

ISSN 2359-6457

“

**A matemática
é uma invenção
humana ou ela
é descoberta
pelos humanos?**

Roger Penrose

Físico-matemático, nasceu em 8 de agosto de 1931, é Phd pela Universidade de Cambridge e, aos 89 anos, trabalha como professor na Universidade de Oxford. Em 2020 ganhou o Prêmio Nobel de física, provando por meio da matemática que os buracos negros são uma consequência direta da teoria geral da relatividad de Einstein.

Mensagem da coordenação

Foi com grande satisfação que recebemos vocês, jovens pesquisadores, de forma Online, para o Incitel 2021, 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.

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. Não poderia deixar de agradecer também ao pessoal da Assessoria de Comunicação e Marketing (ASCOM) e do Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação (CTIC) pelo enorme esforço dedicado a este projeto.



Prof.^a Karina Perez Mokarzel Carneiro
Coordenadora Geral – Incitel 2021

I373

Incitel 2021 – Congresso de Iniciação Científica do Inatel (2021:
Santa Rita do Sapucaí - MG)

Anais do 33º Congresso de Iniciação Científica do Inatel – Incitel,
09 a 11 de junho 2021, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil.
Publicado por Karina Perez Mokarzel Carneiro (Org.). – Santa Rita
do Sapucaí - MG: Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL,
2021.

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

183 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

Sistema de educação continuada para pessoas com encefalopatia crônica não progressiva no aprendizado da reprodução de palavras de forma oral

.....1
Leonardo Garcia Ferraz da Silva, Ygor Daniel Cardoso de Freitas, Esp. Filipe Bueno e Prof. Elisa Rennó Carneiro Dester.

Esquilo - Sistema de Realidade Virtual para Capacitação de Enfermeiros em Ambientes de Salvamentos Adversos

.....5
João Gabriel da Silva e Julia Daniele Moreira da Silva.

Hospital 4.0

.....8
Sophia Pereira Bastos e Juliano Augusto Nascimento Leite.

Mão robótica com controle eletrônico para execução de gestos em LIBRAS

.....12
Joana Sarmet Smiderle Mendes, Vinicius Seiji Otani e Juliano Augusto Nascimento Leite.

Sessão Técnica II – Automação I

Experimentação Virtual ROS/V-REP e Implementação de um Robô Utilizando SLAM

.....16
Higor Tizatto, Renato Gregolon Scortegagna e Kleyton Hoffmann.

Sistema de controle de protótipo em pequena escala de um levitador magnético

.....22
Bruno Giacomelli Sotil, Marconi Januario, Kleyton Hoffmann e Jean Patrick Prigol.

Optimização topológica de dispositivos para o controle de radiação em ondas milimétricas

.....27
Rebecca Haïdar Gomes e Felipe Beltrán-Mejía.

Estudo Sobre o Controle Aplicado em Sumo de Robôs

.....33
Alexandre Baratella Lugli, Egídio Raimundo Neto, Danilo de Oliveira Palma, Darlan

Borges Ajlune Matheus Lemos de Aguiar, Vinícius Lemos de Aguiar e Wanderson Eleutério Saldanha.

Estudo Sobre o Desenvolvimento de um Robô de Combate Categoria FairyWeight
.....38

Alexandre Baratella Lugli, Egídio Raimundo Neto, Lucas de Oliveira Saldanha, Rafael Augusto Ribeiro Costa, Thaís Escobar Alves e Wanderson Eleutério Saldanha.

Sessão Técnica III – Computação I

The Study of the Digital Twin Concept and its Application in a Prototype for Light Control
.....42

Rafaela Cristina Ferraz, Guilherme Dinarte Marcondes, Iago Luiz da Cruz Barbosa e Renzo Paranaíba Mesquita.

Otimização dos treinamentos para os iniciantes da equipe de Maratona de Programação do Inatel
.....46

Bernardo D. Gandolpho, Lucas A. Marques e Luciano V. Ribeiro.

A Review about the Digital Twin Concept and a Prototype Application in an Industry 4.0 Context
.....50

Gustavo de Moraes Pessa e Renzo P. Mesquita.

Ferramenta com Interface Gráfica para Seleção de Portfólio de Projetos e Aplicação do Método TOPSIS
.....54

Dessana Siqueira Alves e Guilherme Augusto Barucke Marcondes.

Aplicando Engenharia de Software no Desenvolvimento de Jogos Digitais
.....58

Nathalya Stefhany Pereira e Phyllipe Lima.

Sessão Técnica IV – Telecomunicações I

Duas Redes Neurais para a Estimação da Transformada Discreta de Fourier
.....64

Bruna de Souza Ribeiro e Rausley Adriano Amaral de Souza.

Breve Tutorial em Programação de Microcontroladores ESP8266 com MicroPython

.....	69
<i>Fernando F. Ramborger, Maria F. Totti, Maysa F. dos Santos e Evandro C. Vilas Boas.</i>	

Introdução ao sistema de monitoramento Zabbix	75
<i>Fernando B. de Souza, Evandro C. Vilas Boas e Francisco A. S. do Carmo.</i>	

Análise de vulnerabilidade utilizando a ferramenta OpenVAS	80
<i>Luiz F. F. Irineu, Lucas S. Vaz, Matheus B. Teixeira, Evandro C. Vilas Boas e Francisco A. S. do Carmo.</i>	

Sessão Técnica V – Biomédica II

Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para avaliação de pacientes em tratamento fisioterapêutico	85
<i>Rita Elizabeth Santos de Almeida, Leandro Coutinho de Oliveira, Elisa Rennó Carneiro Dester e Filipe Bueno Vilela.</i>	

Sistema para educação de deficientes auditivos quanto ao aprendizado da leitura orofacial	89
<i>Ana Clara Santos, Filipe Bueno Vilela, Elisa Rennó Carneiro Dester.</i>	

Avaliação de interface e recursos de comunicação alternativa para pessoas com paralisia cerebral	93
<i>Felipe S. B. Pereira, Janaína G. Silva, Juliano A. N. Leite e Filipe B. Vilela.</i>	

Estudo de Eletroestimulação Transcraniana e Técnicas de Processamento de Sinais de EEG Para a Identificação de Padrões	97
<i>Cecília de F. Fernandes, Nicole L. Martins, Vitoria C. Neves, Filipe B. Vilela e Juliano A. N. Leite.</i>	

Sessão Técnica VI – Automação II

Estudo Sobre Robôs Seguidores de Linha	102
<i>Alexandre Baretalla Lugli, Darlan Borges Ajlune, Egídio Raimundo Neto, Joao Henrique Silva Delfino, José Marcolino Ribeiro Neto, Marina Ribeiro Barba, Pedro Consoli Bressan, Stefany Rodrigues Lau e Wanderson Eleutério Saldanha.</i>	

Estudo Sobre a Aplicação de Drones Autônomos	106
<i>Alexandre Baratella Lugli, Cícero Michel Sousa, Egídio Raimundo Neto, Marcos Henrique Rodrigues Lopes, Matheus Braga Teixeira, Nicole Escobar Alves, Raphael Rangel Freitas e Wanderson Eleutério Saldanha.</i>	

Estudo Sobre a Medição de Vazão em Sistemas Hidráulicos Baseado na Correlação Cruzada de Sinais Ultrassônicos	110
<i>Giulio Germiniani, Igor Romancini Marques e Wanderson Eleutério Saldanha.</i>	

Sincronismo de Motores de Passo Utilizando PLC-Open	115
<i>Gabriel Luiz Bruno Neto e João Paulo Carvalho Henriques.</i>	

Sessão Técnica VII – Computação II

Comparação de Modelos de Previsão de Séries Temporais aplicados à Economia Virtual de um MMORPG	121
<i>Rubens Cividati e Marcelo V. C. Aragão.</i>	

Analizador de Stream para Distribuição de Sinais de Áudio e Vídeo Digital	127
<i>Gabriel Moreira Peixoto Diniz e Msc. Anderson Fagiani Fraga.</i>	

Geoprocessamento aplicado à Rovers Autônomos Agrícolas	131
<i>Flavio Henrique Madureira Bergamini, Gabriel Ilian Fonseca Barboza, Douglas Tavares Martins ' Samuel Baraldi Mafra, Vitor Alexandre Campos Figueiredo.</i>	

Economia das Coisas com Pagamentos Entre Objetos Utilizando Criptomoeda IOTA	137
<i>Leandro de Aquino Pereira, Fabio Carli Rodrigues Teixeira e Antônio Marcos Alberti.</i>	

Sistema de Monitoramento de Energia em Tempo Real Usando IoT	142
<i>Natan Luiz Cavasin e Kleyton Hoffmann.</i>	

Sessão Técnica VIII – Administração, Inovação e Empreendedorismo

Medição e avaliação da aderência à aprendizagem ativa em engenharia utilizando protocolos de observação em sala de aula
--

.....	148
<i>Leovani Marcial Guimarães, Mariana Fernandes de Mendonça, Bruno Brandão Spagolla.</i>	

Programação 1.0

.....	154
<i>Alexandre Mendes de Oliveira, Isabela Rezende Barbosa da Silva, Luiz Gustavo Domingues de Carvalho, Marcelo Henrique Gonaçalves da Silva, Nícollas Evangelista Oliveira, Pedro Piccichelli Carvalho, Renzo Paranaíba Mesquita, Samuel Mangia Maciel, Sinal Exaucé Mavoungou Nzaou e Victoria Rocha Brito.</i>	

Especificação de Motor para um Veículo Elétrico

.....	160
<i>Fernanda Camiccia Tasca, Renato Gregolon Scortegagna, Marconi Januário.</i>	

Sessão Técnica IX – Biomédica III

Escaneamento de membros e impermeabilização para Mao Biônica controlada por EMG/MMG

.....	166
<i>Ana Beatriz T. Higashizima, Athus C. S. Freitas, Pedro A. Cruz, Filipe B. Vilela, Juliano A. N. Leite.</i>	

Dispositivo de acessibilidade para pessoa com surdez interagir

.....	170
<i>Lucas Bernardes Pereira, Lucas Chiomark Pereira Santos, Filipe Bueno Vilela, Carlos Alberto Ynoguti.</i>	

Cadeira de Rodas com Design Ergométrico e Sistema Elétrico de Controle para Pacientes com Restrição Motora de Membros Superiores e Inferiores

.....	175
<i>Emerson Assis do Couto, Guilherme Ferreira Nogueira Paiva, Filipe Bueno Vilela, Juliano Augusto Nascimento Leite.</i>	

Sistemas de Monitoramento Remoto de Parâmetros Vitais e/ou Quedas com Sistema de Alertas Sem Fios

.....	179
<i>Isadora Bello Pereira Rodrigues, Filipe Bueno Vilela e Juliano Augusto Nascimento Leite.</i>	

Sistema de educação continuada para pessoas com encefalopatia crônica não progressiva no aprendizado da reprodução de palavras de forma oral

Leonardo Garcia Ferraz da Silva, Ygor Daniel Cardoso de Freitas

Elisa Rennó Carneiro Dester, Filipe Bueno Vilela

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

leonardo.garcia@geb.inatel.br, ygor.d@geb.inatel.br

elisa.renno@inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

Abstract—Individuals with cerebral palsy have limited capacity for oral, symbolic or linguistic production to varying degrees. About half of children with cerebral palsy have at least some oromotor alteration that makes oral communication difficult due to physical changes in posture, breathing, and speech, such as the control of the jaw, lips and tongue. Communication is a crucial mechanism in social interaction. Individuals with cerebral palsy, even with difficulty, are able to babble a few words. However, they find it difficult to know if they have pronounced in the correct form, or intensity, as well as to repeat those expressions. With this in mind, the objective of the present study is to develop an algorithm with the capacity to perform phonetic analyzes, and differentiate them more assertively, in order to assist the cognitive development of these individuals.

Index Terms—Algorithm, cerebral palsy, communication, learning

Resumo—Os indivíduos com paralisia cerebral têm capacidade de produção oral, simbólica ou linguística limitada em diferentes graus. Cerca de metade das crianças com paralisia cerebral tem pelo menos alguma alteração oromotora que dificulta a comunicação oral devido às alterações físicas de postura, respiração e de fala, como o controle do maxilar, lábios e língua. A comunicação é um mecanismo crucial na interação social. Os indivíduos com paralisia cerebral, mesmo com dificuldade, conseguem balbuciar algumas palavras. Contudo, eles têm dificuldade em saber se pronunciaram na forma ou intensidade correta, bem como repetirem aquelas expressões. Tendo isso em vista, o objetivo do presente estudo é desenvolver um algoritmo com capacidade de realizar análises fonéticas e diferenciá-las com mais assertividade, a fim de auxiliar o desenvolvimento cognitivo desses indivíduos.

Palavras chave—Algoritmo, aprendizado, comunicação, paralisia cerebral

I. INTRODUÇÃO

Encefalopatia crônica não progressiva, comumente conhecida como Paralisia Cerebral (PC), a deficiência mais comum na infância, é caracterizada por alterações neurológicas permanentes que afetam o desenvolvimento motor e cognitivo, causando limitações nas atividades cotidianas. Uma criança com PC apresenta um intrincado desenvolvimento linguístico, dificultando a expressão oral e o registro de escrita. A comunicação é um mecanismo crucial na interação social. Os indivíduos com PC, mesmo com dificuldade, conseguem balbuciar algumas palavras. Contudo, eles têm dificuldade em saber se pronunciaram na forma correta, bem como repetirem aquelas expressões. Por exemplo, a diferença na pronúncia

das fonéticas “e” e “é” pode ser de difícil compreensão para eles. Com o auxílio de novos recursos tecnológicos é possível estimular o uso da fala como recurso de comunicação[1].

Tecnologia Assistiva (TA) é uma área do conhecimento que consiste em auxiliar as pessoas com deficiência no desempenho das suas funções. Seu conceito é amplo e o desenvolvimento de recursos tem permitido a valorização, integração e inclusão de muitas pessoas, promovendo seus direitos humanos e sua participação no meio social [2]. Crianças com diagnóstico de PC podem ter dificuldades em produzir uma fala clara e podem se beneficiar do uso de sistemas de Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA). Esses sistemas podem incluir o uso de *hardware* e *software* de alta tecnologia para permitir a seleção de palavras ou símbolos, a serem transmitidos a um interlocutor por meio de voz digital ou sintetizada [3]. Revisões científicas recentes mostram que, características da tecnologia e da intervenção influenciam os sentimentos de autonomia, de competência e de relacionamento de crianças com PC [4]. Outro estudo visou investigar os efeitos do treinamento do programa de intervenção de Realidade Virtual (RV) no tempo de reação em crianças com PC. Trinta meninos com idades entre 7 e 12 anos (média = 11,20; Desvio Padrão (DP) = 0,76) foram selecionados pelo método de amostragem disponível e divididos aleatoriamente nos grupos experimental e controle. O Tempo de Reação Simples (TRS) e o Tempo de Reação Discriminativa (TRD) foram medidos no início do estudo e 1 dia após a conclusão da intervenção de Realidade Virtual (RV). A análise multivariada de variância e o teste t de amostra pareada foram realizados para analisar os resultados [5].

Assim prescrito, o objetivo desse trabalho é utilizar técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN) para a análise e processamento de dados. Em breve resumo o objetivo do PLN é fornecer aos computadores a capacidade de entender e compor textos. “Entender” um texto significa reconhecer o contexto, fazer análise sintática, semântica, léxica e morfológica, criar resumos, extrair informação, interpretar os sentidos, analisar sentimentos e até aprender conceitos com os textos processados. De modo geral, no PLN, buscam-se soluções para questões computacionais que requerem o tratamento computacional de uma ou mais línguas naturais, quer sejam escritas ou faladas. Mais precisamente, o PLN

dedica-se a propor e desenvolver sistemas computacionais que têm a língua natural escrita como objeto primário.

II. METODOLOGIA

O primeiro passo para o desenvolvimento é reconhecer a voz do usuário, portanto torna-se necessário importar a biblioteca *SpeechRecognition*. Em seguida, os dados recebidos pelo interlocutor são processados para a forma textual e armazenados em uma variável do tipo *string*. Para utilização de parâmetros comparativos foi dado ao usuário uma frase de exemplo para o mesmo repeti-lá.

No segundo passo, após o recebimento da informação vinda do usuário, é necessário realizar o pré-processamento do texto. Esse procedimento é descrito como normalização textual. A normalização abrange tratativas como a tokenização, transformação de letras maiúsculas para minúsculas, remoção de caracteres especiais, dentre outras. O processo de tokenização tem como objetivo separar palavras ou sentenças em unidades. No algoritmo o comando *CountVectorizer* é o responsável por fazer a tokenização dos dados de texto e transformá-los em uma matriz de frequência.

No terceiro passo, depois do processamento e transformação do texto em uma matriz de frequência foi criada uma condição de igualdade comparando a matriz processada por uma matriz similar. Caso a igualdade das matrizes for satisfeita o algoritmo retornará a frase "Pronuncia correta! Parabéns!", caso não seja satisfeita retornará "Pronuncia incorreta!".

III. RESULTADOS

Durantes os testes obteve-se resultados regulares. Foi visto que o algoritmo consegue distinguir sílabas trocadas, erros ortográficos e repetições entretanto analisou-se que o uso do artigo dentro da frase se torna irrelevante para a classificação.

A. Fluxograma de funcionamento:

Os processos de análise e ordenação e execução dos dados são apresentados abaixo, no fluxograma de funcionamento:

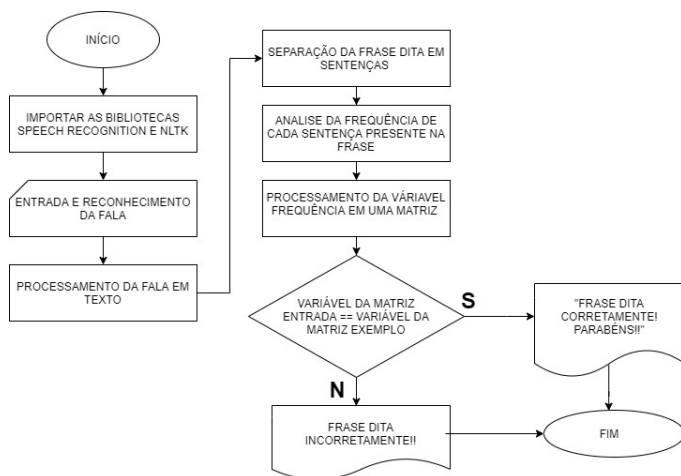


Fig. 1. Representação em modo de fluxograma do funcionamento do código.

B. Testes

Durante os teste as frases foram variadas e postas em pares. Tomando-se como demonstração dois pares de teste, com frases distintas:

b.1) Casos de teste: Troca de sílabas

```

In [13]: runfile('C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos/expression.py',
wdir='C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos')
Diga a frase: o gato nada na lagoa
Isso foi o que você disse: o gato nada na lagoa

['o', 'gato', 'nada', 'na', 'lagoa']

<FreqDist with 5 samples and 5 outcomes>
mesma frequência de palavras
{'gato': 0, 'nada': 3, 'na': 2, 'lagoa': 1}
Pronuncia correta! Parabéns!
  
```

Fig. 2. Primeiro caso de teste: A frase é dita corretamente pelo usuário.

```

In [17]: runfile('C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos/expression.py',
wdir='C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos')
Diga a frase: o gato nada na lagoa
Isso foi o que você disse: o pato nada na lagoa

['o', 'pato', 'nada', 'na', 'lagoa']

<FreqDist with 5 samples and 5 outcomes>
frequência de palavras diferente
{'pato': 3, 'nada': 2, 'na': 1, 'lagoa': 0}
Pronuncia incorreta!
  
```

Fig. 3. Primeiro caso de teste: A frase é dita incorretamente pelo usuário. A sílaba 'ga' é trocada por 'pa'.

```

In [19]: runfile('C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos/
expression.py', wdir='C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos')
Diga a frase: a foca brinca com a bola
Isso foi o que você disse: a foca brinca com a bola

['a', 'foca', 'brinca', 'com', 'a', 'bola']

<FreqDist with 5 samples and 6 outcomes>
mesma frequência de palavras
{'foca': 3, 'brinca': 1, 'com': 2, 'bola': 0}
Pronuncia correta! Parabéns!
  
```

Fig. 4. Segundo caso de teste: A frase é dita corretamente pelo usuário.

```

In [21]: runfile('C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos/expression.py',
wdir='C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos')
Diga a frase: a foca brinca com a bola
Isso foi o que você disse: a foca brinca com a bala

['a', 'foca', 'brinca', 'com', 'a', 'bala']

<FreqDist with 5 samples and 6 outcomes>
frequência de palavras diferente
{'foca': 3, 'brinca': 1, 'com': 2, 'bala': 0}
Pronuncia incorreta!
  
```

Fig. 5. Segundo caso de teste: A frase é dita incorretamente pelo usuário. A sílaba 'bo' é trocada por 'ba'.

Em início a frase é dita corretamente e a rede classifica como correta, na segunda experimentação foi mudado apenas uma sílaba para analisar o desempenho da rede, na qual classificou como incorreta.

b.2) Caso de teste: Acentuação

Neste outro teste foi analisado a acentuação. A frase usada de exemplo como comparativa foi escrita sem acentuação e a classificação foi dada como incorreta:

```

In [23]: runfile('C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos/
expression.py', wdir='C:/Users/ygord/OneDrive/Documents/classificação de textos')
Diga a frase: laranja e limao são frutas
Isso foi o que você disse: laranja e limão são frutas

['laranja', 'e', 'limão', 'são', 'frutas']

<FreqDist with 5 samples and 5 outcomes>
frequência de palavras diferente
{'laranja': 1, 'limão': 2, 'são': 3, 'frutas': 0}
Pronuncia incorreta!
  
```

Fig. 6. Primeiro caso de teste: A frase de exemplo possui erros de acentuação.

b.3) Caso de teste: Repetição de palavras

Foi realizado também testes com palavras em que o usuário repete sem necessidade. Demonstração a seguir:


```
In [24]: runfile('C:/Users/ylgord/OneDrive/Documents/classificação de textos/expression.py',
wdir='C:/Users/ylgord/OneDrive/Documents/classificação de textos')
Diga a frase: o tempo perguntou ao tempo quanto tempo o tempo tem
Isso foi o que você disse: O tempo perguntou ao tempo quanto tempo o tempo tem

['O', 'tempo', 'perguntou', 'ao', 'tempo', 'quanto', 'tempo', 'o', 'tempo', 'tem']

<FreqDist with 7 samples and 10 outcomes>
frequência de palavras diferente
{'tempo': 4, 'perguntou': 1, 'ao': 0, 'quanto': 2, 'tem': 3}
Pronuncia correta! Parabéns!
```

Fig. 7. Caso de teste: A frase dita pelo usuário possui as sentenças corretas

```
In [25]: runfile('C:/Users/ylgord/OneDrive/Documents/classificação de textos/expression.py',
wdir='C:/Users/ylgord/OneDrive/Documents/classificação de textos')
Diga a frase: o tempo perguntou ao tempo quanto tempo o tempo tem
Isso foi o que você disse: O tempo perguntou ao tempo tempo quanto

['O', 'tempo', 'perguntou', 'ao', 'tempo', 'tempo', 'quanto']

<FreqDist with 5 samples and 7 outcomes>
frequência de palavras diferente
{'tempo': 3, 'perguntou': 1, 'ao': 0, 'quanto': 2}
Pronuncia incorreta!
```

Fig. 8. Caso de teste: A frase dita pelo usuário possui sentenças repetidas.

IV. DISCUSSÃO

O que pode-se inferir do desempenho da rede é que algumas palavras possuem mais importância para classificação que outras. O exemplo disso é que os artigos são menos relevantes durante o processamento textual, ao invés de palavras que aparecem mais de uma vez na mesma frase. Vale ressaltar também que durante o processamento e separação da frase, a rede de ordenação atribui posições para as sentenças fazendo com que os verbos e sentenças com mais frequência fiquem com valores menores que os artigos, como visto nos casos de teste.

Outro ponto relevante a ser levantado é a assertividade fonética e ortográfica, a rede mostrou que consegue distinguir pequenas diferenças textuais como acentuação.

Busca-se trazer facilidade para os profissionais que trabalham com esse grupo de crianças, além de flexibilidade no uso de ferramentas para o auxílio durante o trabalho, obtendo otimização de tempo e recursos, trazendo benefícios para o desenvolvimento cognitivo dessas crianças. O projeto precisa ter uma melhor interação com usuário, levando assim, a criação de interface gráfica.

O sistema foi desenvolvido visando atender crianças na fase de alfabetização, de 4 a 8 anos, entretanto o algoritmo é capaz de atender todo tipo de interlocutor, contando que seja utilizado com acompanhamento de um profissional capacitado da área pedagógica.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito deste estudo é trazer métodos mais sofisticados para a análise textual, tendo como base um software que visa facilitar, melhorar e funcionar como ferramenta para o desenvolvimento cognitivo do usuário, além de ser um meio de inclusão e alfabetização [6]. Com a concretização do projeto, espera-se que o mesmo seja transferido para os do grupo de assistência às pessoas com deficiência.

O algoritmo se baseia em processar primeiro a fala que foi emitida, em seguida transformar em texto e depois processar esse textos em números para que o computador otimize e classifique

Em pesquisas futuras, deve-se integrar conceitos de redes neurais para o processamento dos textos, trazendo um retorno e uma otimização dos dados de maneira mais ampla do que os

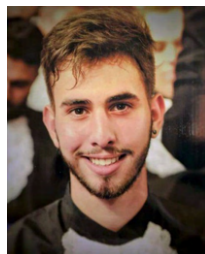
testados até aqui e contribuir para área de Processamento de Linguagem Natural.

REFERÊNCIAS

- [1] Tatiana da Cunha, Lucila Santarosa e José De Lima. “Estudo do processo de comunicação de alunos com paralisia cerebral em ambientes digitais”. Em: *REVISTA DE ESTUDOS DA LINGUAGEM* 25.4 (2017), pp. 2197–2226. ISSN: 2237-2083. DOI: 10.17851/2237-2083.25.4.2197-2226. URL: <http://www.periodicos.letras.ufmg.br/index.php/relin/article/view/8848>.
- [2] Thais Breternitz LINO, Luciana Bolzan Agnelli MARTINEZ, Iasmin Zanchi BOUERI e Gersa Ferreira LOURENCO. “Efeitos do Uso de Recursos de Tecnologia Assistiva para Promover Independência em Atividades de Vida Diária para uma Criança com Paralisia Cerebral”. pt. Em: *Revista Brasileira de Educação Especial* 26 (mar. de 2020), pp. 35–50. ISSN: 1413-6538. URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-65382020000100035&nrm=iso.
- [3] Tom Griffiths e Anne Addison. “Access to communication technology for children with cerebral palsy”. Em: *Paediatrics and Child Health* 27.10 (2017), pp. 470–475. ISSN: 1751-7222. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.paed.2017.06.005>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751722217301452>.
- [4] Elaine Biddiss, Daniela Chan-Viquez, Stephanie T. Cheung e Gillian King. “Engaging children with cerebral palsy in interactive computer play-based motor therapies: theoretical perspectives”. Em: *Disability and Rehabilitation* 43.1 (2021). PMID: 31104517, pp. 133–147. DOI: 10.1080/09638288.2019.1613681. eprint: <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1613681>. URL: <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1613681>.
- [5] Morteza Pourazar, Fatemeh Mirakhori, Rasool Hemayatlab e Fazlollah Bagherzadeh. “Use of virtual reality intervention to improve reaction time in children with cerebral palsy: A randomized controlled trial”. Em: *Developmental Neurorehabilitation* 21.8 (2018). PMID: 28933977, pp. 515–520. DOI: 10.1080/17518423.2017.1368730. eprint: <https://doi.org/10.1080/17518423.2017.1368730>. URL: <https://doi.org/10.1080/17518423.2017.1368730>.
- [6] Kamran Kowsari, Kiana Jafari Meimandi, Mojtaba Heidarysafa, Sanjana Mendu, Laura Barnes e Donald Brown. “Text Classification Algorithms: A Survey”. Em: *Information* 10.4 (2019). ISSN: 2078-2489. DOI: 10.3390/info10040150. URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/10/4/150>.

AUTORES

Leonardo Garcia Ferraz da Silva Graduando em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no *eHealth Innovation Center*. Tem interesse nas áreas de manutenção



de equipamentos médicos, tecnologia biomédica e em empreendedorismo relacionado a área da saúde.



Ygor Daniel Cardoso de Freitas Graduando em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no *eHealth Innovation Center* e membro do núcleo de desenvolvimento da CP2eJr. Empresa Júnior do Inatel. Tem interesse nas áreas de informática médica, inteligência artificial voltada à área da saúde e engenharia

clínica.



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 *eHealth Innovation Center* do inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de

Eletrônica “FMC”.

Esquilo - Sistema de Realidade Virtual para Capacitação de Enfermeiros em Ambientes de Salvamentos Adversos

João Gabriel da Silva, Julia Daniele Moreira da Silva

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

joao.g@gea.inatel.br, juliadaniele@gec.inatel.br

Abstract—This document contains a proposal for the development of a virtual reality game to help healthcare professionals in their training with helicopters accessing risk areas. Due to the fact, rescue in areas of risk such as environments surrounded by fire, areas difficult to be accessed, have specific procedures to be performed. In some cases, rescues are carried out with helicopters.

Index Terms—Virtual reality, training, helicopter.

Resumo—Este documento contém proposta do desenvolvimento de um jogo de realidade virtual para ajudar profissionais da área de saúde em seus treinamentos com helicópteros acessando as áreas de risco. Devido ao fato, do resgate em áreas de risco como ambientes envoltos com fogo, áreas difíceis de serem acessos, possuir procedimentos específicos para serem realizados. Em alguns casos, os resgates são realizados com helicópteros.

Palavras chave—Realidade virtual, treinamento, helicóptero.

I. INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual é definida como um ambiente imersivo e experiência interativa baseada em imagens gráficas em três dimensões (3D) geradas em tempo real por computador, ou seja, é uma simulação gerada por um computador, sobre um mundo real ou apenas imaginário [1].

A Realidade Virtual em seu conjunto reúne especificidades e atributos que a tornam a ferramenta ideal para as múltiplas situações e contextos de pesquisa e aprendizagem. A aplicação da realidade virtual pode ser classificada a partir de perfis de interação, como:

- envolvidos por recursos visuais;
- envolvidos por recursos de áudio;
- cinestésico;
- envolvidos com lógicas e deduções.

Ressalta-se que na Realidade Virtual cada um desses estilos podem ser usados por perfis diferentes. Sendo assim, permite também a criação de ambientes onde a aprendizagem se realiza por etapas, sendo as barreiras entre as etapas facilmente colocadas ou removidas. À medida que as etapas são concluídas, ocorre a familiarização dos conteúdos pelos usuários, assim como com a rotina com os equipamentos, até se constatar que as capacidades exigidas estejam totalmente adquiridas e a informação que foi passada esteja adequadamente assimilada [1].

Segundo Clark (2006) a Realidade Virtual pode ser utilizada para tornar o aprendizado mais interessante e divertido com o objetivo de melhorar a motivação e atenção. Também torna possível que situações que eram difíceis de serem exploradas

no mundo real possam ser feitas no mundo virtual, por exemplo: explorar um planeta como Marte, analisar e visualizar o interior do corpo humano ou estruturas micrométricas.

A proposta do projeto tem como base o problema enfrentado pelos profissionais mediante ao treinamento de salvamento em áreas adversas, em que os socorristas recém-formados são submetidos a situações onde o risco inerente ao atendimento é superior à preparação prévia pela qual eles passaram. Assim, ainda que a formação acadêmica prepare o indivíduo socorrista para o atendimento ao paciente, a interpretação e atuação sobre cenários adversos de emergência fragilizam sua própria segurança. O presente projeto destina-se ao desenvolvimento de um sistema de realidade virtual com simulação de diferentes ambientes para auxiliar no treinamento de salvamento em áreas de risco. O desenvolvimento teve início em 2019.

II. METODOLOGIA

Os passos iniciais do projeto foram definidos através de reuniões entre a equipe, e com os futuros usuários do simulador. A primeira cena é a chamada “pré-voo”, em que acontecem as etapas do procedimento de embarque que consiste em sinalizações, posicionamento de equipamentos, locais de apoio e comunicação com o piloto.

O cenário do pré-voo consta com o socorrista posicionado longe da aeronave, a mesma com as hélices já em movimento se encontra disponível para o embarque. Assim que cumprido o procedimento ideal para se aproximar e embarcar na aeronave, aproximar-se pela lateral da aeronave e embarcar apoiando em locais específicos, o socorrista em treinamento passa para outra etapa.

Para a modelagem da aeronave com as proporções realistas, fez-se uso da imagem da planta do helicóptero AS350-B3 codinome “Esquilo”, disponibilizado pelo Marcelo Dehoul, figura 1.

Foi importada e colocada a imagem no Software Blender, em seguida foi posicionada nos eixos X,Y e Z. Assim a partir do objeto “cubo” foi feita a manipulação das faces para construção da carcaça, em seguida utilizando o mesmo recurso foi feita as hélices de rotor e calda, utilizando o recurso de linha foi traçado o contorno das portas, compartimento e janelas do helicóptero, concluindo com a modelagem e extrusão a partir de faces externas. Por último, antes da refinação de toda a aeronave, foi feito o trem de pouso. Com o helicóptero com suas proporções reais, deu-se início a refinação.

O estudo foi destinado à criação dos cenários e às particularidades impostas por cada um deles. Para a montagem do cenário e as partes móveis e fixas do helicóptero, o Software Blender, em sua versão 2.90, foi utilizado para a construção e modelagem de objetos em 3D.

O software Unity na sua versão 2020.2.1f1, possui funções para criar a mecânica de funcionamento interativa da realidade virtual.

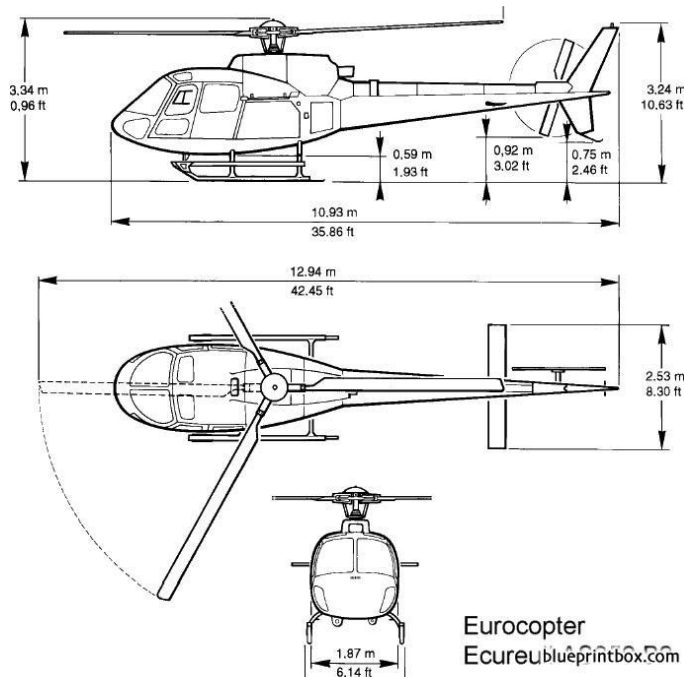


Fig. 1. Marcelo Dehoul

III. RESULTADOS

A modelagem inicial do helicóptero é vista na Figura 2, e modelagem das hélices e trem de pouso na Figura 3, em seguida foi feito um aperfeiçoamento de detalhes para deixar o objeto mais próximo do realismo na Figura 4.

Com uma evolução constante e progressiva, os resultados se encontram satisfatórios. O próximo passo é a finalização gráfica e a organização das estruturas no software Unity da

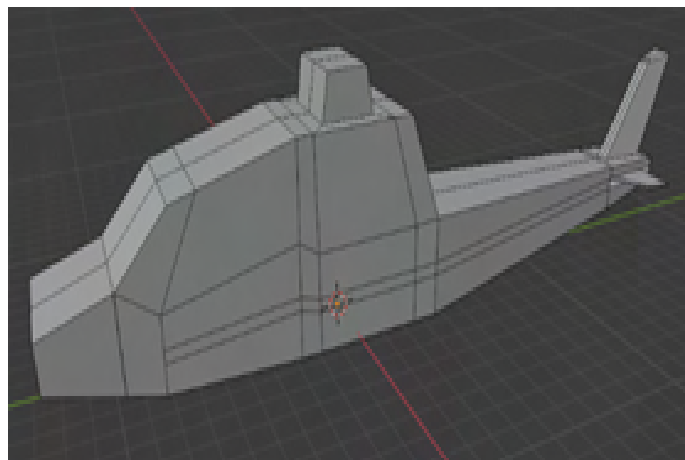


Fig. 2. Carcaça inicial do helicóptero

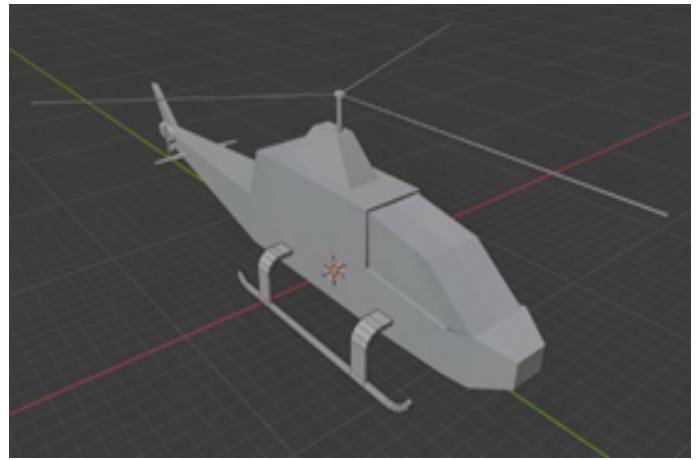


Fig. 3. Helicóptero com hélices e trem de pouso



Fig. 4. Refinamento

primeira etapa do simulador, o chamado “pré voo”, o projeto vem sendo construído de forma cautelosa.

IV. CONCLUSÃO

O simulador se torna de extrema importância para enfermeiros em treinamento, pois o mesmo irá reduzir os riscos, assim tornando possível pôr em prática o procedimento de resgate inúmeras vezes, fixando o conhecimento adquirido na teoria. Além da primeira etapa, o “pré voo”, serão criados mais cenários, com escombros e até elementos presentes no treinamento atual, como o fogo.

V. REFERÊNCIAS

- [1] BRAGA, Mariluci. Realidade Virtual e Educação.(2001). Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 1, n. 1, 2009.
- [2] Kirner, C. Realidade Virtual e Aumentada. Disponível em <http://www.realidadevirtual.com.br/>. Acesso em janeiro 2021.
- [3] CAR, Josip et al. Digital Education in Health Professions: The Need for Overarching Evidence Synthesis. Journal Of Medical Internet Research, [s.l.], v. 21, n. 2, p.1-9, 14 fev. 2019. JMIR Publications Inc.
- [4] WONG, Matthew et al. Occupational hazards for home care nurses across the rural-to-urban gradient in Ontario, Canada. Health e Social Care In The Community, [s.l.], v. 25, n. 3, p.1276-1286, 19 fev. 2017. Wiley.

