyroeletric sensors to track humans motions. The goals were recognize the number of people, movement direction and path through different occasions. They got the results combining two types of PIR (pyroeletric infrared sensors) and/ an algorithm, that analyses the signals from the sensors, proving that is possible to track humans with analogs/digital sensors. However, this method focus on indoor environments restricting the usage possibilities.

Maximizing and optimizing process is one of the goals of using cameras. Gerland et al. [2] created an integrated system to manage people flow at airports and trains called bCounted. Through the use of the proposed system, some benefits came, including: better understand the efficient use of resources, scheduling of transportation vehicles and windows to implement service maintenance. The system uses an "IRMA-MATRIX"sensor and a technology called "Time of flight (TOF)". TOF provides 3D images in real time which after a process, allows to detect simultaneous and multi direction counting. bCounted give the possibility to customize some requirements, making the system effective.

Counting the crowd at a Carnival was a work addressed by Pedersen et al. [3]. Carnival in Aalborg, Denmark, is an event that brings together people from all Europe. Around 50000 people attends to this event and this represents a great challenge in computer vision point of view. They needed to find a way to avoid occlusion and non-human objects in the

scene. They created a system that used depth image [4], this image provides an important information: distance by camera point of view. This information is used to segmented, counting and tracking people with an accuracy about 94.2 percent, proving that is possible to avoid those problems and getting great results.

III. Studied Methods

This topic will objectively present two methods that have been studied to apply face detection. Haar Cascades and Single Shot Detector will be highlighted. The examples depicted were implemented using the Python 3 language.

A. Haar Cascades

Proposed by Paul Viola and Michael Jones [5], this method is an algorithm used to detect objects in images or videos. It uses a cascade function trained from a lot of positives images (images with the object) and negatives images (without the object).

In general, this method can reach 95% of accuracy but results can change with some variables. These changes are different for each analysis, been important to cite occlusions, multi-detections and how the environment affects in images and videos.

The algorithm has three main parameters [6]: minNeighbor, minSize and scaleFactor. These three parameters are used to give versatility in different kinds of situations. The first one, minNeighbor, is a parameter specifying how many neighbors each candidate rectangle should have to retain it. The second function, minSize, specify the minimum possible object size, objects smaller than that are ignored. The last one, scaleFactor, is a parameter that specifies how much the image size is reduced at each image scale.

This algorithm compares features of the image being analyzed with the cascade classifier. The result of this comparison is returned if it has found standards similar to the one it was trained to recognize, returning the detection coordinates to the system. The quality of detection will depend on factors such as face spacing, image clarity and by the 3 parameters mentioned before.

Figure 1 shows the best case. The faces are spaced, there is no occlusion and the image is clear with 100 % of accuracy.

Figure 2 shows the same picture with the parameters not configured. This shows that the algorithm have versatility and can be personalized in each situation. In this specific picture, the parameter that gives 100% of accuracy is minSize. When it is well adjusted, the results return to Figure 1.

Figure 3 shows how occlusions and multi detections can affect system performance. Parameters can be configured but still do not achieve good accuracy. This means that this method do not work in all cases, it will need another one to analyse images or videos with so many detections to be made.

Considering that videos are successive images being shown, the behavior comparing with images will be basically the same. The same standards can be adopted to have better or worse accuracy, it is worth mentioning that due to change

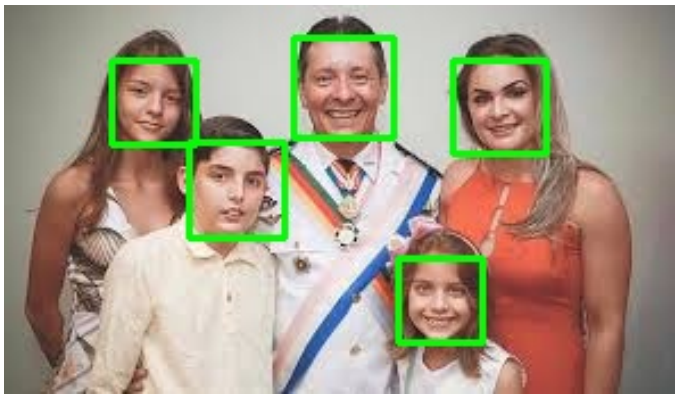


Fig. 1. Best Case of Detection

Fig. 2. Parameters not modified

Fig. 3. Occlusions and Multi Detection

in the videos are more frequently (people are usually moving) and is more unstable than images, the accuracy is not the same in the whole process. Other influences such as the angle that the face is being shot will also define whether or not it will be captured throughout the video.

In most cases, the video will not be able to follow the detection perfectly, as there are many changes within it. The better the sharpness, resolution and the shorter the distance between the face, better will be the results.

B. Single Shot Detector

Before trying to understand how this method works, it is important to explain that it is inside a computer field called

”Deep learning”. Deep learning is an artificial intelligence function that imitates the workings of the human brain in processing data and creating patterns for use in decision making [7].

By using deep learning there are a lot of sub methods that can be used to detect faces. Faster R-CNNs [8], You Only Look Once (YOLO) [9] and Single Shot Detectors (SSDs) [10] are some examples. In this work, SSDs is explored.

In order to use the SSD method, a library called OpenCV [11] can be used. OpenCV is an open source library that focus on computer vision and machine learning area. It has many optimized algorithms that can be used to track objects, recognize faces, track moving objects, extract 3D models of objects and others applications.

The great accuracy of this method is highlighted in videos. The reason is that this method can handle different changes in each frame holding the accuracy, different that we have seen in Haar Cascades.

Figure 4 shows the process to obtain results by using SSD. Before passing the data through the neural network, it needs to be treated. The treatment is done by building a “blob”, with the cv2.dnn.blobFromImages function from OpenCV library. A “blob”can be summed up in an image or collection of them after a technique called “mean subtraction”[7] been applied. This technique helps to combat the difference in lighting for each image to be processed. The function also adjust the size of the images and leave them with the same number of channels color, returning it to the system. This collection is passed on to a pre-trained neural network (res10_300x300_ssd_iter_140000 model) that returns the detections.