[5] ORGANIZATION, World Health. High-Level Commission on Health Employment and Economic Growth. Disponível em: <https://www.who.int/hrh/com-heeg/en/>. Acesso em: 20 out. 2016.

[6] LAVENDER, Steven A. et al. Furthering Recognition of Lift, Slip, And Trip Hazards in Home Healthcare Environments: Opportunities for virtual Simulation Training. Proceedings Of The Human Factors And Ergonomics Society Annual Meeting, [s.l.], v. 62, n. 1, p.945-947, set. 2018. SAGE Publications.

[7] Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. Educational Research Review, [s.l.], v. 20, p.1-11, fev. 2017. Elsevier BV.

[8] Evaluation of the Applicability of 3d Models as Perceived by the Students of Health Sciences

Hospital 4.0

Sophia Pereira Bastos, Juliano Augusto Nascimento Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

sophia@inatel.br, juliano.leite@inatel.br

Abstract—This project involves the development of an application of the Hospital 4.0 concept, which consists of a technician to automate the screening process and the organization of the waiting line at Hospital Antônio Moreia da Costa, in Santa Rita do Sapucaí. The project integrates a desktop application. The application was developed using the JavaScript programming language. This application allows the control of screening, registration of the patient in the waiting queue and the call to medical attendance. To prove the security aspects, authentication by user and password was implemented.

Index Terms—Application, hospital 4.0, medical care, screening.

Resumo—Este trabalho descreve o desenvolvimento de uma aplicação do conceito Hospital 4.0, visando automatizar o processo de triagem e organização da fila de espera do Hospital Antônio Moreia da Costa (HAMC), em Santa Rita do Sapucaí. O projeto integra um aplicativo desktop. Desenvolveu-se o aplicativo por meio da linguagem de programação JavaScript. Esse aplicativo permite o controle da triagem, cadastro do paciente na fila de espera e chamada do mesmo para o atendimento médico. Para prover aspectos de segurança, implementou-se autenticação por usuário e senha.

Palavras chave—Aplicativo, atendimento médico, hospital 4.0, triagem.

I. INTRODUÇÃO

Num mundo cada vez mais informatizado e globalizado a Informática Médica (IM) destaca-se como área importante de aplicação das Tecnologias da Informação (TI). A utilização dessa tecnologia permite proporcionar cuidados de saúde com qualidade, bem como uma melhor organização do sistema de cuidados de saúde a qualquer nível. A rápida e constante evolução que ocorre na medicina e das TI proporciona à IM um vasto campo de ação [1]. O serviço de urgência existe de modo a proporcionar aos pacientes um atendimento rápido em situações de potencial risco para a saúde.

No campo da saúde emergiu o conceito de Hospital 4.0 que contempla a produção de conhecimento medicinal para assistências médicas personalizadas, tanto a pacientes quanto aos profissionais da área da saúde e auxiliando para o bem-estar das pessoas [2]. É neste sentido que, requisitos emergentes surgem na área médica como forma de automatizar os processos encontrados no ambiente hospitalar. Como exemplo, é possível citar trabalhos de pesquisas, tais como: desenvolvimento de sistemas de monitoramento de pacientes, desenvolvimento de um sistema de automação hospitalar baseado em RFID (Radio-Frequency Identification) com smart cards, desenvolvimento de um Protocolo Multiciclos para Automação Hospitalar (PM-AH) para atender as exigências dos processos de monitoramento de pacientes (redes de controle) [3] em ambientes hospitalares visando garantir o determinismo nas

comunicações, otimizando o fator de utilização do meio de transmissão, facilitando a organização dos serviços de urgência.

Uma urgência é qualquer situação cuja demora de diagnóstico ou de tratamento apresente grave risco ou prejuízo para a vítima, como por exemplo traumatismos graves, intoxicações agudas, queimaduras, crises cardíacas ou respiratórias. Os pacientes em situações graves necessitam de atendimento mais rápido em relação aos menos graves, visto que uma espera prolongada pode comprometer o seu estado de saúde [4]. É então necessário que exista um método que permita classificar a prioridade clínica dos pacientes, por exemplo o Sistema de Triagem de Manchester [5]. Após efetuar o registro de entrada no serviço de urgência o paciente é encaminhado a triagem, onde é avaliado e definido um grau de prioridade clínica no atendimento desse paciente [6]. Nesse cenário, foi observado que o sistema de organização de triagem e chamada de pacientes no Hospital Antônio Moreira da Costa, em Santa Rita do Sapucaí, que é realizado por meio de fichas de papel, está sujeito a erros e falhas como perda de informações dos pacientes, o que se torna prejudicial a pacientes e aos profissionais de saúde. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi automatizar o sistema de chamada de pacientes, permitindo que as informações coletadas na triagem sejam armazenadas em um aplicativo, que organiza uma fila de espera de acordo com a prioridade definida, e chama o paciente para o atendimento facilitando a organização e atendimento hospitalar.

II. METODOLOGIA

A princípio foi pesquisado qual seria o melhor método para atender ao problema encontrado. Após pesquisas, foi definido que o desenvolvimento de um aplicativo desktop seria o melhor método para realizar uma melhoria no sistema de triagem e chamada dos pacientes. Para isso, foram estudadas e pesquisadas diversas linguagens de programação, e o desenvolvimento em JavaScript foi a que tornou melhor a implementação. Com a utilização dessa linguagem pode-se personalizar o conteúdo das páginas de modo a que esta apresente por exemplo, informações diferentes a diferentes utilizadores [7]. Após o início do desenvolvimento do aplicativo, foi percebida a necessidade do armazenamento de informações dos pacientes, para que pudesse organizar a fila de espera de acordo com o Sistema de Triagem de Manchester e a ordem de chegada dos pacientes. Inicialmente foi utilizado o próprio aplicativo para armazená-las, entretendo, como o aplicativo será utilizado em diversos computadores essa opção e tornou-se inviável. Para tanto, foi pesquisado métodos que pudessem comportar essas informações de modo com que todos os computadores com acesso ao aplicativo pudessem acessar informações dos

pacientes. Dessa forma, banco de dados freewares, como o MySQL [8], o qual apresentou melhor resultado nesse projeto. Ao utilizar o banco de dados tornou-se possível o cadastro do paciente na triagem por um computador e ao mesmo tempo mostra-lo, já cadastrado na fila de espera, em outro. Com o uso do banco de dados foi possível também a criação de um sistema de login e senha para garantir a segurança.

III. RESULTADOS

Com o aplicativo finalizado, a primeira tela ficou destinada a autenticação de usuário (Figura 1), caso esse não esteja cadastrado será necessário a realização de um cadastro inicial (Figura 2). Nessa mesma tela é possível acessar uma área destinada apenas aos profissionais que estão na recepção do hospital, que terão acesso apenas a fila de espera (Figura 8) e ao próximo paciente a ser chamado pro atendimento (Figura 3).

A interface de autenticação apresenta o título "Página de Autenticação:" e o subtítulo "LOGIN". Há campos para "Usuário:" (contendo "sophia123") e "Senha:" (com caracteres ocultos por pontos). Botões "Entrar" e "Cadastrar novo usuário:" estão presentes. Um botão grande "TELA RECEPÇÃO" está na base da interface.

Fig. 1. Tela Autenticação de Usuário

A interface de cadastro possui o título "Cadastro" e um botão "VOLTAR" no canto superior esquerdo. Campos para "Nome:", "Profissão:", "Setor:", "Usuário:" e "Senha:" são exibidos. Um botão "CADASTRAR" está na base da interface.

Fig. 2. Tela Cadastro de Novos Usuários

A interface mostra o título "Próximo Paciente:" e um botão "VOLTAR" no canto superior esquerdo. O "Nome do paciente:" é "Sophia" e o "Consultório:" é "6".

Fig. 3. Tela Próximo Paciente

Após realizada a autenticação o usuário é direcionado a uma pagina onde informa qual o tipo de atendimento será realizado, uma triagem ou um atendimento médico (Figura 4). Selecionado Triagem, é possível realizar o cadastro do paciente na fila de espera de acordo com sua prioridade (Figura 5).

A interface apresenta o título "Informe o atendimento" e dois botões: "TRIAGEM" e "CONSULTÓRIO MEDICO".

Fig. 4. Tela para informar o atendimento

A interface de triagem possui o título "Registro de Classificação:" e um botão "VOLTAR" no canto superior esquerdo. Há um campo "Nome do paciente:" e uma seção "Classificação:" com opções: "Não urgente", "Pouco urgente", "Urgente", "Muito urgente" e "Emergente". Botões "REGISTRAR" e "MOSTRAR LISTA" estão na base da interface.

Fig. 5. Tela Triagem

Realizado o registro é mostrado uma mensagem de confirmação, e o próximo paciente pode ser cadastrado (Figura 6). Caso seja escolhido na Figura 5 a opção Consultório médico, o profissional é direcionado a uma página onde visualiza o primeiro paciente na fila de espera (Figura 7), como também todos os outros pacientes que ainda serão atendidos (Figura 8). Selecionando a opção "Chamar/Chamar novamente" é acionado um sinal sonoro na recepção e mostrado qual paciente será atendido e a qual consultório ele deve se direcionar. Finalizado o atendimento, uma mensagem confirmação é enviada (Figura 9) e é visualizado o próximo paciente da fila.

A interface de triagem é mostrada com o "Nome do paciente:" preenchido com "Sophia". A opção "Pouco urgente" está selecionada. Uma caixa de diálogo "Mensagem" com o ícone de informação e o texto "Registrado com sucesso!" está sobreposta, com um botão "OK".

Fig. 6. Tela Triagem e mensagem de aviso

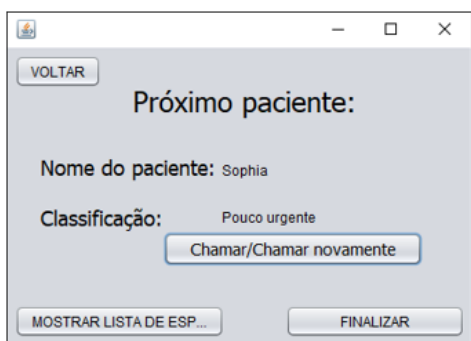


Fig. 7. Tela Chamar Paciente

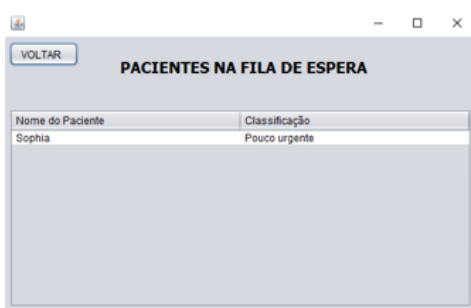


Fig. 8. Tela Fila de Espera

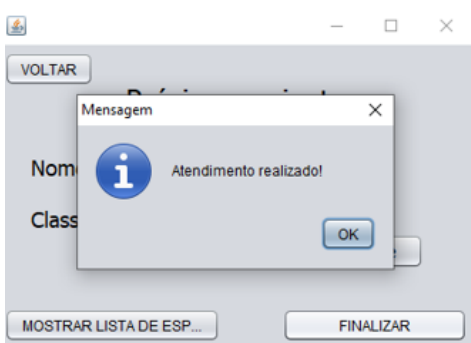


Fig. 9. Mensagem de atendimento realizado

IV. DISCUSSÃO

O aplicativo desenvolvido inicialmente apresentou resultados satisfatórios em apenas um computador, foram cadastrados vários usuários e os mesmos posteriormente foram adicionados na triagem, com prioridades diferentes, e na fila de espera todos foram mostrados e chamados na ordem correta nas as diversas vezes experimento. Assim, os testes realizados mostraram um bom funcionamento do mesmo, que consegue organizar uma fila de espera baseada na triagem seguindo o Sistema de Triagem de Manchester e chamar o próximo paciente para o atendimento, sem que o médico precise se deslocar até a sala de espera do hospital. Entretanto será necessário testar no próprio hospital, para que seja possível testar o compartilhamento de informações em vários computadores, o que ainda não foi possível. Dessa forma, foi observado que o aplicativo atende a proposta inicial e aplica e introduz o conceito inicial de Hospital 4.0 no Hospital Antônio Moreira da Costa, modernizando e organizando o sistema de triagem e chamada de pacientes.

V. CONCLUSÃO

Foi realizada uma pesquisa para o início da aplicação do Hospital 4.0, em Santa Rita do Sapucaí, dessa forma a organização do sistema de triagem e chamada de pacientes foi o problema mais urgente. Foi desenvolvido um aplicativo que soluciona o problema. Para futuros passos será interessante que o software seja testado e depois aplicado no HAMC, assim como o desenvolvimento de um totem que realize as mesmas funções que os profissionais de saúde realizam na triagem médica, diminuindo o tempo de espera para o início do atendimento, da mesma forma será possível a realização do compartilhamento e organizações das informações através do banco de dados já utilizado.

REFERÊNCIAS

- [1] Bernd Blobel. *Ehealth: Combining Health Telematics, Telemedicine, Biomedical Engineering and Bioinformatics to the Edge*. 1nd. Aka GmbH, 2008. ISBN: 1586038354.
- [2] Tiago Marrucho. *Gestão de filas de espera no Serviço de Urgência*. URL: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/19963/1/A49992.pdf> (acesso em 27/02/2021).
- [3] Cicília R. M. Leite. *Novas Tecnologias para Automação Hospitalar*. URL: encurtador.com.br/foqW1 (acesso em 28/02/2021).
- [4] Natalia Labuda. *Medical 4.0: Medical Data Ready for Deep and Machine Learning*. URL: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/medical-40-medical-data-ready-for-deep-and-machine-learning-1948-593X-1000194.pdf> (acesso em 18/02/2021).
- [5] Natalia Labuda. *Medical 4.0: Medical Data Ready for Deep and Machine Learning*. URL: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/medical-40-medical-data-ready-for-deep-and-machine-learning-1948-593X-1000194.pdf> (acesso em 18/02/2021).
- [6] Claudio Giulliano Alves da Costa. *Desenvolvimento e avaliação tecnologica de um sistema de prontuario eletronico do paciente, baseado nos paradigmas da World Wide Web e da engenharia de software*. URL: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/260174/1/Costa_ClaudioGiullianoAlvesda_M.pdf (acesso em 27/02/2021).
- [7] Lindsay BASSETT. *Introduction to JavaScript object notation: a to-the-point guide to JSON*. 1nd. O'Reilly, 2015. ISBN: 1491929480.
- [8] Carlos Santos Pires, Rilson do Nascimento e Ana Carolina Salgado. "Comparativo de Desempenho entre Bancos de Dados de Código Aberto". Em: (jan. de 2008).

AUTORES

Juliano Augusto N. Leite nasceu em Itajubá, MG, em 14 de outubro de 1975. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI e mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Atuou como Engenheiro Clínico de 2006 até 2016



no Hospital Tereza Ramos em Lages – SC. Foi Engenheiro de Campo da Philips Medical Systems de 2016 a 2019. Atuou como professor, coordenador em Engenharia Elétrica e Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós Graduação na Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC de 2010 até 2017. Atualmente é professor no Curso de Engenharia Biomédica, e coordenador do curso de pós-graduação em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL



Sophia Pereira Bastos Graduada em Engenharia Biomédica pelo INATEL – Instituto Nacional de Telecomunicações. Bolsista de Iniciação Científica no eHealth Innovation Center, tendo como linha de pesquisa a aplicação do conceito de Hospital 4.0 na cidade de Santa Rita do Sapucaí.

Mão robótica com controle eletrônico para execução de gestos em LIBRAS

Joana Sarmet Smiderle Mendes, Vinicius Seiji Otani, Juliano Augusto Nascimento Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

joana.sarmet@gep.inatel.br, vinicius.otani@geb.inatel.br, juliano.leite@inatel.br

Abstract—The area of Biomedical Engineering, over the years, has expanded more and more, expanding the public interested in the topic and, consequently, directly impacting the advancement of medical technologies in the country. In order to encourage social inclusion of hearing impaired and deaf people, a robotic arm was developed at the e-Health laboratory of the National Telecommunications Institute (INATEL), which is an application that communicates with the hardware, to the Brazilian Sign Language (LIBRAS). Having a similarity to the anatomy of a real arm, the robotic arm has the ability to perform flexion and extension movements of the phalanges, thus being able to perform most of the letters of the alphabet of sign language.

Index Terms—Biomedical Engineering, Robotic Arm, Sign Language.

Resumo—A área da Engenharia Biomédica com o decorrer dos anos, vem se ampliando cada vez mais e atingindo um maior público interessado no assunto e consequentemente, impactando de forma direta o avanço das tecnologias médicas no país. A fim de incentivar a inclusão social de deficientes auditivos e surdos, foi desenvolvido no laboratório eHealth do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), um braço robótico que é direcionado através de um aplicativo que se comunica com o hardware do sistema e transmite através dos movimentos dos dedos a Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS). Possuindo similaridade com a anatomia de um braço real, o braço robótico tem capacidade de realizar movimentos de flexão e extensão das falanges (dedos), sendo assim, capaz de realizar a maioria das letras do alfabeto da linguagem de sinais.

Palavras chave—Engenharia Biomédica, Braço Robótico, Linguagem de Sinais.

I. INTRODUÇÃO

Segundo dados do IBGE, o Brasil tem mais de 10 milhões de pessoas com deficiência auditiva, sendo uma das principais deficiências físicas no país. As alterações da audição podem acontecer de forma congênita ou adquirida, podendo assim apresentar diferentes tipos de grau, tais como: leve, moderado ou severo. Mesmo assim, grande parte da população brasileira ainda não consegue se comunicar com um surdo ou um deficiente auditivo, por não dar a devida importância à Língua de Sinais Brasileira (LIBRAS). [1]

Em 2002, a LIBRAS foi oficializada como uma das línguas oficiais do país. Em paralelo, outro estudo que tem ganhado espaço nos últimos anos é a área da robótica, que ao utilizá-la para solucionar e auxiliar problemas como este exemplo apresentado no artigo, vem se tornando uma ferramenta de grande uso. A engenharia biomédica em conjunto com a robótica com o ensino de LIBRAS, realiza todo o processo de acessibilidade para os usuários da tecnologia. [2]

Com esse intuito, foi desenvolvido um Braço Robótico com aparência semelhante à anatomia humana, capaz de realizar

diversos movimentos com os dedos, o que a qualifica a fazer quatorze das letras do alfabeto da Língua Brasileira de Sinais. Esse braço robótico, quando apresentado, destaca-se pela sua aparência e realização de seus movimentos que formam letras em LIBRAS, afim de que o usuário possa estudar essa linguagem de maneira interativa e simples de aprender.

II. METODOLOGIA

A realização do projeto foi dividida em três partes que são elas: impressão, hardware e software. Foi necessário o estudo em diversas áreas como biomecânica [3], fisiologia e anatomia para a compreensão dos movimentos de flexão e extensão das falanges, juntamente com circuitos elétricos, eletrônica analógica [4] e digital [5] que em conjunto destes conhecimentos foram capazes de montar o mecanismo elétrico do sistema.

A. Impressão 3D

A primeira aquisição das medidas foram feitas no eHealth a partir de medidas realizadas com um paquímetro nos antebraços dos membros da equipe. Em seguida foram tomadas medidas nas regiões do punho, a parte medial e distal do antebraço. Para a conclusão das medidas, foram feitas a média aritmética de todas as medidas. Houve também a tomada das medidas reais das palmas das mãos por meio 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.

Os arquivos quando finalizados foram impressos em Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) branca pela impressora de fabricação com filamento fundido (FFF). O acabamento interno para a instalação do novo hardware no antebraço se encontra em ajustamento, a fim de que todo seu novo sistema se adapte perfeitamente dentro do robô.

B. Hardware

Para o funcionamento dos movimentos realizados, foram utilizados 5 micro servos motores que trabalham independentemente para cada dedo, que são ligadas a cada motor uma linha de multifilamento transpassados internamente entre as falanges em posição anterior à palma da mão. O motor ao rotacionar exerce uma força tensora na linha, deslocando o dedo em sua posição inicial (estendido), até sua posição final (flexionado). Há também uma outra linha de multifilamento localizada posteriormente às falanges com baixa elasticidade e grande resistência que tem como finalidade auxiliar o retorno da posição inicial dos dedos (estendido).

O papel do servo motor apresenta movimento proporcional de acordo com um determinado comando, semelhante a dispositivos de malha fechada, onde recebem um sinal de controle que verifica sua posição atual até sua posição desejada. O modelo utilizado no projeto foi o micro servo motor de modelo Sg90 com 9 [kg.cm] de torque, responsável pela movimentação de flexão e extensão dos dedos. Juntamente com os servos motores, foi acoplado um micro ventilador de dimensões de 30x30x12 [mm] que realiza o trabalho de refrigeração do sistema, sendo alimentado com uma tensão contínua de 5 [V].

Em sua alimentação do circuito usou-se uma fonte de corrente contínua (CC) de 5 [V] e 2.5 [A], conectada ao microcontrolador Nano V3.0 Atmega328p que fornece os sinais de controle, que são enviados ao sistema para realizar a movimentação dos dedos através da plataforma Arduino que tem como função, transmitir os códigos desejados para o sistema entrar em funcionamento. O propósito de se utilizar o microcontrolador Nano V3.0 Atmega328p, se deve às suas dimensões que são compatíveis com o espaço do antebraço, para sua instalação. O microcontrolador em conjunto com o servo motor estabelece um circuito em paralelo com o micro ventilador que tem a finalidade de estabelecer o mesmo valor de corrente para todos os componentes do sistema. Etapa de implementação de todo o hardware no interior do braço robótico (Figura 1) 1.

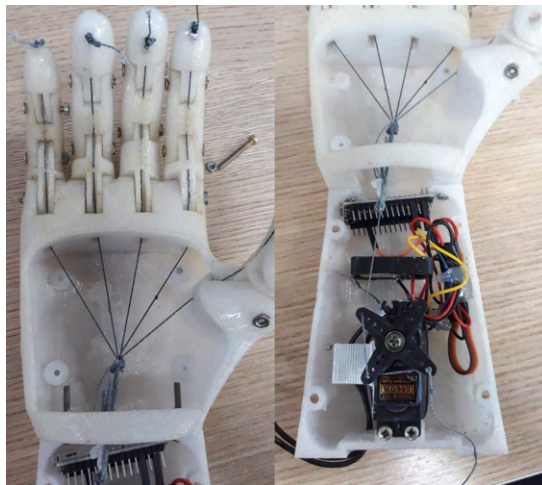


Fig. 1. Hardware acoplado ao braço robótico

C. Software

O controle dos dedos é dado por um aplicativo que contém as letras do alfabeto de LIBRAS ligado diretamente em um código na plataforma de computação Arduino, enviando parâmetros - como ângulo de rotação - para os servo motores. O aplicativo foi desenvolvido na plataforma Thunkable [6] 2.

A letra a ser feita pelo braço robótico pode ser escolhida pelo usuário. Entretanto, como ele ainda possui algumas limitações, existem letras que não podem ser escolhidas. Nesse caso, a letra também aparece no Menu de Letras, mas, ao ser clicada, uma notificação é enviada informando que a letra não pode ser escolhida 3.

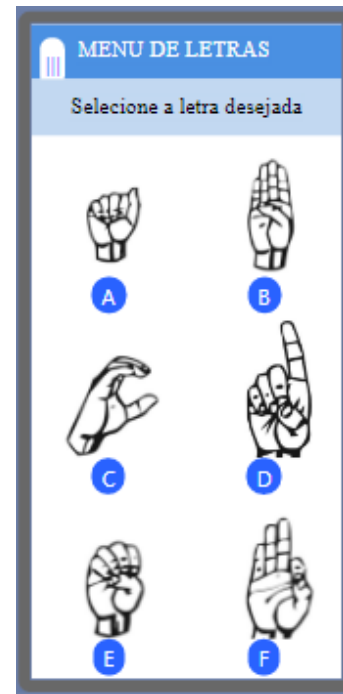


Fig. 2. Pagina principal do aplicativo

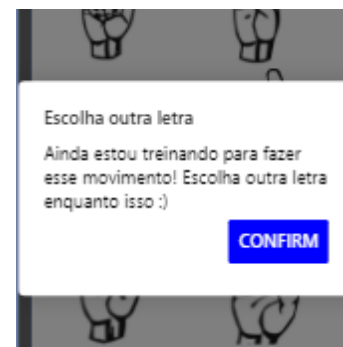


Fig. 3. Notificação de erro

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o funcionamento básico dos movimentos de flexão e extensão do braço robótico que se encontra em pleno funcionamento, foram feitos testes de funcionamento, simulando uma determinada exposição do projeto por 3 horas ininterruptas, e logo após seu funcionamento obteve um *feedback* congruente com o resultado esperado. O projeto se encontra no aguardo para a implementação do aplicativo mobile que lhe trará diversas outras funções interativas futuramente.

Etapa final da impressão 3D, juntamente com a implementação do *hardware* e finalizada com seu acabamento estético (Figura 4)



Fig. 4. Braço Robótico finalizado

Após a finalização do projeto ao colocá-lo em prática, poderá ser utilizado para compartilhar conhecimentos humanos e tecnológicos da área da engenharia biomédica com alunos do ensino, além de aplicá-lo para estimular e auxiliar no aprendizado do portador de deficiência auditiva, onde o projeto trará uma maior facilidade de adquirir o conhecimento necessário em libras para o portador.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos até o presente momento, considera-se para pesquisas futuras a implementação do aplicativo *mobile* que lhe trará maiores interações entre o braço robótico e ao usuário do *app*, que poderá formar letras em LIBRAS através da movimentação dos dedos do robô, estimulando o aprendizado em LIBRAS aos portadores de deficiência auditiva, além disso o projeto poderá ser voltado para todas as pessoas que tiverem o interesse em conhecer um pouco do trabalho que o braço robótico educacional pode transmitir. Acredita-se então que o projeto pode abranger todas as pessoas, de modo que para os deficientes será de grande utilidade em sua formação educacional tanto na questão de seu aprendizado em LIBRAS, quanto na área da robótica que se torno o principal objetivo do projeto, podendo contribuir de maneira didática e prática o ensino do mesmo.

REFERÊNCIAS

- [1] IBGE. *IBGE - Deficiência auditiva*. URL: <https://www.ibge.gov.br/apps/sniq/v1/?loc=0&cat=-1,-2,-3,128&ind=4643> (acesso em 2021).

- [2] Planalto. *Dispoe sobre a Língua Brasileira de Sinais - Libras e da outras providências*. URL: <https://www.libras.com.br/lei-10436-de-2002> (acesso em 02/2021).
- [3] Cid Ferreira Gomes. *Biomecanica e Cinesiologia*. URL: https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/01/massoterapia_biomecanica_cinesiologia.pdf (acesso em 03/2021).
- [4] Hugo Tanzarella Teixeira. *Eletronica Analogica*. URL: https://s3.amazonaws.com/cm-cls-content/201802/INTERATIVAS_2_0/ELETRONICA_ANALOGICA/U1/LIVRO_UNICO.pdf (acesso em 03/2021).
- [5] Frederico Oioli de Campos. *Elementos Basicos da Eletronica Digital*. URL: https://www.cin.ufpe.br/~psbn/pub/TecDig/Apostila_Tec_Digitais/Eletr%F4nica-%20Elementos_Basicos_da_Eletronica_Digital.pdf.
- [6] Thunkable. *Docs*. URL: <https://docs.thunkable.com> (acesso em 02/2021).

AUTORES

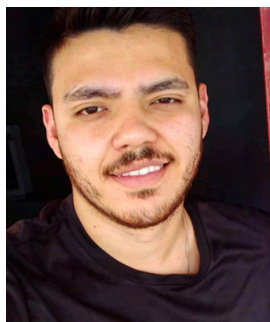
Joana Sarmet Smiderle Mendes



Graduanda em Engenharia de Produção no quinto período pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnica em informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Campus Pouso Alegre, Assessora de Esportes da Atlético Inatel, Assessora do Núcleo de Projetos

da CP2 - Empresa Júnior e Bolsista de Iniciação Científica no laboratório e-Health 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 laboratório e-Health do Inatel.

Juliano Augusto N. Leite



possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI e mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Atuou como Engenheiro Clínico de 2006 até 2016 no Hospital Tereza Ramos em Lages – SC. Foi Engenheiro de Campo da Philips Medical Systems de 2016 a 2019. Atuou como professor, coordenador

em Engenharia Elétrica e Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós Graduação na Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC de 2010 até 2017. Atualmente é professor no Curso de Engenharia Biomédica, e coordenador do curso de pós-graduação em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL..

Experimentação Virtual ROS/V-REP e Implementação de um Robô Utilizando SLAM

Higor Tizatto, Renato Gregolon Scortegagna, Kleyton Hoffmann

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC

higor.tizatto@unoesc.edu.br, renato.scortegagna@unoesc.edu.br, kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br

Abstract—One of the biggest challenges in the application of autonomous mobile robotics is the perception and navigation through the environment in which the robot is inserted. This paper presents the virtual experimentation ROS / V-REP and implementation of an autonomous mobile robot with SLAM. Initially, a scene was developed in the V-REP simulator with characteristics similar to those of industrial environments. Additionally, the robot was equipped with sensors and actuators necessary for navigation and mapping the environment. The fuzzy logic control system was developed at ROS. Finally, an experimental prototype was implemented and exposed to an environment similar to the simulated one for comparison and validation of the results.

Index Terms—Robotics, ROS, SLAM, V-REP.

Resumo—Um dos maiores desafios na aplicação da robótica móvel autônoma se dá pela percepção e navegação no ambiente em que o robô está inserido. Esse artigo apresenta a experimentação virtual ROS/V-REP e implementação de um robô móvel autônomo com SLAM. Inicialmente, foi desenvolvida uma cena no simulador V-REP contendo características semelhantes às de ambientes industriais. Adicionalmente, o robô foi equipado com sensores e atuadores necessários para a navegação e o mapeamento do ambiente. O sistema de controle em lógica nebulosa (fuzzy), foi desenvolvido no ROS. Por fim, um protótipo experimental foi implementado e exposto a um ambiente similar ao simulado para comparação e validação dos resultados.

Palavras chave—Robótica, ROS, SLAM, V-REP.

I. INTRODUÇÃO

A evolução dos robôs móveis tem recebido um amplo destaque nas pesquisas, mídias e na sociedade em geral. Os robôs, graças ao seu sistema lógico ou informático, podem ser reprogramados utilizados para uma grande variedade de tarefas. Mas, não é a reprogramação o fator mais importante na versatilidade desejada e, sim, a adaptação às variações no ambiente de trabalho, mediante um sistema adequado de percepção e tratamento de informação [1].

A grande evolução dos sistemas robóticos trouxe consigo o aumento da complexidade durante o desenvolvimento, que incluem desde sistemas de locomoção, localização espacial e visão computacional. Para facilitar as etapas de desenvolvimento, foi construído sistema de código aberto colaborativo e flexível para escrever softwares robóticos, o ROS (*Robot Operation System*) [2].

O ROS possui uma grande variedade de bibliotecas compostas por *plugins*, realizando comunicação e troca de mensagens com um conjunto de hardwares e outros softwares. Existem diversos simuladores que podem ser utilizados com o ROS, tais como o Stage, Gazebo e o V-REP (*Virtual Robot Experimentation Platform*). O V-REP possui um ambiente de desenvolvimento integrado, sendo baseado em uma arquitetura

de controle distribuído: cada objeto/modelo pode ser controlado individualmente por meio de um *script* incorporado, um *plugin* e, até mesmo, um nó ROS [3].

Para uma movimentação autônoma por um ambiente, um robô precisa de diversas informações, tais como a orientação dos objetos e a própria localização do robô neste ambiente (*pose*). Portanto, a utilização de algoritmos SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) pode resolver problemas de localização e mapeamento de forma simultânea e utilizar as informações de uma etapa para aumentar a precisão dos resultados na outra [4].

Esse trabalho tem como escopo realizar a experimentação virtual de um robô autônomo em uma cena de ambiente interno desenvolvida no V-REP com controle centralizado no ROS. O robô, a partir de dispositivos de odometria e percepção do ambiente, deverá se locomover de forma autônoma pelo ambiente tendo a capacidade de detectar possíveis obstáculos estáticos ou dinâmicos e construir o mapa do ambiente. Finalizada a experimentação virtual, o robô foi implementado e testado em condições similares ao ambiente virtual.

II. METODOLOGIA DA EXPERIMENTAÇÃO VIRTUAL

Para alcançar o objetivo do trabalho, foi considerado o robô BOB (Figura 1), o qual possui sistema de direção diferencial facilitando a locomoção em ambientes internos com dimensões relativamente reduzidas. O robô está equipado com sensor IMU (*Inertial Measurement Units*), sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*) *laser scan* e dois encoders.

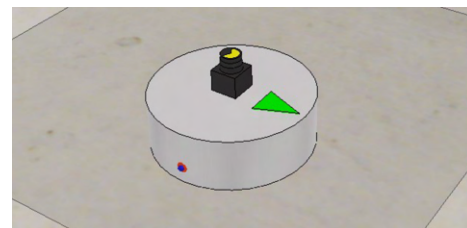


Fig. 1. Robô com locomoção diferencial BOB.

O processo de experimentação virtual se inicia pelo desenvolvimento de um diagrama de blocos e um diagrama de processos.

A. Diagrama de blocos

O diagrama de blocos, apresentado na Figura 2, mostra um modelo que corresponde à comunicação entre a plataforma robótica ROS e o simulador V-REP. A comunicação entre os sistemas é realizada através do *plugin ros_interface*, responsável pelos métodos acessados no simulador V-REP. Os

tópicos *scan* e *IMU* são criados no V-REP, por meio de um *script* em linguagem LUA e são publicados e sobrescritos no ROS. Por fim, são criadas as transformações de coordenadas do sistema pelo tópico *tf*. O tópico *cmd_vel* é utilizado para publicar valores de velocidade e direção no V-REP, sendo transferidos ao robô virtual.

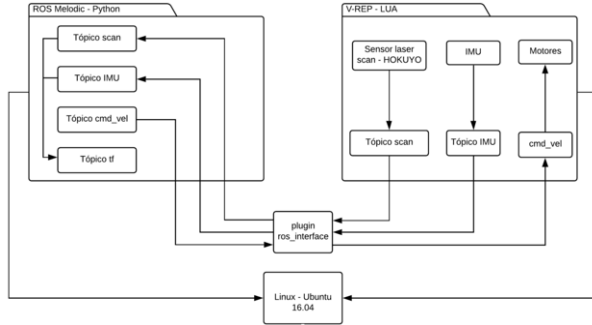
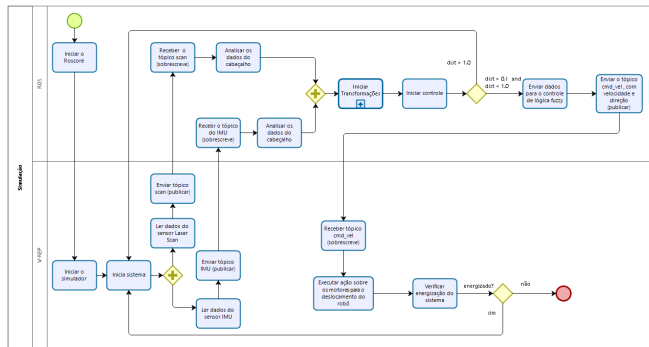


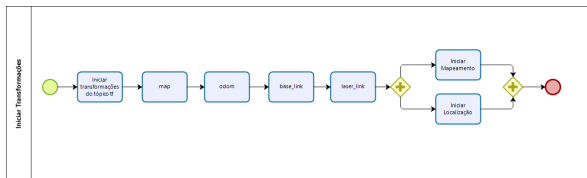
Fig. 2. Diagrama de blocos da simulação.

B. Diagrama de processos

O diagrama de processos da Figura 3a é dividido em duas *lanes*, sendo uma referente ao ROS e outra referente ao V-REP. O processo é iniciado na *lane* do ROS com o *roscore*, seguido pela inicialização da *lane* do V-REP. Assim, com o sistema iniciado, os dados do *laser scan* e sensor IMU são lidos em paralelo, criando uma mensagem de publicação das informações dos sensores nos dois tópicos para o sistema ROS. Na *lane* do ROS, estes dados são sobrescritos e são analisados os cabeçalhos das mensagens dos tópicos, criando o fluxo de informações das transformações.



(a)



(b)

Fig. 3. Diagrama de processos. (a) Fluxos de informações da simulação. (b) Transformações da odometria.

Na *lane* chamada Iniciar Transformações da Figura 3b, são criados o *map* (transformação fixa do mundo), o *odom* (transformação do ponto de partida do robô em relação ao mundo), o *base_link* (transformação do robô em relação ao

ponto de partida *odom*) e o *laser_link* (transformação do sensor *laser scan* em relação ao robô). Por fim, o fluxo segue para iniciar o mapeamento e iniciar localização em paralelo.

Finalizadas as transformações, iniciam-se as condições impostas pelo sistema de controle. Atendida a condição de distância do robô em relação a algum obstáculo, os dados serão enviados para o controlador fuzzy, caso contrário, retorna para o início. Por fim, a saída do controlador fuzzy faz a publicação no tópico *cmd_vel*, com informações de velocidade e direção. Na *lane* do V-REP esses dados são sobrescritos executando ação sobre os motores do robô. O funcionamento do sistema é cíclico enquanto permanecer energizado.

C. Controladores Baseados em Lógica Fuzzy

De acordo com [5], um controlador Fuzzy compreende um conjunto de artefatos que permite a tradução de termos linguísticos humanos em elementos processados por computadores. O sistema de controle utilizado é baseado em Lógica Fuzzy e foi desenvolvido para com o objetivo do robô se locomover pela cena sem colidir com paredes ou obstáculos. Para tanto, são entradas de referência do sistema a distância e a orientação dos objetos em torno do robô. As saídas do sistema (velocidade e direção) são controladas pela variação da razão cíclica aplicada a cada um dos dois motores.