Neural network [12] usually is presented as a neuron network interconnected in three layers: input, processing and output. The input layer is activated through the application, that pass the information to the processing layer (also called Hidden layer, it must obbey a function created by a network developer). Once the processing is done, an output neuron is activated, concluding the process.

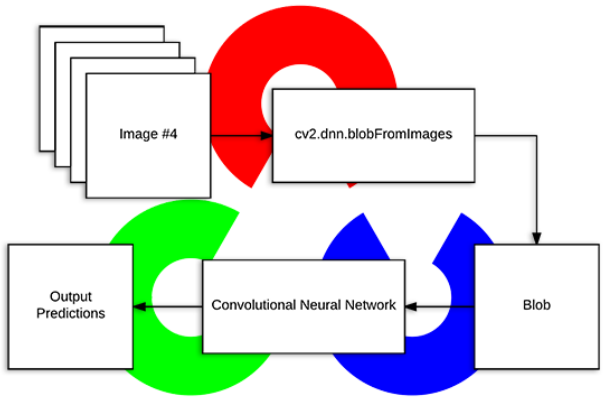


Fig. 4. Process showing the process to use deep leaning with SSD [13]

Once the detections are made, a loop checks if each detection is valid based in a class we are looking for (in this case, faces). If the conditions are positive, we can extract the coordinates from a “bounding box” that marks the position of the detection in the image.

Fig. 5. Example of detections

Figure 5 shows one specific case in detection, for example, in side face detection. This shows how the accuracy of this type of method is high. It is possible to see that the face marked with number 49 is almost hidden, but is detected.

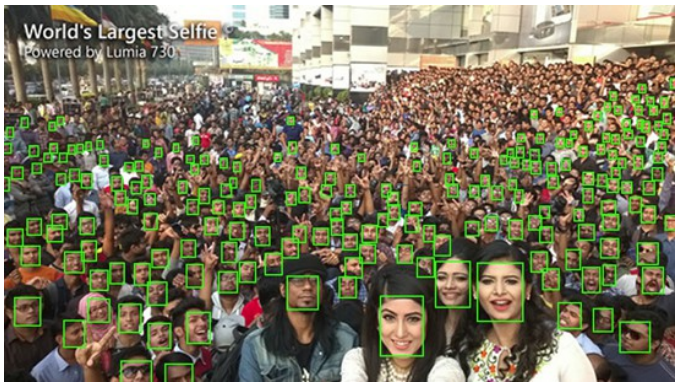


Fig. 6. Example of multiple detections [14]

Figure 6 is a picture that shows how this method can be powerful. The difference between doing just one detection and many of them is the hardware capability. When the number of detections increases, more processing is required, needing more computational resources. Multi detections present challenges due to many simultaneous events. In the same event, occlusions, differences in light, spacing between faces, objects such as glasses and caps can occur. All of these differences combined make it difficult to set a standard. When the standard is known, it’s easy to train the model to detections, making the accuracy higher.

IV. Conclusions

Computer Vision area is largely used to solve many types of problems. By using it is possible to create systems that can recognize not just faces, but track many types of objects and patterns, proving to be a powerful tool.

The best part of it is that nowadays there are many kinds of techniques available to be used and combined in order to create different kinds of applications to solve computer vision problems. The large variability of patterns in real life brought to the computational world the need of several methods to cover the largest number of cases as possible.

Challenges to understand both process were faced. Discovering which variables affect the system and whether or not it is possible to change them have been studied and presented, allowing a more conscious choice of each method.

There are a bunch of other methods available to make face detections, but the ones presented in this study presented themselves as good choices to create systems capable of counting the flow of people in public or private spaces, such as libraries and stores.

REFERENCES

[1] H. Zeng, X. Hu, N. Zhang, and J. Xiong, "A new method of tracking motion human based on multiple pyroelectric sensors," in *2016 International Conference on Engineering and Technology Innovations*, Atlantis Press, 2016/03.

[2] H. Gerland and I. McDonald, "bcounted: Automatic people counting and people flow management at airports," pp. 74–81, 04 2016.

[3] J. Pedersen, J. Markussen, M. Philipsen, M. Jensen, and T. Moeslund, "Counting the crowd at a carnival," in *Advances in Visual Computing*, Lecture Notes in Computer Science, (Germany), pp. 706–715, Springer, 1 2014.

[4] Liang Zhang and W. J. Tam, "Stereoscopic image generation based on depth images for 3d tv," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 51, pp. 191–199, June 2005.

[5] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," *Comput. Vis. Pattern Recog*, vol. 1, 01 2001.

[6] doxygen, "OpenCv," 2020. Available at `https://docs.opencv.org/3.4/d1/de5/classcv_1_1CascadeClassifier.html`. Accessed in Jan/2020.

[7] M. HARGRAVE, "Deep learning," 2019. Available at `https://www.investopedia.com/terms/d/deep-learning.asp`. Accessed in Jun/2019.

[8] R. Girshick, "Fast r-cnn," *CoRR*, vol. abs/1504.08083, 2015.

[9] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," 2015. cite arxiv:1506.02640.

[10] W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu, and A. C. Berg, "Ssd: Single shot multibox detector," 2015. cite arxiv:1512.02325Comment: ECCV 2016.

[11] Visbox, Inc., "OpenCv," 2016. Available at `http://www.visbox.com/products/cave/`. Accessed in Jan/2020.

[12] Simplilearn, "What is a neural network: Overview, applications, and advantages," 2019. Available at `https://www.simplilearn.com/what-is-a-neural-network-article`. Accessed in march/2020.

[13] A. Rosebrock, "Deep learning: How opencv's blobfromimage works," 2017. Available at `https://www.pyimagesearch.com/2017/11/06/deep-learning-opencvs-blobfromimage-works/`. Accessed in Jun/2019.

[14] Python Awesome , "A Context-assisted Single Shot Face Detector in TensorFlow," 2018. Available at `https://pythonawesome.com/a-context-assisted-single-shot-face-detector-in-tensorflow/`. Accessed in Jan/2020.

Arduino Challenge

Guilherme Miguel, Gustavo Aguiar, Rebeca Ribeiro, Sávio Leite
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
guilherme.miguel@gea.inatel.br, gustavo.aguiar@get.inatel.br, rebeca.ribeiro@gea.inatel.br, savio.leite@gec.inatel.br

***Abstract* — The Arduino Challenge is a robotics competition that uses the Arduino platform, organized by the National Institute of Telecommunications - INATEL.**

In this competition, the goal is to bring elementary and high school students closer to the areas of engineering and technology, through some elements of robotics, automation and computing.

***Key Word* – Arduino, Arduino Challenge, robotics, programming**

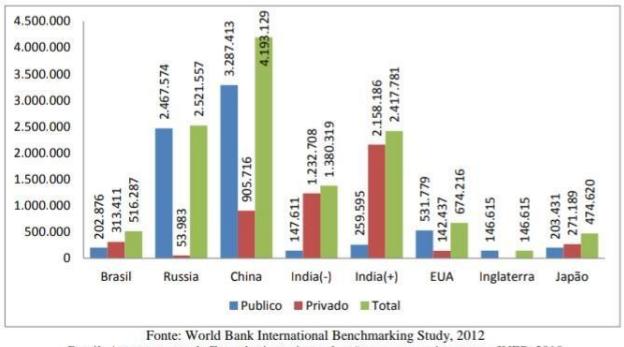
***Resumo* — O Arduino Challenge é uma competição de robótica que utiliza da plataforma Arduino, organizada pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL.**

Nesta competição, o objetivo é a aproximação de estudantes do ensino fundamental e médio às áreas de engenharia e tecnologia, através de alguns elementos de robótica, automação e computação.

***Palavras chave* – Arduino, Arduino Challenge, robótica, programação.**

I. INTRODUÇÃO

As taxas de titulação de novos engenheiros no Brasil são uma das menores em relação a outros países como indica o gráfico retirado do artigo "Estudo corporativo da formação em Engenharia: Brasil, BRICS e principais países da OCDE". Menos de 40% dos alunos matriculados terminam o curso [1].



Fonte: World Bank International Benchmarking Study, 2012
Brasil: Apenas cursos de Engenharia e pós-graduação somente stricto sensu. INEP, 2010
Índia: foram consideradas duas estimativas uma "otimista" e outra "pessimista".

Fig. 1. Total de alunos matriculados nos cursos de Graduação e pós-Graduacão ao da área de tecnologia (Público e Privado)

Por outro lado a demanda por estes profissionais cresce a cada ano devido as quantidades cada vez mais escassas de recursos naturais e a necessidade de soluções sustentáveis. Com a introdução da inteligência artificial, cada vez mais as tarefas rotineiras se tornam automatizadas. Alguns exemplos dessas mudanças são os veículos movidos à energia elétrica, a energia fotovoltaica gerada pelo sol e a introdução do Iot (*Internet of things*) aos lares, possibilitando controlar os aparelhos elétricos/eletrodomésticos. Porém, ainda existe o mito que a engenharia é um segmento demasiadamente complexo e inatingível e, um relacionamento questionável com a matemática e física – pilares da engenharia - acaba intensificando ainda mais essa ideia. Com o intuito de aumentar o número de adeptos para esta área, surge o Arduino Challenge, uma competição de robótica que visa instigar e apresentar este universo de maneira didática e lúdica, provocando rupturas enraizadas que as pessoas possam ter a respeito deste assunto.

II. DESENVOLVIMENTO

O Arduino Challenge é uma competição de robótica baseada na plataforma Arduino [2], visto que esta é extremamente didática e de rápido aprendizado para pessoas que nunca tiveram contato com programação, ao mesmo tempo que facilita o aprofundamento técnico dos que já tiveram alguma experiência com programação e eletrônica. Tendo como público alvo os alunos do 9° ano do Ensino Fundamental II ao 2° ano do Ensino Médio Regular e, alunos do 1° ao 3° ano do Ensino Médio Técnico, a competição é capaz de, utilizando da união entre *hardware* e *software*, proporcionar uma imersão do estudante acerca dos assuntos de programação e prototipação.

A fim de sanar as dúvidas em relação aos cursos de engenharia, o Arduino Challenge se propõe a fazê-lo de forma simples e interativa. Com uma temática acolhedora, o torneio aborda elementos de *hard* e *soft skills*, ou seja, trabalha tanto com elementos técnicos, quanto com habilidades comportamentais. É válido ressaltar neste momento que os alunos do ensino regular não competem diretamente com os alunos do ensino técnico. O tema escolhido para a competição no ano de 2019 foi ' Os Vingadores', visto que esta temática se encontrava extremamente fortalecida por razões dos filmes da produtora Marvel.

A escolha foi baseada numa pesquisa [3] que conclui que ao se utilizar dos sentimentos e emoções no processo de aprendizagem, esta se torna mais eficiente. O que significa que conseguir conectar um conhecimento técnico com as emoções e sensações típicas do ser humano, tende a provocar uma maior absorção deste conhecimento, deixando assim os resultados na aprendizagem, mais formidável.

Participaram da edição de 2019 colégios sediados nas regiões de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

A competição foi estruturada em quatro momentos:

- Treinamento online;
- Classificatória;
- Treinamento online 2;
- Final.

A. Treinamento Online

A ideia principal deste treinamento é fazer o primeiro contato com os participantes, visto que aproximadamente 80% destes alunos, nunca tiveram alguma experiência com robótica dentro do colégio que estudam, pois estes não oferecem essa disciplina em sua grade curricular. Esse dado é baseado nas entrevistas feitas com os colégios participantes da competição. O objetivo é trabalhar as sensações de bloqueio que eles podem vir a ter diante um conteúdo inédito e que erroneamente é classificado como complexo. Também, neste momento, os alunos começam a se familiarizar com os conceitos técnicos que serão utilizados durante todo o torneio.

Para isso, os participantes recebem acesso a um portal de estudos, desenvolvido em cima da plataforma Moodle, onde têm a sua disposição todo o material necessário para esta etapa.

O treinamento *online* é dividido em duas partes: acesso à apostilas e videoaulas previamente gravadas e, sessão de tira-dúvidas *online*.