A Figura 4 apresenta a função que é chamada quando o tópico *scan* é sobrescrito. Esse tópico executa uma rotina verificando a distância e calculando o ângulo da posição do objeto em relação ao robô. Esses dados são comparados com a referência por meio das regras do sistema fuzzy.

```

# ----- Função Callback_Laser Retorna do vrep -----
def callback_laser(msg):
    global speedControl, angleControl
    menor_range = 1.0
    menor_i = 0
    angle = 0

    #rospy.Loginfo("*****")
    for i in range(len(msg.ranges)):
        if msg.ranges[i] > 0.2:
            if msg.ranges[i] < menor_range:
                menor_range = msg.ranges[i]
                menor_i = i

    angle = obterAngle(msg.angle_min, msg.angle_max, menor_i, len(msg.ranges))
    #rospy.Loginfo("Distancia: " + str(menor_range) + " Posicao: " + str(menor_i))
    #rospy.Loginfo("Angulo encontrado: " + str(angle))

    speedControl, angleControl = controlDesvioFuzzy(menor_range, angle)
    rospy.loginfo("Distancia: " + str(menor_range) + " Angulo: " + str(angle) +
        " | SpeedControl: " + str(speedControl) + " AngleControl: " + str(angleControl))

    vel_msg.linear.x = speedControl
    vel_msg.linear.y = 0
    vel_msg.linear.z = 0

    vel_msg.angular.x = 0
    vel_msg.angular.y = 0
    vel_msg.angular.z = angleControl

```

Fig. 4. Função Laser, ativada quando o tópico *scan* é sobrescrito.

O controlador Fuzzy foi desenvolvido no ROS, em linguagem Python. A biblioteca utilizada neste processo foi a *scikit-fuzzy*, que é composta por todos os métodos da fuzzificação e defuzzificação, ou seja, configuração de entradas e saídas, métodos de controle, regras e computação de dados.

No trecho de código apresentado na Figura 5, a função *controlDesvioFuzzy* possui os parâmetros *distancia_objeto* menor distância relativa obtida do sensor, e *set_angulo_objeto*, ângulo relativo à menor distância obtida. A rotina dessa função é criar os conjuntos nebulosos e suas características. A distinção das variáveis de entrada e saída são analisadas por intermédio dos métodos *Antecedente*, entrada e *Consequente*, saída. Para

cada conjunto nebuloso, são criadas as formas geométricas, que limitam as ações de controle. A Figura 6 apresenta o trecho de código com as regras que são utilizadas para o processo do controle.

```
# ----- Função Fuzzy Logic -----
def ctrlDesvioFuzzy(distancia_objeto, set_angulo_objeto):

    # Novos objetos antecedentes, variáveis do universo e associação

    distancia = ctrl.Antecedent(np.arange(0.20, 1.00, 0.001), 'distancia')
    set_angulo = ctrl.Antecedent(np.arange(0.000, 3.142, 0.001), 'set_angulo')
    velocidade = ctrl.Consequent(np.arange(0.00, 4.00, 0.01), 'velocidade')
    direcao = ctrl.Consequent(np.arange(-10.0, 10.0, 0.1), 'direcao')

    # Funções personalizadas de associação podem ser construídas interativamente com uma familiar api do Python

    distancia['muito perto'] = fuzz.trapmf(distancia.universe, [0.20, 0.20, 0.30, 0.60])
    distancia['perto'] = fuzz.trapmf(distancia.universe, [0.30, 0.50, 1.0, 1.0])

    set_angulo['esquerda'] = fuzz.trapmf(set_angulo.universe, [1.571, 2.514, 3.142, 3.142])
    set_angulo['frente'] = fuzz.trimf(set_angulo.universe, [0.6284, 1.571, 2.514])
    set_angulo['direita'] = fuzz.trapmf(set_angulo.universe, [0, 0, 0.6284, 1.571])

    velocidade['muito devagar'] = fuzz.trapmf(velocidade.universe, [0.00, 0.00, 0.50, 1.50])
    velocidade['devagar'] = fuzz.trimf(velocidade.universe, [0.70, 1.50, 2.00])
    velocidade['rapido'] = fuzz.trapmf(velocidade.universe, [1.00, 2.50, 4.00, 4.00])

    direcao['esquerda'] = fuzz.trapmf(direcao.universe, [-10.0, -10.0, -7.16, 0.0])
    direcao['frente'] = fuzz.trimf(direcao.universe, [-7.164, 0.0, 7.164])
    direcao['direita'] = fuzz.trapmf(direcao.universe, [0.0, 7.16, 10.0, 10.0])
```

Fig. 5. Função do controle de desvio.

```
# Definição das Regras
rule1 = ctrl.Rule(distancia['muito perto'] & set_angulo['direita'], velocidade['muito devagar'])
rule2 = ctrl.Rule(distancia['muito perto'] & set_angulo['frente'], velocidade['muito devagar'])
rule3 = ctrl.Rule(distancia['muito perto'] & set_angulo['esquerda'], velocidade['muito devagar'])
rule4 = ctrl.Rule(distancia['perto'] & set_angulo['direita'], velocidade['devagar'])
rule5 = ctrl.Rule(distancia['perto'] & set_angulo['frente'], velocidade['rapido'])
rule6 = ctrl.Rule(distancia['perto'] & set_angulo['esquerda'], velocidade['devagar'])

rule7 = ctrl.Rule(distancia['muito perto'] & set_angulo['direita'], direcao['esquerda'])
rule8 = ctrl.Rule(distancia['muito perto'] & set_angulo['frente'], direcao['direita'])
rule9 = ctrl.Rule(distancia['muito perto'] & set_angulo['esquerda'], direcao['direita'])
rule10 = ctrl.Rule(distancia['perto'] & set_angulo['direita'], direcao['esquerda'])
rule11 = ctrl.Rule(distancia['perto'] & set_angulo['frente'], direcao['frente'])
rule12 = ctrl.Rule(distancia['perto'] & set_angulo['esquerda'], direcao['direita'])

# Criar o sistema de controle
tipping_ctrl = ctrl.ControlSystem([rule1, rule2, rule3, rule4, rule5, rule6, rule7, rule8, rule9, rule10, rule11, rule12])
saidaControle = ctrl.ControlSystemSimulation(tipping_ctrl)

# Criar variáveis de entrada
saidaControle.input['distancia'] = distancia_objeto
saidaControle.input['set_angulo'] = set_angulo_objeto

# Transformar os números
saidaControle.compute()

return saidaControle.output['velocidade'], saidaControle.output['direcao']
```

Fig. 6. Regras do controlador de Desvio fuzzy.

Ao final do processamento das regras do controlador, os valores de velocidade e direção são enviados pelo tópico *cmd_vel* para o V-REP, alterando os valores de velocidade linear e velocidade angular correspondentes.

Mapeamento e Localização Simultâneos, do inglês *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM), é uma técnica utilizada por robôs autônomos para construir um mapa de um cenário e se utilizar desse mapa para melhorar sua navegação. Para que um robô possa se orientar em um ambiente é necessária uma referência, assim como o mapa precisa de uma referência para ser criado [6]. Como o sensor LIDAR está posicionado acima do robô, há necessidade de realizar algumas transformações de coordenadas, conforme sugerido por [7] na Figura 7.

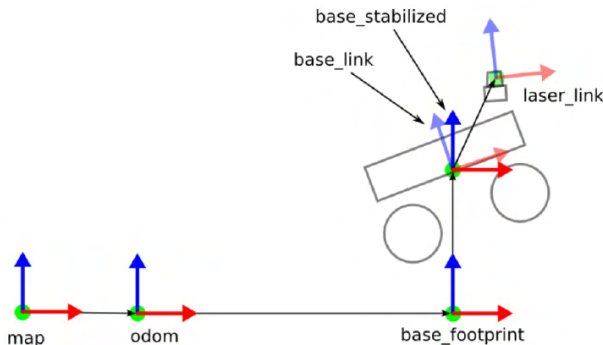


Fig. 7. Representação das transformações de coordenadas [7].

III. RESULTADOS DA EXPERIMENTAÇÃO VIRTUAL

Para a experimentação virtual, foi desenvolvida uma cena no simulador V-REP, com características de um ambiente interno genérico e que pudesse ser reconstruída no mundo real. A Figura 8 apresenta a cena desenvolvida no V-REP juntamente com o robô sendo simulado, enquanto no QR code da Figura 9 pode ser acessado o vídeo completo da simulação.

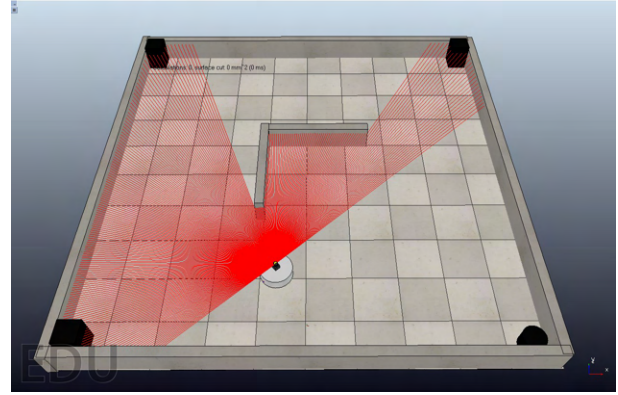


Fig. 8. Controlador de desvio sendo testado em cena V-REP.



Fig. 9. QR code para acesso ao vídeo da simulação.

As transformações de coordenadas foram construídas em linguagem Python contemplando as transformações requeridas para o robô. Como foi considerado um ambiente plano, sem inclinação e sem a possibilidade do robô se deslocar verticalmente, algumas transformações puderam ser suprimidas. A Figura 10 apresenta a árvore de transformação da cena, obtida a partir do ROS.

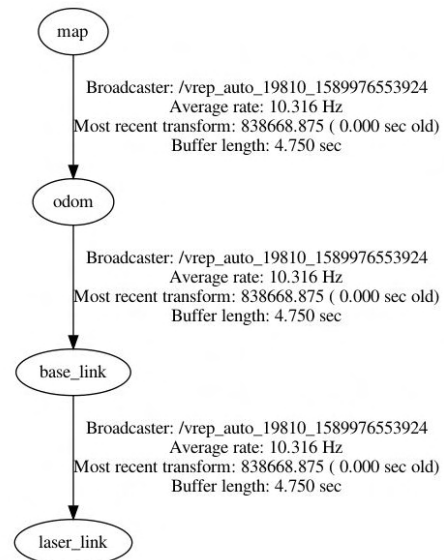


Fig. 10. Árvore de transformações do robô simulado.

O sistema desenvolvido foi simulado utilizando o controlador fuzzy apresentado realizando o mapeamento do ambiente.

O mapa obtido por meio da experimentação virtual proporciona a visualização das transformações, e permite visualizar o trajeto percorrido pelo robô, destacado pelo traçado na cor verde. O mapa resultante da navegação autônoma do robô pelo ambiente é apresentado na Figura 11.

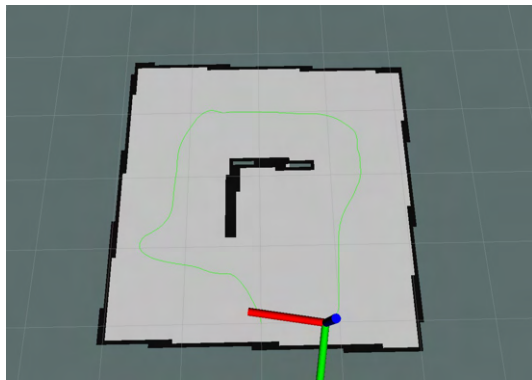


Fig. 11. Construção do mapa em ferramenta RVIZ

IV. CONSTRUÇÃO DO ROBÔ

Para a construção do robô, foram consideradas as especificações e características utilizadas na etapa de experimentação virtual. A conexão entre os componentes de hardware pode ser observada na Figura 12. O sistema embarcado é constituído por uma raspberry pi 4, uma fonte de alimentação (bateria), um sensor IMU modelo BNO055 e um sensor *laser scan* modelo YDLIDAR X2L. A interface de saída é formada por uma ponte H comercial L298N de dois canais e por dois motores de corrente contínua com encoders.

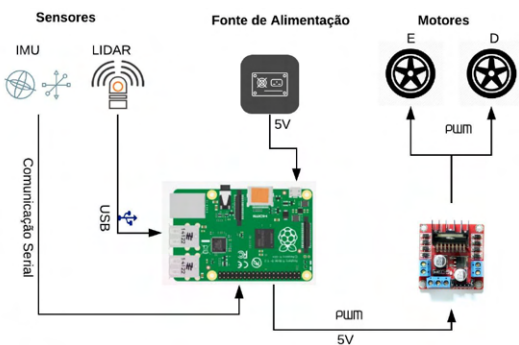


Fig. 12. Disposição de hardwares do sistema embarcado.

Para compreensão do funcionamento do sistema embarcado, foram desenvolvidos um diagrama de blocos e um diagrama de processos. O diagrama de blocos da Figura 13 apresenta a comunicação entre o ROS instalado na Raspberry e os sistemas eletroeletrônicos do robô. Primeiramente, o sensor BNO055 possui um nó *imu_ros* que envia as informações de Unidade Medida Inercial para o tópico *IMU* do ROS. O nó *ydlidar_ros* é responsável por enviar dados do sensor *laser scan* para o tópico *scan* do ROS. O nó *diff_tf* envia a contagem dos pulsos dos *encoders* de cada roda do robô ao ROS. Por meio do algoritmo desenvolvido, informações de velocidade e direção são enviadas para a ponte H por PWM e, consequentemente, enviados para os motores. A ponte H é alimentada por uma bateria de LiPo de 7,4 V que também fornece energia para a raspberry por meio de um regulador de tensão de 5 V. O

tópico *tf* é criado a partir dos tópicos *IMU*, *scan* e *wheel_right*, *wheel_left*.

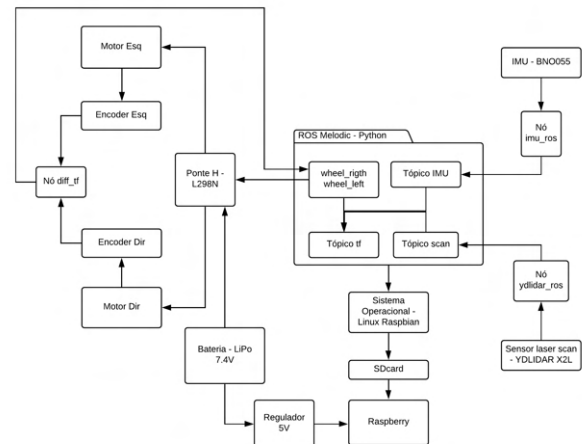
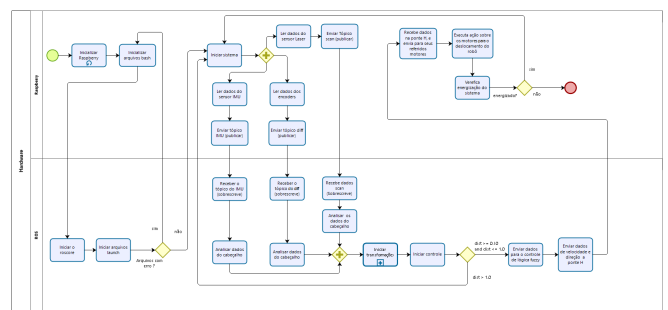
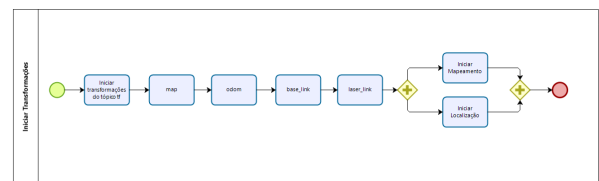


Fig. 13. Diagrama de blocos do hardware

Por sua vez, o diagrama de processos da Figura 14 apresenta o fluxo das informações do sistema embarcado. O fluxo inicia na *lane* da *raspberry*, segue para os arquivos de inicialização do sistema (*bash*). Caso o *roscore* e arquivos *launch* apresentem erro na *lane* do ROS ao inicializarem, o sistema reinicia o processo na *lane* da *raspberry*. Quando o sistema inicia, os dados do *laser scan*, sensor IMU e dos *encoders* são lidos em paralelo, criando uma mensagem de publicação das informações dos sensores nos três tópicos para o sistema ROS. Na *lane* do ROS, estes dados são sobrescritos e analisados os cabeçalhos das mensagens de cada tópico, criando então o fluxo com as informações das transformações (*map*, *odom*, *base_link*, *laser_link*).



(a)



(b)

Fig. 14. Diagrama de processos do sistema embarcado. (a) Fluxos de informações. (b) Transformações da odometria.

Finalizadas as transformações, são verificadas as condições impostas pelo controlador fuzzy. Ao final do processamento, as informações de velocidade e direção na saída do controlador

fuzzy são direcionadas à *lane raspberry*. Na *lane* da *raspberry*, os dados são enviados a ponte H e ao respectivo motor. Esse processo é cíclico, enquanto o sistema permanecer energizado.

V. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DO ROBÔ

O cenário para a experimentação prática, apresentado na Figura 15, foi desenvolvido em madeira sobre piso com características dimensionais similares ao ambiente da da experimentação virtual.

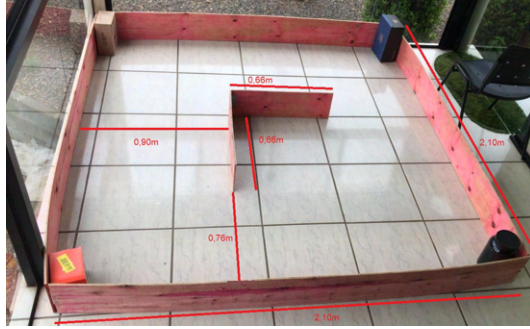


Fig. 15. Cenário desenvolvido para testes práticos.

O protótipo do robô foi construído sobre um chassi 2WD, do tipo diferencial e contou com a utilização dos elementos de hardware descritos na seção IV. O objetivo do protótipo é realizar as mesmas tarefas de movimentação e mapeamento que o robô da simulação realizou. A Figura 16 apresenta o protótipo do robô desenvolvido.

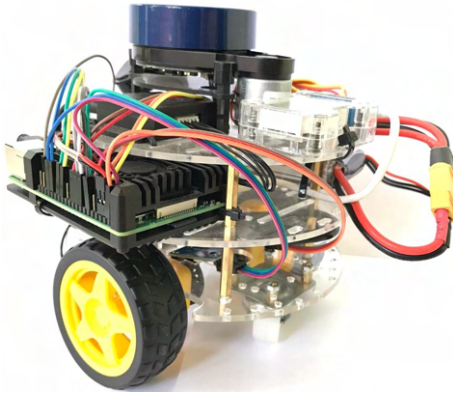


Fig. 16. Protótipo do robô desenvolvido.

A. Controlador do robô

A lógica de controle desenvolvida para o protótipo experimental do robô é semelhante à lógica desenvolvida para o robô simulado. O sistema de controle foi adaptado no trecho de código que é responsável pela saída do controle que é enviada para cada GPIO específica, ou seja, o motor esquerdo ou o motor direito. Além disso, houve a necessidade de alteração do valor de algumas regras do controlador fuzzy, motivadas pela diferença do comportamento dinâmico entre o robô da simulação e o protótipo.

B. Construção do Mapa

Em função da adição física do sensor IMU no protótipo do robô, a árvore de transformações sofreu uma alteração. A Figura 17 apresenta a árvore das transformações do protótipo

do robô, obtida a partir do ROS com o comando `roslaunch tf view_frames`.

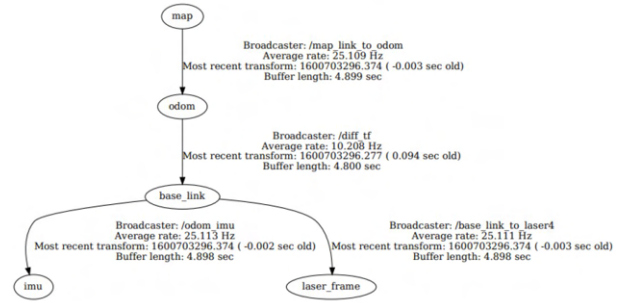


Fig. 17. Árvore de transformações criada pela ferramenta do ROS

Com o sistema embarcado do protótipo implementado, foram testadas as operações básicas propostas nesse trabalho, que consistem na navegação autônoma com desvio reativo com mapeamento simultâneo. A localização utiliza os dados de odometria, provenientes dos encoders e do sensor *laser scan*. Mesmo estando no sistema embarcado, o controle é realizado de forma ativa pelo ROS, podendo ser acessado remotamente por comunicação *wireless*, possibilitando assim, apresentar o trajeto percorrido pelo robô durante os ensaios experimentais. O mapeamento realizado no cenário físico foi realizado com sucesso, possuindo características semelhantes à experimentação virtual. O mapa experimental do ambiente real é mostrado na Figura 18, sendo o traçado percorrido pelo robô identificado pela linha na cor verde.

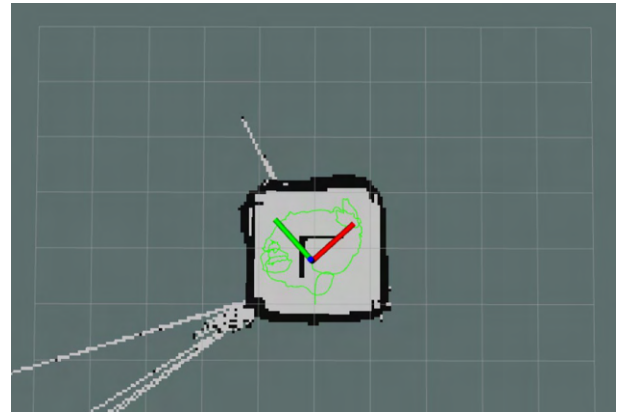


Fig. 18. Mapeamento construído a partir do protótipo em cenário real.

Não obstante, a navegação autônoma juntamente com a visualização da construção do mapa experimental foram documentadas em vídeo, podendo ser acessado por meio do QR code da Figura 19.



Fig. 19. QR code para acesso ao vídeo de funcionamento do protótipo.

VI. CONCLUSÃO

Esse artigo apresentou o desenvolvimento de uma experimentação virtual de um robô usando ROS e V-REP. Adicionalmente, um protótipo com características similares foi implementado com o objetivo de verificar experimentalmente a navegação autônoma e o mapeamento simultâneo.

A utilização de plataformas de experimentação virtual como o V-REP e de sistemas dedicados ao desenvolvimento de robôs como o ROS tem por objetivo concentrar esforços na solução de problemas específicos sem a necessidade de adquirir sensores e de construir fisicamente um robô. Uma vez que todo o sistema está validado por meio de experimentação virtual, pode ser implementado por meio de um protótipo.

Conforme observado no desenvolvimento desse trabalho, o processo de integração e implementação prática teve significativa diminuição de tempo, posto que todos os sistemas de controle já estavam previamente desenvolvidos e testados. Contudo, devido a algumas diferenças de cinemática, foram necessários alguns ajustes nos ganhos dos controladores e na árvore de transformações para a construção do mapa. Por fim, pode-se concluir com os resultados apresentados a utilização de uma ferramenta de simulação contribui com a construção de um protótipo físico, pois um simulador evita possíveis danos na estruturas de protótipos, além de favorecer a especificação assertiva dos sensores entre outros componentes.

Como sugestão para realização de trabalhos futuros, são elencadas algumas propostas:

- Implementar a fusão de sensores com filtro de *Kalman* para melhorar o processo de localização do robô.
- Aplicar técnicas de planejamento de rota para a realização de tarefas específicas no ambiente de trabalho.
- Direcionar o robô para uma aplicação específica, para testar todo o sistema em uma aplicação real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Unoesc e ao Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina (UNIEDU) pela concessão da bolsa de iniciação científica. Esse trabalho foi selecionado nos termos do Art. 171 do EDITAL N° 18/UNOESC-R/2019.

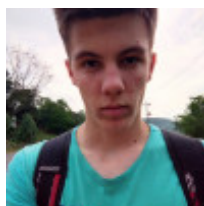
REFERÊNCIAS

- [1] E.P FERREIRA. *Robótica Básica. Modelagem de Robôs*. Rio de Janeiro: R. Vieira, 1991.
- [2] ROS. *Robot Operation System*. United States of America: Matthew Hacker, 2020. URL: <https://wiki.ros.org>.
- [3] Coppelia ROBOTICS. *CoppeliaSim from the Creators of V-REP*. Zurique, Suíça: COPPELIA, 2020. URL: <https://www.coppeliarobotics.com/>.
- [4] Jeferson André Bigheti. *Navegação de Robôs em Ambientes Internos Usando SLAM*. Bauru, SP: Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, 2011.
- [5] Emanuel Koslosky, André Schneider de Oliveira, Marco Aurélio Wehrmeister e João Alberto Fabro. "Designing Fuzzy Logic Controllers for ROS-Based Multirotors". Em: *Robot Operating System (ROS) The Complete Reference*. Ed. por Anis Koubaa. 2ª ed. Springer, 2017, pp. 41–82. DOI: 10.1007/978-3-319-54927-9_2.

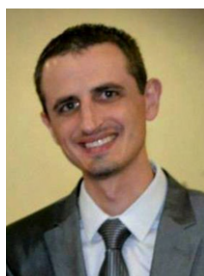
- [6] Jonhann Borenstein, H.R Everett e Liqiang Feng. *Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*. Michigan: The University of Michigan, 1996, p. 282.
- [7] ROS ANSWERS. *How to build tf topic frame tree for hector slam or gmapping*. United States of America: Matthew Hacker, 2020. URL: <https://answers.ros.org/question/265846/how-to-build-tf-topic-frame-tree-for-hector-slam-or-gmapping/>.

AUTORES

Higor Tizatto Possui graduação em Engenharia de Computação pela Universidade do Oeste de Santa Catarina UNOESC (2020). Atualmente cursa especialização em Lei Geral de Proteção de dados LGPD pela Faculdade Legale e trabalha como programador de sistemas da informação em desenvolvimento desktop.

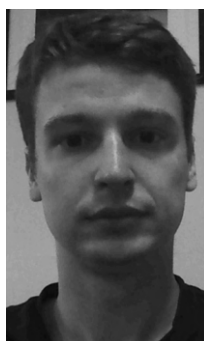


Renato Gregolon Scortegagna Doutorando em Engenharia Elétrica na UTFPR - Curitiba no Laboratório de Processamento Eletrônico de Energia (LPEE). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (2015). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (2011) e Técnico em Eletrônica pelo SENAI SC (2005). Tem experiência na



área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Elétricos, Magnéticos, Eletrônicos e Automação de Processos. É membro da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência (SO-BRAEP) e atua como professor nos Cursos de Engenharia da UNOESC.

Kleyton Hoffmann Engenheiro Eletricista graduado pela Universidade do Oeste de Santa Catarina em 2011. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina no Grupo de Concepção e Análise de Dispositivos Eletromagnéticos - GRUCAD. Kleyton Hoffmann é professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Magnéticos,



Magnetismo e Eletromagnetismo, atuando principalmente nos seguintes temas: Elementos finitos, modelagem de histerese ferromagnética e métodos numéricos. Ainda, trabalha e pesquisa assuntos relacionados com sistemas embarcados e robótica, sendo coordenador da equipe de robótica do curso de Engenharia Elétrica da UNOESC.

SISTEMA DE CONTROLE DE PROTÓTIPO EM PEQUENA ESCALA DE UM LEVITADOR MAGNÉTICO

Bruno Giacomelli Sotil, Marconi Januário, Kleyton Hoffmann, Jean Patrick Prigol

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC

bruno.sotil@gmail.com, marconi.januario@unoesc.edu.br, kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br, jean.prigol@unoesc.edu.br

Abstract—This article contains information on the construction of a small scale magnetic levitator prototype for lifting small loads. A closed-loop control system was applied so that when loads and disturbances are applied, it stabilizes in the *setpoint* established through the microcontroller. The development of the project helped to understand the magnetic phenomena involved and improved the knowledge of interdisciplinary interaction, using previous knowledge of the disciplines of Microcontrollers, Power Electronics and Control Systems. In addition, the results obtained will help academics and the community in general, especially future academics, the applicability of electromagnetism and electrical engineering itself.

Index Terms—Magnetic Levitator, Electromagnetism, Control System, Microcontrollers, Power Electronics.

Resumo—Este artigo contém informações sobre a construção de um protótipo de um levitador magnético em escala reduzida, para o levantamento de pequenas cargas. Aplicou-se um sistema de controle em malha fechada para que quando aplicada as cargas e os distúrbios o mesmo estabiliza-se no *setpoint* programado através do microcontrolador. O desenvolvimento do projeto auxiliou na compreensão dos fenômenos magnéticos envolvidos e aprimorou o conhecimento da interação interdisciplinar, utilizando conhecimentos prévios das disciplinas de Microcontroladores, Eletrônica de Potência e Sistemas de Controle.

Palavras chave—Levitador Magnético, Eletromagnetismo, Sistema de Controle, Microcontroladores, Eletrônica de Potência, Programação.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de máquinas elétricas, baseados na utilização de campos eletromagnéticos, aliado a outros fatores, resultaram em criação de maior quantidade de produtos acabados, bem como, em uma maior qualidade de vida. Atualmente, a sociedade é dependente da utilização de máquinas para ter-se disponível energia elétrica, bem como energia mecânica. Além disso, tem-se a necessidade de criar, melhorar e desenvolver máquinas de diferentes tipos, bem como, mais eficientes no tocante da sua conservação de energia. Para tal, o entendimento e o conhecimento do assunto eletromagnetismo tanto no aspecto matemático quanto físico são de suma importância para os profissionais que irão criar e desenvolver máquinas elétricas.

A levitação magnética utiliza o eletromagnetismo, tendo como ponto temático as interações entre grandezas eletromagnéticas e mecânicas [1]. Uma grande parte de equipamentos eletromagnéticos tem a função de transformar energia elétrica em energia mecânica ou vice-versa, como exemplo, o funcionamento de um contator que é utilizado para unir

contatos via a atuação de campo magnético ou o uso de um motor para gerar trabalho mecânico.

O artigo está organizado nos seguintes itens: metodologia, resultados, discussão e por fim conclusão.

II. DESENVOLVIMENTO

Nesta seção são apresentados os princípios de magnetismo e eletromagnetismo, a descrição do sensor utilizado para medição da distância, princípios de sistemas de controle em malha fechada e por fim a programação do sistema de controle.

A. Princípios de magnetismo e eletromagnetismo

a.1) Magnetismo

A definição de magnetismo é o fenômeno físico que explica a atração entre metais e ímãs. Esses materiais são capazes de se atraírem mutuamente graças à disposição espacial dos vetores de momento de dipolo magnético (μ) que se encontram no interior desses materiais [2]. O dipolo magnético está representado na ilustração da Figura 1.

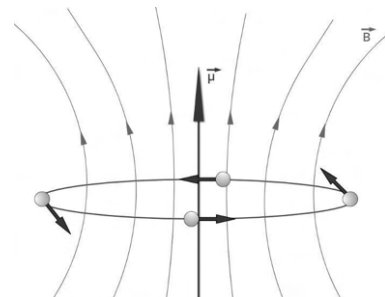


Fig. 1. O movimento de uma carga em um circuito fechado produz um momento de dipolo magnético [3].

a.2) Eletroímã e Ímã de Neodímio

Eletroímã é um dispositivo formado por um núcleo de ferro envolto por um solenoide (bobina) [3]. Quando submetido a uma corrente elétrica aplicada em suas espiras, cria-se um campo magnético, o qual faz com que os ímãs elementares do núcleo de ferro se orientem, ficando assim imantado e, consequentemente, com a propriedade de atrair outros materiais ferromagnéticos. Pode-se observar as linhas de campos magnéticos na Figura 2.

O Ímã de Neodímio é uma das ligas magnéticas mais fortes do mercado, capaz de sustentar milhares de vezes o seu próprio peso. Estes ímãs são formados a partir da combinação de três

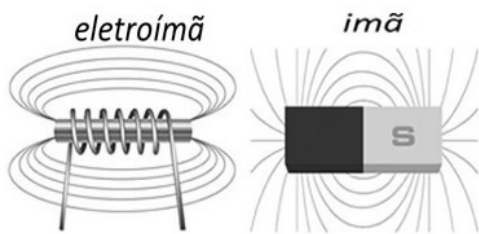


Fig. 2. Linhas de campo de um eletroímã e de um ímã [Kingsley Jr Charles-Fitzgerald A.E.-Umans 2006].

minérios: o neodímio, o ferro e o boro, através do processo de sinterização ou de aglomeração [4]. As classificações comercialmente disponíveis, variam de N30 a N52. O modelo que utilizado no projeto é o anel ímã neodímio pastilha 15mm x 4 mm com furo (5 mm) N52. Na Figura 3 tem-se o modelo do ímã N52 e na Figura 4 tem-se as características (em destaque) do ímã N52.



Fig. 3. Imã Neodímio Anel Pastilha N52 15mm X 4mm (furo 5mm) [5].

GRADE	Max. Produto Energia	Remanência	Força Coercitiva	Força Coercitiva Intrínseca	Max. Temp. Trabalho
	(BH)max	Br	Hcb	Hci	Tw
	KJ/m³ (MGOe)	mT (KGs)	KA/m (KGs)	KA/m (KGs)	°C
N52	398-422 (50-53)	1430 - 1480 (14.3 - 14.8)	≥796 (≥10)	≥876 (≥11)	≤60

Fig. 4. Características do Imã Neodímio N52 [6].

a.3) Interação entre Grandezas Magnéticas e Mecânicas

Os cálculos que relacionam forças, campos magnéticos e correntes podem ser feitos através de equacionamentos com a Força de Laplace, Força de Lorentz e Tensor Maxwell. Na Figura 5 é apresentado um esboço de uma densidade de campo magnético B atravessando um condutor de seção transversal S , que é percorrido por uma corrente I (relaciona-se densidade de corrente neste condutor). A força entre o campo magnético e a corrente I pode ser calculada por meio do equacionamento de Laplace [1].

a.4) Sensor

O sensor utilizado no projeto é do modelo GP2Y0A21YK0F. Este sensor é do tipo infravermelho de longo alcance. Na Figura 6 é apresentado o modelo do sensor utilizado.

a.5) Microcontrolador

Para fazer a execução do programa do sistema de controle foi utilizado o microcontrolador Arduino Mega 2560. Na figura 7 tem-se o modelo utilizado com descrição dos pinos.

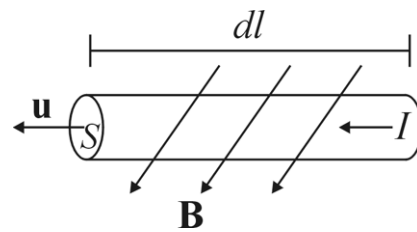


Fig. 5. Densidade de campo magnético B atravessado um condutor percorrido por uma corrente I [1].

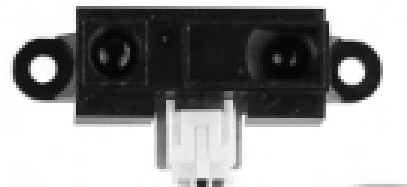


Fig. 6. Sensor Sharp GP2Y0A21YK0F [7].

a.6) Princípios de sistemas de controle em malha fechada

O princípio do sistema de controle em malha fechada é, quando aplicado um distúrbio no sistema (levitador), o mesmo consiga se autocorrigir para voltar ao *setpoint* desejado. Desta forma, obtendo um valor de erro nulo em regime estacionário, para que isso ocorra, o sinal atual da saída medido retorna para ser comparado com o sinal anterior, com isto a diferença entre o sinal do *setpoint* e o de referência irão para o controlador.

Neste projeto foi utilizado um controlador do tipo PI, ou seja Proporcional e Integrador.

a.7) Programação do sistema de controle em Arduino

Para a programação do sistema de controle, foi utilizado o microcontrolador Arduino Mega 2560, com o programa Arduino 1.8.12.

Na Figura 8 tem-se o código com as declarações dos tipos das variáveis, das entradas e saídas utilizadas.

Na Figura 9 é apresentado o código com a programação do *void setup*. No código são apresentados os valores de parametrização do sistema de controle e de parâmetros de entrada, sendo kp é o ganho proporcional, Ti é o tempo integrativo (*reset time*), Td é o tempo derivativo, T é a base tempo de amostragem, a é o ganho do Proporcional b é o ganho do Integrativo e o c é o ganho do Derivativo.

Na Figura 10 é ilustrado a programação do código do *void loop*. Neste código tem-se a programação empregada para o sistema de controle PI e a programação também utilizado um filtro digital para tratamento do sinal do sensor de medição. Isto foi feito para diminuir o ruído do sinal.

Figura 11 é apresentada a segunda parte da programação do *void loop*, onde são obtidos aquisição dos dados de controle, sendo **erro**, **setpoint**, **vsaida** e O PWM como **u**.

III. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados a manufatura do protótipo, do peso utilizado para ocasionar os distúrbios no sistema, os tipos dos casos de distúrbios e seus respectivos gráficos de respostas ao longo do tempo.

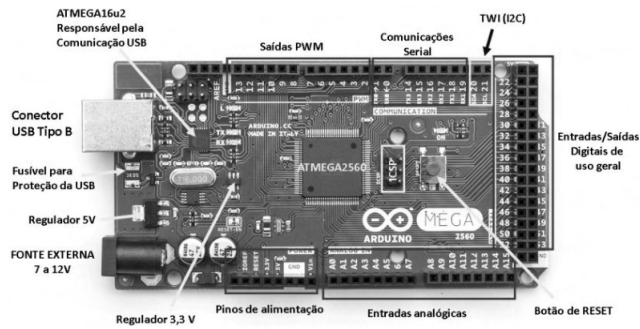


Fig. 7. Arduino Mega 2560 com descrição dos pinos [8].

```
double a,b,c,kp,Ti,Td,T,erro,erroa,u,ganho_sensor,minimo,u1,amplitude,amplitude1;
double P,I,Ia,D,setpoint,vsaida,vsaida_a,setpoint1,frequencia;
int led;

#define in A1
#define out 3
```

Fig. 8. Declarações dos tipos das variáveis e declaração de entradas e saídas utilizadas.

A. Manufatura do protótipo

Após a concepção do projeto do protótipo fez-se a manufatura do mesmo, obtendo-se o resultado exposto na Figura 12.

B. Pesos utilizados

Foram manufaturados dois tipos de pesos com os materiais disponíveis no laboratório, sendo um deles o mais leve com aproximadamente 5.6 gramas e o mais pesado com aproximadamente 7 gramas.

Na Figura 13 tem-se os pesos leve (direita) e o peso pesado (esquerda) utilizados para criar o distúrbio no sistema.



Fig. 13. Pesos utilizados para criar distúrbios no sistema, peso leve (direita) e o peso pesado (esquerda).

C. Tipos dos casos de distúrbios aplicados ao sistema

Para o presente projeto foram criados 4 tipos de casos para comprovar o funcionamento do sistema de controle.

Os seguintes casos foram criados:

- Caso 1 - degrau com 100 de *setpoint* que o mesmo representa um valor analógico para 8 bits (0 a 255) .
- Caso 2 - degrau com 100 de *setpoint* que o mesmo representa um valor analógico para 8 bits (0 a 255), espera estabilizar e aplica o distúrbio de 2 pesos (pesado).
- Caso 3 - degrau com 100 de *offset*, amplitude com 20 com senoidal de frequência de 0.5 Hz.
- Caso 4 - degrau com 100 de *offset*, amplitude com 20 com senoidal de frequência de 2 Hz.

CASO 1

```
void setup() {

    ganho_sensor = 15.7;
    minimo=2;
    amplitude=50;
    setpoint1=100;
    frequencia=0;

    kp = 1;
    Ti = 0.1;
    Td = 0;
    T = 0.000204;
    a = 1.0;
    b= 0.1;
    c = kp*Td/T;
    //Valores iniciais
    Ia = 0;
    erroa = 0;
    led = 0;

    Serial.begin(9600);

}
```

Fig. 9. Programação do *void setup*.

```
void loop() {
    // Senoide
    setpoint=setpoint1+amplitude*sin(2*3.1416*frequencia*(millis()*0.001));
    //leitura sensor
    vsaida = analogRead(in)/4.0;
    //filtro digital sensor
    vsaida = (vsaida*0.05 + vsaida_a*0.95);
    // início do PI
    vsaida_a = vsaida;
    erro = setpoint - vsaida;
    P = a * erro;
    I = b*erro + Ia;
    D = c*(erro - erroa);
    //controlador PI, D=0
    u = P + I;
    erroa = erro;
    Ia = I;
    if(u>250-minimo)
    { u = 253;
      Ia = 253;
    }
    if(u<0)
    { u = 0;
      Ia = 0;
    }
    analogWrite(out, u+minimo);
}
```

Fig. 10. Programação 1 do *void loop*.

No Caso 1, foi aplicado um degrau com *setpoint* de 100, e obteve-se o gráfico do sistema mostrado na Figura 14.

CASO 2

No Caso 2, foi aplicado um degrau com *setpoint* de 100, esperou-se estabilizar, logo após aplicou-se o distúrbio com 2 pesos pesados, e obteve-se o gráfico do sistema mostrado na Figura 15.

CASO 3

No Caso 3, foi aplicado um sinal senoidal de amplitude de 20 com frequência de 0,5 hz somado à uma componente contínua com valor de 100. Para este sinal de *setpoint* obteve-se as respostas apresentadas na Figura 16.

CASO 4

No Caso 3, foi aplicado um sinal senoidal de amplitude de 20 com frequência de 2,0 Hz somado à uma componente contínua com valor de 100. Para este sinal de *setpoint* obteve-se as respostas apresentadas na Figura 17.

```

Serial.println(millis()*0.001);
//Serial.print(" ");

Serial.print(erro);
Serial.print(" ");

Serial.print(setpoint);
Serial.print(" ");

Serial.print(vsaida);
Serial.print(" ");

Serial.print(u); //PWM
Serial.print(" ");

```

Fig. 11. Programação 2 do void loop.



Fig. 12. Manufatura do protótipo.

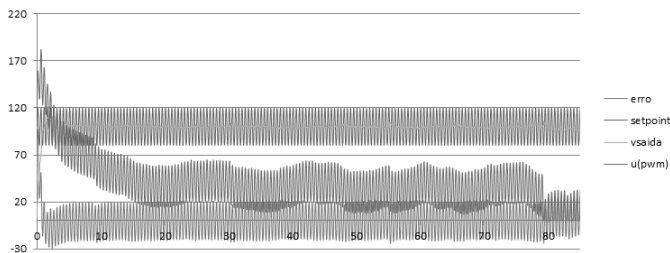


Fig. 17. Gráfico da resposta do sistema do caso 4.

IV. DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentadas as discussões sobre os casos aplicados ao sistema, desta forma sendo validado no âmbito experimental do protótipo e do controle do sistema.

Nos casos aplicados aos sistema foram de grande valia, pois os mesmos ajudaram a validar e satisfazer o controle do protótipo com o sistema de controle em malha fechada PI.

No CASO 1, o erro inicial amostrado pelo sensor foi de aproximadamente de -10. Conforme as formas de ondas apresentadas na Figura 14 observa-se o sistema de controle que começou a atuar até que o erro estacionário fosse praticamente nulo, com isto o sistema conseguiu atingir o *setpoint* programado, e assim comprova-se o funcionamento do sistema de controle proposto.

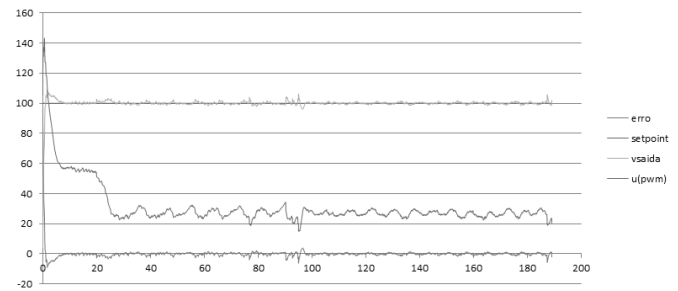


Fig. 14. Gráfico da resposta do sistema do caso 1.

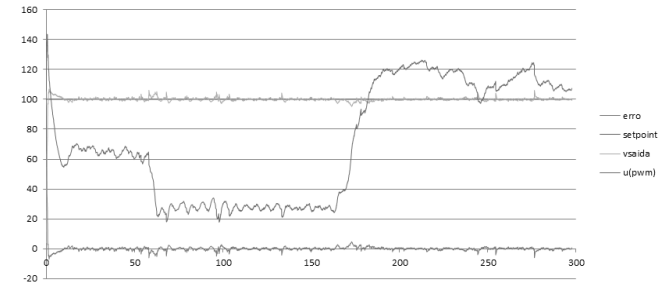


Fig. 15. Gráfico da resposta do sistema do caso 2.

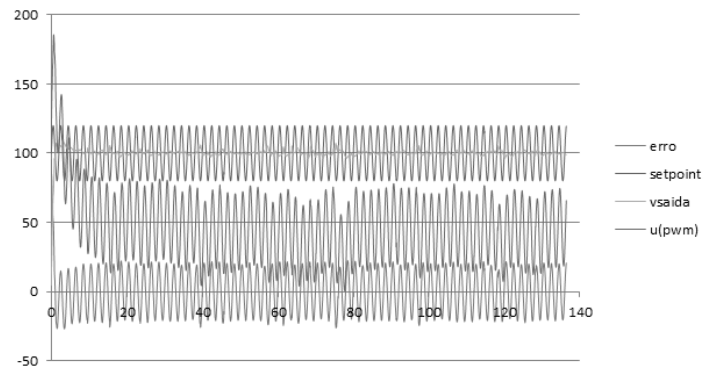


Fig. 16. Gráfico da resposta do sistema do caso 3.

No CASO 2, conforme formas de ondas mostrados na Figura 15 o erro inicial amostrado pelo sensor foi de aproximadamente de -9. Desta forma, o sistema de controle começou a atuar até que o erro estacionário fosse praticamente nulo, consequentemente o sistema conseguiu atingir o *setpoint* programado. Após a estabilização do sistema aplicou-se um distúrbio na plataforma de elevação, assim ocasionando um erro amostrado pelo sensor, com isto, o sistema de controle começou a injetar mais tensão via PWM, conforme formas de ondas mostradas na Figura 15, consequentemente gerando mais campo magnético e elevando a plataforma até o *setpoint* programado, gerando assim novamente o erro estacionário praticamente nulo. Destarte a comprova-se do funcionamento do sistema de controle proposto.

No Caso 3 e no Caso 4 o valor de *setpoint* aplicado foi uma função senoidal de 0,5 Hz e 2,0 Hz, respectivamente. Ambos os valores de *setpoint* das funções senoidais tinha valor de pico de 20 somadas à uma função contínua de 100.

Em vias vias gerais nos CASOS 1 e 2, há somente a programação do *setpoint* e aplicado o distúrbio na plataforma. Todavia nos CASOS 3 e 4, como já explicado foi aplicado uma função senoidal com valor de pico de 20 somadas a uma função contínua de 100.

V. AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer ao governo do Estado que através do incentivo e subsídios para a iniciação científica referente ao UNIEDU pelo Artigo 170 que foi realizado no ano de 2019. Agradecer a instituição de ensino UNOESC pela captação de recursos tanto quanto físicos e intelectuais através do corpo docente acadêmico que ajudaram a realização deste projeto de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- [1] João Pedro Assumpção Bastos. *Eletromagnetismo para engenharia – Estática e Quase estática*. 3ª. Florianópolis: Editora UFSC, 2012, 398p. ISBN: 978-85-328-0602-4.
- [2] Rafael Helerbrock. *O que é magnetismo? - Brasil Escola*. URL: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-magnetismo.htm> (acesso em 20/08/2020).
- [3] Nathan Augusto Ferreira. *Eletroímã. O que é um Eletroímã? - Mundo Educação*. URL: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/eletroima.htm> (acesso em 20/08/2020).
- [4] Tesla Imãs. *Imã de Neodímio — Tesla Imãs*. URL: <https://teslaimas.com.br/imas-de-neodimio/> (acesso em 24/08/2020).
- [5] KERATIN. *10 Imã Neodímio Anel Pastilha N52 15mm X 4mm (furo 5mm) - R\$ 50,00 em Mercado Livre*. URL: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1051818093-10-im-neodimio-anel-pastilha-n52-15mm-x-4mm-furo-5mm-%7B%5C_%7DJM?quantity=1%7B%5C%7Dposition=1%7B%5C%7Dtype=item%7B%5C%7Dtracking%7B%5C_%7Ddid=f3e54fd9-4c61-43d3-8db5-04d4582b433f (acesso em 24/08/2020).
- [6] IMASHOP. *IMAshop*. URL: <https://www.imashop.com.br/central-tecnica/informacoes> (acesso em 24/08/2020).
- [7] Usinainfo. *Sensor Sharp GP2Y0A21YK0F / Sensor Infravermelho de Longo Alcance para Arduino - 10 a 80cm + Cabo JST - Usinainfo*. URL: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-proximidade/sensor-sharp-gp2y0a21yk0f-sensor-infravermelho-de-longo-alcance-para-arduino-10-a-80cm-cabo-jst-3814.html> (acesso em 24/08/2020).
- [8] Fábio Souza. *Saiba mais sobre a placa Arduino MEGA 2560 - Embarcados*. URL: <https://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/> (acesso em 24/08/2020).

AUTORES

Bruno Giacomelli Sotil Possui graduação em Técnico em Eletrotécnica pela instituição de ensino SENAI na cidade de Luzerna no estado de Santa Catarina(2011). Graduando do curso de Engenharia Elétrica na instituição de ensino Universidade do Oeste de Santa Catarina na cidade de Joaçaba no estado de Santa Catarina(2020).



Optimização topológica de dispositivos para o controle de radiação em ondas milimétricas

Rebecca Haidar Gomes
Instituto Nacional de Telecomunicações
rebeccahaidar@gea.inatel.br

Felipe Beltrán-Mejía
Instituto Nacional de Telecomunicações
felipebm@inatel.br

Resumo - Componentes eletrônicos são muito comuns em equipamentos do dia a dia, por conta de seus pequenos volumes e utilidades. Contudo, em comparação com componentes fotônicos, produzem muito calor, são lentos e consomem muita energia. Visto isso, o presente artigo tem como objetivo apresentar a otimização topológica de dispositivos fotônicos, através de um algoritmo de design inverso (inverse design algorithm).

Palavras chave – algoritmo de design inverso, fotônicos, otimização topológica.

Abstract - Electronic components are very common in everyday equipment, due to their small volumes and utilities. However, compared to photonic components, they produce a lot of heat, are slow and consume a lot of energy. In view of this, the present article aims to present the topological optimization of photonic devices, through an inverse design algorithm (inverse design algorithm).

Index terms - inverse design algorithm, photonics, topological optimization.

I. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, a informática passou a ser uma das principais vias de comunicação e de acesso à informação. Com isso, equipamentos eletrônicos, de uso tanto profissional quanto pessoal, são cada vez mais utilizados e necessários no dia a dia da população [1]. De acordo com os dados coletados pela 30ª Pesquisa Anual de Administração e Uso de Tecnologia da Informação nas Empresas, realizada pela Fundação Getúlio Vargas, constatou-se que o número de dispositivos eletrônicos ativos, como computador, notebook e tablet, a nível nacional, é de 180 milhões, ou seja, a cada sete pessoas, seis possuem computadores [2].

Os computadores atuais possuem ligações elétricas, as quais são responsáveis pelo envio dos dados, como um fluxo de elétrons. Este método utilizado é responsável por parte do aquecimento dos equipamentos, visto que requer muita energia para seu funcionamento. Atualmente, há um estudo, em *Stanford*, para revolucionar esta área, o qual enviaria estes dados computacionais por meio de emissões de luz através de fibra óptica. Para execução desta solução óptica, foi inventado um software chamado Algoritmo de Design Inverso (*Inverse Design Algorithm*) [3], além do uso da otimização topológica.

A. Otimização topológica

O método de otimização topológica (TOM) é muito utilizado para definir a melhor distribuição de materiais dentro de uma área definida. Dentre as principais vantagens da utilização deste método, pode-se citar a maximização do potencial da criação de um produto, desenvolvimento ágil e aumento de qualidade e desempenho [4].

Para a utilização deste método, o desenvolvedor cria o design do produto utilizando o máximo possível de material. Após a aplicação e análise feitas pelo software, será possível a identificação de uma forma mais econômica [5].

B. Inverse Design Algorithm

Para a criação de projetos fotônicos, utilizava-se métodos como tentativa e erro ou algoritmos de busca de parâmetros. Nestes métodos, o desempenho, a funcionalidade e as dimensões estruturais do dispositivo eram limitadas por conta da margem máxima permitida aos parâmetros a serem utilizados e o baixo uso da física subjacente [6]. Além disso, para a substituição de conexões elétricas, são necessárias muitas unidades ópticas, e as projeções tinham de ser feitas uma a uma, aumentando a dificuldade de todo o processo.

A partir disso, no ano de 2013, foi apresentado por um grupo de pesquisadores da Universidade de Stanford um novo algoritmo de design inverso, encarregado de detalhar como será a estrutura a partir das informações dadas pelo responsável pelo projeto [3].

Este algoritmo examina toda a gama de dispositivos fabricáveis, gerando resultados que utilizam estruturas difrativas para fazer o trabalho ideal em espaços muito menores que os dispositivos já conhecidos, como demonstrado na Figura 1 [7].

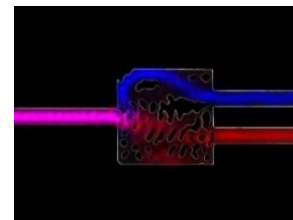


Fig. 1. A luz infravermelha entra nesta estrutura de silício pela esquerda. Os padrões de corte, definidos pelo algoritmo, direcionam duas frequências

II. ANÁLISE MATEMÁTICA

Para garantir que o espaço utilizado baseado no design proposto pelo usuário fosse o mais adequado, relacionando os parâmetros e especificação de desempenho, é necessária a resolução da equação (1):

$$\sum_i^M ||A_i(z)x_i - b_i||^2 \quad (1)$$

$$\alpha_{ij} \leq |C_{ij}^\dagger x_i| \leq \beta_{ij}, \text{ para } i = 1, \dots, M \text{ e } j = 1, \dots, N \quad (1a)$$

$$Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \quad (1b)$$

Onde:

$A_i(z)x_i$ representa a física subjacente do problema, ou seja, a transformação da equação (2) da onda eletromagnética [8]:

$$(\nabla \times \mu_0^{-1} \nabla \times - \omega_i^2 \epsilon) E_i + i\omega_i J_i \rightarrow A_i(z)x_i - b_i \quad (2)$$

Na qual:

$$E_i \rightarrow x_i;$$

$$\epsilon \rightarrow Z;$$

$$\nabla \times \mu_0^{-1} \nabla \times - \omega_i^2 \epsilon \rightarrow A_i(z)x_i;$$

$$i\omega_i J_i \rightarrow -b_i.$$

Esta formulação permite resíduos de física diferentes de zero, os quais podem ser deduzidos pela equação (3):

$$A_i(z)x_i - b_i = 0. \quad (3)$$

A. Objetivo do projeto

Consiste na restrição dada pela equação descrita no item 1a, a qual descreve o desempenho do dispositivo por uma série de integrais de sobreposição de campo, demonstrada pela expressão $C_{ij}^\dagger x_i$, em várias portas de saída do mesmo.

Esta especificação garante que o desempenho desejado pelo usuário seja expressado como uma combinação de amplitudes de campo em vários padrões de campo de saída, a qual é resposta de uma excitação de entrada pré-definida.

Esta restrição pode especificar o desempenho de muitos dispositivos lineares. Além disso, também é possível definir o objetivo de desempenho de alguns objetos não lineares, como por exemplo a otimização da densidade de energia. Com isso, pode-se notar que o objetivo do projeto é uma restrição rígida, pois ele é sempre satisfeito, mesmo que as medidas permitam apenas a criação de um campo não físico.

Por fim, o tempo citado em 1b define o objetivo do projeto da estrutura. Ele garante que o projeto final seja composto por dois materiais distintos [8].

B. Método de Soluções Alternadas de Multiplicadores

O algoritmo do método de soluções alternadas de multiplicadores, ADMM, é capaz de resolver a equação (1) para x_i , Z e uma variável dupla μ_i . Como a resolução da equação para x_i requer uma matriz $A_i(Z)$ mal condicionada, foi utilizado também o método *Finite-Difference Time-Domain* (FDTD), o qual é capaz de resolver as equações de *Maxwell* até para geometrias complexas.

Para Z a solução é mais simples, visto que se considera que as estruturas são planas. Após isso, é feita a conversão de Z e a estrutura é ajustada para chegar em um objeto fabricável [8].

III. RESULTADOS

Após testes efetuados pela Universidade de *Stanford*, os projetos continuam fabricáveis, além de apresentarem nova funcionalidade, alta eficiência e dimensões compactas de poucos comprimentos de onda de vácuo quadrados. Também é notável que os projetos podem variar suas funcionalidades apenas mudando a excitação de entrada do mesmo.

A. Conversores de Modo (Mode Converters)

Esses dispositivos possuem entrada e saída únicos, pois mostram a viabilidade de redes ópticas multimodo existentes no chip, a qual demonstra a alta eficiência de conversão que pode ser alcançada em estruturas nano fotônicas planas de um chip.

a.1) Conversor de Modo TE

Neste modo, a conversão de modo opera na polarização TE, no qual o componente do campo elétrico do modo de guia de ondas é polarizado no plano da estrutura, como mostra a Figura 2, enquanto na Figura 3 tem-se a eficiência do conversor.

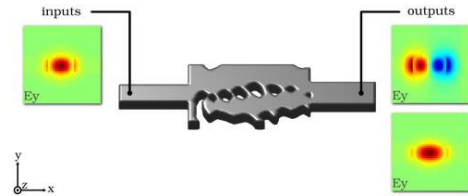


Fig. 2. À esquerda, tem-se o modo polarizado TE fundamental, a entrada. À direita, é o modo de saída primário, de segunda ordem. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

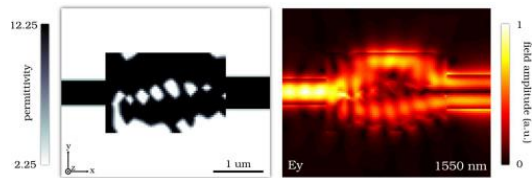


Fig. 3. Estrutura e campo elétrico no plano central do conversor de modo TE. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

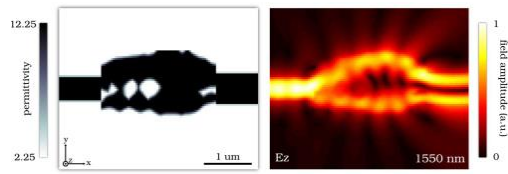
a.2) Conversor de Modo TM

É necessário ser feita uma modificação no desempenho do dispositivo através da polarização dos modos de entrada e saída para realizar o conversor de modo TM, como mostrado na Figura 4.



Fig. 4. À esquerda, tem-se o modo polarizado da TM fundamental, a entrada. À direita está localizado o modo de saída primário, o qual é de

segunda ordem. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.



Na Figura 5, pode ser observado a performance do objeto.

Fig. 5. Estrutura e campo elétrico no plano central do conversor de modo TM. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

B. Separadores de Modo (Mode Splitters)

Dispositivos conhecidos como *mode splitters* são os componentes principais na utilização de um guia de ondas para transmitir sinais ópticos, além de serem usados como multiplexadores ou demultiplexadores.

O divisor de modo espacial é responsável por habilitar uma gama de modos do chip através de um circuito óptico. Além disso, ele pode ser desenvolvido como um dispositivo muito pequeno e ainda assim muito eficiente, como mostrado nas Figuras 6 e 7.

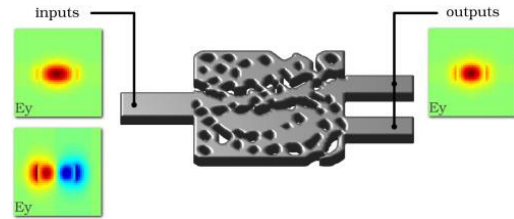


Fig. 6. À esquerda tem-se a entrada, que pode ser fundamental e de segunda ordem. À direita, tem-se as saídas, que são o modo de guia de onda fundamental. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

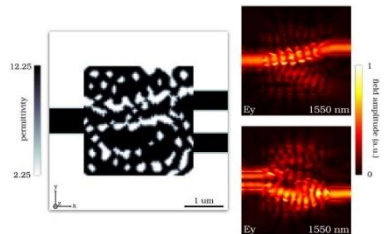


Fig. 7. Resultado final do divisor de modo espacial. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

b.1) Separador TE/TM (TE/TM Splitter)

Neste tipo de separador, as ondas fundamentais TE e TM são separadas e direcionadas para canais diferentes do dispositivo, como mostrado na Figura 8.

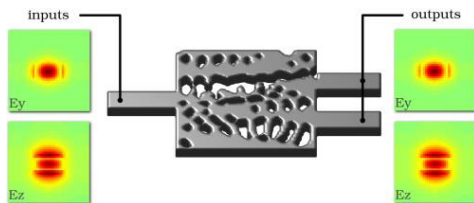
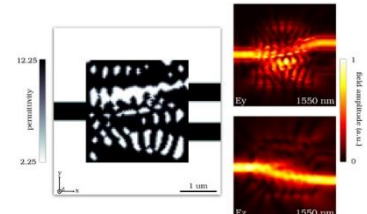


Fig. 8. Na entrada da imagem, pode-se notar a entrada de ondas TM e TE pelo mesmo canal, à esquerda. Na direita, tem-se as saídas separadas do



dispositivo. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

A Figura 9 demonstra internamente como o dispositivo é capaz de controlar estes dois tipos de onda, sendo cada um deles enviado para uma saída distinta.

Fig. 9. Nesta figura, tem-se o resultado final da separação dos tipos de onda. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

b.2) Separador de Comprimento de Onda (Wavelength Splitter)

Este método é usado para enviar ondas de diferentes comprimentos para saídas específicas de um mesmo dispositivo, como demonstrado nas Figuras 10 e 11.

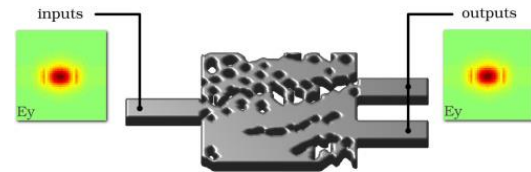


Fig. 10. À direita tem-se o modo fundamental polarizado TE, definido por uma faixa de comprimentos de onda. À direita, observa-se as saídas que variam de acordo com a faixa de comprimento de onda pré-definida pelo usuário. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

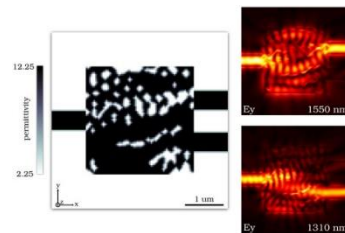


Fig. 11. É possível observar a separação do comprimento de onda internamente e sua saída definida. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

C) Hubs

Em um dispositivo 3x3 *hub*, os modos de entrada e saída consistem no modo TE polarizado fundamental. Este *hub* direciona as entradas um, dois e três, até as saídas dois, três e um, respectivamente, como pode ser visto na Figura 12.

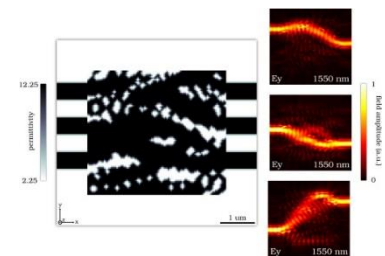


Fig. 12. Nesta imagem é possível observar o resultado final do *hub*. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

Os *hubs* 4x4 seguem as mesmas características, porém, as entradas um, dois, três e quatro são direcionadas para as saídas três, dois, quatro e um, respectivamente. Observe pela Figura 13.

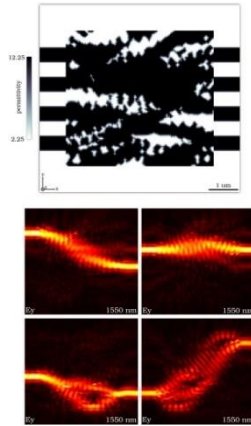


Fig. 13. Nesta figura, tem-se o resultado final de um *hub* 4x4 em execução. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

Há também os *hubs* que possuem funções diferentes para comprimentos de ondas distintos. Estes *hubs* são conhecidos como 2x2x2, os quais possuem duas entradas de guia de onda, duas saídas de guia de onda e dois comprimentos de onda. A Figura 14 demonstra seu funcionamento, o qual possui como especificação cruzar as guias de onda de um certo comprimento e desacoplar as guias de onda de outro comprimento.

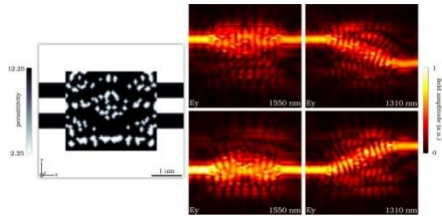


Fig. 14. Resultado final do *hub* 2x2x2. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

D) Acopladores de Fibra (Fiber couplers)

d.1) Compact Fiber Couplers (Acoplador de fibra compacta)

Este dispositivo é dado como compacto porque as funções de acoplamento ao plano e foco em um guia de onda são sobrepostas na mesma área de cobertura. Sua especificação de entrada consiste no modo de fibra fundamental polarizado Ey. Já sua saída, o modo polarizado TE fundamental guia de onda no plano, como demonstrado na Figura 15.

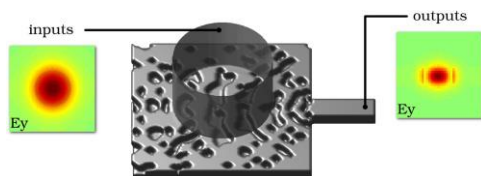


Fig. 15. Especificação de desempenho do acoplador compacto de fibra. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

d.2) Mode-splitting fiber coupler (Acoplador de fibra com divisão de modo)

Este dispositivo é utilizado para acoplar o modo fibra fundamental na saída superior enquanto o modo de fibra de terceira ordem é acoplado à saída inferior, como visto na Figura 16. Sua entrada consiste no modo de fibra fundamental ou no modo de fibra polarizada circularmente de terceira ordem. Sua saída é o modo polarizado TE fundamental de qualquer guia de onda do plano. O resultado pode ser observado na Figura 17.

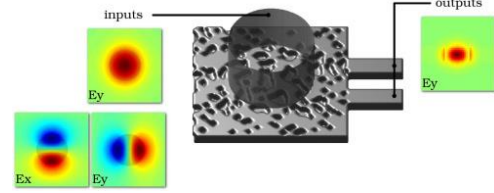


Fig. 16. Especificação de performance de um acoplador de fibra com divisor de modo. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

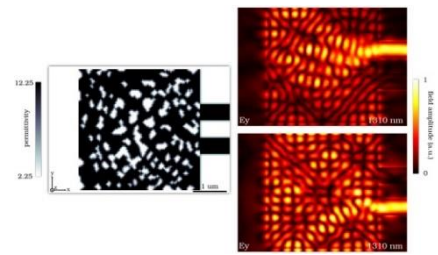


Fig. 17. Resultado final de um acoplador de fibra com divisor de modo. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

d.3) Wavelength-splitting fiber coupler (acoplamento de fibra com divisor de comprimento de onda)

O modo de entrada deste dispositivo consiste no modo de fibra fundamental polarizado por Ey em determinada faixa de comprimento de onda. Seu modo de saída é o modo polarizado TE fundamental de qualquer guia de onda no plano. Na Figura 18 pode-se observar sua especificação de performance, enquanto na Figura 19, o resultado final.

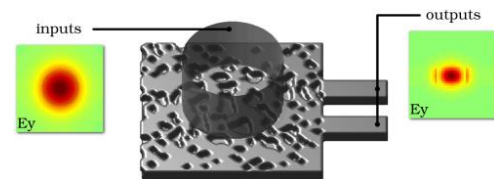


Fig. 18. Especificação de performance de um acoplamento de fibra com divisor de comprimento de onda. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

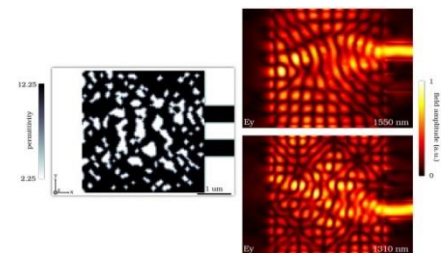


Fig. 19. Resultado final do acoplamento de fibra com divisor de comprimento de onda. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

E) Divisor do comprimento de onda da banda larga

Após uma análise de banda larga do dispositivo representado pela Figura 11, é possível perceber que a diminuição do desempenho do aparelho ocorre à medida em que é afastado dos comprimentos de onda alvo, observado na Figura 20.

Para o projeto de um divisor de comprimento de onda da banda larga, é necessário a modificação da especificação do desempenho para que possa incluir uma nova gama de comprimentos de onda de destino em torno dos originais. Esse fato pode ser observado na Figura 21, a qual revela, também, que o objetivo da operação de banda larga foi alcançado. Para a observação do resultado final do mesmo, basta fazer uma análise da Figura 22.

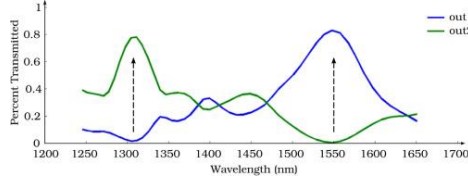


Fig. 20. Análise da banda larga do divisor de comprimento de onda da figura 10. Embora a eficiência de operação tenha sido alta, nota-se que o desempenho reduziu drasticamente nos comprimentos de onda desejados (como mostrado pelas setas na imagem). Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

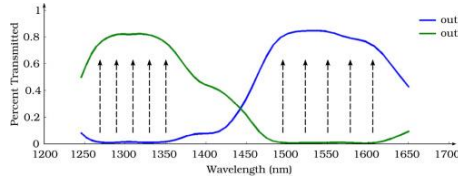


Fig. 21. O incremento de uma nova gama de comprimentos de onda de destino (sinalizados pelas setas) permite que a operação de alta eficiência seja alcançada em uma diversificada faixa de banda. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

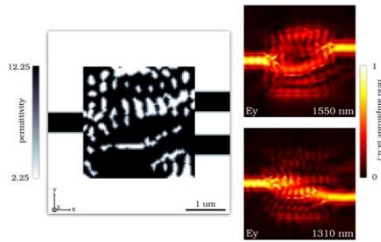


Fig. 22. Resultado final do divisor de comprimento de onda da banda larga. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

e.1) Rigidez da temperatura do divisor de comprimento de onda de banda larga

Para realizar a análise da rigidez da temperatura do divisor de comprimento de onda de banda larga, a qual representa a tolerância de temperatura suportada sem interferência no funcionamento, são utilizadas as seguintes equações (4) e (5):

$$\frac{\Delta n_{Si}}{\Delta T} = 1,85 \times 10^{-4} K^{-1} \quad (4)$$

$$\frac{\Delta n_{SiO_2}}{\Delta T} = 0 \quad (5)$$

Estas equações revelam que há ponto de operação estável em uma faixa de temperatura de quase 1000K, como mostrado na Figura 23.

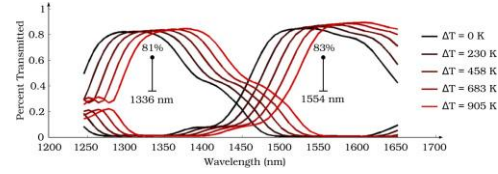
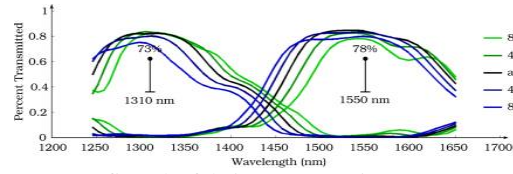


Fig. 23. Rigidez da temperatura do divisor de comprimento de onda de banda larga. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

Esta análise mostra que os objetos ópticos em um *chip* podem ser passivamente estáveis às mudanças de temperatura presentes nos dispositivos.

e.2) Rigidez da fabricação do divisor de comprimento de onda de banda larga

Além dos estudos citados acima, também foi feita a análise



do erro específico de fabricação. A Figura 24 mostra que até 8nm (nanômetros) de sobre ou sub ataque podem ser mantidos antes que o desempenho se torne menor que 70% nos comprimentos de onda da operação central.

Fig. 24. Rigidez da fabricação do divisor de comprimento de onda de banda larga. Fonte: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf.

Tem-se como resultado a afirmação de que o *design* de dispositivos de banda larga é uma heurística válida na busca de dispositivos tolerantes a mudança de temperatura e erros de fabricação.

IV. CONCLUSÃO

Visto que a otimização topológica é um dos métodos utilizados, pode-se dizer que os dispositivos serão produzidos com o menor fator de forma possível, porém, com a maior qualidade que poderia ser fabricado.

Além disso, há estudos comprovando que estes dispositivos são tolerantes aos erros de fabricação. Como mostrado nos tópicos e.1 e e.1, fica evidente que os dispositivos ópticos não causariam o super aquecimento dos dispositivos por serem tolerantes a mudanças de temperatura.

Portanto, baseado nas informações levantadas acerca do assunto, pode-se afirmar que conforme os estudos evoluírem, haverá também a evolução dos eletrônicos, os quais serão implementados com dispositivos fotônicos que farão o envio dos dados internamente, fornecendo maior agilidade e qualidade aos produtos já existentes.

REFERÊNCIAS

- [1] NOVO, Benigno Nuñez. Estação Digital: o acesso à informação é fundamental para a construção do conhecimento e para a participação em sociedade. Âmbito Jurídico. 2017.Lu URL: <https://ambitojuridico.com.br/edicoes/revista-164/estacao-digital-o-acesso-a->

informacao-e-fundamental-para-a-construcao-do-conhecimento-e-para-a-participacao-em-sociedade/. Acesso em: 22 jul. 2020.

[2] Estado de Minas. Brasil tem 230 mi de smartphones em uso. 26, março. 2019. URL: https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2019/04/26/internas_economia,1049125/brasil-tem-230-mi-de-smartphones-em-uso.shtml. Acesso em: 22 jul. 2020.

[3] ABATE, Tom. EurekaAlert. Stanford Breakthrough heralds super-efficient light-based computers. URL: https://www.eurekaalert.org/pub_releases/2015-05/ssoe-sbh052615.php. Acesso em: 20 jul. 2020.

[4] VIRTUALCAE. Otimização topológica: entenda o que é. URL: <http://virtualcae.com.br/otimizacao-topologica-entenda-o-que-e/>. Acesso em: 18 jul. 2020.

[5] LANGNAU, Leslie. Makes Parts Fast. What is topology optimization?. 14, agosto, 2019. URL: <https://www.makepartsfast.com/what-is-topology-optimization/>. Acesso em: 18 jul. 2020.

[6] T. Mediha, Y. Yusuf Abdülaziz, Y. Aydan, Y. Döne, A. Ahmet Mesut, K. Hamza. Inverse design of next generation nanophotonic devices. 1, 2018. Doi: 10.1109/SIU.2018.8404360. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8404360/authors#authors>. Acesso em: 22 jul. 2020.

[7] Laser Focus World. Inverse design algorithm produces integrated photonic devices automatically from the 'full design space'. URL: <https://www.laserfocusworld.com/software-accessories/software/article/16558217/inverse-design-algorithm-produces-integrated-photonic-devices-automatically-from-the-full-design-space>. Acesso em: 17 jul. 2020.

[8] LU. Jesse, VUČKOVIĆ, Jelena. Nanophotonic Computational design. 2:17, 2013. Doi: 10.1364/OE.21.013351. URL: https://web.stanford.edu/group/nqp/jv_files/papers/jesse-inverse3D.pdf. Acesso em: 18 jul. 2020.

Estudo Sobre o Controle Aplicado em Sumô de Robôs

Alexandre Baratella Lugli, Egídio Raimundo Neto, Danilo de Oliveira Palma, Darlan Borges Ajlune

Matheus Lemos de Aguiar, Vinícius Lemos de Aguiar, Wanderson Eleutério Saldanha

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

baratella@inatel.br, egidio.neto@inatel.br, danilo.palma@gea.inatel.br, darlanborges@gec.inatel.br,

matheusa@gea.inatel.br, vaguiar@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

Abstract—This document presents the studies carried out at the Robotics and Artificial Intelligence Laboratory of INATEL, National Institute of Telecommunications, with the purpose of studying the control applied in robots developed for competitions in the categories of Sumo of 3kg and Mini-Sumo of 500g. The applied control processes are presented, as well as the tools used in these categories, from sensing to programming logic.

Index Terms—Control, Programming Logic, Robotics, Sensoring, Sumo.

Resumo—Este documento apresenta os estudos realizados no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do INATEL, Instituto Nacional de Telecomunicações, com o propósito de estudar o controle aplicado em robôs desenvolvidos para competições das categorias de Sumô de 3 kg e Mini-Sumô de 500 g. Apresentam-se os processos do controle aplicado, bem como as ferramentas utilizadas nessas categorias, desde o sensoriamento até a lógica de programação.

Palavras chave—Controle, Lógica de Programação, Robótica, Sensoriamento, Sumô.

I. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, seguindo o contexto da Quarta Revolução Industrial[1], pode-se notar que a indústria busca cada vez mais processos automatizados, qualificando sua produção, diminuindo erros e aumentando sua escalabilidade. Um dos pilares de destaque e algo comum em todos ramos industriais, é o controle aplicado sobre cada parte do processo para que, no fim, se chegue em um padrão de desenvolvimento adequado.

Com tamanha relevância da automação na sociedade, é necessário perceber que o que relaciona as perspectivas de avanço desta área, passam obrigatoriamente pela educação e iniciativas acadêmicas que instiguem um aprendizado do tema. Em especial, destacam-se as competições de robótica no Brasil, pois proporcionam um ambiente lúdico de conhecimento sobre os princípios da Indústria 4.0.