As apostilas possuem diversos exemplos teóricos e práticos (parecidos com os desafios que encontrarão na classificatória), além de videoaulas interativas sobre todos os assuntos. Também é enviado a cada um dos participantes, um manual de instruções para que possam utilizar o Tinkercad [4], plataforma de prototipação exclusivamente *online*. No Tinkercad, os alunos poderão fazer simulações de *hardware* e *software*, sem a necessidade de possuírem a placa arduino ou até mesmo a IDE de programação. No total são 9 videoaulas, divididas entre 3 de *hardware* e 6 de *software*, todas lúdicas, fazendo com que os alunos se sintam confortáveis em assistí-las.

As videoaulas são preparadas e apresentadas seguindo uma ordem cronológica de aprendizado, sempre visando a melhor compreensão do estudante acerca dos assuntos. Já os tira-dúvidas *online* são feitos à distância, utilizando o *software* Zoom, em uma data previamente marcada pela escola, para que os participantes possam sanar todas as dúvidas que possuírem, tanto sobre programação quanto na parte de eletrônica. A motivação para se usar esse *aplicativo*, consiste na interação entre facilitadores e participantes, para que as explicações sejam mais claras e para que os alunos possam ter uma experiência de imersão, sempre visando a conexão dos elementos técnicos com os comportamentais. Os estudantes têm um tempo de aproximadamente 2h30min para que possam interagir com os instrutores, tirar dúvidas e, claro, chegarem melhores preparados para a etapa classificatória.

É possível verificar nas Figuras 2, 3 e 4 como todo o conteúdo de aprendizagem está ordenado dentro do portal de estudos.

Fig. 2. Regulamentos da Competição encontrado no portal de estudos

Fig. 3. Apostilas de conteúdo

Fig. 4. Video Aulas

B. Classificatória

A etapa classificatória se dá presencialmente, nos colégios que aderiram à proposta, em um sábado. Ela se dá em dois momentos. Primeiro acontece o treinamento presencial,

durante a manhã, e tem o intuito de revisar e treinar o material assistido na plataforma de estudos. Também, na maioria das vezes, é o primeiro contato do aluno com periféricos físicos e a integração da programação com esses componentes. Já a competição propriamente dita, acontece no período da tarde, em que uma única equipe sai como campeã. O critério para se ganhar a etapa classificatória é bem simples: o grupo que consegue a maior pontuação, ou seja, quem finalizar com sucesso o maior numero de missões no menor tempo.

Durante as etapas citadas acima, as equipes devem ser formados por alunos que estão cursando entre o 9 º ano do Fundamental II ao 2º ano do Ensino Médio (Ensino Regular), ou entre o 1° ao 3° ano do Ensino Médio Técnico (Ensino Técnico). Cada grupo deve ter no máximo 4 integrantes e cada colégio pode participar com até 10 grupos.

O treinamento presencial é conduzido por um ou mais instrutores, que foram devidamente treinados para esta função. Primeiramente, é apresentado o Inatel e seus cursos de graduação. Logo em seguida é feito uma revisão de todos os assuntos do material disponibilizado para os participantes estudarem antes da classificatória (treinamento *online*), contendo uma mesclagem equilibrada de teoria e prática. Durante esta etapa, os alunos aprendem/relembram a programar a funcionalidade dos componentes como led, buzzer, sensor de refletância e motor. Esses conhecimentos são os mais básicos do Arduino, porém, é através deles que os participantes adquirem a capacidade para expandir seu leque de conhecimento e serem capazes de criar e projetar combinações mais complexas.

Aqui, são realizados vários exercícios de fixação, usando como base, procedimentos de aprendizagem maker. É possível receber auxílio da equipe organizadora que acompanha a competição, a fim de tirar dúvidas e facilitar o processo de desenvolvimento dos exercícios. Neste momento acontece uma última preparação para a competição.

A competição, contém seis missões, todas contextualizadas com o tema principal do projeto: ‘Os Vingadores’. O objetivo consiste que os grupos participantes impeçam que Thanos consiga se apropriar das joias do infinito. Cada missão/desafio representa também uma dessas joias, e a cada uma completada, o grupo recebe uma bexiga com a cor correspondente e uma pontuação. Cada missão tem um objetivo final e só consegue a pontuação o grupo que conseguir desenvolvê-la com sucesso. Diferente do treinamento, os alunos não podem ter a ajuda dos instrutores neste momento. Porém, estes podem tentar validar os desafios várias vezes, até chegarem a um resultado plausível.

Nesta etapa, é essencial o trabalho em grupo, resiliência, proatividade e uma boa comunicação entre os alunos, pois só eles podem se ajudar, além dos conhecimentos técnicos já adquiridos. De uma maneira prática e muitas vezes inconsciente, são desenvolvidos com mais intensidade neste momento, aspectos comportamentais. As emoções são fatores decisivos para um resultado final significativo. O grupo que conseguir finalizar o maior número de missões no menor tempo é o vencedor e é classificado para a grande final, que acontece em setembro, durante a Fetin, no campus do Inatel.

Participam da final, as equipes mais bem pontuadas de cada colégio.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 ilustram um pouco como foi essa etapa nos colégios associados.

Fig. 5. Treinamento presencial

Fig.6. Carrinho utilizado na competição

Fig. 7. Equipes realizando missões na bancada

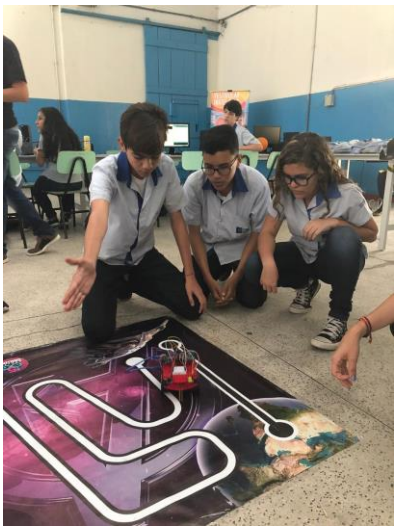


Fig. 8. Equipes realizando missões no tapete

C.Treinamento Online 2 e Final

Entre a etapa classificatória e a grande final, as equipes classificadas são convidadas a aprofundar um pouco mais os seus conhecimentos técnicos através de um treinamento *online* que segue a mesma sistemática que o treinamento *online* anterior.

A final, tem um foco maior na solução de problemas sociais. A proposta era que cada grupo desenvolvesse uma solução para um problema social, simulando o poder de um super-herói dos 'Vingadores' para este feito. A ideia central aqui era recuperar as joias do infinito, que já estavam sob o controle de Thanos, impedindo que ele destruísse o universo. Para isso, eles deveriam criar uma cidade modelo, que unisse tecnologia de ponta, mas sempre favorável à evolução social de cada ser. O objetivo coletivo dos participantes/vingadores era materializar esta cidade modelo e usá-la como processo de convencimento contra Thanos. Porém, uma cidade inteira é muita coisa para se tomar conta. Para resolver esse impasse, cada vingador ficou responsável por um determinado aspecto. Esses aspectos são os problemas sociais mencionados na Tabela I. A ideia então é solucionar esses problemas, com o arduino. Essa solução deverá estar diretamente ligada ao superpoder do vingador que está responsável por esse impasse.

TABELA I
PROBLEMAS CORRELACIONADOS AOS VINGADORES

Problema Social	**Joia**	**Vingador**
Educação	Poder	Homem de Ferro
Acessibilidade	Realidade	Viúva Negra
Bem Estar	Alma	Arqueiro
Empregabilidade	Realidade	Homem Aranha
Segurança	Poder	Dr.Estranho
Transporte	Tempo	Sr.Estrelas
Poluição Urbana	Espaço	Thor
Uso correto do Meio Ambiente	Mente	Capitão América
Saúde	Alma	Pantera Negra
Democratização de informação	Espaço	Hulk

O interessante é que os problemas estão conectados uns com os outros e, se todos conseguirem achar uma solução que atendam, significa que a projeção da cidade foi concluída e cada vingador está mais próximo de sua respectiva joia. Como recompensa, eles ganham um bônus. O objetivo aqui é fazer com que os alunos participantes trabalhem a colaboração, embora ainda seja uma competição.

A final foi dividida em dois momentos. Durante a manhã, os participantes desenvolveram e validaram a solução criada por eles e apenas no período da tarde é que foi realizada a prototipação desta. Os problemas a serem solucionados por cada grupo foram denominados por sorteio.

Após o sorteio, estes passaram pelo processo de *Design Thinking* [5], a fim de desenvolver as soluções em um formato mais amadurecido. Sempre contando com o auxílio dos instrutores que foram devidamente treinados para orientá-los em cada passo deste procedimento. Vale ressaltar que o *Design Thinking* é um método cada vez mais utilizado pelas empresas atuais e é dividido em quatro etapas:

1. Imersão: o problema é divido em sub-problemas;
2. Ideação: Escolha de uma vertente do problema para solucionar;
3. Validação: Verificação da viabilidade da ideia;
4. Prototipação: Criação da ideia.

Para finalizar, as equipes participantes tiveram que fazer a apresentação da solução para uma banca julgadora *(pitch)*, que avaliava conceitos técnicos e comportamentais, tal qual a oratória.

O interessante desta etapa é que também foi difundido o conceito de empreendedorismo, trabalhando ainda com mais intensidade hemisférios que variam de conceitos técnicos até habilidades humanas.

As Figuras 9 e 10 demonstram um pouco sobre esta etapa.

Fig. 9. Aplicação do *Design Thinking*

Fig. 10. Prototipação da ideia

III. CONCLUSÃO

No ano de 2019 o projeto contemplou 17 colégios, sendo 12 do Ensino Médio Regular (São Miguel Arcanjo, Centro Educacional Jardim Amália, Macedo Soares, Anglo Pinda Emílio Ribas, Vital brazil, Batista Mineiiro, Nossa Senhora das Dores – unidades Floresta e Pompéia, Anglo Resende, Objetivo de Pouso Alegre, Madre Cabrini e Bandeirantes) e 5 colégios do Ensino Médio Técnico (IF Pouso Alegre, IF Três Corações, IF Passos, IF Inconfidentes e Escola Técnica Pandiá Calógenas – ETPC), abrangendo uma média de 40 alunos por colégio. Durante todo o ano, foram desenvolvidos e lapidados conhecimentos que contemplam tanto os *hard- skills* quanto os *soft-skills*, resultando em um aprendizado pautado no ser humano como um todo. Os feedbacks foram bastante expressivos, atendendo as expectativas tanto do grupo organizador da competição, quanto dos alunos participantes e professores acompanhantes.

Conclui-se que o projeto em questão, Arduino Challenge, teve uma importância significativa, visto que fomentou os alunos e professores a pensarem como pode e deve ser o futuro do mundo ligado a tecnologia, assim como, o crescimento da tecnologia se torna uma fonte de inovação para resolução de problemas sociais.

Notou-se também um forte crescimento de interesse dos participantes para o ramo da engenharia, resultando assim em mais adeptos para este segmento.

Para o ano de 2020 a ideia é tematizar a competição no mundo do Jurrasic Park e remodelar e acrescentar o uso de outros componentes eletrônicos paralelo ao arduino.

IV. REFERÊNCIAS

[1]http://www.ufjf.br/observatorioengenharia/files/2012/01/Brics-Ocde.pdf (acesso em 07/03/2019);
[2] Arduino. Arduino URL: arduinno.cc (acesso em 10/03/2019);
[3] Vitor da Fonseca. “Importância das emoções da aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica”. Em: Revista Psicopedagogia 33 (2016). ISSN: 0103-8486. URL: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci arttext pid=S0103-84862016000300014
[4] TinkerCad Tinkercad, Creat 3D digital designs with Online CAD. URL: tinkercad.com (acesso em 17/04/2019).
[5] SEBRAE Entenda o Desing Thinking. URL: www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/enteda-o-desingn-thinking, 369d9cb730905410VgnVCM1000003b74010aRCRD (acesso em 15/04/2019)

Desafios na preparação de competições de programação

Adson F. dos Santos, Luciano do V. Ribeiro
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
Email: adsons@ges.inatel.br, lucianovale@inatel.br