Esse cenário discutido é algo desenvolvido em muitas partes do mundo e cada vez mais ganha destaque. No Brasil, apesar de ser algo relativamente recente, não é novidade. Escolas, Universidades e Instituições Acadêmicas estão cada vez mais organizando equipes e competições para desenvolvimento dessa área emergente no país.

Uma das modalidades mais tradicionais é o Sumô de Robôs, derivado do esporte japonês que consiste em dois lutadores com objetivo de retirar o adversário para fora do campo de batalha. Na robótica, o desafio é desenvolver robôs que executam essa função, passando por uma enorme diversificação dos conhecimentos aplicados. Estes robôs precisam ser autônomos,

ou seja, o âmbito do controle é uma das principais áreas abordadas.

A RobotBulls [2], equipe de robótica do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), desenvolve pesquisas nas áreas de robótica e inteligência artificial aplicada a competições entre robôs de diversas categorias. Entre as áreas de pesquisa, destacam-se robôs em categorias como Seguidor de Linha, Futebol de Robôs, Combate, Sumô de Robôs, Drones, entre outros. Com sede no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial da instituição, a RobotBulls conta com integrantes dos cursos de graduação e pós-graduação do INATEL, além de professores orientadores. A Figura 1 apresenta o logotipo da equipe.

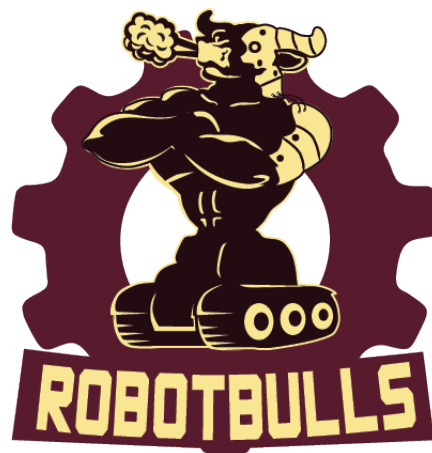


Fig. 1. Logotipo da equipe RobotBulls.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar as pesquisas realizadas nas categorias de Sumô de Robôs, englobando o Mini-Sumô, Sumô 3 kg Autônomo e Sumô 3 kg Rádio controlado, bem como o controle aplicado nessas categorias. A seguir será apresentado no capítulo II as regras gerais das categorias de sumô, no capítulo III os detalhes do desenvolvimento dos robôs, no capítulo IV os testes e resultados obtidos nas categorias e no capítulo V as conclusões que foram feitas sobre o desenvolvimento.

II. REGRAS

O Sumô de Robôs é baseado na arte marcial do sumô, esporte tradicional do Japão que é praticado entre duas pessoas em uma arena circular, chamada de dojô. Assim como no sumô de humanos, as batalhas de Sumô de Robôs ocorrem entre dois

robôs em um dojô. O objetivo da disputa é fazer com que o adversário toque o chão na área externa da arena. No Brasil as regras se diferem entre torneios, mas no geral seguem uma mesma diretiva baseada nas regras do *All Japan Robot-Sumo Tournament* (AJRST) [3], considerado como o maior torneio mundial de Sumô de Robôs.

A. Arena

Na categoria Mini-Sumô de 500 g e no Sumô-Lego, o dojô tem 77 cm de diâmetro e 2,5 cm de espessura, e seu material é o MDF (*Medium Density Fiberboard*). Já no Sumô de 3kg o dojô tem 1,54 m de diâmetro e 5 mm de espessura. O material do dojô do Sumô de 3 kg é o ferro [4]. A Figura 2 ilustra a vista superior do dojô.

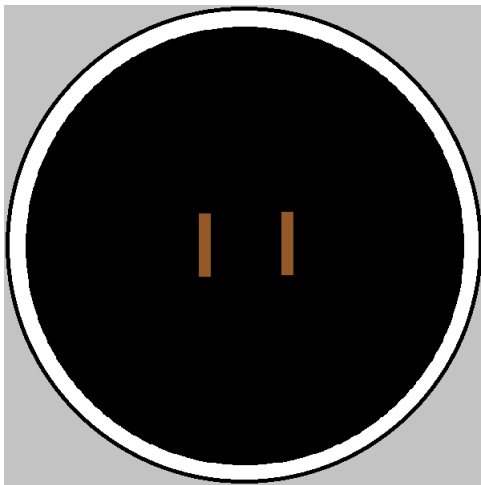


Fig. 2. Dojô.

Centradas no dojô, há duas linhas paralelas, que são chamadas de linhas *shikiri* ou linhas de início. Elas são as linhas que delimitam as áreas em que os robôs podem ser posicionados antes do início das partidas. As linhas *shikiri* devem estar pintadas de uma cor escura (marrom, por exemplo) para que não sejam reconhecidas por sensores de refletância que podem estar instalados nos robôs. A espessura de cada uma das linhas e comprimento são de 1 cm por 10 cm, respectivamente, para o Mini-Sumô 500 g e Sumô-Lego e de 2 cm por 20 cm para o Sumô de 3 kg [4].

Circulando a arena, há uma linha branca que delimita as bordas do dojô, chamada de *tawara*. A espessura da *tawara* é de 2,5 cm no Mini-Sumô e no Sumô-Lego e de 5 cm no Sumô de 3 kg [4].

B. Robôs

Os robôs de Sumô não podem ser equipados com armas que tenham como objetivo danificar o robô adversário ou dispositivos que possam interferir propositalmente nas aferições dos sensores ou no funcionamento do robô oponente [4].

Dentre cada categoria, os robôs têm diferentes limitações, apenas a altura é livre para todas. No Sumô-Lego, os robôs devem pesar no máximo 1 kg e não podem ultrapassar 15,2 cm de largura por 15,2 cm de comprimento. Ainda nessa subcategoria, os robôs devem ser construídos apenas com peças do Grupo LEGO e devem ser totalmente autônomos, isto é, sem nenhuma interferência humana durante a disputa [4].

Já no Mini-Sumô 500 g, os robôs devem ter no máximo 500 g e não podem exceder 10 cm de largura por 10 cm de comprimento. Assim como no Sumô-Lego, os robôs devem ser totalmente autônomos, porém não há limitações quanto às peças a serem utilizadas [4].

No Sumô de 3 kg os robôs não podem ter mais que 3 kg e o comprimento e largura máximos são de 20 cm. Não há limitações referente a peças permitidas, porém é recomendado que os robôs sejam construídos com ímãs em sua parte inferior, para aumentar a normal do robô com o solo do dojô. Esta modalidade ainda pode ser dividida em duas subcategorias, tem-se o Sumô de 3 kg Auto, em que os robôs são totalmente autônomos, e o Sumô de 3 kg RC, em que há a presença de um operador com um rádio controle para a disputa [4].

C. Disputas

A disputa no Sumô de Robôs pode ser dividida em três *rounds*, aquele que vencer dois deles, é o vencedor da batalha. Vale ressaltar que a disputa de um *round* termina apenas quando o robô adversário tocar o chão e não somente estar fora dos limites do dojô, assim como na Figura 3 [4].



Fig. 3. Derrota [3].

Nos intervalos entre os *rounds*, não são permitidas alterações na programação e nem mudanças mecânicas significativas nos robôs, como por exemplo troca de lâminas ou rodas. No entanto, são permitidas alterações sutis, como aperto de parafusos ou seleção de estratégia previamente programada [4].

No início de um *round*, ambos os robôs devem ser posicionados ao mesmo tempo no dojô em uma extensão da área que vai desde a linha *shikiri* até a *tawara*. Se o operador demorar para posicionar o robô no dojô, ele recebe uma advertência. O início da partida é feito através de um controle em posse do juiz, se o robô se mover antes do sinal do juiz, a equipe infratora também é advertida. Se uma equipe receber duas advertências, é declarado vitória no *round* para o outro robô [4].

Caso a duração de um *round* se estenda demais, é declarado empate. Caso haja sucessivos empates o juiz pode iniciar um novo *round*. Também é permitido ao juiz, caso os empates continuem ocorrendo, decretar um vencedor da batalha baseado em critérios previamente determinados [4].

III. DESENVOLVIMENTO

Todo desenvolvimento dos robôs visa criar estruturas capazes de executar, na prática, o projeto idealizado. Isso vale para qualquer categoria do sumô, pois a junção das etapas deste processo é responsável por seu bom funcionamento. Mecânica e eletrônica são planejadas de forma a atingir objetivos planejados na parte de controle, sendo necessário que exista uma comunicação de mão dupla unindo as partes físicas do robô com a lógica desenvolvida no *firmware*.

Por isso, o processo se inicia com a especificação da estratégia e consequentemente dos componentes, sendo necessário adotar um perfil prévio, podendo ser um robô forte, porém lento ou um robô rápido, porém fraco, visto que as principais grandezas, torque e velocidade, são inversamente proporcionais. Desta forma, os motores escolhidos devem ser condizentes com essa premissa, bem como a especificação de pneus, baterias, controladores e sensores. Após as especificações de componentes, os próximos passos são realizar o projeto eletrônico, a modelagem mecânica do robô, produção e montagem.

As estratégias mencionadas nada mais são do que os movimentos que o robô deve fazer para melhor atacar o adversário. São programadas diversas estratégias para um mesmo posicionamento, conforme, por exemplo, na Figura 4. Dessa forma, é de suma importância ter o domínio da velocidade do robô, seu torque, a distância que o sensor é capaz de identificar o adversário e seus pontos fortes e fracos. O controle dessas situações são mensurados na parte de *firmware* do robô, ou seja, em sua programação.

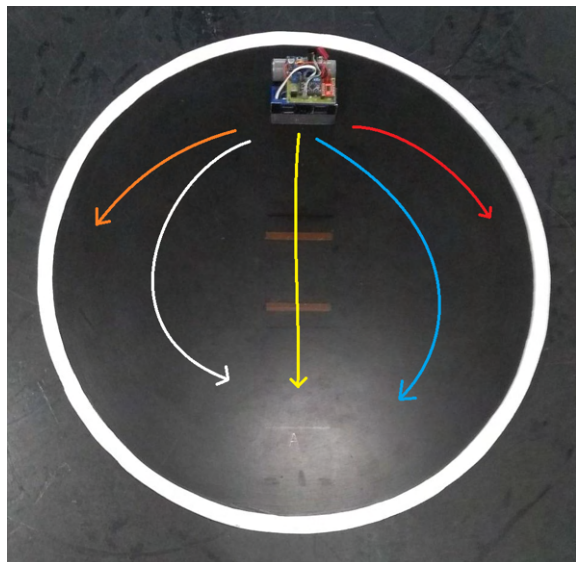


Fig. 4. Possíveis estratégias.

O controle básico nessas modalidades, dá-se ao enviar comandos aos motores que especificam o estado e a potência que o robô terá, para exemplificar, ao enviar um mesmo valor de potência em ambos os motores, o robô deve-se mover para frente. Da mesma forma, para executar uma curva ou girar, basta enviar uma potência maior em uma roda do que na outra. Essas situações básicas são boa parte do princípio de controle da movimentação do robô. Esses comandos serão executados em busca de colocar o robô na posição planejada para melhor enfrentar o adversário.

Nessa linha de pensamento, é necessário compreender que confrontos frontais nem sempre são a melhor estratégia, pois nessa situação teremos motores disputando forças uns com os outros. Porém, no encontro da frente do robô com a lateral ou traseira do robô adversário, a força motora do oponente pode ser desconsiderada, mostrando-se uma melhor escolha e tornando o duelo mais lógico do que apenas mecânico.

Outro ponto básico que merece destaque são as leituras do sensor que detecta o adversário. A quantidade de sensores a serem utilizados depende de outros fatores, mas a premissa é a mesma: ao detectar a presença, o robô toma uma decisão. Em um caso em que o robô possui dois sensores frontais, é comum que quando o lado esquerdo identificar um oponente, a potência do motor esquerdo deverá ser menor do que a potência do lado direito, tendo como resultado uma correção do ângulo do robô em relação ao adversário, fazendo com que em algum momento, a frente do robô esteja alinhada com o oponente, situação prevista quando os sensores identificam juntos, e assim, pode-se programar máxima potência para os dois motores com intuito de retirar o adversário do dojô.

Ao se tratar de sensores, existe a dificuldade de leitura para cores escuras ou superfícies com ângulo, pois os sensores utilizados são infravermelhos, ou seja, o emissor envia uma luz infravermelha e o objeto a ser identificado precisa refletir de volta ao receptor, conforme a Figura 5. Desta forma, é comum que os robôs sejam totalmente pretos e tenham uma modelagem angulada, fato que deve ser levado em consideração nas estratégias defensivas, pois se seu próprio robô seguir essas características, o adversário também encontrará dificuldade. Ao se tratar das estratégias ofensivas, o alcance considerado como região de detecção também deve prever essas situações.

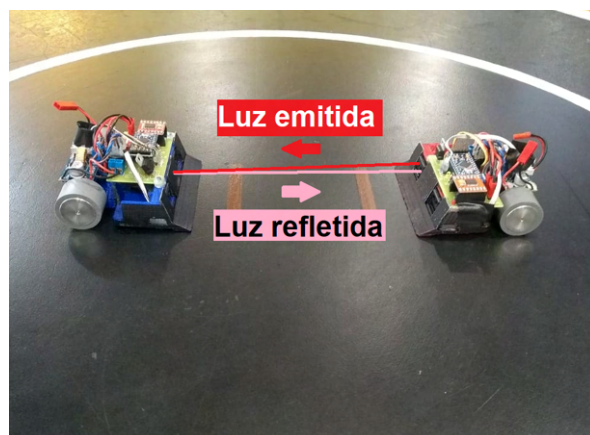


Fig. 5. Funcionamento do sensor infravermelho.

Na categoria Mini-Sumô 500 g o sensor utilizado é o JS40F [5], que possui um *range* em coloração preta de aproximadamente 40 cm, equivalente a aproximadamente 60% do tamanho total do dojô, que é de 77 cm. Já na categoria Sumô de 3 Kg o sensor utilizado é o BGS-Z30C [6], com aproximadamente 50 cm de detecção em coloração preta, valor que equivale a menos de 35% dos 154 cm do dojô da modalidade. Essa grande diferença faz com que seja imprescindível que o posicionamento do robô para ataque não possa ser tratado da mesma forma em ambas categorias. Uma vez que, nem sempre a área em torno do robô em que existe um alcance de detecção seja igual a área que foi visada na estratégia.

Outro fator importante é que a disputa ocorre entre duas equipes, ou seja, do outro lado também existe uma estratégia e uma movimentação, e assim, o planejamento não pode prever com precisão a posição do adversário. Desta forma, as estratégias são escolhidas de forma a mapear uma área específica em que se espera que o adversário esteja. Para

melhor exemplificar, analisando a Figura 6, pode-se identificar o ponto de partida do robô, sua movimentação e a área de detecção do sensor quando o robô girar em torno do próprio eixo.

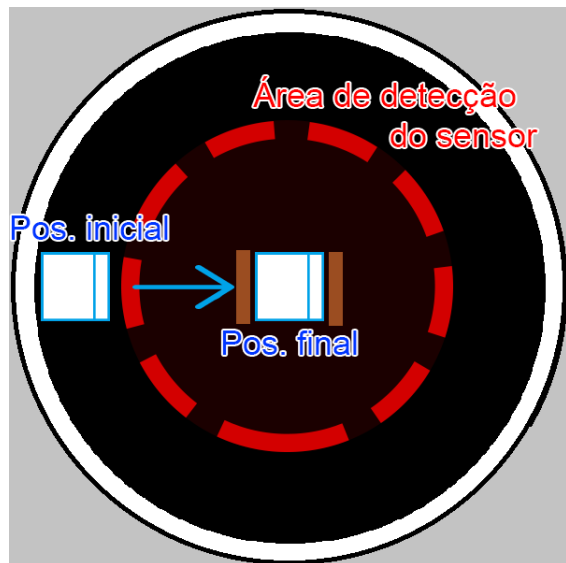


Fig. 6. Movimentação inicial e detecção do sensor.

Pensando em várias possibilidades, a área visada em cada estratégia pode não funcionar como se espera e o adversário não se encontrar lá, para estes casos, duas estratégias são válidas e bastante utilizadas. A primeira solução é continuar girando em torno do próprio eixo até que o sensor identifique algo. Já a segunda estratégia exige a utilização de sensores de refletância que fazem a distinção entre o dojô, que é preto, e a linha *tawara*, que é branca. Nessa opção, após não encontrar o adversário, o robô continua em movimento em direção a borda do dojô, até que o sensor de detecção ou o sensor de refletância seja ativado, caso encontre o adversário o robô deve atacar, caso encontre a linha branca, o robô deve recuar, girar e seguir a mesma ideia de busca.

Uma peculiaridade da categoria Sumô de 3 kg é que devido ao uso de ímãs para aumentar a força normal do robô, a modalidade possui outras variáveis que são importantes de se controlar, tornando-se mais complexa. Por exemplo, com uma força peso maior, para que o robô se desloque e saia da inércia inicial, é necessário um torque muito grande, exigindo uma corrente que muitas vezes supera 100 A e, por consequência, pode danificar diversos componentes. A mesma situação ocorre quando o robô encontra o adversário e precisa empurrá-lo para fora do dojô. Portanto o dimensionamento dos componentes não é o suficiente para contornar essas situações que limitam a vida útil dos componentes, sendo necessário executar uma movimentação mais consciente e um controle dos valores de corrente e temperatura dos motores. Isso também ocorre nas categorias menores do sumô, mas em dimensões muito inferiores, não exigindo a mesma rigidez de controle.

IV. TESTES E RESULTADOS

Os testes executados nas categorias de sumô são obtidos de maneira empírica, realizados com os robôs no próprio Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do INATEL

[2] e validados nas competições. As constantes são testadas para controle do robô, e as variáveis a serem observadas são diferentes em cada uma das categorias.

No Mini-Sumô de 500 g, os testes mostraram que um fator muito importante a ser observado é o centro de massa do robô, pois por ser uma categoria de menor peso, e também pela ausência dos ímãs, se o centro de massa não for bem regulado o robô pode apresentar diversos problemas. O ideal é que esse centro de massa fique localizado no centro do robô, com a parte inferior mais pesada que a parte superior.

Se por acaso o centro de massa ficar posicionado muito alto no robô, a tendência é que ele seja facilmente derrubado. Com isso, o controle a ser aplicado nesse caso é que o robô se mova mais devagar, evitando assim paradas bruscas e, consequentemente, o capotamento. Nos casos em que o centro de massa ficar deslocado para a esquerda ou para a direita do robô, o lado que ficar mais pesado pode desenvolver maior torque, fazendo com que o robô tenha uma tendência de ir para aquele lado, mesmo quando o deslocamento deveria ser em linha reta. Para compensar esse deslocamento, a potência a ser aplicada no motor mais favorecido é menor, para assim conseguir se locomover de maneira retilínea. Se o robô estiver com o centro de massa em sua parte traseira, o problema encontrado é que a frente do robô se levanta ao sair da inércia. A solução nesse caso é a aplicação de uma rampa de aceleração, para que assim possa se evitar que as acelerações bruscas façam o robô se levantar.

No Sumô de 3 kg, esse problema não é percebido, uma vez que o centro de massa do robô fora da arena se torna insignificante devido à aplicação dos ímãs. No entanto, também é necessário fazer o controle da velocidade do robô, pois um fator muito importante que influencia no bom funcionamento se dá no tempo de resposta dos sensores, motores e controlador utilizados. Esses parâmetros sempre são estudados antes de adquirir um componente. Foram testados sensores digitais e analógicos nessa categoria, e notou-se uma resposta muito mais rápida dos componentes digitais. Entretanto, por mais que os componentes sejam devidamente especificados, ainda existe um atraso em suas respostas e um atraso na transferência mecânica dos motores para as rodas, portanto, é impossível ter atraso zerado. Por isso, todas as decisões são tomadas tendo isso em mente, não é possível por exemplo, aplicar a velocidade máxima nos robôs durante a estratégia de busca do adversário, uma vez que a linha *tawara* não seria reconhecida a tempo pelo sensor de refletância e o robô acabaria por fim, saindo do dojô devido à inércia. Essa velocidade limite é especificada baseada em testes com o robô.

No que se trata da utilização da metodologia aplicada, nota-se um grande destaque para a equipe nas últimas competições disputadas. No Mini-Sumô, foram conquistados diversos troféus, entre eles estão o terceiro lugar na *Winter Challenge 2019* e o primeiro lugar na *IRON Cup 2020*, além da presença entre os oito melhores colocados no último *All Japan Robot-Sumo Tournament (AJRST)*[3], em 2019, que é considerado o maior torneio do mundo no âmbito do Sumô de Robôs. Após o título na *IRON Cup 2020*, foi garantida a presença no AJRST de 2020, porém essa edição do torneio foi postergada.

Na categoria do Sumô de 3 kg, destaca-se o primeiro lugar na categoria Auto na *Winter Challenge* de 2019, segundo lugar na categoria RC nessa mesma competição, terceiro lugar na categoria RC na *IRON Cup* 2020 e a participação no *All Japan Robot-Sumo Tournament* de 2019 [7]. Na Figura 7 estão presentes os últimos troféus conquistados nessas categorias.



Fig. 7. Troféus da *Winter Challenge* e *IRON Cup*.

V. CONCLUSÃO

Mediante ao assunto tratado e ao contexto em que se aplica, é notório que cada vez mais são encontradas soluções através de mecanismos de controle e raciocínio lógico, fazendo justiça aos princípios da engenharia e da Quarta Revolução Industrial. Deste modo, aplicar os conhecimentos presentes nas tecnologias atuais de forma lúdica em competições de robótica, cria um ambiente controlado de aprendizado e desenvolvimento de mão de obra qualificada e novas pesquisas acadêmicas.

O planejamento do robô inclui mais parâmetros do que apenas o controle, fazendo com que outros conceitos e outras áreas sejam trabalhados. Tal que, a união de cada uma delas e a necessidade de integrar e sincronizar todo projeto, exige um aprendizado que vai além de controlar motores, é necessário controlar todas etapas, indo da seleção de componentes, mecânica, eletrônica até de fato chegar no firmware do robô. Situações comparáveis ao nível de dificuldade e concentração de atividades desenvolvidas pelo setor industrial.

A importância do controle aplicado no projeto se mostrou primordial para os resultados obtidos nos últimos torneios, validando a metodologia aplicada. Mas, é importante ressaltar que a área responsável pelo controle de um robô desenvolvido para competições, abre portas para diversas outras aplicações industriais, visto que os princípios utilizados podem controlar outros processos, outras máquinas e até mesmo ser utilizados para aperfeiçoamento de tecnologias existentes.

Utilizando das experiências passadas e da dedicação aos estudos nessa área, é possível observar uma grande melhora no controle prático dos robôs, obtendo resultados de destaque no cenário nacional. Porém, a equipe possui ambições de melhorar o sistema de controle aplicados aos robôs, a fim de aprender mais sobre o tema e aumentar o nível de qualidade dos projetos desenvolvidos.

REFERÊNCIAS

- [1] Portal da Indústria. *Indústria 4.0: Entenda seus conceitos e fundamentos*. URL: <http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/> (acesso em 21/04/2021).
- [2] Página da web da equipe de robótica do Inatel – Robot-Bulls. URL: inatel.br/robotica (acesso em 16/03/2021).
- [3] Fujisoft. *All Japan Robot-Sumo Tournament*. URL: <https://www.fsi.co.jp/sumo/robot/en/index.html> (acesso em 16/03/2021).
- [4] Fujisoft. *All Japan Robot Sumo Tournament Official Regulation*. URL: <https://www.fsi.co.jp/sumo/robot/en/rule.html> (acesso em 17/03/2021).
- [5] JSumo. *JS40F Digital Distance Sensor*. URL: <https://www.jsumo.com/js40f-digital-distance-sensor-min-40-cm-range> (acesso em 17/03/2021).
- [6] Optex. *Photoelectric Sensor Z Series*. URL: https://www.ramcoi.com/customer/docs/SKUDocs/optex_bgs-z_manual.pdf (acesso em 17/03/2021).
- [7] RoboCore. *RoboCore Eventos*. URL: <https://events.robocore.net/> (acesso em 19/03/2020).

Estudo Sobre o Desenvolvimento de um Robô de Combate Categoria FairyWeight

Alexandre Baratella Lugli, Egídio Raimundo Neto, Lucas de Oliveira Saldanha,
Rafael Augusto Ribeiro Costa, Thaís Escobar Alves, Wanderson Eleutério Saldanha
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
baratella@inatel.br, egidio.neto@inatel.br, lucassaldanha@gea.inatel.br, r.augusto@gea.inatel.br,
thaisescobar@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

Abstract—This document presents the studies carried out by the RobotBulls team, for the development of a FairyWeight Combat robot. Conducted at the National Institute of Telecommunications - INATEL, these studies aim at the participation of the team in robotics competitions. To fully understand the project, the stages of development and the results achieved are presented in detail
Index Terms—Combat, Competitions, FairyWeight, Robotics.

Resumo—Este documento apresenta os estudos realizados pela equipe RobotBulls, para o desenvolvimento de um robô de Combate FairyWeight. Realizados no Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, esses estudos têm como objetivo a participação da equipe em competições de robótica. Para a compreensão do projeto em sua totalidade, são apresentados detalhadamente as etapas de desenvolvimento e os resultados alcançados.

Palavras chave—Combate, Competições, FairyWeight, Robótica.

I. INTRODUÇÃO

A *RobotBulls*, equipe de robótica do Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, desenvolve diversas pesquisas e projetos envolvendo a área de robótica e inteligência artificial para competições de robótica de níveis nacionais e internacionais [1].

Uma dessas competições, a *Inatel Robotics National Cup - IRONCup*, é organizada pelo Inatel em parceria com a RoboCore, empresa pioneira no desenvolvimento da robótica nacional. Esse evento tem duração de três dias e na sua 4ª edição, sediada em 2020, aproximadamente 300 robôs foram desenvolvidos por cerca de 600 participantes de mais de 50 instituições de todo o país e até mesmo do exterior [2]. A dimensão e organização do evento pode ser observada na Figura 1.



Fig. 1. Premiação da IRONCup 2020.

Nesse mesmo ano, além das tradicionais categorias de Futebol e Sumô de Robôs, Seguidor de Linha, Robô *Trekking* e Combate *AntWeight*, iniciou a 11ª categoria da competição, a de Combate *FairyWeight*.

A equipe aproveitou a oportunidade para desenvolver seu primeiro robô nesta modalidade. Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre a categoria, bem como, detalhar o processo de desenvolvimento de um projeto de combate 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, por fim, na seção V são apontadas as conclusões desse estudo.

II. REGRAS

Em competições de robôs *FairyWeight*, certas regras devem ser seguidas. Dentre elas:

A. Especificações do Robô

Nessa categoria, o robô não tem um limite para as dimensões. No entanto, deve respeitar o peso limite dessa classe, sendo o mínimo 60g e o máximo 150g. Além disso, deve contar com uma sinalização luminosa para indicar que a sua força principal está ativa. [3].

B. Ambiente de Competição

A competição do *FairyWeight* ocorre dentro de uma arena blindada com 2m de largura, 2m de comprimento e 1m de altura, conforme mostrado na Figura 2. Contra os enormes impactos causados pelos robôs de combate, a arena possui piso de aço e proteção lateral e superior em policarbonato [3].

Durante o evento, todas as partes da arena estão sujeitas a deformações que podem ocasionar desníveis e detritos no piso [3].

C. O Combate

Com 2 robôs na arena, as disputas seguem o formato de Dupla Eliminação Modificada, com *rounds* de duração máxima de 2 minutos, no qual o competidor inicia na “árvore dos vencedores” e move-se para “árvore dos perdedores” após a primeira derrota. O competidor é eliminado após a segunda derrota. A competição termina com o combate entre o vencedor da “árvore dos vencedores” com o vencedor da “árvore dos perdedores” em um único *round* [3].

As chaves são definidas de forma aleatória pelo sistema da organização do evento [3].

D. Definição do Vencedor do Round

Dentre algumas situações que podem levar um robô a perder um *round*, temos [3]:

- Desistência;
- Caso ambos os robôs tornem-se incapacitados ao mesmo tempo, o *round* será definido pelos jurados;
- Não mostrar movimentação controlada;
- Ficar preso na arena, onde nenhuma intervenção é permitida.

Nos dois últimos casos, será aberta uma contagem de 10 segundos e ao final, o robô será declarado perdedor por TKO - *Technical Knock Out*. Se houver algum ataque do oponente durante a contagem, esta será reiniciada [3].

Todos os outros casos serão julgados por um trio de jurados. A decisão dos jurados será a final [3].

E. Inspeção de Segurança

Antes do início das competições, os robôs passam por 2 inspeções de segurança. Na primeira inspeção, que é a estática, os juízes avaliam se o robô está dentro do limite de peso e se possui as proteções adequadas na arma e na locomoção. Também é realizada uma análise interna do robô, na qual avaliam a eletrônica, verificam terminais expostos e fazem a aprovação da bateria [3].

Posteriormente, na arena, é realizada a inspeção dinâmica. Nessa etapa, é assegurado que o robô está recebendo o sinal adequado e sem interferência do controle, e que o robô para completamente quando perde esse sinal. Também é verificada a trava de segurança da arma em operação e, sem a trava, verificam se a arma é capaz de parar completamente em menos de 60 segundos após ser remotamente desativada. Por fim, avaliam o funcionamento da chave geral do robô, e a visibilidade da luz que indica se a sua força principal está ativada [3].

A Figura 2 apresenta a arena de combate utilizada em competições.



Fig. 2. Arena de combate utilizada em competição.

III. DESENVOLVIMENTO

O primeiro robô da categoria *FairyWeight*, denominado *TinkerBull*, foi projetado e montado em menos de um mês, com o objetivo de participar da *IRONCup* 2020. As etapas de desenvolvimento serão especificadas a seguir.

A. Componentes

O primeiro passo do desenvolvimento foi a escolha dos componentes necessários para o funcionamento do projeto. Os componentes foram escolhidos levando em consideração a disponibilidade dos produtos no laboratório da equipe e o peso máximo que um robô da categoria pode ter. Os seguintes componentes foram especificados:

- 1 bateria LiPo 2s 7,4V 300mAh, para a alimentação dos componentes;
- 2 motores DC (*Direct Current*) Pololu modelo N20 de 6V, com uma caixa de redução de 30:1. Cada motor e sua respectiva caixa de redução, quando sem carga, pode chegar a uma rotação de até 1100RPM (*revolutions per minute*) [4];
- 1 microcontrolador *Baby Orangutan* - B328, também do fabricante Pololu [5];
- 1 transmissor e 1 receptor *Turnigy 5x 5ch*.

A Figura 3 ilustra os componentes utilizados:

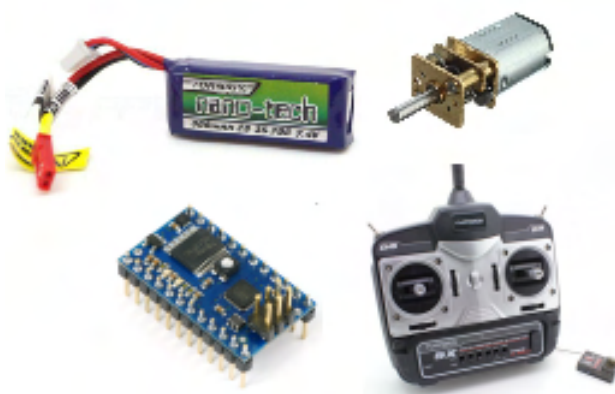


Fig. 3. Componentes utilizados no *TinkerBull*.

B. Eletrônica

O projeto eletrônico do robô é composto pelo microcontrolador *Baby Orangutan*, responsável por gerenciar os sinais de entrada e saída.

Esse componente contém uma ponte H dupla que distribui a potência dos motores. Esses, por vez, permitem a locomoção do robô ao transferirem o giro de seu eixo para as rodas ali acopladas.

O microcontrolador é pré-programado na linguagem C++. O ambiente de desenvolvimento integrado utilizado é o Arduino IDE.

C. Controle

Para que o robô possa responder aos comandos do piloto, que fica localizado do lado de fora da arena de combate, é utilizado um rádio controle *Turnigy 5x*, com 5 canais e que opera na frequência de 2,4GHz. Seu receptor, que fica dentro do *TinkerBull*, recebe os comandos do controle do piloto e os envia para o microcontrolador (sinais de entrada).

D. Mecânica

O modelo do robô foi projetado em um *software* de modelagem 3D chamado *SolidWorks*.

Com essa ferramenta, é possível esboçar o modelo do robô, conforme mostrado na Figura 4, atribuir características do material a ser utilizado na confecção e assim, verificar se o peso de todo o conjunto vai atender ao limite da categoria.

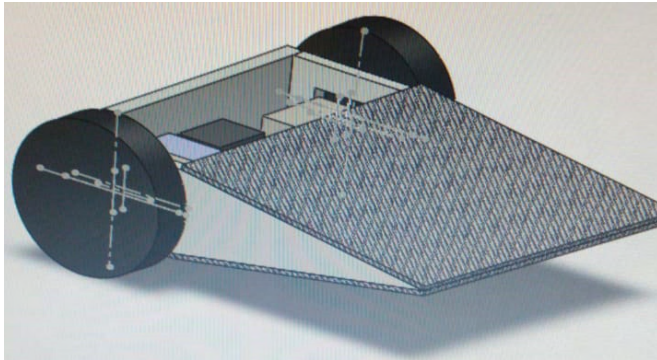


Fig. 4. Protótipo desenhado no *SolidWorks*.

A carcaça lateral foi feita em Teflon (PTFE). Além de ser um material resistente, já havia disponível no laboratório uma placa de PTFE com espessura de 8mm, o que permitia construir o projeto a tempo para a competição.

O corpo do *TinkerBull* foi desenvolvido no modelo interligado, no qual as estruturas são unidas através de parafusos e chapas de ferro, ilustrado na Figura 5.

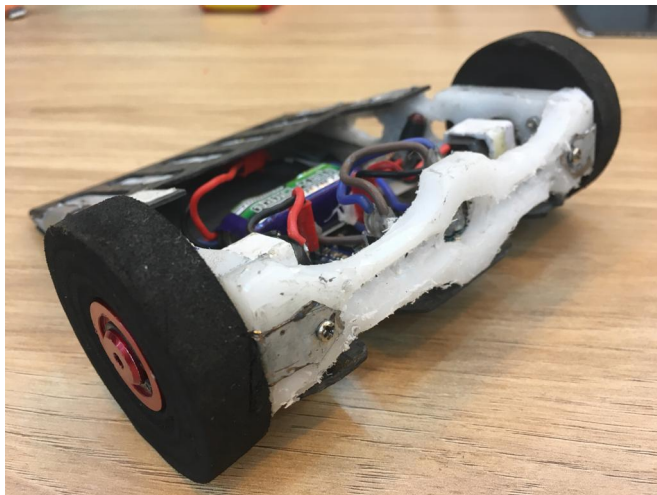


Fig. 5. Visão traseira do *TinkerBull*.

O robô foi projetado sem uma arma ativa, ou seja, sem possuir uma arma giratória capaz de causar grandes danos nos adversários. Logo, a sua parte frontal é inclinada com o objetivo de rampar os adversários. Ou seja, de acumular pontos nos *rounds* ao levantá-los e empurrá-los pela arena ou até mesmo ao capotá-los se o choque for em alta velocidade.

Para as tampas inferiores e superiores, foram utilizadas placas de fibra de carbono, um material bem resistente e leve. E inicialmente, para reforçar ainda mais a frente do robô, foi considerada a ideia de utilizar uma pequena chapa de ferro.

O robô foi confeccionado com 110mm de largura e 133mm de comprimento, tamanho grande para uma categoria desse porte. Além disso, a placa de PTFE disponível era 5mm mais espessa do que a considerada no *SolidWorks*. Consequentemente, após a

montagem, só com a caracaça e as rodas, o peso já ultrapassava 20g do permitido, conforme mostrado na Figura 6.

Com a inclusão dos componentes eletrônicos, o peso aumentou ainda mais, chegando próximo a 200g. Logo, foi necessário descartar o uso da chapa de ferro na ponta da rampa e realizar furos na carcaça lateral e nas tampas, conforme mostrado na Figura 7, a fim de retirar material e diminuir o peso para 150g.



Fig. 6. *TinkerBull* acima do peso.

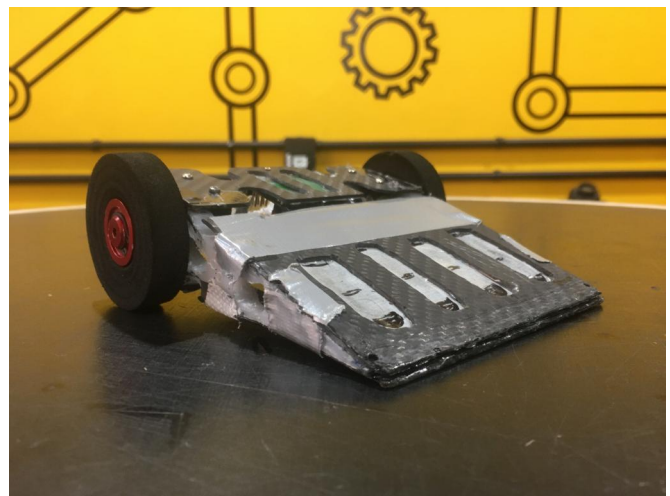


Fig. 7. Versão final do *TinkerBull*.

IV. TESTES E RESULTADOS

Todos os testes dos robôs da categoria de combate são realizados dentro do próprio laboratório da equipe *RobotBulls*. Por serem robôs voltados para o combate dentro de uma arena especializada, torna-se perigoso o manuseio do projeto sem tomar os devidos cuidados. Por isso, é necessário fazer uso de

dispositivo de travamento de arma e de um suporte de proteção da locomoção, bem como a utilização de equipamentos de proteção individual pelos operadores.

Em um cenário ideal, os testes aconteceriam dentro de uma arena própria para o combate, mas como ainda não é uma estrutura acessível, a realização dos testes ocorre em uma superfície relativamente lisa similar à da arena, onde é analisado principalmente a locomoção do robô. Sua movimentação deve ser a melhor possível, visto que a todo momento durante a luta, o robô estará em movimento.

Os principais fatores observados e posteriormente corrigidos que interferiram em sua locomoção são seu centro de massa mal distribuído e a dianteira da rampa mal instalada. Esses fatores podem ocasionar uma complicação na locomoção, dificultando o controle do robô em questão.

Além disso, outro teste que pode ser realizado para robôs ditos como “ativos”, é o da utilização da arma. Neste caso, é analisado basicamente a potência do seu recurso de ataque e sua área de impacto. No *TinkerBull* não é necessário a realização deste teste, já que se trata de um robô do tipo “passivo”, no qual sua arma é uma rampa.