***Abstract*—This article is a way of preparing for the creation of a programming contests. Not only defining the obstacles in creating problems, organizing the event, among other activities, but also showing a methodology used during 2019 in an Inatel programming competition. The research was added by the experience and knowledge of competitors and problem setters of the Codetroopers team.**

***Index Terms*—competition, programming contest, problems**

***Resumo*—Este artigo é uma forma de preparo para a criação de uma maratona de programação. Não somente definindo os obstáculos na criação de problemas, organização do evento, entre outras atividades, como também mostrando uma metodologia usada durante o ano de 2019 em uma competição de programação do Inatel. A pesquisa foi agregada pela experiência e conhecimento de competidores e *problem setters* da equipe Codetroopers.**

***Palavras chave*—competição, maratona de programação, problemas**

I. Introdução

A programação competitiva é uma forma de desenvolver diversas habilidades nos competidores, como por exemplo, raciocínio lógico, trabalho em equipe, capacidade de resolver problemas sob pressão, de forma rápida e eficiente. Habilidades estas que são essenciais para um bom profissional.

A. Competições Oficiais

No Brasil há algumas competições importantes, como a OBI (Olimpíada Brasileira de Informática), Maratona Mineira e a Maratona de Programação da SBC (Sociedade Brasileira de Computação) [1]. A OBI é realizada pela SBC desde 1999 e é destinada à alunos do Ensino Médio, Ensino Fundamental e o 1 ano da faculdade, cada um em sua respectiva modalidade.

A principal competição brasileira é a Maratona de Programação, realizada pela SBC desde 1996, e que ocorre em diversas sedes espalhadas pelo país com a mesma prova. As equipes classificadas em cada sede (de 1 a 3 equipes, dependendo do número de escolas competindo na sede) irão participar da etapa regional do ICPC, a sul-americana e que por sua vez garante vagas das equipes sul-americanas para a final mundial do ICPC [2].

A Figura 1 mostra como é o ambiente das maratonas SBC, ICPC e outras presenciais, com os times divididos por mesas, um placar projetado em tempo real e os balões, que representam cada problema feito pelo time que o possui.

B. Competições Online

Existem diversas competições online criadas por empresas focadas em tecnologia, como o Hacker Cup (Facebook) [3], Code Jam (Google), Hash Code (Google) e VTEX Code Cup (VTEX) [4]. Em algumas dessas competições, a prova é usada como uma seleção de talentos, onde os principais competidores podem se tornar elegíveis para uma entrevista de emprego, como no caso do Hacker Cup.

Além das competições citadas acima, existem os *online judges*, websites com um vasto repositório de problemas, divididos por temas e/ou dificuldades. Em alguns desses *online judges*, ocorrem periodicamente competições virtuais, com o intuito de treinar e divertir os participantes da programação competitiva.

Fig. 1. Maratona de Programação da SBC de 2012

II. Formato da Prova

As provas da maratona são feitas por times de 3 competidores, com um computador por time e um tempo de 5 horas para resolver entre 10 e 13 problemas de assuntos variados. A classificação é feita pelo maior número de problemas resolvidos durante as 5 horas de competição, o critério de desempate é o tempo acumulado para resolver esses problemas. Durante a prova os times podem usar qualquer tipo de material impresso, como livros, códigos e anotações.

Um problema é dividido em 3 partes. São elas: descrição, especificações do formato da entrada de dados e os limites deles e a especificação da saída de dados esperada. Um exemplo de um problema bem simples é o problema Soma de Fatoriais, do URI Online Judge [5].

Descrição: Leia dois valores inteiros M e N indefinidamente. A cada leitura, calcule e escreva a soma dos fatoriais de cada um dos valores lidos. Utilize uma variável apropriada, pois cálculo pode resultar em um valor com mais de 15 dígitos.

Entrada: O arquivo de entrada contém vários casos de teste. Cada caso contém dois números inteiros M $(0 \leq M \leq 20)$ e

N ($0 \leq N \leq 20$). O fim da entrada é determinado por EOF (*End-Of-File*).

Nesse tópico é fornecida a forma como as informações são dadas, assim como os limites de cada tipo de dado.

Saída: Para cada caso de teste de entrada, seu programa deve imprimir uma única linha, contendo um número que é a soma de ambos os fatoriais.

Especifica a formatação do texto que a solução deve retornar.

III. Organizando uma Competição

O Inatel realiza uma vez a cada semestre a ODA (Olimpíada de Algoritmos) entre os alunos cursando Algoritmos e Estruturas de Dados 1, 2 e 3. A ODA é uma competição individual, com problemas originais e tem como objetivo estimular o interesse dos alunos em programação.

A. Divisão de Tarefas

A criação de uma maratona é algo que exige muita organização, uma competição de programação precisa de coisas como um salão para realizar a prova, computadores para os competidores e para os juízes, balões, troféus e/ou medalhas, criação de problemas originais, equipe de juízes e equipe de suporte.

Uma forma de gerenciar tantas tarefas é a divisão de equipes para cada função. Além disso, foi usada uma planilha para ter o controle do estado atual das atividades até o momento, desse modo é fácil visualizar o que ainda é preciso executar.

B. Divulgação e Preparação

A primeira etapa para a criação de uma maratona é a divulgação, com a criação da arte e um bom canal de mídia. Uma boa divulgação tem o poder de atrair pessoas [6].

Para a ODA foi emitido um e-mail para os alunos, todas as informações principais devem estar presentes de forma simples durante a divulgação, informações como cronograma do evento, local, forma de inscrição e contato dos responsáveis pelo evento.

Os demais itens da preparação não necessitam de maiores explicações, portanto, serão apenas listados a seguir.

- Confecção de medalhas.
- Confecção de troféu.
- Impressão da prova.
- Compra de balões.
- Reserva de sala.
- Computadores.

É comum a organização oferecer crachás de identificação e uma camiseta do evento, porém, não é uma regra. O último item da lista se refere não somente a reserva de computadores como também a preparação deles, instalação de compiladores, IDE's e do *software* que irá suportar a competição (se necessário).