A participação da equipe *RobotBulls* em campeonatos desta categoria é recente, tendo em vista que a sua estreia aconteceu na 4ª edição da *IRONCup*, sediada em março de 2020, na cidade de Santa Rita do Sapucaí – MG. Apesar de ser a primeira participação, a equipe teve destaque em sua estreia obtendo o quinto lugar entre 27 robôs na competição, garantindo a vitória em duelos contra equipes de destaque na categoria como a *RioBotz*, da Universidade PUC Rio, do Rio de Janeiro.

Vale ressaltar que por ser um projeto inicial na categoria *FairyWeight*, o robô atendeu a várias expectativas e proporcionou ideias nas quais se pode trabalhar para melhorá-lo. A troca por componentes menores e por material mais leve para a carcaça, por exemplo, são métodos que podem tornar o robô mais compacto e com melhor distribuição de peso, mas sem perder sua característica de rampa.

V. CONCLUSÃO

Por se tratar do primeiro robô da categoria de Combate *FairyWeight*, nota-se um resultado bastante satisfatório no próprio desenvolvimento do projeto e no desempenho durante a participação da *IRONCup* 2020.

Mesmo com 2 derrotas nas 5 lutas disputadas, todas contra robôs de arma ativa, o projeto manteve-se conservado e sem grandes danos. Além disso, em comparação aos outros robôs da categoria, um ponto forte observado foi a alta velocidade final na locomoção do *TinkerBull*, que se manteve durante os 2 minutos de cada *round*. O resultado é consequência do bom desempenho dos componentes eletrônicos escolhidos somado ao diâmetro de 44,45mm das rodas utilizadas. No entanto, mesmo com uma boa estreia na competição, o objetivo é melhorar em todos os aspectos as características do robô em busca de um melhor desempenho e colocação.

Para projetos futuros, estuda-se uma melhor maneira de distribuir o seu peso fazendo com que possa focar mais em sua estrutura, de forma a deixar sua carcaça mais completa e resistente na medida do possível, além de buscar novos e menores componentes que possam substituir os atuais.

Através do desenvolvimento do robô, adquire-se conhecimentos voltados para várias áreas da engenharia, como eletrônica, mecânica e *firmware*. Além de melhorar as atividades lógicas e trabalho em equipe, proporcionando um crescimento pessoal e profissional.

REFERÊNCIAS

- [1] INATEL. *Equipe de robótica do Inatel – RobotBulls*. URL: inatel.br/robotica (acesso em 18/02/2021).
- [2] INATEL. *Vídeo demonstrativo da IRONCup*. URL: https://www.youtube.com/watch?v=B_ig8BGkDIA (acesso em 20/02/2021).
- [3] RoboCore. *Regras da categoria de Combate*. URL: https://www.robocore.net/upload/attachments/robocore__regras_combate_225.pdf (acesso em 20/02/2021).
- [4] Pololu. *6V High-Power Carbon Brush (HPCB) Micro Metal Gearmotors*. URL: <https://www.pololu.com/product/3072> (acesso em 21/02/2021).
- [5] Pololu. *Baby Orangutan B-328 Robot Controller*. URL: <https://www.pololu.com/product/1220> (acesso em 21/02/2021).

The Study of the Digital Twin Concept and its Application in a Prototype for Light Control

Rafaela Cristina Ferraz, Guilherme Dinarte Marcondes, Iago Luiz da Cruz Barbosa
and Renzo Paranaíba Mesquita

Abstract—Taking into account the need for quality production and resource savings in the current scenario where technology is extremely present in society, Digital Twin offers a series of benefits capable of optimizing manufacturing processes, better assure the operation of products during their life cycle and provide data for more accurate and efficient maintenance. In order to better understand this concept and its practical operation, this work aims to study and apply the Digital Twin concept in a prototype of a light bulb control system using two widely used technologies: Unity and Arduino.

Index Terms—IoT, Digital Twin, Unity, Arduino.

I. INTRODUCTION

The technology has been very important in today's society due to the benefits it provides not only to people's lives in general, but also to industries and companies. Some benefits brought by the technological revolution in a corporate context for example are cost reduction, increase of productivity, optimization and better automation of processes. Computing management platforms and simulation techniques for instance have facilitated these processes since the 1950s [1]. The main objectives of simulating processes, products and systems are to describe their behavior, to analyze and develop hypotheses based on their operation to predict and study their behavior in certain future situations or even on demand in order to avoid unfavorable results.

With the technological advances experienced specially in 2000s, there has been an increase in the consumption of digital connected products that produces different kinds of data. Such products range from simple gadgets for personal use to complex machinery inside industries. These connectivity gave birth to a new concept called Internet of Things (IoT), that was coined in 1999 by Kevin Ashton at MIT to describe the idea of connecting objects to the internet. For the specialist, the IoT would be able to reduce, optimize and save energy and natural resources, since the volume of data collected by technology could anticipate movements and behaviors, adjusting their functions for better performance. Thanks to it, the management and simulation of objects behavior has been taken to another level, easing the creation of the Digital Twins (DTs) [2].

The DTs are digital representations of real objects or systems, developed mainly to observe them, optimize their performance, production and useful life. It also can be used to reduce costs of simulations that can be made on the digital replicas. Although DTs applications are mostly used in the industrial sector, this concept is extending to several other areas such as healthcare and smart cities. In a manufacturing

system, for example, it is possible to use it in order to monitor the production line, identify possible problems in the equipment to avoid many breaks during production and to analyze and test improvements before implementing them.

One great example of DTs application is the Tesla case. Each car manufactured by them has its own DT and through sensors, the system can detect problems in the vehicle and request, for example, the download of some software. In addition, as the company is constantly collecting information from its vehicles, it is possible to combine this data to develop improvements for a larger number of cars instead of correcting problems individually [3] [4].

As the concept of DTs are gaining huge prominence these days, the purpose of this paper is to carry out a research to better understand its idea, briefly present some important applications of this concept presented in the recent literature and implement a practical DT prototype capable of managing a set of leds. This paper is organized as follows: section II better describe DTs concepts, its historical and some challenges issues. Section III presents some modern applications presented in the literature. Section IV presents details about the proposed prototype, and finally, in section V, authors conclusions are presented.

II. THE DIGITAL TWIN CONCEPT

The Digital Twin is a digital replica of a physical entity in the real world. Such representation must accurately describe the characteristics of its real twin in order to optimize the performance of the physical object and perform simulations and analyzes with the data collected from the real world through sensors. The concept was initially applied by NASA with the purpose of assisting in the operation, maintenance and repairs in the Apollo 13 mission [5].

Currently the applicability of Digital Twin is wide, but it is mainly used in the industry to monitor, evaluate and optimize the time of the manufacturing processes, reduce expenses and enhance the useful life of the products. In addition, the application in the health area is growing fast once it is much easier and safer to make tests and simulate possible health problems in digital replicas than in actual people [4].

The major difficulty for the application of Digital Twin is regarding the information collected. It is necessary to determine which types of data are important for each application because distorted or missing data can lead to errors. Another important point is the number of sensors that will be ideal to

avoid confusion with excessive details or inaccuracies due to the lack of information [6].

III. RECENT DIGITAL TWIN APPLICATIONS AND RESEARCH

Even though the concept of DT has been used by NASA in the 70's, apply it was always a challenge due to the lack of technology available. In the last decade, thanks to the advance of technology, cheaper hardwares and high speed networks, its use is becoming much more popular these days. The following subsections present some important DT applications found in the recent literature.

A. Creation of Helicopter Dynamic Systems Digital Twin using Multibody Simulations.

The work developed by Guivarch et al. [7] presents in details the construction of a DT to be applied in helicopter systems. The complexity of helicopter systems leads to the creation and validation of digital subsystem twins, using advanced “multi-body” simulations linked to experimental data. The proposed approach was illustrated by presenting useful developments for the creation of a subsystem DT that constitutes a “swashplate” rotor assembly. This model takes into account the flexibility of the swashplates and the double row angular contact ball bearing. This model was powered, tested and validated thanks to the experimental data provided by the bench and flight tests. New flight configurations of this DT will be tested to improve the robustness of the approach and new aerodynamic inputs will be used to increase the model's representativeness for higher frequency excitations.

B. Digital twinning of an object: Application of the stage of creating a public streetlight

The work carried out by Silva [8] presents an application of a basic but useful DT capable of monitoring public streetlights. It involves the use of sensors on the lamp posts to capture internal and external data to subsequently verify the need for maintenance. It also helps to control the luminous intensity according with the external environment, thus, collaborating with saving energy and resources. However, there are obstacles to be considered such as the understanding of the physical world and its natural phenomena and the wide variety of parameters to be analyzed. In addition, it was highlighted that, for the creation of a DT, there is not only a need to use sensors connected to the physical objects, but also a stable Internet connection.

C. Human Digital Twin for Fitness Management

The research carried out by Barricelli et al. [9] addresses the use of SmartFit software with the application of DT in a team of athletes. SmartFit allows a user to monitor the behavior and health of athletes through sensors attached to their body in order to identify habits that need to be modified or avoided. Whenever new data is available, all information obtained is processed by a machine learning algorithm which, over time, indicates that the training process must change

someway. However, it is concluded that the investigation and development of an incremental learning method will be necessary since they are developed specifically to handle limited memory resources and real-time processing, without sacrificing the accuracy of the model.

D. Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues

The work carried out by Lu et al. [10] reviews the current status and advancement of DT application in smart manufacturing. It discusses seven crucial research issues for developing Digital Twin applications for smart manufacturing. The authors highlights that constructing mature Digital Twin needs a standardized information model, high-performance data processing, and industrial communications to work together. Existing standards in the manufacturing and industrial control domain need to be used where appropriate. The dedicated standard for Digital Twin smart manufacturing being developed by ISO can be the starting point for consolidating research efforts in this space. The authors also believe that researches on standards, communication protocols, time-sensitive data processing, and reliability need to be the priorities for the next stage of the research while focusing on application scenarios of DT.

IV. THE PROPOSED DIGITAL TWIN PROTOTYPE

Aiming to put in practice the concepts previously reviewed, a prototype of DT was developed. It can be implemented both in public lighting and in industries, helping to control quality and energy consumption. This idea was applied based on the ease of creating the physical and virtual worlds, due to the simplicity of identifying errors and successes, and mainly because it is a real problem. Figure 1 shows the three main technologies and their interactions to create the prototype.



Fig. 1. Core technologies used to create the proposed prototype.

The developed system consists of three main parts that communicate with each other: Arduino, Unity and MySQL Database that were chosen due to their popularity as well as their wide variety of resources available for use.

Arduino [11] is a free, single board hardware electronic prototyping platform designed with a microcontroller with input and output support that enables the development of prototypes using various devices such as sensors, displays, LEDs, buttons, etc. Prototypes can be programmed from C and C++ languages.

Unity [12], also known as Unity3D or UnityEngine, is a development platform focused mainly on 2D and 3D games.

In addition, Unity is characterized by the possibility of developing applications for various platforms such as desktops, mobile devices, videogame consoles and web browsers. The programming language used to code the virtual environment in Unity was C Sharp.

MySQL [13] is an open-source relational database management system that uses the SQL language, allowing programmers to create, modify, and extract information from a database.

In this prototype, the Arduino represents the physical domain of the DT in which it is possible to control the status of the lights physically. Unity, on the other hand, represents the virtual domain where besides controlling the lamps reflecting on the physical environment, it performs logical operations and data analysis that are sent and stored in the MySQL Database.

For the execution and test of the DT prototype system, it was performed a real control of the lamps through the buttons implanted in the Arduino, as showed by Figure 2. Through the serial port the Arduino sends the data to Unity (the virtual domain) that not only can receive the data, but also is able to control the status of the lights remotely, i.e., the communication between the real and virtual domain is bidirectional. By controlling the lights through the virtual domain, commands are also sent to the serial port so that changes can also occur in the physical domain.

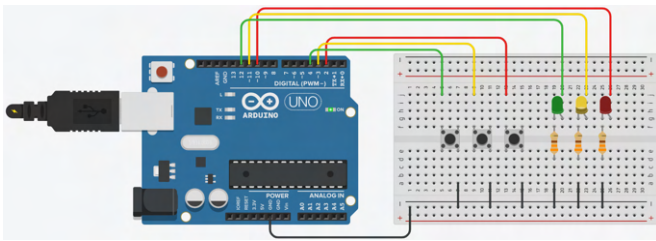


Fig. 2. Physical domain of the DT prototype using an Arduino Uno.

In the virtual domain, data is collected for each lamp together with their state (on or off). The time they were on is also calculated to be sent to the MySQL Database, in order that they can be used in future analysis.

The code implementation in the Arduino is basically a logic in which when one lamp is lit the others are turned off. In Unity, besides this same logic applied to a 3D virtual environment, more features were implemented such as counting the time each lamp was lit and the connection with the database using the MySql library for storing the collected information. In addition, with the help of threads and the database connection itself, it was possible to simultaneously query the total time each light bulb was on.

The virtual domain is also able to retrieve stored data from the database and perform some basic analysis, such as better understand if one lamp is reaching the end of its lifetime. Figure 3 depicts an example of the virtual domain in action inside Unity.

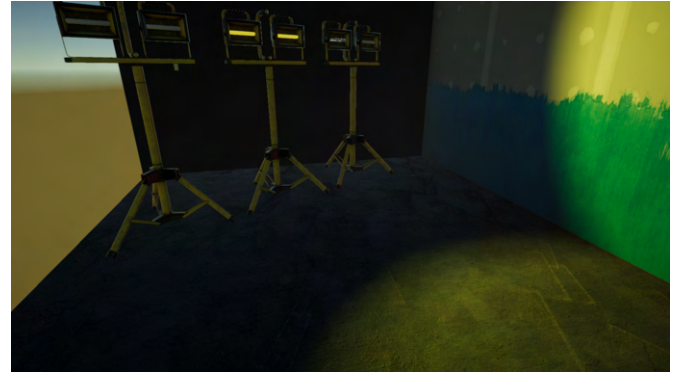


Fig. 3. Virtual domain of the DT prototype inside Unity.

V. CONCLUSIONS

During this research it was possible to realize how the application of DT can provides several benefits for industrial systems, smart cities, healthcare and IoT objects in general, bringing more precision to the management of different sort of devices, and consequently improving direct or indirectly people lives and systems reliability.

Despite of the simplicity of the prototype created, it was possible realize in a practical perspective how DT can be useful and how making this bridge between physical and virtual world can be challenging. During the development of the prototype, the main challenge faced was the connection between the platforms in order to achieve a clear and efficient communication. As the real and virtual environments needed to be in constant communication and working simultaneously, it was necessary to filter the data so that only what mattered for the project was taken into consideration, avoiding excessive information that could cause some kind of interference.

An improvement for this work would be to implement an intelligent public lighting system based on multiple source of data such as weather and people movement in some real street. In addition, it is worth emphasizing the importance of investigating possible technical failures and their solutions, analyzing the amount of energy spent, researching and testing alternative ways of saving energy in order to extend the useful lifecycle of each lamp.

REFERENCES

- [1] E. Saliby, "Tecnologia de informação: Uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas," 1999.
- [2] i SCOOP, "The internet of things (iot) – essential iot business guide."
- [3] A. Fuller, Z. Fan, C. Day, and C. Barlow, "Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108952–108971, 2020.
- [4] M. Purdy, R. Eitel-Porter, R. Krüger, and T. Deblaere, "How digital twins are reinventing innovation," 2020.
- [5] R. Impacta, "Digital twin: entenda essa tecnologia!," 2019.
- [6] F. Tao and Q. Qi, "Make more digital twins," *Nature*, vol. 573, pp. 490–491, Sept. 2019.
- [7] D. Guivarch, E. Mermoz, Y. Marino, and M. Sartor, "Creation of helicopter dynamic systems digital twin using multibody simulations," *CIRP Annals*, vol. 68, no. 1, pp. 133–136, 2019.
- [8] R. B. da Silva, "Gêmeo digital de um objeto: Aplicação da etapa de criação de um poste de iluminação pública," 2019.

- [9] B. R. Barricelli, E. Casiraghi, J. Gliozzo, A. Petrini, and S. Valtolina, "Human digital twin for fitness management," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 26637–26664, 2020.
- [10] Y. Lu, C. Liu, K. I.-K. Wang, H. Huang, and X. Xu, "Digital twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 61, p. 101837, Feb. 2020.
- [11] Arduino, "Arduino - home." Available in <https://www.arduino.cc>. Accessed in 01/2021.
- [12] U. Technologies, "Unity real-time development platform." Available in <https://unity.com/>. Accessed in 01/2021.
- [13] O. Corporation, "Mysql." Available in <https://www.mysql.com>. Accessed in 01/2021.

Otimização dos treinamentos para os iniciantes da equipe de Maratona de Programação do Inatel

Bernardo D. Gandolpho, Lucas A. Marques, Luciano V. Ribeiro
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
bernardo.dalboni@gec.inatel.br, lucas.a@gea.inatel.br, lucianovale@inatel.br

Abstract—This article contains the results obtained during the training of the beginners of the CodeTroopers team given during the year 2020. The work aimed to optimize the learning of new students from Inatel and the preparation for programming competitions. The focus of this Scientific Research is to develop teaching strategies and change them according to the feedback given by the students, in order to seek the best teaching methodologies and apply them in the training of subsequent semesters.

Index Terms—Algorithms, optimization, programming, training

Resumo—Este artigo contém os resultados obtidos durante os treinamentos dos iniciantes da equipe CodeTroopers ministrados durante o ano de 2020. O trabalho teve como objetivo a busca pela otimização do aprendizado dos novos alunos do Inatel e a preparação para competições de programação. O foco desta Iniciação Científica é elaborar estratégias de ensino e alterá-las de acordo com o retorno dado pelos alunos, de forma a buscar as melhores metodologias de ensino e aplicá-las nos treinamentos de semestres posteriores.

Palavras chave—Algoritmos, otimização, programação, treinamento

I. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, com o crescimento da relevância de empresas de tecnologia, o uso de equipamentos eletrônicos se tornou algo intrínseco na rotina de grande parte da população, tanto para trabalho quanto para entretenimento. Sendo assim, o conhecimento de programação e raciocínio lógico é de grande importância para um engenheiro, para que possa se manter incluído no desenvolvimento de novas tecnologias.

Sendo esse conhecimento essencial em um mundo conectado, é comum encontrar competições de programação patrocinadas por empresas dessa área. A CodeJam[1], por exemplo, é um evento anual de programação promovido pelo Google com o objetivo de identificar os melhores talentos de engenharia para o emprego potencial na empresa. A competição atingiu mais de 35 mil pessoas em 2019, com o primeiro prêmio de \$15.000. Há, também, a Hacker Cup[2], promovida pelo Facebook e que premia o melhor colocado com \$20.000.

Além das competições criadas pelas empresas, há diversas competições nacionais nos mesmos moldes, como a Olimpíada Brasileira de Informática (OBI) e as maratonas da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), além de competições internas ao Inatel, como a Maratona de Programação e a Olimpíada de Algoritmos (ODA).

Com a intenção de participar dessas competições, foi criada uma equipe de programação competitiva do Inatel, chamada CodeTroopers. Essa equipe realiza treinamentos semanais para estudar novos assuntos e algoritmos que possam ser usados

em competições. Esse treinamento contribui para melhorar a capacidade de raciocínio lógico, otimização e resolução de problemas, além de estimular o trabalho em equipe e a organização.

Como a equipe é formada por estudantes do Inatel, todos os semestres saem alunos mais experientes e entram pessoas que tiveram pouco ou nenhum contato com programação. Visando treinar os alunos para que tenham um bom desempenho ainda no primeiro ano, todo semestre é realizado um treinamento com os calouros, passando por todos os assuntos principais que frequentemente aparecem em competições.

Com o objetivo de melhorar a eficácia dos treinamentos, foi sugerida uma Iniciação Científica para elaborar um método, documentar os resultados e preparar um material para melhorar o treinamento de 2020 e dos anos seguintes.

II. METODOLOGIA DAS AULAS

O início dos treinamentos em 2020 aconteceu em março, um mês após o início das atividades letivas no Inatel. Essa espera se deu para que os calouros pudessem assistir às primeiras aulas de Algoritmos e Estruturas de Dados I, onde seriam apresentados à linguagem de programação de C++ e aos conceitos básicos, antes de os treinamentos começarem. Essa decisão ajudou a manter a dinâmica das aulas e evitou que os alunos fossem expostos a conteúdos repetitivos, o que poderia reduzir a sua participação.

A. Aulas

As aulas são semanais, cada uma dividida em etapas. Primeiro, é realizada a correção de alguns dos exercícios propostos na aula anterior. Em seguida, o novo conteúdo é ensinado, com exemplos práticos e novos exercícios. Os alunos têm suas dúvidas respondidas na hora e podem pedir ajuda para escrever seus códigos.

Os exercícios são colocados em uma planilha do Google Sheets[3] à qual todos os alunos têm acesso, para que possam marcar os exercícios concluídos e assim os bolsistas possam ter um retorno quanto à participação e entendimento dos iniciantes. Nessa planilha, indicada na Figura 1, os exercícios são divididos quanto ao assunto, para que assim o estudante possa encontrar mais rapidamente os problemas que desejar resolver.

O conteúdo planejado para as aulas está indicado na Figura 2.

Os exercícios escolhidos para as aulas foram retirados da plataforma URI Online Judge[4], um repositório online com mais de 2000 problemas divididos em várias categorias.

	Soma Acumulada 1D				Soma Acumulada 2D		Desafio
	Soma Natural	Quadrados	Luzes	Dígitos	Quadrado		
Nomes:	Escrevem AC nos problemas que resolverem						
Gustavo Luz	AC	AC	AC	AC	TLE		TLE
Leandro Muccaroni	AC	AC	AC	AC			
Lucas Teles	AC		AC	AC			
Matheus Braga	AC						
Miguel Abdala	AC	AC	AC	AC			
Paulo Lopes	AC	AC	AC	AC			
Samuel			AC				
Guilherme Silva	AC						
Adson_S	AC	AC	AC	AC	AC		AC
Gilson (juninho)	AC	AC	AC	AC	AC		TLE

Fig. 1. Planilha de exercício

Aula	Assunto	Conteúdo
0	Introdução	Introdução às Maratonas; foco na OBI; ambiente do URI; cronograma e planejamento para os treinamentos
1	Estruturas de decisão e repetição	If, if-else, if-else-if (revisão da teoria) + for, while, break e continue
2	Variáveis indexadas	Vetores e matrizes
3	Strings	Diferenças entre char[] e string; tabela ASCII; valor numérico de um caractere
3.5	Contest	Aulas 1-3. 3h-4h (talvez em um fim de semana)
4	Busca Binária	Complexidade – conceito e como calcular; busca binária em posição; busca binária em resposta
5	Soma acumulada	Soma 1D e 2D; two pointers
6	Contest	Aulas 4-5. 2h
7	Funções + STL	Declaração e chamada de função; tipo e parâmetros; recursividade + Vector, set, map
8	Grafos	Conceito de grafos; aplicações; DFS
9	Grafos	STL – Fila e fila de prioridade; BFS e Dijkstra(?) (talvez jogar o Dijkstra pra depois de SegTree)
10	Aplicações de DFS e BFS	Conexidade – grafos não direcionados e direcionados; contagem de componentes; ciclos
11	Aplicações de DFS e BFS	Ordenação topológica; flood fill; BFS em matriz
11.5	Contest	Aulas 7-11; 3h-4h (fim de semana)
12	SegTree	SegTree; comentário sobre BIT 1D
13	Dijkstra	Dijkstra
14	Matemática	MDC; MMC; Crivo de Eratóstenes (Primos)

Fig. 2. Cronograma de aulas

Infelizmente, essa metodologia teve de ser reformulada logo na segunda semana do treinamento, quando o número de infectados pelo Coronavírus começou a apresentar alta em várias cidades do Brasil. O Inatel decidiu suspender as aulas por duas semanas até a situação se normalizar, mas, à medida que os dias passavam e o número de contaminados aumentava, foi acordado que as atividades deveriam prosseguir de maneira virtual, e os treinamentos de programação seguiram a mesma linha.

As aulas retornaram, mas sem a presença dos alunos. Em vez disso, elas foram gravadas seguindo a mesma sequência inicial: solução de exercícios, explicação de conteúdo e proposta de novos problemas. Os vídeos foram postados no Google Drive e o link divulgado para que eles pudessem assistir no horário mais conveniente para cada um. Os códigos utilizados na aula eram postados no Pastebin[5].

Entretanto, após algumas semanas, foi percebida a queda na participação dos alunos. A maioria não assistia às gravações e, por consequência, não fazia os exercícios propostos. Por isso, foi feita uma reunião entre os bolsistas e o orientador e foi decidido que as aulas ao vivo retornariam por meio de reuniões no Teams no mesmo horário das aulas presenciais. Assim, os alunos seriam incentivados a voltar a participar dos encontros e teriam os bolsistas para ajudar a sanar quaisquer dúvidas.

Essa mudança foi positiva para os estudantes, que voltaram

a acompanhar as aulas e assim mantiveram seu ritmo de treino.

Dentre os programas utilizados no treinamento, podem ser citados o URI Online Judge[4], Neps Academy[6], Pastebin[5] e o Graph Editor da CS Academy[7].

B. Contests

Para que um estudante de programação esteja preparado para as competições oficiais, chamadas de Maratonas, não basta apenas aprender os códigos e conhecer diversos algoritmos. Em um ambiente competitivo, seja presencial ou virtual, os programadores têm de lidar com a pressão do tempo, que na maioria das vezes não é suficiente para solucionar todos os problemas. Além disso, quase todas essas competições são realizadas em equipe, fazendo-se necessário um entrosamento entre os estudantes, boa organização e comunicação.

De modo geral, as competições possuem as seguintes características:

- de 10 a 13 problemas, não ordenados por nível de dificuldade;
- cerca de cinco horas de duração;
- cada equipe deve possuir três participantes;
- há apenas um computador por equipe, que deverá se organizar para utilizá-lo;
- os competidores podem consultar qualquer material de apoio (livros, cadernos de códigos), exceto equipamentos eletrônicos e a internet.

Excepcionalmente, em 2020, por causa da pandemia de Coronavírus, as competições ocorreram de forma virtual e as duas últimas regras foram desconsideradas, tendo em vista a dificuldade de se realizar esse controle.

Assim, mostra-se vital a simulação de torneios nos mesmos moldes das Maratonas, para que os alunos se acostumem com o funcionamento destas e assim atinjam melhores resultados. Por isso, desde o início dos treinamentos, são realizados *contests* em equipes periodicamente para que os alunos pratiquem os algoritmos e técnicas aprendidos nas aulas. Inicialmente, esses *contests* tinham cerca de três horas de duração, para que eles começassem a se adaptar ao ritmo das competições. Com a aproximação das maratonas, esse tempo se estende à duração real dos eventos oficiais e os *contests* passam a ocorrer com maior frequência.

Para criar esses torneios, foi utilizado do URI e da plataforma Neps Academy[6], um site brasileiro voltado para o aprendizado de programação.

C. Intensivo de férias

Além das aulas semanais e dos *contests*, ao final do semestre é realizada uma semana de treinamento intensivo. Essa etapa do treinamento é feita após o encerramento das provas para que os alunos possam participar de todos os encontros.

Durante a manhã, são dadas três horas de aula, com revisão de alguns assuntos vistos durante o semestre, mas, em sua maioria, os conteúdos são novos. Há um intervalo para o almoço e as atividades retornam à tarde, com uma seleção de exercícios para serem feitos em duplas ou em trios em um período de quatro horas e meia. No dia seguinte, são corrigidos alguns problemas do dia anterior, para garantir que o conteúdo seja fixado.

Em 2020, esse intensivo ocorreu no início de julho e contou com a participação de quatro calouros e alguns dos membros veteranos da Equipe CodeTroopers.

D. Competições oficiais

Inicialmente, o mesmo treinamento dos calouros do primeiro semestre seria dado aos alunos que ingressassem no meio do ano. Assim, ao final do período haveria a comparação dos resultados obtidos nos dois semestres para analisar se houve uma melhora no ritmo e eficácia dos treinamentos.

No entanto, o clima de incertezas quanto ao retorno presencial, em conjunto com a menor interatividade do ensino remoto e o esperado menor número de ingressantes na segunda metade do ano foram fatores que podem ter levado a uma baixa quantidade de novos alunos no Inatel. Foi decidido então que, para maximizar os resultados obtidos durante esse período, não haveria a criação de uma nova turma no segundo semestre de 2020. Em vez disso, o foco deveria ser o prosseguimento no treino dos alunos do primeiro semestre, além do aperfeiçoamento das próprias habilidades como preparação para as competições oficiais que ocorreriam nos próximos meses.

Uma dessas competições foi a Fase Regional da Maratona SBC[8], que ocorreu no dia 14 de novembro e contou com a participação de cinco equipes do Inatel, duas delas compostas pelos calouros. Também ocorreu, no dia 28 de novembro, a etapa final da OBI[9], na qual participou o aluno Gustavo Figueiredo Luz, que se classificou nas duas fases anteriores. Os resultados serão discutidos na próxima seção.

E. Aulas gravadas

Como forma de complementar o treinamento dos iniciantes, foi sugerido que os bolsistas montassem uma série de aulas com os temas básicos da programação em C++. Essas aulas seriam gravadas e postadas em um canal do YouTube da CodeTroopers, onde não apenas os alunos do Inatel, mas qualquer pessoa que tiver interesse poderá assistir e aprender sobre programação.

Os vídeos seguirão a mesma sequência lógica das aulas ao vivo e abordarão os mesmos assuntos, mas com uma duração reduzida e um formato próprio para a publicação *online*. Eles servirão, também, para estudar a melhor forma de se ensinar o conteúdo de forma gravada, visto que a primeira tentativa não foi eficaz como o esperado.

Até o presente momento, não foram produzidas todas as aulas, de forma que, neste artigo, não será possível analisar os frutos obtidos por elas.

III. RESULTADOS

Conforme já dito, não foi possível realizar a comparação da evolução das duas turmas de 2020, visto que sequer foi criada uma nova turma no segundo semestre. Entretanto, é possível comparar os resultados obtidos pelos iniciantes da equipe com os do mesmo treinamento realizado no primeiro semestre de 2019.

A. Participação

Antes de mais nada, é importante comentar sobre a diminuição do número de alunos participantes a cada aula. Esta informação pode ser visualizada no gráfico da Figura 3.

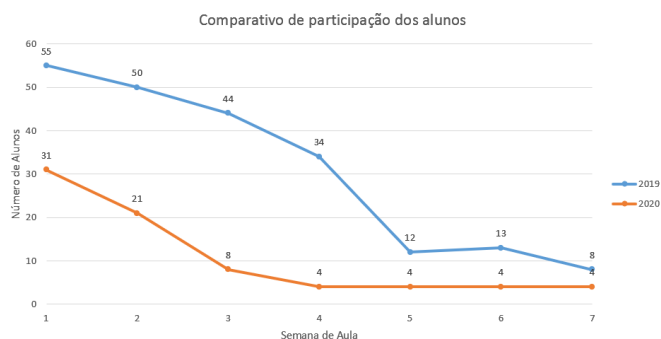


Fig. 3. Comparativo de participação entre 2019 e 2020

Os números foram obtidos através da dedicação dos alunos à resolução de listas de exercícios propostas em cada semana de aula. Aqueles que foram às aulas mas não solucionaram nenhum problema foram desconsiderados.

É válido frisar que a queda na participação já é algo esperado, não só nos nossos treinamentos mas também em qualquer atividade extracurricular. São afazeres que exigem bastante atenção e empenho, além de um real interesse por parte dos ingressantes. Esse treinamento garante aos alunos uma quantia considerável de horas complementares e aqueles que tiverem este como seu único objetivo logo acabarão por desistir.

A partir do gráfico, é possível notar que, no ano de 2019, a queda no número de alunos ocorreu de maneira gradativa, em um ritmo mais lento nas primeiras aulas. Após uma queda abrupta na quinta semana, o número se manteve mais estável, mas ainda assim apresentando diminuição. O total de alunos que ingressaram na equipe após o semestre de treinamento foi de seis.

Em 2020, a queda ocorreu de forma acentuada, onde 87% dos alunos abandonaram o treinamento nas primeiras quatro semanas. A partir dessa data, no entanto, o número se manteve estável e assim continuou até o final do semestre, quando os quatro alunos restantes se tornaram membros oficiais da CodeTroopers.

É difícil saber o que causou essa diferença no comportamento do gráfico, embora o decreto de quarentena pelo Governo Federal, que aconteceu entre a segunda e terceira semana de aula, pode ter sido um dos fatores que desmotivou boa parte dos alunos. Ainda assim, o número de iniciantes que se manteve até o final do treinamento, proporcionalmente ao número inicial (12,9%), foi um pouco maior que o de 2019 (10,9%).

B. Competições

Apesar de todas as limitações, o Inatel manteve a sua participação nas competições de programação, internas e externas, atingindo resultados bastante positivos em todas elas.

A fase Regional da Maratona SBC, ocorrida em 14 de novembro, resultou na classificação de uma equipe para a

modalidade Nacional, que ocorrerá em julho de 2021. Além disso, todas as demais equipes, incluindo as compostas pelos iniciantes, solucionaram três ou mais problemas, um ótimo resultado.

A Olimpíada de Algoritmos do Inatel aconteceu no dia 21 de novembro. A competição conta com alunos da instituição que cursam a matéria de Algoritmos e Estruturas de Dados I, II ou III e foi realizada em equipes. Nessa edição, as duas primeiras colocadas na categoria de Algoritmos II foram equipes compostas por alunos do treinamento.

Por fim, no dia 28 de novembro ocorreu a terceira fase da OBI, competição restrita aos alunos do primeiro ano da graduação. Os quatro membros iniciantes participaram da primeira fase e o aluno Gustavo Luz se classificou para a próxima etapa, na qual também conseguiu a pontuação mínima exigida. Ele competiu na última fase, conquistando a sétima colocação e uma medalha de prata — a primeira medalha conquistada pelo Inatel na OBI.

Classif.	Nota ¹	Nome	Escola	Cidade	Estado
1	480	Igor Brito Andrade	Unicamp	Campinas	SP
1	480	Naim Shaikhzadeh Santos	Unicamp	Campinas	SP
3	420	Nathan Luiz Bezerra Martins	IME-USP	São Paulo	SP
4	400	Edson Eidi Hossotani	Universidade Federal do ABC	Santo André	SP
4	400	Gerson Vinicius Rodrigues de Macedo	Universidade Federal do Vale do São Francisco	Juazeiro	BA
6	340	Davi Henrique Silva Guimarães	Universidade Federal de Campina Grande	Campina Grande	PB
7	320	Andrei Freiburger	ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica	São José dos Campos	SP
7	320	Gustavo Araújo Moraes	Unicamp	Campinas	SP
7	320	Gustavo Figueiredo Luz	Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações	Santa Rita do Sapucaí	MG
7	320	Tales Perroni Nicoletti	Unicamp	Campinas	SP
7	320	Thiago Prado de Azevedo Andrade	UFF	Niterói	RJ
12	310	João Marcos Cardoso da Silva	Universidade de São Paulo - ICMC	São Carlos	SP
12	310	Lorenzo Bertin Salvador	IME-USP	São Paulo	SP

Fig. 4. Placar final da terceira fase da OBI

IV. CONCLUSÃO

Nos últimos anos, a CodeTroopers teve uma grande melhora no desempenho e ótimos resultados como consequência. Entretanto, para que isso não se perca nos próximos anos com a saída de integrantes, é importante que exista um método para passar o conteúdo para novos estudantes de maneira eficaz e replicável. Dessa maneira, desempenho do time pode ser melhorado para, possivelmente, classificar uma equipe do Inatel para a fase internacional[10].

Durante o ano de 2020, foram elaboradas maneiras de dividir as aulas e ministrar os conteúdos do treinamento. Foram obtidos ótimos resultados na OBI[9] com a primeira medalha do Inatel e um resultado notável durante a Fase Regional da Maratona SBC[8] com a equipe de calouros resolvendo três problemas. Embora os efeitos da pandemia tenham atrapalhado o andamento planejado, foi possível avaliar o treinamento e pensar em maneiras de melhorar e documentar esse processo.

REFERÊNCIAS

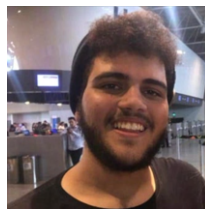
- [1] Google. *Code Jam*. URL: <https://codingcompetitions.withgoogle.com/codejam> (acesso em 23/02/2021).

- [2] Facebook. *Hacker Cup*. URL: <https://www.facebook.com/codingcompetitions/hacker-cup/> (acesso em 23/02/2021).
- [3] Lucas Andrade. *Planilha Treinamento 2020 Programação*. URL: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Gjx5YSs6Y8GffTSbPwWUcTaeffQytc-WjYYwwmealtU> (acesso em 27/02/2021).
- [4] URI University. *URI Online Judge*. URL: <https://www.urionlinejudge.com.br> (acesso em 27/02/2021).
- [5] Pastebin. URL: <https://https://pastebin.com> (acesso em 27/02/2021).
- [6] Neps Academy. *Neps Academy*. URL: <https://neps.academy> (acesso em 27/02/2021).
- [7] CS Academy. *CS Academy Graph Editor*. URL: https://csacademy.com/app/graph_editor/ (acesso em 27/02/2021).
- [8] Sociedade Brasileira de Computação. *Maratona SBC de programação*. URL: <http://maratona.sbc.org.br> (acesso em 24/02/2021).
- [9] UNICAMP. *Olimpíada Brasileira de Informática*. URL: <https://olimpiada.ic.unicamp.br> (acesso em 24/02/2021).
- [10] ICPC Foundation. *International Collegiate Programming Contest*. URL: <https://icpc.global/> (acesso em 27/02/2021).

AUTORES

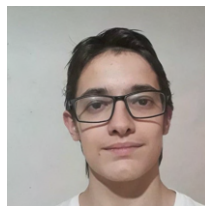
Bernardo Dalboni Gandolpho

Cursando graduação em Engenharia da Computação pelo Inatel. Atualmente integrante da equipe de Maratona de Programação do Inatel (CodeTroopers) e monitor das disciplinas Algoritmos e Estruturas de Dados I e III.



Lucas Andrade Marques

Cursando graduação em Engenharia de Controle e Automação pelo Inatel, técnico em Mecatrônica pela Escola Técnica Pandiá Calógeras (ETPC). Atualmente integrante da equipe CodeTroopers, participante do programa de Jovens Talentos e monitor da disciplina Álgebra e Geometria Analítica.



A Review about the Digital Twin Concept and a Prototype Application in an Industry 4.0 Context

Gustavo de Moraes Pessa and Renzo P. Mesquita
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
gustavopessa@gec.inatel.br, renzo@inatel.br

Abstract—The development of information technologies during the past years have brought the smart manufacturing era. Many companies need to keep reinventing constantly so they can go along with their customers new demands. But, even with all these technologies, such as artificial intelligence and big data, there is still many challenges to the industries, for example, the lack of convergence between the real and virtual world. So, based on it, the Digital Twins appear as a modern concept to achieve this necessity, converging data of both worlds. This paper aims to make a review about this concept in an industrial context and presents a simple prototype developed to better understand its challenges and applications.