No Brasil o BOCA Online Contest Administrator é adotado para as competições oficiais da SBC e para maratonas internas de muitas universidades [7]. Durante a ODA, pela primeira vez o Inatel usou a plataforma Neps Academy [8] para uma competição interna. O Neps é um *website* que possui um repositório de problemas divididos em categorias e níveis de dificuldade. Permite que qualquer pessoa gerencie turmas, crie listas de exercícios e suporta a criação de competições onlines. Uma novidade na plataforma é a possibilidade de que qualquer usuário crie seu próprio problema, de modo que possa ser usado em competições públicas e privadas.

C. Criação de Problemas

Para a criação dos problemas, é essencial que as questões sejam diversas. A solução encontrada para conseguir gerenciar os assuntos da ODA foi estipular a quantidade de questões de cada categoria, como grafos, matemática, simulação, strings, geometria, entre outras [9].

Depois de escolher a categoria do problema, ainda é preciso a contextualização, descrição da entrada/saída e solução do problema. A descrição e solução estão relacionadas diretamente, a descrição precisa se adequar a solução e o contrário também é verdadeiro.

A contextualização é a última parte do processo de escrita de um problema, é comum encontrar histórias ou fatos sobre algo, como na questão JUdit Polgár, que será ainda explicada, juntamente com outros dois problemas da última ODA. Geralmente, um problema é criado com uma solução já em mente e a contextualização é feita de forma a dar sentido a ele.

Após ter o problema escrito, é necessário preparar os casos de testes. Parte dos casos de testes podem ser feitos de forma aleatória em muitos problemas, mas é importante ter casos que possuem algumas propriedades especiais, como para casos pequenos ou grandes, casos feitos para tentar de alguma forma dificultar a solução daquela instância do problema.

A prova deve ser desafiadora o suficiente para que ninguém possa resolver todas as questões, mas abrangente de modo que todos os competidores sejam capazes de resolver ao menos um problema. Também é interessante que todo problema seja resolvido por um ou mais competidores.

As questões mais fáceis devem conter uma descrição objetiva. A entrada e saída devem sem simples também. Problemas sequenciais ou condicionais são bons exemplos contendo somente números inteiros na entrada e apenas um caso de teste por arquivo. Os problemas mais difíceis precisam despertar a curiosidade do competidor, por isso, é comum que eles utilizem de diversos tipos de assuntos para sua solução, desse modo, o competidor consegue montar a solução por partes, a cada nova descoberta ele é incentivado a continuar.

Existem algumas ferramentas para ajudar no processo de criação de problemas, o Polygon é a ferramenta do Codeforces [10], site referência para a programação competitiva. O Polygon disponibiliza recursos para todo o processo de criação de um problema, tais como descrição, geração de casos de testes e validação de códigos.

Nas próximas subseções serão exibidos alguns problemas criados ao longo deste projeto para a ODA de 2019, acompanhados por uma parte do código em C++ e uma breve explicação.

c.1) Problema ANAgrama

O problema ANAgrama pede a próxima permutação (em ordem lexicográfica) de uma *string*, ou informar que a *string* atual é a última permutação possível. Uma abordagem para

esse problema seria gerar todas as permutações, armazenar em uma estrutura de dados em ordem lexicográfica, e informar a próxima *string* nessa estrutura de dados, porém, essa abordagem leva tempo fatorial, tornando o processo muito lento.

A linguagem C++ ensinada nas disciplinas de Algoritmos 1, 2 e 3 possui uma função para encontrar a próxima permutação de uma sequência qualquer. É a função *next_permutation* da biblioteca ***algorithm***, exemplificada a seguir no Código 1. Conhecer as ferramentas da linguagem é importante para resolver determinadas questões, como neste caso.

Código 1: Solução Do Problema ANAgrama

```
string next_anagram(string str)
{
    string ans = "-1";
    if( next_permutation( str.begin(), str.end() ) )
        ans = str;
    return ans;
}
```

c.2) Problema JUdit Polgár

JUdit Polgár têm esse título devido à grande jogadora de xadrez Judit Polgár. Nessa questão é dado a configuração de um tabuleiro com apenas duas peças em jogo, um rei e uma dama adversária, com suas respectivas posição no tabuleiro. O programa deve informar se é uma posição de xeque, ou seja, se a dama adversária consegue se mover até a coordenada atual do rei em somente um lance.

Esse tipo de problema não se encaixa em nenhuma categoria específica de problemas de programação competitiva. Trata-se apenas de lógica e são necessárias algumas observações simples para resolver.

Código 2: Solução Do Problema JUdit Polgár

```
bool solve( int Lr, int Cr, int Ld, int Cd )
{
    //Lr e Ld -> Linha do Rei e Dama
    //Cr e Cd -> Coluna do Rei e Dama
    if(Lr == Ld || Cr == Cd)
        return true;
    else if( abs(Lr - Ld) == abs(Cr - Cd) )
        return true;
    else
        return false;
}
```

Para que o rei esteja em xeque, é preciso que a dama adversária esteja na mesma coluna, linha ou diagonal do rei. Para verificar essas configurações é possível simular a dama se movendo em todas as direções. Outra forma mais simples é através da observação das diferenças absolutas entre as coordenadas de cada peça, como ilustrado no Código 2.

Os dois primeiros casos são simples, são verdadeiros quando o rei se encontra na mesma linha ou coluna da dama adversária. O último caso a ser tratado acontece quando o rei e a dama compartilham a mesma diagonal, para essa verificação é preciso um conhecimento algébrico sobre retas. Portanto, é verificado se a variação entre rei e dama nos dois eixos (linha e coluna) são iguais em módulo.

A quantidade de soluções corretas que esse problema recebeu foi um numero bem expressivo e satisfatório, aproximadamente metade dos competidores oficiais conseguiram o resolver.

c.3) Problema Turma de Damião

Turma de Damião foi feito com o objetivo de ser a questão mais desafiadora da prova. A contextualização desse problema dava as diferentes habilidades de cada aluno de uma sala de aula, e pedia a quantidade de duplas diferentes tal que os dois alunos não tenham nenhuma habilidade em comum.