Index Terms—Digital Twin, Industry 4.0, IoT, Cyber Physical Systems.

I. INTRODUCTION

Since the dawn of humanity, humans seek for tools and methods to ease various activities. As examples, the invention of the wheel, considered one of the most important crafts of our history, or the production of fire, a great watershed. Thereby, it is possible to state that technology is among us since the very beginning, providing improvements in all life aspects. Every big industrial revolution happened thanks to a novel technological discovery. The first industrial revolution happened thanks to the steam engines, the second due to the rise of electricity, and in the 20th century, the third industrial revolution stood out with the transition from analog to digital devices, enabling the use of network interconnected machines in the manufacturing process [1].

The non-stop technology evolution during the past years brought to the world a new era called the Industry 4.0 (I4.0). Proposed in 2011 in Germany [2], I4.0 aims to modernize industries with trending information and communications technologies. Unlike the other three industrial revolutions, the fourth does not focus on a single revolutionary tendency, but on a bunch of technologies inside the industry environment and their interconnections [1]. Thus, trending technologies like Artificial Intelligence, Big Data, Cloud Computing and Machine Learning become key to the I4.0 concept. Besides the cited technologies appears the Cyber-Physical Systems (CPS), which integrates computational and physical capabilities, making physical resources capable of computing, communicating and controlling [3].

The Digital Twin (DT) concept appears as a great example of CPS. Originally proposed in NASA's integrated technology roadmap, DT is a realistic and reliable simulation which mimics and analyzes its original twin behaviors using historical data and sensors [4]. With the historical and real-time data

acquisition, the virtual twin is capable to predict failures and identify misguided performances.

Although the DT concept was firstly applied for spaceships [5], it has been gradually extended to the manufacturing industries. The high-fidelity simulation model for products and shop-floors, for example, makes DT a key concept for I4.0 with its potential decision-making, predictive behavior and high reliability. Based on it, this paper aims to present some of the state of art works of DT inside the industries environments and show its potential as a key concept for I4.0. It also presents a DT prototype created by using Arduino (hardware) and Unity (software) platforms to simulate an industrial oven.

This paper is organized as follows: section II better describe DT concepts, historical and technical issues. Section III presents some modern industrial applications presented in the literature. Section IV presents details about the proposed prototype, and finally, in section V, authors conclusions are presented.

II. THE DIGITAL TWIN CONCEPT

The concept of DT is becoming increasingly popular nowadays and tends to be one of the main approaches to be applied not only inside the industries, but in many different areas. In 2017 and 2018 DT was classified as one of the top 10 strategic technologies trends [6]. Despite this growing popularity, the idea of DT was first introduced by Michael Grieves in 2003 at University of Michigan in the Executive Course on Product Lifecycle Management. He described the concept as a “virtual representation of what has been produced” and said how it is a critical component for an enterprise-wide closed-loop product lifecycle [7]. So, the concept was born as a technology for product lifecycle management, and nowadays shows up as a great trending technology for various sectors.

The digitization of machinery and production systems in the early of 2000s made the DT concept first appearance possible [8], but, at that time, digital representations of actual physical products were immature. In the following decade, the information technology enhanced the DTs, increasing the amount, fidelity and richness of virtual and physical products [7]. So, with all that evolution and necessary technologies, the DT concept has expanded to different areas. In 2012, NASA proposed a Digital Twin model, which uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its flying twin. It opened a new horizon of opportunities to increase the life span of its vehicles and consequently the probability of successful missions.

A working DT needs at least three components working together: (1) an information model to abstract a physical object specifications, (2) a communication mechanism to transfers information between the virtual and physical world, bidirectionally, (3) and a data processing module to extract information from different sources in order to build in real time the representation of a physical object [9].

Saddik et al. also present important DT features but in a wider way [8]:

- Unique Identifier: each digital twin has its unique identifier;
- Sensors and Actuators: depending on applications needs, the physical twin can be equipped with sensors, so its digital twin can mimic, using actuators, real senses (sight, hearing, taste, smell and touch);
- Artificial Intelligence: to make intelligent decisions, the digital twin can be equipped with a controller embed with ontologies (a set of concepts representing knowledges about the world), machine learning and deep learning.
- Communication: a digital twin should be able to interact with the environment, the real twin and other digital twins by near real time;
- Representation: depending on the application, a Digital Twin can be represented by a virtual 3D avatar, hologram or a humanoid robot. Also, it can be a software component without a tangible representation;
- Trust: for sensible tasks such as managing financial transactions, the physical twin must trust the digital twin;
- Privacy and security: it is prominent to the digital twin be able to protect the identity and privacy of their real twin. Using advanced cryptography algorithms and biometrics techniques for example, this goal should be secured.

III. RELATED WORKS

Some authors have already addressed the use of DT in industrial contexts to solve many kinds of different problems. The following subtopics describe some recent research and results about its use.

A. Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing

Saddik et al [8] in their work proposed a conceptual study that aims to apply DT to improve shop-floors operations. According to them, the idea consists of four key components:

- 1) Physical Shop-Floor (PS), the physical part of the system;
- 2) Virtual Shop-Floor (VS), the digital mirror to mimic the physical counterpart;
- 3) Shop-Floor Service System (SSS), responsible for PS management and the VS operation and evolution;
- 4) Shop-Floor Digital Twin Data, mainly consisted of PS, VS, SSS data and the fused data coming from these three parts.

Figure 1 illustrates how the four stages can be connected. The Shop-Floor Digital Twin Data is the “driver” which make all the other three work together. It is the responsible for the communication between the virtual and the physical spaces. With the data from different entities, the Shop-Floor Service

System is able to elaborate a production plan and transmit it to the Virtual Shop-Floor, that is responsible for validating it. After revision, the plan is transmitted to resource allocation service which guides the preparation for production in Physical Shop-Floor. With the plan started, it is important to keep the Virtual and the Physical Shop-Floor synchronized, so, if there is any trouble, it will be adjusted. After the production phase, the products are sent to warehouse and all the information about them are archived. This is an important part since these data are used for data mining to extract knowledge for model building and calibration in future analysis.

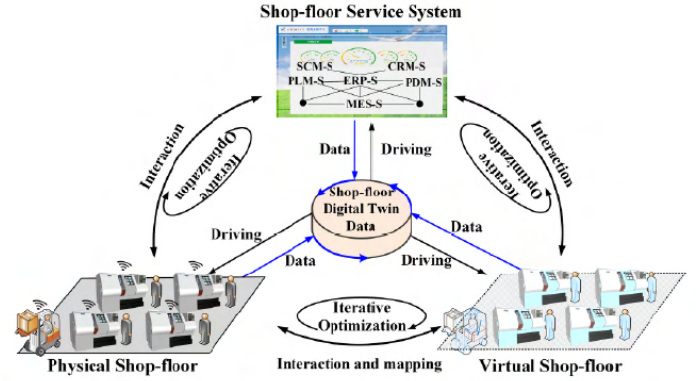


Fig. 1. Conceptual model of Digital Twin Shop-Floor.

B. Digital twin-based WEEE recycling, recovery and remanufacturing in the background of Industry 4.0

Wang et al [5] proposed a prototype to solve connectivity and integration issues along the WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) remanufacturing/recycling process. This idea emerged because during the products lifecycle many data about it are lost, mainly when the product is with the final user. Many approaches were studied, many of them works well, but there is still a lack of a systematic and dynamic approach to integrate all the related process and technical knowledge. With the technologies evolution, the concept of DT is seen as a powerful tool for WEEE remanufacturing/recycling process since it shows a high potential in fusing the data from both worlds, physical and virtual.

Despite it all, there is a problem involving the DT approach. Originally, the DT concept involves only one processing system, but in this case, the digital clones need to be shared among multiple application systems. So, the authors developed a novel system architecture and standardized data model, which is illustrated in the Figure 2.

The first step happens into the cyber world, with the design of the product, i.e., the geometry, components, material and mainly, the hazardous substances. Then, it is added the physical and environmental knowledges. After that, when the product gets to an end user, he or she can keep track of the device issues via IoT technologies (sendind data through a smartphone for example). When the product comes to its final days, the user can contact a professional collector, and, even if he/she is not familiar with these specialists, the software suggests the best disposal point nearby to discard the device properly. With the device in hands, the collector can test and evaluate

it and keep the virtual clone updated. After all this product lifecycle and with all the data maintained in the DT, the recycler/remanufacturer can initiate the process without new tests or evaluations. The developed model shows some limitations due to the needed information coming from the users (their willingness and support are critically essential).

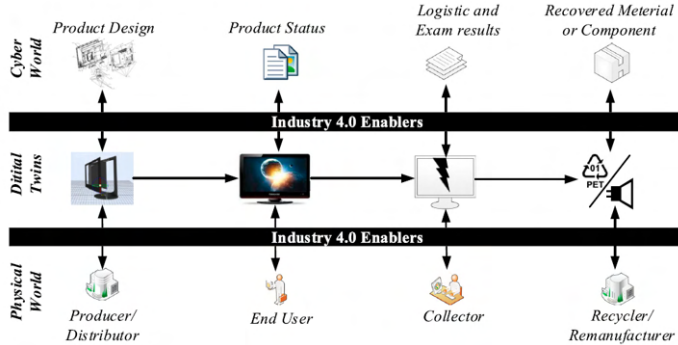


Fig. 2. Proposal of a Digital Twin for WEEE recovery.

C. Intelligent control of an assembly station by integration of a digital twin for employees into the decentralized control system

Graessler et al. [10] proposed a DT model for employees, separating and appointing the workers to better fill the needed tasks, according to personal preferences and skills. Many examples of automated production planning and control procedures shows that employees are mostly just seen as a resource, been evaluated just by their average time of work, in other words, their skills and preferences are often neglected.

The idea of DT in this case is to “copy” some employees physical behaviors, aiming to create virtual employees where skills, preferences and behaviors are digitalized. Therefore, the employee’s DT can be used as tool to get the information about him and then use it for best allocation and scheduling procedures.

The DT database can be filled with important recorded properties and preferences of employees for the decision-making process. These stored data are used to evaluate and select the employee for a specific machine. The virtualized employee has its own personality, which is filled with mood, character and motivation. The personality is an influence factor, where employees with higher openness to experience and a higher motivation are more suitable to new tasks. With the employee’s virtual twins implemented, the assembly line can request a worker when a new task appears using the digital clones as a tool for selecting.

IV. PROPOSED PROTOTYPE

In order to understand in a more practical way the idea and challenges of creating and using a DT, a prototype representing an industrial oven was developed. The idea of creating an industrial oven prototype is due to the fact that it is possible to encounter furnaces inside a wide range of industries in different areas. So, the idea is to give a simple sight of how DT concepts can be used and help managing this kind of environment/device.

Figure 3 shows the technologies employed in the prototype creation. The Arduino Mega represents the physical device, i.e.,

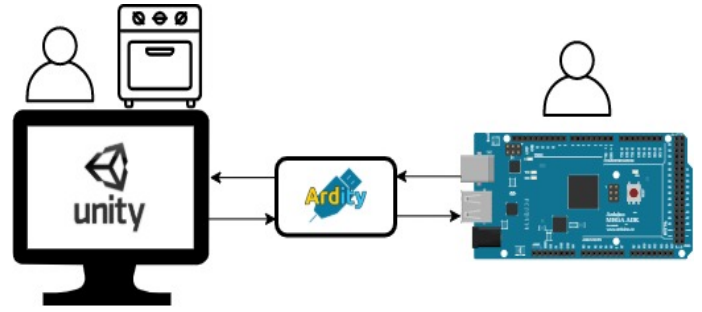


Fig. 3. Technologies employed to create the DT prototype.

the oven, and the Unity framework was used to create its virtual representation. Arduino was chosen due to its high potential for prototyping and Unity due to its simplicity in creating 3D virtual environments. As depicted in Figure 4, connected to the Arduino Mega there is a temperature sensor (LM35 [11]), which is responsible for capturing the temperature of the environment. To intermediate the communication between virtual and real sides, the Ardity library [12] was chosen. It is an open source library which connects Unity to Arduino by using the concept of multithreading¹. In every two seconds, Ardity is responsible for capturing the sensor temperature and send this fresh data to the virtual side.

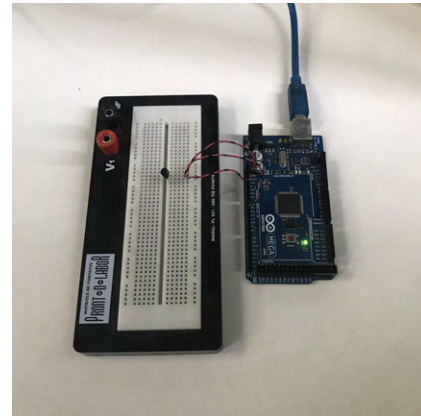


Fig. 4. The physical side representation of the system.

As showed by Figure 5, in the virtual side, the value received from the physical side is shown on a temperature bar and, periodically, the collected temperatures are saved on a file for allowing future analysis. Furthermore, there is a temperature limiter, which shuts down the system in case of bound exceed, for both inputs, maximum and minimum. So, in other words, if the system is out of a safe zone defined by a system operator, it is immediately turned off. This situation can be seen in Figure 6.

Some simulations were made using a lighter to heat the sensor and check if the data synchronization between the physical and virtual sides could meet the expectations, and everything worked as expected.

¹Multithreading is the ability of a program to manage multiple requests by the same user without having to have multiple copies of the programming running in the computer

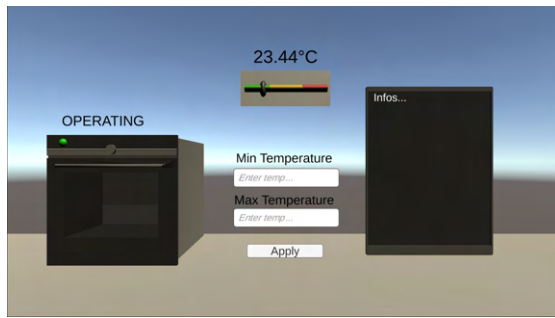


Fig. 5. The system working, receiving and storing data.

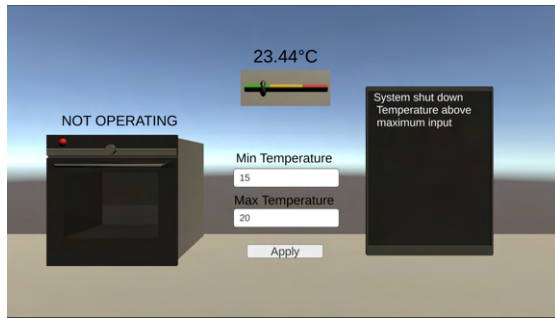


Fig. 6. System being shut down.

CONCLUSIONS

The development of information technologies made possible the emergence of different new concepts in many areas, bringing the world to a new era where cyber and physical spaces can work together. But, even with all these technologies, there is still a lack of convergence between both worlds. Digital Twin, the novel concept studied for this research, appears as a fundamental key to solve this problem. One of the greatest characteristics of DT is the capacity of gather the acquired physical and cyber data, making possible a real-time interaction between them. Furthermore, with all the data acquired, the DT can understand how a physical object works and its behavior, and thereby, being able to predict and avoid eventual issues by intervening by itself. In other words, the virtual twin is capable of make decisions for its brother by interpreting its actions.

The prototype presented in this research was developed with the objective of having a glimpse of how a DT really works. So, although the oven prototype looks simple, it brings some of the main idea behind the concept, acquiring data from the physical world and intervene when necessary. In other words, the idea here was to show how relevant the concept can be for the future in general and comprehend some of the most important DT characteristics, and also demonstrate how significant can be its application inside the industries.

It is important to emphasise that this study and prototype is just in an initial stage, covering some important aspects about DT that can evolve. So, in that way, for the future it would be interesting to see how the system works in real action. Moreover, it could be useful to add new sensors to the system, aiming to make it more trustful and capable of acquire more data to analyze and act upon them.

REFERENCES

- [1] Thiago Bueno, Everton Morais, Luiz Almeida, Rodrigo Righi, and Antonio Alberti. "Blockchain and Industry 4.0: Overview, Convergence, and Analysis". In: Jan. 2020, pp. 27–58. ISBN: 978-981-15-1136-3. DOI: 10.1007/978-981-15-1137-0_2.
- [2] Andreja Rojko. "Industry 4.0 Concept: Background and Overview". In: *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)* 11 (July 2017), p. 77. DOI: 10.3991/ijim.v11i5.7072.
- [3] Fei Tao and Meng Zhang. "Digital Twin Shop-floor: A New Shop-floor Paradigm towards Smart Manufacturing". In: *IEEE Access* PP (Oct. 2017), pp. 20418–20427. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2756069.
- [4] Mike Shafto, M Conroy, R Doyle, E Glaessgen, C Kemp, J LeMoigne, and L Wang. "Modeling, Simulation, Information Technology and Processing Roadmap". In: (May 2010), p. 12.
- [5] Xi Vincent Wang and Lihui Wang. "Digital twin-based WEEE recycling, recovery and remanufacturing in the background of Industry 4.0". In: *International Journal of Production Research* 57.12 (2019), pp. 3892–3902. DOI: 10.1080/00207543.2018.1497819. eprint: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1497819>. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1497819>.
- [6] Qinglin Qi, Fei Tao, Ying Zuo, and Dongming Zhao. "Digital Twin Service towards Smart Manufacturing". In: *Procedia CIRP* 72 (June 2018). DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.103.
- [7] Michael Grieves. "Origins of the Digital Twin Concept". In: (Aug. 2016). DOI: 10.13140/RG.2.2.26367.61609.
- [8] A. El Saddik. "Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies". In: *IEEE MultiMedia* 25.2 (2018), pp. 87–92.
- [9] Yuqian Lu, Chao Liu, Kevin Wang, Huiyue Huang, and Xun Xu. "Digital twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues". In: (July 2019).
- [10] Iris Gräßler and Alexander Pöhler. "Intelligent control of an assembly station by integration of a digital twin for employees into the decentralized control system". In: *Procedia Manufacturing - Proceedings of 4th International Conference on System-integrated Intelligence Intelligent, flexible and connected systems in products and production (SysInt)*. (CIRP) Center for international research in production. Elsevier B.V., 19 - 20 6 2018.
- [11] Texas Instruments. *LM35 Sensor*. Available in <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>. Accessed in 01/2021.
- [12] aridity.dwilches.com. *Ardity Library*. Available in <https://ardity.dwilches.com/>. Accessed in 01/2021.

Ferramenta com Interface Gráfica para Seleção de Portfólio de Projetos e Aplicação do Método TOPSIS

Dessana Siqueira Alves e Guilherme Augusto Barucke Marcondes
Instituto Nacional de Telecomunicações –
dessana.siqueira@gec.inatel.br, guilherme@inatel.br

Abstract— The project selection process can be quite complex, with many conflicting criteria being assessed. Its practical application can be inhibited by the necessary mathematical treatment. This work proposes a tool that uses the Python programming language, integrated with the graphical interface developed using React JS and Firebase. Its application is exemplified using a set of ten projects.

Index Terms—ReactJS, Firebase, Python, TOPSIS, Project Portfolio Selection.

Resumo— O processo de seleção de projetos pode ser bastante complexo, tendo que se fazer a avaliação de muitos critérios conflitantes. Sua aplicação prática pode ser inibida pelo tratamento matemático necessário. Este trabalho propõe uma ferramenta que usa a linguagem de programação Python, integrada à interface gráfica desenvolvida usando React JS e Firebase. Sua aplicação é exemplificada usando um conjunto de dez projetos.

Palavras chave—ReactJS, Firebase, Python, TOPSIS, Seleção de Portfólio de Projetos.

I. INTRODUÇÃO

O processo de tomada de decisão pode envolver múltiplas alternativas e diferentes critérios a serem considerados, que podem ser conflitantes entre si. Como, por exemplo, grau de qualidade e custo. Tais decisões podem ser simples ou complexas, específicas ou estratégicas, imediatas ou para longos prazos, com pequenos ou multidimensionais impactos [1].

A literatura apresenta vários métodos para apoiar a tomada de decisão. Os Métodos de Decisão multicritério permitem considerar dois ou mais critérios envolvidos e elencar as alternativas em um *ranking* [2].

Um destes métodos é o *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), que permite medir o desempenho das possíveis soluções, comparando-as. Fornecendo, ao final, uma lista ordenada de alternativas, da melhor para a pior (segundo os critérios e pesos definidos) [2, 3]. Quanto mais próxima da solução ideal e longe da não ideal, melhor é a alternativa [3].

Porém, um limitador para o uso amplo deste método é a complexidade matemática de uso. Uma solução é o desenvolvimento de ferramenta que automatize seus cálculos e

apresente o resultado. Para facilitar ainda mais a interação do usuário, tal ferramenta deve apresentar uma interface gráfica de fácil utilização e intuitiva.

Com base nisso, o presente artigo apresenta uma ferramenta que implementa o método TOPSIS, usando linguagem de programação Python para os cálculos e React Js e Firebase para a interface gráfica e armazenamento dos dados.

A linguagem de programação Python foi escolhida por sua versatilidade e pela facilidade de aplicação em cálculos matemáticos. Além de grande aumento de popularidade em sua utilização. O ambiente ReactJS por ser, atualmente, a biblioteca JavaScript (JS) mais utilizada em aplicações de *front-end*. [4].

Este artigo está estruturado da seguinte forma: na Seção II é apresentado o método de decisão multicritério TOPSIS; a Seção III o ambiente de desenvolvimento; o desenvolvimento da interface gráfica é apresentado na Seção IV; a Seção V apresenta um exemplo numérico de aplicação; finalmente, a Seção VI traz a conclusão do trabalho.

II. SELEÇÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS USANDO TOPSIS

A seleção de portfólio de projetos pode usar critérios, tais como retorno esperado e risco, permitindo a eliminação de opções menos eficientes (por exemplo, considerando o critério da relação retorno/risco). Porém, ao final, em vez de uma única alternativa, existem uma lista de portfólios eficientes que podem ser executados [3]. A escolha da melhor alternativa pode ser feita usando um método de decisão multicritério como TOPSIS.

TOPSIS é um método multicritério para medir o desempenho de alternativas, comparando-as. A melhor alternativa é aquela mais próxima da solução ideal e mais afastada da solução não ideal. Podem ser definidos pesos para cada critério, de acordo com a avaliação do tomador de decisões [2, 3].

As etapas de seleção são descritas a seguir.

1) Cálculo dos valores r_{ij} normalizado, para montagem da matriz:

$$r_{ij} = f_{ij} / \sqrt{\sum_{j=1}^J f_{ij}^2}$$

em que:

j representa as alternativas ($j = 1, \dots, J$)

i representa os critérios de seleção ($i = 1, \dots, n$)

2) Cálculo da matriz de decisão normalizada ponderada.

$$v^{ij} = w_i r_{ij}$$

em que:

w_i é o peso do i -ésimo critério;

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

3) Determinação da solução ideal e da negativa:

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\}$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\}$$

em que:

I' associados aos critérios de impacto positivo;

I'' associados aos critérios de impacto negativo.

4) Cálculo da distância Euclidiana para as medidas de separação.

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^*)^2}, \quad j = 1, \dots, J$$

Da mesma forma, a separação da solução ideal negativa é dada por:

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad j = 1, \dots, J$$

5) Cálculo da proximidade relativa da solução ideal:

$$C_j^* = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-}, \quad j = 1, \dots, J$$

As alternativas devem ser ordenadas considerando os valores crescentes de C_j^* . Por meio deste *ranking* de preferências, pode-se definir a alternativa ótima [5].

III. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO

Para desenvolvimento da interface gráfica, foi escolhido o ambiente React JS, sendo esta uma biblioteca para construção de interfaces de usuário. Atualmente, ela é a biblioteca JavaScript (JS) de *front-end* mais popular, apoiada pelo Facebook, Instagram e uma comunidade de desenvolvedores individuais e organizações[6].

O ReactJS basicamente permite o desenvolvimento de grandes e complexas aplicações baseadas na Web, que podem mudar seus dados sem atualizações de páginas subsequentes. React é “renderizado”, que é o ato de compilar e obter o produto final de um processamento. Principalmente no lado do servidor usando NodeJS, uma plataforma de software construída por intermédio do Chrome, orientada por eventos. Isso a torna leve e eficiente, perfeita para tempo real. O Node Package Manager (npm) empacotado com Node.js, é um gerenciador de pacotes que permite instalar, desinstalar e atualizar dependências em uma aplicação por meio de uma simples instrução na linha de comando. Esse, por sua vez, é um ambiente para a execução de JS.

Ademais, esse ambiente de desenvolvimento tem como objetivo fornecer melhores experiências ao usuário e com uma velocidade extremamente rápida e robusta no desenvolvimento de aplicativos Web [7].

As Figuras 1 e 2 apresentam a interface gráfica desenvolvida.

Figura 1 – Ambiente Desenvolvido (Tela Home)

IV. DESENVOLVIMENTO - INTERFACE GRÁFICA/BANCO DE DADOS

Para desenvolvimento da interface gráfica e do banco de dados para armazenamento das informações cadastradas, foi utilizado o Firebase, que é disponibilizado na nuvem pela Google. Ele utiliza a estrutura NoSQL, que consiste em um banco de dados que não utiliza da linguagem SQL orientada a tabelas, mas sim, nesse caso, a documentos. A orientação a documento utiliza JSON (*JavaScript Object Notation* - Notação de Objeto JavaScript) para salvar e buscar dados. Os dados no banco de dados do Firebase são lidos e gravados pelos dispositivos *front-end* (aplicativos da Web, aplicativos móveis e controladores) diretamente [8].

No trabalho descrito neste artigo, as principais ferramentas utilizadas pelo banco de dados foram:

Cadastre o Projeto

Novo projeto

Retorno Otimista:

Retorno mais Provável:

Retorno Pessimista:

Critério 1:

Critério 2:

Critério 3:

Critério 4:

Figura 2 – Ambiente Desenvolvido (Tela Cadastro)

1. Firebase Realtime Database

Banco de dados NOSQL hospedado na nuvem que sincroniza os dados em tempo real para cada cliente conectado. O banco usa o mecanismo que sincroniza os dados para todos os dispositivos conectados em milissegundos. Outro recurso importante é o recurso *off-line*. O Firebase SDK (*Software Development Kit*) mantém os dados no disco, então mesmo se um usuário perder a conexão com a Internet, o aplicativo permanecerá responsivo. Ele sincroniza automaticamente os dados assim que a conexão for restabelecida. É compatível com as plataformas iOS, Android, Web, C++ e Unity [9].

2. Firebase Authentication

Oferece uma solução segura para gerenciar a autenticação do usuário em seus aplicativos móveis e da Web. Ele oferece a autenticação tradicional baseada em formulário usando e-mail e senha, a qual foi utilizada. Firebase Auth é uma forma recomendada de adicionar autenticação no aplicativo [9].

3. Cloud Storage

O armazenamento em nuvem gera um espaço para o conteúdo gerado pelo usuário móvel ou Web, como documentos, fotos ou vídeos, de maneira segura e com boa escalabilidade. O Cloud Storage foi projetado com o mesmo requisito de armazenamento em nuvem, ajudando a salvar e fornecer facilmente conteúdo gerado pelo usuário. Ele fornece um mecanismo de streaming robusto para uma melhor experiência do usuário final. No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado para armazenar arquivos em PDF (*Portable Document Format*) e projetá-los como os resultados obtidos [9].

V. EXEMPLO NUMÉRICO

Esta Seção apresenta um estudo de caso hipotético, para seleção de um portfólio a ser executado, considerando uma lista de dez projetos. As estimativas de retorno de cada projeto são apresentadas na Tabela I.

Tabela I – Parâmetros dos projetos

Projetos	Retorno		
	Pessimista	Mais Provável	Otimista
A	-18300	9020	18700
B	-17540	6270	8830
C	5400	29050	55300
D	-17400	10120	20500
E	9220	29260	35790
F	-7270	23410	35040
G	-7120	11680	27450
H	0	15000	30000
I	11950	25680	41640
J	3450	15340	34480

Além destas informações, foram definidos os seguintes critérios:

1) Critério 1 (C1): Melhoria da competitividade – indica quanto o resultado do projeto pode melhorar a competitividade da empresa no mercado – peso 0,5;

2) Critério 2 (C2): Potencial de mercado – indica quanto o resultado do projeto pode contribuir para que a empresa amplie sua participação no mercado – peso 0,3;

3) Critério 3 (C3): Grau de Inovação – indica quão inovador é o projeto – 0,2;

Todos os critérios foram avaliados de 1 a 10, sendo 1 a pior avaliação e 10 a melhor. A Tabela II apresenta os valores dos quatro critérios para cada um dos dez projetos (Projeto A até Projeto J).

Tabela II – Critérios de avaliação dos projetos

Alternativas	C1	C2	C3
A	10	3	2
B	8	5	8
C	2	6	5
D	1	2	9
E	5	9	10
F	6	3	2
G	7	7	7
H	3	5	3
I	8	1	6
J	9	10	2
Pesos	0,5	0,3	0,2

O gráfico com a apresentação da fronteira eficiente é apresentado na Figura 3.

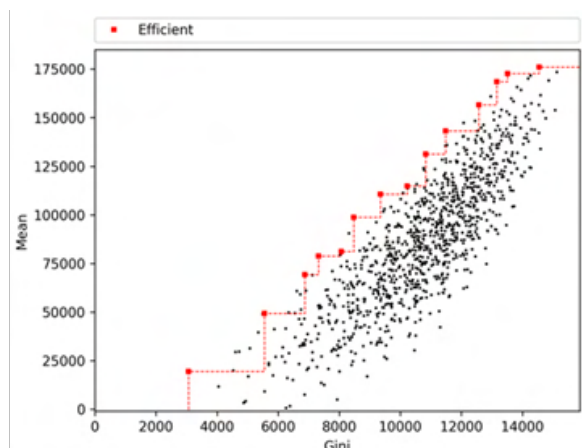


Figura 3 – Fronteira Eficiente

Todos os pontos destacados em vermelho no Gráfico da Figura 3 são portfólios eficiente. Sobre estes portfólios, aplicando-se o método de decisão multicritério TOPSIS, tem-se a seguinte relação final, relacionada do melhor para o pior:

EFIJ
EGHIJ
CEIJ
EHIJ
CEGHIJ
EFHIJ
CEFGHIJ
CEHIJ
ACDEFGHIJ
CEFHIJ
CDEFGHIJ
CEHI

VI. CONCLUSÕES

O processo de seleção de projetos pode ser bastante complexo, tendo que se fazer a avaliação de muitos critérios conflitantes. Uma solução é o emprego de Métodos de Decisão Multicritério.

A avaliação matemática envolvida pode inibir sua aplicação nas empresas no dia-a-dia. Assim, uma ferramenta que use interface gráfica pode simplificar e facilitar o emprego dos métodos.

O projeto apresentado neste artigo traz uma proposta de emprego de seleção de portfólio de projetos usando na etapa de pré-seleção, aplicando o conceito de eficiência, e na segunda o MCDM TOPSIS.

Seu desenvolvimento usou a linguagem de programação Python para os métodos de seleção, integrado à interface gráfica desenvolvida usando React JS e Firebase.

O resultado foi uma ferramenta mais fácil de ser usada e de apoio na tomada de decisão de portfólio de projetos.

REFERÊNCIAS

- [1] GOMES, C. F. S., GOMES, L. F. A. M., A Função de Decisão Multicritério. Parte I: Dos Conceitos Básicos à Modelagem Multicritério. Revista do Mestrado em Administração e Desenvolvimento Empresarial, ISSN 2237-5139, Vol. 2, Núm. 3, 2001.
- [2] TZENG, G. H., HUANG, J. J. Multiple attribute decision making: methods and applications. Chapman and Hall/CRC, 2011.
- [3] MARTINS, D. T., MARCONDES, G. A. B. Project Portfolio Selection Using Multi-Criteria Decision Methods. IEEE International Conference on Technology and Entrepreneurship – ICTE (Virtual), 2020.
- [4] FEDOSEJEV, Artemij. React.js essentials. Packt Publishing Ltd, 2015.
- [5] SADATRASOOL, M., BOZORGI-AMIRI A., YOUSEFI-BABADI, A. Project manager selection based on project manager competency model: PCA–MCDM Approach. Journal of Project Management, Volume 1, Núm. 1 pp. 7-20 2016.
- [6] AGGARWAL, Sanchit. Modern web-development using reactjs. International Journal of Recent Research Aspects, v. 5, n. 1, p. 2349-7688, 2018.
- [7] JS, Node; JS, NODE. Node.js. Tradução de: SILVA, AG Disponível em, 2020.
- [8] MEZZARI, Lucas Torres. Internet das Coisas: Arduino, Firebase, e Android. Revista Eletrônica em Gestão e Tecnologia, v. 5, n. 1, p. 93-97, 2019.
- [9] TANNA, Mayur; SINGH, Harmeet. Serverless Web Applications with React and Firebase: Develop real-time applications for web and mobile platforms. Packt Publishing Ltd, 2018.

Aplicando Engenharia de Software no Desenvolvimento de Jogos Digitais

Nathalya Stefhany Pereira, Phyllipe Lima
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
nathalya.stefhany@gec.inatel.br, phyllipe@inatel.br

Abstract—Digital games are also a software product, therefore software engineering practices should be applied during development. Aspects such as unit testing, continuous integration, and design patterns are strongly related to software quality. In this work we explore how some of these topics can be applied to digital games by developing an open-source Arkanoid-style game using the Unity game engine.

Index Terms—design patterns, software engineering, unit tests, game development

Resumo—Jogos digitais também são produtos de software. Assim, as conhecidas práticas de engenharia de software moderna devem ser aplicadas durante o seu desenvolvimento. Práticas como testes de unidade, integração contínua e padrões de projeto estão largamente associadas a qualidade do software. Nesse trabalho, desenvolvemos um jogo de código aberto, estilo Arkanoid, para demonstrar a aplicação de algumas dessas práticas em um contexto de jogo digital.

Palavras chave—engenharia de software, jogos digitais, padrões, testes,

I. INTRODUÇÃO

A Engenharia de Software é uma ramificação da ciência da computação cujo objetivo é resolver problemas e permitir a construção de softwares robustos, flexíveis e extensíveis. Nos tempos atuais os requisitos da construção de software são complexos e mudam com frequência, podendo sofrer alterações diariamente. Assim, torna-se necessário construir um software levando esses aspectos em consideração, caso contrário, possivelmente ele se tornará obsoleto e será inviável entregar as mudanças com a velocidade exigida [1].

É comum desenvolvedores de software darem mais atenção à implementação das funcionalidades do que com a qualidade do código, pois existem prazos rígidos a serem cumpridos. Porém, essa filosofia de trabalho se mostra cada vez mais inviável devido às inúmeras falhas e *bugs* que surgem ao longo do desenvolvimento do software, além de não permitir uma fácil extensão das funcionalidades. Nos estudos modernos de engenharia de software, alguns dos tópicos mais estudados são testes, versionamento, arquitetura, processos, refatoração, princípios e padrões de projetos.

Jogos digitais, por sua vez, também são produtos de software. Se comparando a jogos analógicos, ambos possuem regras, mecânica, arte e narrativa. Porém, o jogo digital é executado em uma plataforma eletrônica e o que permite que tenha vida é seu software [2]. Portanto, é essencial que este seja desenvolvido pensando nos aspectos da engenharia de software.

Dentro da indústria de jogos digitais, porém, não é difundido em larga escala todas as práticas da engenharia de software, como acontece na áreas de desenvolvimento de software corporativo [3]. Além de carecer de estudos e evidências, umas

das razões pode ser a grande quantidade de ferramentas e *frameworks* proprietários, o que pode dificultar a análise e estudo dos códigos fontes dos jogos digitais pela comunidade. No contexto de software para o mercado corporativo, a situação tende a ser o oposto, com grandes empresas usando a abordagem de código aberto.

Sendo assim, este trabalho tem o objetivo de estudar e aplicar a criação de testes de unidade e padrões de projeto na construção de jogos digitais utilizando a *game engine* Unity. Para demonstrar esse estudo, foi desenvolvido um jogo de código aberto no estilo Arkanoid¹

Esse artigo se encontra dividido de acordo com a seguinte estrutura: Na seção II apresentamos o conceito de testes de unidade, o framework NUnit e o Unity Test Runner, que permite executar testes dentro do Unity. Na seção III é apresentado os conceitos dos padrões de projeto, juntamente com os que foram escolhidos para esse trabalho. Na seção IV apresentamos o jogo Arkanoid e como ele foi desenvolvido seguindo algumas práticas da engenharia de software. Na seção V tem-se a conclusão com os desafios futuros.

II. TESTE DE UNIDADE

Teste de unidade é o processo de testar pequenas unidades de código, como classes e métodos, de forma isolada do restante do sistema. Através dele, é possível detectar erros logo no início do desenvolvimento e verificar se o programa está cumprindo com os requisitos. Por definição, os testes de unidades são automatizados, isto é, são códigos escritos com a finalidade de se testar as funcionalidades do sistema.

De maneira geral, os testes de unidade são implementados pelos próprios desenvolvedores após codificarem uma pequena funcionalidade ou antes mesmo de implementá-la. É importante que estes não sejam escritos apenas quando toda aplicação ou grande parte dela tiver sido concluída. Nesse último cenário, os testes podem ser esquecidos ou serem feitos às pressas, o que irá implicar diretamente em um sistema de baixa qualidade.

Escrever testes de unidade ao longo de todo o desenvolvimento cria, naturalmente, um suíte de testes automatizados que pode ser executado toda vez que uma nova funcionalidade é inserida. Com isso, uma maior produtividade é alcançada, pois a ocorrência de regressões no código é menor e o tempo gasto para identificar e corrigir os erros é reduzido. Finalmente, os testes de unidade servem como uma documentação, sempre atualizada, do código fonte [1, 4].

¹<https://github.com/NathalyaStefhany/IC-2020>

Os testes de unidades são fundamentais durante a implementação do TDD (*Test Driven Development*). Esta é uma técnica de desenvolvimento de software guiado por testes, na qual o desenvolvedor primeiro codifica o teste para determinada funcionalidade e posteriormente escreve o código que implementa essa funcionalidade [5].

A. NUnit

Para auxiliar na implementação e execução dos testes são utilizados *frameworks*, como JUnit² e NUnit³, em aplicações desenvolvidas em Java e C#, respectivamente.

O NUnit é um *framework* baseado em metadados de código aberto para testes unitários dentro da plataforma .NET. Foi desenvolvido em 2000 como uma portabilidade do JUnit do Java para .NET e, posteriormente, foi reescrita em C# para que fosse possível adicionar novos recursos e também utilizar recursos já existentes da plataforma .NET.