Dado que existem no máximo 20 habilidades diferentes, e cada aluno tem um subconjunto de habilidades dentre essas 20, o conjunto de habilidades de cada aluno é dado na forma de um único número inteiro de até 20 bits. Um aluno possui a habilidade i se o i-ésimo bit do número que representa as habilidades do aluno for 1. Por exemplo, um conjunto representado pelo número 10 possui a segunda e a quarta habilidade, pois a representação binaria de 10 é 1010.

Portanto, o problema se resume em encontrar a quantidade de pares tal que a operação *AND* seja 0. A operação *AND* é uma operação binária: A *AND* B resulta em um número no qual o i-ésimo bit é ativo apenas se o i-ésimo bit de A e B forem ativos. Existe um algoritmo que resolve exatamente esse tipo de problema, e é conhecido como *SOS(Sum Over Subsets) Dynamic Programming*.

Código 3: Solução Do Problema Turma de Damião

```
long long solve(vector<int> &in, int N)
{
    long long ans = 0;
    int MAX = 1 << 22;
    int inv = (1 << 20) - 1;
    vector<int> pd(MAX, 0);

    for(int i = 0; i < N; i++)
        pd[ in[i] ]++;

    for(int j = 0; j <= 20; j++)
    {
        for(int i = 0; i < MAX; i++)
        {
            if(i & (1 << j))
                pd[ i ] += pd[ i ^ (1 << j) ];
        }
    }

    for(int i = 0; i < N; i++)
    {
        if(in[ i ] != 0)
            ans += pd[ in[i] ^ inv ];
        else
            ans += pd[ in[i] ^ inv ] - 1;
    }
    return ans/2;
}
```

A *DP (Dynamic Programming)* usada para resolver esse problema, salva em cada estado de *pd[**x**]* a quantidades de números da entrada tal que a operação *AND* com **x**, seja igual ao próprio número. Sendo assim, a quantidade de elementos que a operação *AND* com **x** resulta em 0, está guardada em *pd[**y**]*, sendo **y** um número que possui todos os bits invertidos em relação a **x**. No *website* Codeforces se encontra uma explicação mais aprofundada sobre esse tópico de *SOS Dynamic Programming* [11].

Esse problema utiliza alguns assuntos interessantes e importantes, como o paradigma da programação dinâmica, e a técnica de bitmask (mascará de bit). A Análise assintótica da solução esperada é $O(NlogM)$, onde N é a quantidade de alunos e

M é o número máximo da representação de um conjunto de habilidades. A técnica conhecida como *dp with bitmask* pode ser estudada no livro Competitive Programming 3, seção 8.3.1 [12].

D. Resultados

A execução da ODA foi bem sucedida, tudo ocorreu conforme planejado, a prova foi feita no dia 23 de novembro de 2019 através do site Neps Academy, uma plataforma digital que oferece cursos de programação e também é usada como online judge.

O placar geral da prova foi bem distribuído, os 3 primeiros colocados, Lucas Andrade, Bernado Gandolpho e Maria Eduarda fizeram respectivamente 9, 7 e 6 problemas de um total de 10. O desafio da ODA na criação de problemas é conseguir alcançar todas os níveis de alunos, com conhecimentos das matérias de algoritmos 1, 2 e 3. A Tabela 1 mostra a relação da quantidade de soluções corretas por problema.

TABELA I
CONTAGEM DO PLACAR

Problema	Resolvidos
A	1
B	21
C	2
D	9
E	11
F	20
G	3
H	0
I	5
J	1

IV. CONCLUSÃO

A ODA foi muito essencial para validar a ideia de organização de uma maratona, através dela foi possível notar melhor detalhes importantes, como a relevância de uma boa divulgação do evento, para que aumente a quantidade de competidores.

Durante a execução da ODA, o diferente nível de conhecimento de cada aluno (devido à diferença de matérias cursadas) se mostrou um grande desafio, era esperado um pouco mais de submissões aceitas em relação ao resultado observado na Tabela I. Este documento teve o propósito de servir como guia para criação de uma maratona, ou de uma parcela dela, como a criação de problemas.

REFERÊNCIAS

[1] *Maratona SBC de Programação*. SBC, 2020. URL: http://maratona.ime.usp.br/.

[2] *ICPC - International Collegiate Programming Contests*. ICPC, 2020. URL: https://icpc.baylor.edu/.

[3] *Hacker Cup*. Facebook, 2020. URL: https://www.facebook.com/hackercup/.

[4] *Google Competitions*. Google, 2020. URL: https://codingcompetitions.withgoogle.com/.

[5] *Soma de Fatoriais*. Uri Online Judge, 2020. URL: https://www.urionlinejudge.com.br/judge/pt/problems/view/1161%20Soma%20de%20Fatoriais.

[6] Edimara Daronco. *Gestão de Marketing*. 1nd. Editora Unijuí, 2008. ISBN: 9788574296708.

[7] *BOCA Online Contest Administrator*. USP, 2020. URL: http://maratona.ime.usp.br/manualBOCA.html.

[8] *Neps Academy*. Thiago Nepomuceno, 2020. URL: https://neps.academy/.

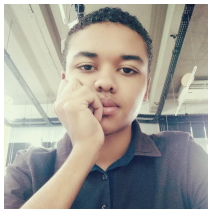
[9] João. G. R. de Oliveira, Nathalya. S. Pereira e Dâmi. H. Pelegrino. "Programação Competitiva: Passo a passo para um treinamento efetivo". Em: *XXXI Congresso de Iniciação Científica do Inatel*. Santa Rita do Sapucaí, MG, Brazil: Inatel, 2019, pp. 298–301.

[10] *Polygon*. Mike Mirzayanov, 2020. URL: https://polygon.codeforces.com/.

[11] *SOS Dynamic Programming*. Utkarsh Saxena, 2020. URL: https://codeforces.com/blog/entry/45223.

[12] Felix Halim Steven Halim. *Competitive programming 3*. 3nd. Lulu, 2013. ISBN: 9788392212355.

AUTOR



Adson Ferreira dos Santos Possui curso Técnico em Mecatrônica pelo Senai(2016), cursando graduação em Engenharia de Software pelo Inatel. Atualmente integrante da equipe de Maratona de Programação do Inatel.