Sendo baseado em metadados, o NUnit oferece um conjunto de anotações para que o desenvolvedor possa configurar os métodos de teste. Anotações, ou *attributes*, são recursos de linguagens, como Java e C#, para configurar metadados adicionais nos elementos de programação. Em muitas situações, utilizando apenas a estrutura destes elementos não é suficiente para customizar metadados, assim as anotações são uma funcionalidade bastante poderosa [6, 7].

Dentro do conjunto de anotações do NUnit, algumas se destacam pelo seu uso frequente. A anotação `[Test]` indica que é um método de teste, a `[SetUp]` indica que o método deve ser executado antes de cada teste e o `[TearDown]` indica que o método deverá ser executado depois de cada teste.

Uma situação bastante comum para o uso do `[SetUp]` é alocar recursos (como abrir um arquivo) ou executar alguma configuração inicial que é comum para todos os testes anotados com `[Test]`. E o `[TearDown]` tem a função de liberar os recursos ou eliminar alguns arquivos temporários que foram utilizados apenas para os testes.

Os *frameworks* de teste precisam oferecer algum recurso para a verificação automática dos resultados das execuções. Assim, o NUnit possui a classe `Assert` que disponibiliza diversos métodos estáticos, também conhecidos como assertivas, para comparar os resultados esperados com os obtidos. Algumas dessas assertivas estão na Tabela I

TABELA I
ASSERTIVAS PRESENTES NO NUNIT

Assertivas	Funcionalidade
<code>Assert.AreEqual()</code>	Verifica se os resultados são iguais
<code>Assert.AreNotEqual()</code>	Verifica se os resultados são diferentes
<code>Assert.IsTrue()</code>	Verifica se a condição é verdadeira
<code>Assert.IsFalse()</code>	Verifica se a condição é falsa
<code>Assert.IsNull()</code>	Verifica se o resultado é null
<code>Assert.IsEmpty()</code>	Verifica se o resultado está vazio

Na Figura 1 é implementado, em C#, uma classe que representa a estrutura de dados Pilha. A classe possui as seguintes funcionalidades:

- Verificar a quantidade de elementos presente na pilha através do método `tamanho()` na linha 11.
- Verificar se a pilha se encontra vazia através do método `estaVazia()` na linha 16.
- Adicionar novo elemento na pilha através do método `adicionar()` na linha 21.

```

1 public class Pilha
2 {
3     private ArrayList pilha;
4     private int tam = 0;
5
6     public Pilha()
7     {
8         pilha = new ArrayList();
9     }
10
11    public int tamanho()
12    {
13        return tam;
14    }
15
16    public bool estaVazia()
17    {
18        return tam == 0;
19    }
20
21    public void adicionar(int elemento)
22    {
23        pilha.Add(elemento);
24        tam++;
25    }
26 }

```

Fig. 1. Classe Pilha

Para testar essa classe, de forma automatizada com o NUnit, foi criado uma classe com alguns testes de unidade conforme mostra a Figura 2. O primeiro método presente na classe de teste é o `SetUp`, que também está anotado com `[SetUp]`⁴. Nesse método, é feita a instanciação da Pilha que será utilizada pelos demais métodos de teste. Os métodos de teste precisam ser independentes entre si e é importante que todos tenham uma condição inicial adequada. Nesse exemplo da Pilha, cada método de teste requer uma instância de Pilha limpa. Assim, o método `SetUp` irá garantir isso, sendo executado antes de cada método de teste (métodos anotados com `[Test]`).

No restante da classe temos três métodos de teste. O primeiro, `TestePilhaVazia`, verifica se um objeto da classe Pilha, que acabou de ser instanciado, se encontra vazio. O teste assegura o resultado através da assertiva `Assert.IsTrue()`, que verifica se a variável booleana vazia é verdadeira. Caso a variável tivesse valor falso, o teste iria falhar. O próximo teste, `TestePilhaNaoEstaVazia`, verifica se quando adicionarmos um elemento, a Pilha não se encontrará vazia. Observe que primeiro é adicionado um elemento (linha 22) e somente depois é realizada a assertiva. O terceiro teste, `TesteTamanhoPilha()`, verifica se a Pilha está crescendo de forma adequada conforme adicionamos novos elementos.

Nenhum método foi anotado com `TearDown`, pois no método `SetUp` nenhum recurso foi alocado e não houve ne-

²<https://junit.org/junit5/>

³<https://nunit.org/>

⁴O método não precisa ter o mesmo nome da anotação que o configura. Diferentemente do uso de convenção de códigos para configurar metadados, as anotações liberam os desenvolvedores dessas restrições.

cessidade de limpar nenhum arquivo. Sempre que executarmos os testes dessa classe, a princípio, todos os três testes serão executados e irão assegurar que a classe Pilha está funcionando adequadamente.

```

1  public class TestePilha
2  {
3      private Pilha pilha;
4
5      [SetUp]
6      public void SetUp()
7      {
8          pilha = new Pilha();
9      }
10
11     [Test]
12     public void TestePilhaVazia()
13     {
14         bool vazia = pilha.estaVazia();
15         Assert.IsTrue(vazia);
16     }
17
18     [Test]
19     public void TestePilhaNaoEstaVazia()
20     {
21         pilha.adicionar(5);
22         Assert.IsFalse(pilha.estaVazia());
23     }
24
25     [Test]
26     public void TesteTamanhoPilha()
27     {
28         pilha.adicionar(3);
29         pilha.adicionar(5);
30         pilha.adicionar(10);
31         Assert.AreEqual(3, pilha.tamanho());
32     }
33 }

```

Fig. 2. Classe de Teste Pilha

B. Unity Test Framework

O *Unity Test Framework* (UTF) é um *framework* que permite realizar testes automatizados nos modos *Edit Mode* e *Play Mode* utilizando o NUnit como motor de execução. A sua instalação é bem simples, pois é feita diretamente através do *Unity Package Manager*. Este é o gerenciador de dependências do Unity que já vem instalado.

No modo *Edit Mode*, os testes de unidade funcionam na forma tradicional, isto é, o foco é a execução de algum método que, normalmente, não precisa executar o jogo ou pular um quadro. São testes para verificar se uma função faz o que deveria, se um determinado objeto está na cena, acessar *PlayerPrefs*⁵, entre outras coisas. Nesse tipo de teste, por não haver necessidade de inicializar todos os recursos da cena antes do teste, eles tendem a ser mais rápido que os do *Play Mode*.

No *Play Mode*, por sua vez, os testes são feitos em tempo de execução, como se estivesse jogando, para verificar se tudo está funcionando corretamente. Para realizar esse tipo de teste, é necessário utilizar o atributo `[UnityTest]` para que sejam executados como corrotinas (*coroutines*) do Unity.

⁵PlayerPrefs é uma classe auxiliar do Unity para armazenar e acessar dados do jogador entre as sessões do jogo.

III. PADRÕES DE PROJETO

Os padrões de projeto, ou *design patterns*, ganharam popularidade com o trabalho de Gamma et al. [8]. Estes são soluções para problemas recorrentes encontrados durante o desenvolvimento de softwares. Em outras palavras, um padrão não é uma solução nova, mas sim uma solução utilizada com frequência [1, 8, 9].

O uso dos padrões visa deixar o software flexível e extensível, isto é, permite que novas funcionalidades sejam adicionadas com facilidade. Muitos padrões buscam isolar os trechos de códigos que mudam com mais frequência dos trechos mais estáveis. O objetivo é evitar que *bugs* sejam inseridos nas funcionalidades já existentes a cada nova modificação [9].

Sendo soluções orientada a objetos, os padrões procuram utilizar de forma otimizada recursos como herança, polimorfismo e interfaces. Portanto, os padrões devem ser implementados por linguagens de programação que dão suporte a este paradigma. Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidos os padrões *strategy* e *observer*. A escolha se deu pelo fato de ambos resolverem dois problemas recorrentes no desenvolvimento de jogos.

A. Strategy

Este padrão sugere que as instâncias devem ser capazes de modificar o comportamento interno em tempo de execução. Pensando em jogos, um exemplo simples seria quando um personagem é capaz de trocar o tipo de arma que está utilizando durante a execução do jogo.

Para o seu funcionamento, o *strategy* traz a ideia de criar uma família de classes, com a mesma abstração, no qual cada uma irá implementar um comportamento concreto. Considerando o caso da arma do personagem, poderíamos ter duas classes. Uma implementando “arma simples” e a outra uma “arma de gelo”. Ambas compartilham uma mesma interface Arma. A classe Jogador passará a ser composta por alguma instância do tipo Arma. A Figura 3 ilustra esse exemplo com um trecho de código hipotético em que a classe Jogador pode ser composta por uma instância de ArmaGelo ou ArmaSimples.

A classe Jogador não sabe dizer qual é a instância concreta que a esta compondo, a única coisa que sabe é que é um objeto do tipo Arma. Por essa razão, é possível que o tipo de arma seja trocado em tempo de execução.

B. Observer

No contexto de desenvolvimento de jogos, é muito comum que estes possuam algum sistema de conquistas (*achievements*). A ideia é gratificar o jogador por ter atingido um objetivo qualquer. Por exemplo, se o jogador derrotar 5 inimigos em menos de 5 segundos, isso poderá render uma conquista que aparecerá na tela.

Se essa funcionalidade não for implementada no código fonte com cuidado, pode rapidamente criar forte acoplamento entre as classes, aumentar a complexidade, comprometer a legibilidade e inviabilizar a sua evolução. O problema é que, de alguma forma, a classe responsável pelo “inimigo” precisa se comunicar com a classe responsável pela “conquista”. A solução conhecida para esse problema é utilizar o padrão


```

1 public class Jogador
2 {
3     private Arma arma; //A classe jogador esta
4     // sendo composta pela classe Arma
5     public void Atirar(){
6         arma.Atirar(); //O jogador ira delegar
7         // para uma instancia de "arma" atirar
8     }
9 }
10
11 public interface Arma
12 {
13     public void Atirar();
14 }
15
16 public class ArmaSimples : Arma
17 {
18     public void Atirar(){
19         //Arma simples atirando
20     }
21 }
22
23 public class ArmaGelo : Arma
24 {
25     public void Atirar(){
26         //Arma de gelo atirando
27     }
28 }

```

Fig. 3. Exemplo de Padrão Strategy

de projeto *observer*. Este define uma dependência “um para muitos” e, quando um objeto, chamado de observável, mudar de estado, todos os seus dependentes (observadores) são notificados automaticamente [3].

No exemplo apresentado, cada inimigo seria um “observável” e o sistema de conquistas seria um dos “observadores”, pois podemos ter outras parte do código que também são observadores. Toda vez que um inimigo for derrotado, este irá notificar todos os seus observadores, para que cada um decida o que fazer. Um dos benefícios que se ganha ao utilizar o padrão é o desacoplamento entre as classes envolvidas, uma vez que a “observável” não sabe dizer quais classes ela estará notificando. Toda classe que deseja ser notificada, precisa se registrar como uma “observadora”. Podendo cancelar, futuramente, o registro para não ser mais notificada.

IV. ARKANOID

Arkanoid é um jogo eletrônico lançado inicialmente para *arcade*⁶. Foi criado pela Taito Corporation em 1986. O seu objetivo é destruir todos os blocos presentes na cena através de uma bola que será rebatida por uma plataforma. A Figura 4 apresenta o jogo original.

Para estudar os tópicos mencionados de engenharia de software, foi desenvolvido uma versão própria do jogo Arkanoid. A Figura 5 mostra uma das cenas do jogo desenvolvido. Foi utilizada a *game engine* Unity⁷ junto com a IDE Microsoft Visual Studio⁸.

A. Mecânica

O jogo é composto por uma bola, uma plataforma e diversos blocos coloridos de 3 tipos, os comuns, os indestrutíveis e



Fig. 4. Arkanoid Original

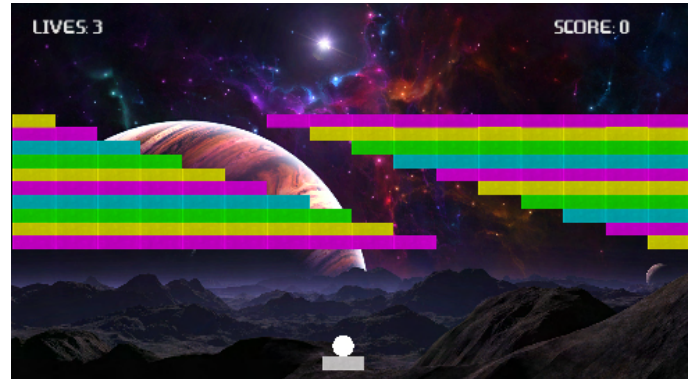


Fig. 5. Tela do jogo Arkanoid

os que liberam algum *powerup*⁹. Os blocos comuns são os destrutíveis e valem pontos. Eles são divididos em 4 diferentes cores que definem a pontuação e quantas batidas são necessárias para destruí-los.

- Amarelo: 10 pontos e 1 batida.
- Rosa: 30 pontos e 2 batidas.
- Azul: 50 pontos e 3 batidas.
- Verde: 100 pontos e 4 batidas.

Os indestrutíveis, representados pela cor cinza, não valem pontos e, como o próprio nome diz, não podem ser destruídos. Servem basicamente como obstáculos e servem para aumentar a dificuldade do jogo. De acordo com Schell [2], desafios devem ser inseridos no jogo para que o jogador não fique entediado.

Os blocos que liberam *powerups* não valem pontos e, se destruído, concedem algum benefício ao jogador. Para destruí-los é necessário apenas uma batida. Foram criados 2 *powerups*, um chamado de “múltiplas bolas” (*multiball*) e outro chamado de “força” (*strongball*), representados pela cor branca e laranja, respectivamente. O primeiro irá criar 2 novas bolas na cena e o segundo torna a bola mais forte, fazendo com que uma única batida, em qualquer bloco comum, o destrua. O poder ficará ativo até que o jogador derrube a bola ou passe de nível.

A jogabilidade consiste em mover a plataforma horizontalmente, utilizando o mouse, com o objetivo de rebater a bola para quebrar os blocos. Caso a bola caia perde-se uma vida, do total de 3. As vidas são mostradas no canto superior esquerdo da tela. Se o jogador destruir todos os blocos, ele avança de nível (ou fase).

⁶No Brasil os *arcades* ficaram conhecidos pelo nome fliperama

⁷<https://unity.com>

⁸<https://visualstudio.microsoft.com>

⁹Os *powerups* são poderes que o jogador pode adquirir ao longo de jogo

A pontuação dos blocos destruídos é acumulado pelos níveis conforme o jogador avança. Ela fica disponível no canto superior direito de cada fase ou nas telas de *game over* e *vitória*.

Quando o jogador completar o jogo ou perder todas as vidas, a pontuação é salva junto com o seu nome. Posteriormente, caso esteja entre os 5 melhores jogadores, a pontuação será adicionada em uma tabela de pontuação presente na tela *Score*. Esta tela exibe apenas a pontuação dos melhores jogadores.

No total, foram criadas 9 cenas, sendo 7 referentes ao jogo principal e 2 como auxiliares para a realização de alguns testes de unidade.

B. Teste de Unidade

No *Edit Mode* foram criados algumas classes de teste, entre elas o *TestAddScore*. A classe possui no total 3 métodos:

- *Init*: tem a função de criar os objetos de pontuação, compostos por nome, nível e pontuação, e realizar as instanciações necessárias para a realização dos testes. Na engenharia de software, chamamos essa etapa de *fixture* do teste.
- *TestSortScore*: adiciona os objetos na lista de pontuações instanciada no *Init*, chama a função de ordenação e verifica se a lista retornada da função está ordenada pelos pontos em ordem decrescente.
- *TestSortByNameWhenScoreEqual*: é similar ao anterior, porém irá verificar se, quando tem objetos com pontuações iguais, os mesmos são ordenados pelo nome do jogador em ordem alfabética.

Para a realização dos testes no *Play Mode* foram criadas cenas específicas que irão simular o jogo para verificar se está funcionando de acordo com o esperado. Uma das cenas de teste, por exemplo, contém apenas um bloco para verificar se, quando destruído, o jogador irá para a próxima fase. Esse teste poderia ser feito em alguma das fases criadas, porém estas contém muitos blocos e o teste de unidade se tornaria lento.

C. Padrões de Projeto

Os padrões foram utilizados em duas situações. Atualizar a UI com a pontuação do jogador e adicionar novos poderes a bola.

No primeiro caso, foi utilizado o padrão *Observer* para que seja possível realizar a comunicação entre as classes *Block* e *Score* sem gerar um forte acoplamento.

A classe *Block* é o “observável”, sendo responsável por registrar os “observadores” e notifica-los quando o bloco for destruído. A Figura 6 apresenta os trechos do código encarregados de implementar o padrão. Com o decorrer do jogo, cada vez que um bloco é destruído, será chamado o método *DestroyBlock()* (linha 15), que irá chamar o método *Notify()* (linha 17) para notificar os “observadores” sobre a ação ocorrida e, em seguida, é destruído o objeto. A linha 24 irá chamar o método *Update()* de cada “observador”, avisando-os da destruição, para que possam realizar suas tarefas sendo, nesse caso, a atualização da UI.

A classe *Score* é o “observador”, que, quando notificado que um bloco foi destruído, irá pegar a pontuação do bloco e atualizar a pontuação atual do jogador. Na Figura

```

1 public class Block : MonoBehaviour, Observable
2 {
3     List<Observer> observers;
4
5     void Awake()
6     {
7         observers = new List<Observer>();
8     }
9
10    public void RegisterObserver(Observer obs)
11    {
12        observers.Add(obs);
13    }
14
15    public void DestroyBlock()
16    {
17        Notify(this);
18        Destroy(this.gameObject);
19    }
20
21    public void Notify(object observable)
22    {
23        foreach(var observer in observers)
24            observer.Update(this);
25    }
26 }

```

Fig. 6. Classe *Block* (*Observable*)

7 é mostrado sua implementação. Na linha 14 é chamado o *RegisterObserver()* para que instâncias de *Score* se registrem como “observador” dos blocos. Quando os blocos forem destruídos, eles notificarão os observadores e o método *Update()* será chamado, recebendo como parâmetro o objeto “observável” (bloco) para que sua pontuação seja acumulada com o total do jogador (linha 21).

```

1 public class Score : MonoBehaviour, Observer
2 {
3     Observable[] observables;
4
5     void Start()
6     {
7         playerPoints = PlayerPrefs.
8             GetInt("CurrentScore");
9
10        observables = GameObject.
11            FindObjectsOfType<Block>();
12
13        foreach (Observable obs in observables)
14            obs.RegisterObserver(this);
15    }
16
17    public void Update(object observable)
18    {
19        Block block = (Block)observable;
20
21        playerPoints += block.points;
22    }
23 }

```

Fig. 7. Classe *Score* (*Observer*)

O padrão *Strategy* foi utilizado no *powerup* de força da bola para realizar a troca de dano em tempo de execução, ou seja, quando o jogador coletar o *powerup*, será realizado a troca imediata do dano da bola, deixando-a mais forte. Quando o jogador deixar a bola cair, a força volta para o normal.

Para isso, foi criado duas classes para implementar os diferentes tipos de dano que a bola oferece (forte e nor-

mal), compartilhando a mesma classe abstrata `Damage`. A classe `Damage` é composto por um método abstrato `ExecuteDamage()` que será implementado pelas classes `StrongDamage` e `NormalDamage` que são responsáveis por definir como vai ser o dano da bola, sendo que no primeiro caso o bloco é destruído na primeira batida e, no segundo caso, o bloco precisa receber uma determinada quantidade de batidas, baseado na sua cor, para poder ser destruído. Na Figura 8 é mostrado os trechos referentes ao padrão.

```

1  public class Ball : MonoBehaviour
2  {
3      [SerializeField]
4      private Damage damage;
5
6      private void OnCollisionEnter2D
7          (Collision2D collision)
8      {
9          if (collision.gameObject.
10             CompareTag("Destructible"))
11          {
12              damage.
13                  ExecuteDamage(collision.gameObject);
14          }
15      }
16  }
17
18  public abstract class Damage : MonoBehaviour
19  {
20      public abstract void ExecuteDamage
21          (GameObject block);
22  }
23
24  public class NormalDamage : Damage
25  {
26      public override void ExecuteDamage
27          (GameObject goBlock)
28      {
29          if (block.GetNumHits() >= maxHits)
30              block.DestroyBlock();
31      }
32  }
33
34  public class StrongDamage : Damage
35  {
36      public override void ExecuteDamage
37          (GameObject goBlock)
38      {
39          block.DestroyBlock();
40      }
41  }

```

Fig. 8. Padrão *Strategy* no *powerup*

V. CONCLUSÃO

É essencial que os desenvolvedores de software garantam qualidade no produto final que será entregue. Além disso, deve ser possível adicionar novas funcionalidades para incrementar a experiência do usuário, caso contrário, rapidamente o software ficará desatualizado. Com a crescente complexidade, é necessário aprimorar o processo de criação através da engenharia de software.

Jogos digitais são produtos de software, e esse trabalho teve o objetivo de aplicar e entender alguns aspectos como testes de unidade e padrões de projeto dentro do contexto de jogos digitais. Utilizando a *game engine* Unity foi possível aplicar testes de unidade combinando os *frameworks* NUnit e

o Unity Test Framework. A cada nova funcionalidade adicionada, poderíamos executar os testes para validar se as demais funcionalidades ainda estavam funcionando corretamente. Um desafio interessante foi automatizar a jogabilidade (como fazer a bolinha se movimentar sozinha), para que o testes fossem de fato executados sem nenhuma intervenção manual.

Pensando na codificação das funcionalidades, os padrões de projeto se mostram como boas soluções que contribuem para desacoplar o código e auxiliam na separação de trechos de códigos mais estáveis, daqueles que se alteram com mais frequência. Para o jogo, foi implementado com sucesso um sistema de *powerups* com o auxílio do padrão *strategy*, enquanto para a atualização da UI foi utilizado o padrão *observer*.

Como trabalho futuro, existem outros aspectos que podem ser estudados e explorados para melhor entender como a engenharia de software pode ajudar na construção de jogos digitais com qualidade. Em termos de padrões de projeto, pode-se analisar casos em que outros padrões podem ser aplicados no código do jogo. Pode-se, também, explorar mais os testes de unidade e desenvolver um guia com melhores práticas para a sua implementação.

REFERÊNCIAS

- [1] Marco Túlio Valente. *Engenharia de Software Moderna: Princípios e Práticas para Desenvolvimento de Software com Produtividade*. 1st. 2020. ISBN: 6500019504, 978-6500019506.
- [2] J. Schell. *The Art of Game Design: A Book of Lenses*. 2nd. A. K. Peters, Ltd., 2014. ISBN: 1466598646, 9781466598645.
- [3] R. Nystrom. *Game Programming Patterns*. Genever Benning, 2014. ISBN: 9780990582908. URL: <https://books.google.com.br/books?id=AnvVrQEACAAJ>.
- [4] N. Fat, M. Vujovic, I. Papp e S. Novak. "Comparison of AngularJS framework testing tools". Em: *2016 Zooming Innovation in Consumer Electronics International Conference (ZINC)*. 2016, pp. 76–79.
- [5] M. F. Aniche e M. A. Gerosa. "How the Practice of TDD Influences Class Design in Object-Oriented Systems: Patterns of Unit Tests Feedback". Em: *2012 26th Brazilian Symposium on Software Engineering*. 2012, pp. 1–10.
- [6] Eduardo Guerra. *Componentes Reutilizáveis em Java com Reflexão e Anotações*. 1st. [in portuguese]. Casa do Código, 2014. ISBN: 978-85-66250-50-3.
- [7] P. Lima, E. Guerra, P. Meirelles, L. Kanashiro, H. Silva e F. Silveira. "A Metrics Suite for Code Annotation Assessment". Em: *Journal of Systems and Software* 137 (2018), pp. 163–183. ISSN: 0164-1212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.11.024>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016412121730273X>.
- [8] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson e John Vlissides. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1995. ISBN: 0201633612.
- [9] Eduardo Guerra. *Design Patterns com Java Projeto orientado a objetos guiado por padrões*. 1st. [in portuguese]. Casa do Código, 2010. ISBN: 978-85-66250-11-4.

Duas Redes Neurais para a Estimação da Transformada Discreta de Fourier

Bruna de Souza Ribeiro e Rausley Adriano Amaral de Souza

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

bruna.br@gea.inatel.br, rausley@inatel.br

Abstract—This work aims to present an alternative for implementation of the discrete Fourier transform through two artificial neural networks developed in Python programming language. The construction and training will be shown as well as the performance of the neural networks in the applied tests.

Index Terms—Artificial intelligence, neural network, discrete Fourier transform.

Resumo—Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa para a implementação da transformada discreta de Fourier por meio de duas redes neurais artificiais desenvolvidas na linguagem de programação Python. Serão mostrados a construção e o treinamento dos modelos, bem como o desempenho nos testes aplicados.

Palavras chave—Inteligência artificial, rede neural, transformada discreta de Fourier.

I. INTRODUÇÃO

Em processamento digital de sinais, reconhecimento de fala, análise de sistemas e em diversas outras áreas, tem-se a necessidade de observar os dados no domínio da frequência [1]. Uma das ferramentas utilizadas para a observação dos sinais em tal domínio é a transformada discreta de Fourier (TDF). Como será apresentado posteriormente, o cálculo dessa transformada possui um alto custo computacional, tornando-a inviável para grande quantidade de dados. A fim de solucionar esse problema, diminuindo o número de operações e, conseqüentemente, o tempo de execução, foi desenvolvida em 1965 [2] a transformada rápida de Fourier (TRF), um algoritmo amplamente usado e presente em várias linguagens de programação como Python e Matlab.

Devido à importância da TDF, principalmente para a área de telecomunicações, é conveniente que com o desenvolvimento tecnológico se estude novas formas, ou se aprimore os meios já existentes para o seu uso. A alternativa sugerida neste artigo é por meio da Inteligência Artificial (IA), de forma mais específica, pela construção de redes neurais artificiais. Sabe-se que os algoritmos de IA, comparado a outros tipos, possui um diferencial no que se refere à resolução de problemas complexos [3], tornando possível manipular grandes conjuntos de dados em um curto espaço de tempo. Nesse sentido, há dois artigos que se destacam na literatura. Em [4] o autor explora a vantagem do processamento em paralelo das redes neurais para o cálculo da TDF, não sendo necessário seu treinamento. Em [5] é proposta a construção de uma rede neural para estimar a parte real da transformada. Com base nesses artigos e por meio do estudo de aprendizagem de máquina, duas redes neurais artificiais foram desenvolvidas, uma para o cálculo da parte real e outra referente à parte imaginária da TDF.

Este trabalho está organizado da seguinte maneira. A Seção II apresenta uma breve explicação da transformada de Fourier bem como da TRF. A Seção III explica o desenvolvimento e o treinamento das redes neurais artificiais. A Seção IV mostra os resultados obtidos pelas redes neurais propostas e, na Seção V a conclusão do artigo é apresentada.

II. TRANSFORMADA DE FOURIER

A transformada de Fourier, diferentemente da série de Fourier, é usada para se obter a representação espectral tanto de sinais periódicos quanto não-periódicos e pode ser compreendida como um caso particular da transformada de Laplace, outra ferramenta para representação de sinais e sistemas [6]. Os cálculos da transformada geram resultados no domínio complexo possibilitando a construção do espectro de frequência. É possível aplicar a transformada em sinais contínuos e discretos.

A. Transformada Contínua de Fourier

Para sinais contínuos no tempo, tem-se a transformada contínua de Fourier dada por

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

em que $X(\omega)$ é a transformada de Fourier do sinal, $x(t)$ é o sinal em função do tempo e na exponencial complexa, tem-se que ω é a frequência angular e t é variável relacionada ao tempo.

B. Transformada Discreta de Fourier

Em termos computacionais, os sinais precisam ser discretizados, por esse motivo utiliza-se a TDF ao invés da versão apresentada em (1). Para um sinal discreto $x[n]$ limitado no tempo, possuindo N amostras, sua transformada pode ser calculada por

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]W_N^{kn} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

em que,

$$W_N = e^{-j(2\pi/N)}. \quad (3)$$

Na equação (2), $x[n]$ é a n -ésima amostra do sinal no domínio do tempo e $X[k]$, a k -ésima amostra da transformada do sinal.

Com isso, vê-se que são necessárias N^2 multiplicações complexas. Por exemplo, para um conjunto de 10^6 amostras serão feitas 10^{12} operações e, em se tratando de grandes quantidades de dados leva-se muito tempo para a execução dos cálculos, o que pode ser impraticável.

C. Transformada Rápida de Fourier

O algoritmo desenvolvido por Cooley e Tukey [7] soluciona o problema do alto custo computacional da TDF explorando uma de suas propriedades, a linearidade [2]. Ao se utilizar a transformada rápida de Fourier é possível diminuir a quantidade de operações dividindo o sinal em partes e aplicando a transformada nesses pequenos conjuntos. Há diferentes formas de implementar esse algoritmo e uma delas é por meio da decimação no tempo. De acordo com HSU [6], os cálculos dessa variação da TRF, considerando um sinal discreto $x[n]$ de tamanho igual a N , são feitos pelas seguintes equações

$$X[k] = F[k] + W_N^k G[k] \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (4a)$$

$$X[k + \frac{N}{2}] = F[k] - W_N^k G[k] \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (4b)$$

em que,

$$F[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} f[n] W_{N/2}^{kn} \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (5a)$$

$$G[k] = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} g[n] W_{N/2}^{kn} \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1. \quad (5b)$$

Na equação (5), assim como W_N é definido em (3), tem-se que $W_{N/2} = e^{-j(2\pi/N/2)}$. As componentes $f[n]$ e $g[n]$ e suas transformadas $F[k]$ e $G[k]$ representam, respectivamente, amostras de índices pares e ímpares do sinal, logo o conjunto de dados é dividido por um fator igual a 2. A complexidade desse algoritmo é $O(n \log n)$, então o número de operações para o exemplo dado anteriormente, com um conjunto de 10^6 amostras, passa a ser igual a $6 \cdot 10^6$, reduzindo consideravelmente o custo computacional.

III. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As redes neurais artificiais foram inspiradas no sistema nervoso dos animais e, assim como os neurônios biológicos, elas são formadas por unidades básicas que processam e compartilham informações entre si. No caso dos neurônios artificiais, essas informações são dados numéricos processados através de uma função matemática previamente definida, conhecida como função de ativação ou transferência. As entradas de um neurônio são multiplicadas cada uma por um peso, somadas com um termo denominado *bias* e, ao resultado dessas operações, é aplicada a função de ativação formando a saída desse neurônio. Pode-se, portanto, representar um neurônio conforme a Figura 1.

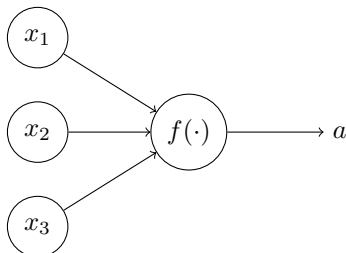


Fig. 1. Representação de um neurônio artificial com múltiplas entradas.

A saída (ou *output*) a de um neurônio contendo 3 entradas como o da Figura 1, é dada matematicamente por

$$a = f\left(\sum_{i=1}^3 w_i x_i + b\right) \quad (6)$$

em que, w_i é o peso ligado à i -ésima entrada x_i , b é o termo pertencente ao neurônio e denominado *bias* e $f(\cdot)$ é a função de ativação.

A escolha da função de ativação irá depender do problema a ser resolvido, no caso apresentado neste artigo foi utilizada uma função linear em que $f(x) = x$. Outras funções comumente usadas são: Sigmoid, Tangente Hiperbólica (TanH) e Unidade Linear Retificada (ReLU) [8]. Os neurônios são agrupados em camadas ou *layers* e a forma como eles estão distribuídos determina o tipo de rede neural. A quantidade de camadas e neurônios definem a sua complexidade. A Figura 2 mostra a configuração de uma rede neural do tipo *feed forward*.

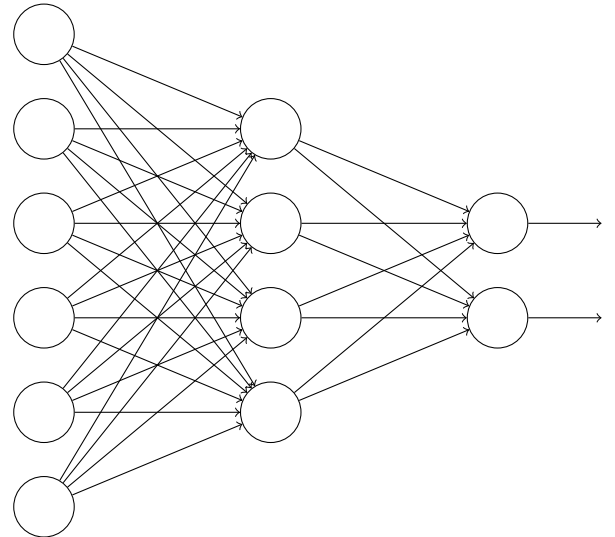


Fig. 2. Representação de uma rede neural artificial do tipo *feed forward*.

Na Figura 2 pode-se identificar três tipos de camadas: '*input layer*' que recebe os dados de entrada; '*output layer*' que é a saída da rede neural e entre eles, o '*hidden layer*'. Nesse tipo de rede, cada neurônio de uma camada se conecta com todos os neurônios da camada subsequente. Considerando, primeiramente, uma rede neural com apenas um neurônio em cada camada L , essa relação é definida por

$$a^L = f(z^L) \quad (7)$$

em que w e b se referem aos pesos e *bias* respectivamente e,

$$z^L = w^L a^{L-1} + b^L. \quad (8)$$

Importante destacar que L nessas equações é apenas um índice e não a operação de potência. Quando as camadas apresentam mais de um neurônio é necessário acrescentar mais índices para indentificá-los. Desse modo, pode-se definir a saída a_j^L do j -ésimo neurônio pertencente à camada L como

$$a_j^L = f(z_j^L) \quad (9)$$

em que $f(\cdot)$ é a função de ativação e

$$z_j^L = \sum_{k=0}^{M_L-1} w_{jk}^L a_k^{(L-1)} + b_j^L. \quad (10)$$

Em (10), M é a quantidade total de neurônios da camada L e $a_k^{(L-1)}$ é a saída do k -ésimo neurônio da camada $L-1$. Os outros termos possuem as mesmas definições apresentadas em (7) e (8). Neste trabalho, as duas redes neurais construídas possuem apenas 1 *hidden layer* com 51 neurônios e ambos *input* e *output layer* possuem 100 neurônios.

A. Treinamento

O treinamento de uma rede neural pode ser de forma supervisionada, não-supervisionada, por reforço, dentre outras [8]. Neste artigo será dado destaque ao primeiro tipo. Em um treinamento supervisionado, as redes neurais recebem tanto as entradas quanto as saídas desejadas e, utilizando-se do algoritmo de gradiente descendente pode-se encontrar os melhores valores para os pesos e *bias* de modo a minimizar o erro das predições. Neste ponto, são importantes dois conceitos: Gradiente Descendente e *Backpropagation*.

O cálculo do gradiente de uma função por suas derivadas parciais tem como resultado um vetor que se direciona para a região de maior crescimento dessa função, e o vetor oposto a esse chamado gradiente descendente aponta, portanto, para região de menor crescimento. Durante o treinamento das redes neurais calcula-se o gradiente descendente correspondente à função de erro entre a saída gerada pela rede e o valor desejado (ou *label*). A função utilizada para o treinamento dos modelos apresentados neste trabalho foi o erro quadrático médio, dada por

$$E = \frac{1}{n} \sum_x \|y(x) - a^L(x)\|^2 \quad (11)$$

em que n é a quantidade total de exemplos, x é a entrada, $y(x)$ é o vetor da saída desejada e $a^L(x)$ é o vetor contendo a saída dada pelo modelo.

A atualização dos pesos e *bias* por intermédio do gradiente descendente denomina-se *backpropagation* [8]. Vale ressaltar que pela quantidade de exemplos usados a cada atualização, conhecida também como iteração, classifica-se o algoritmo de gradiente descendente em: *batelada* ou *batch*, ao utilizar todo conjunto de treinamento; *estocástico* ou *stochastic*, quando apenas um exemplo do conjunto de treinamento é usado; ou *mini-batch*, determinada quantidade de exemplos é usada. Ao passar por todo o conjunto de treinamento, completa-se uma época. As equações usadas para a modificação dos parâmetros são

$$w_{jk}'^L = w_{jk}^L - \alpha \frac{\partial E}{\partial w_{jk}^L} \quad (12)$$

$$b_j'^L = b_j^L - \alpha \frac{\partial E}{\partial b_j^L}. \quad (13)$$

Em (12) e (13), o índice k refere-se ao k -ésimo neurônio da camada $L-1$, o índice j , ao j -ésimo neurônio da camada L . As variáveis $w_{jk}'^L$ e $b_j'^L$ são, respectivamente, o peso e o *bias* atualizados. A variável α é o passo de aprendizagem, um parâmetro importante no treinamento das redes neurais. Conforme anteriormente, o gradiente descendente tem a função de apontar em que direção os pesos devem ser atualizados. Por sua vez, o passo de aprendizagem está associado ao quanto é necessário modificá-lo. A utilização de um passo de aprendizagem muito grande faz com que nunca se encontre o mínimo da função de erro e, quando muito pequeno se aprenda de forma lenta [8].

É importante destacar que existem variações do algoritmo gradiente descendente que introduzem outros conceitos, dentre eles *Adam* e *RMSprop* [8]. Para o problema apresentado, as redes neurais foram treinadas usando gradiente descendente com o passo de aprendizagem igual a 0.01, durante 1500 épocas e *mini-batch* contendo 250 exemplos.

B. Conjunto de dados e Validação

Durante e após o treinamento é importante verificar o desempenho do modelo em relação a dados nunca vistos. Para isso, separa-se o conjunto de dados em subconjuntos calculando o erro das predições, processo denominado validação e que pode ser aplicado de diferentes formas. Nas redes neurais apresentadas neste artigo, foi utilizada a técnica de validação cruzada em que os dados foram divididos em conjunto de treinamento e conjunto de teste. Para a atualização dos pesos e *bias* utilizou-se apenas 80% do primeiro conjunto e o restante foi usado como validação depois de finalizada cada época. Após o treinamento, calculou-se o desempenho do modelo com o conjunto de teste. Destaca-se que todos os dados utilizados foram gerados de forma aleatória. O conjunto de treinamento foi composto por 30000 sinais reais resultantes da soma de senóides com diferentes frequências e ruído aditivo Gaussiano branco. A quantidade de senóides somadas e as frequências foram retiradas aleatoriamente de uma distribuição uniforme como pode ser visto no Código 1.

```

1 import random
2 import numpy as np
3
4 n_examples = 30000 # Quantidade de exemplos
5 t = np.linspace(0, 1, 100) # Variável de tempo
6 x_data = [] # Armazena os exemplos
7
8 # Criando os sinais
9 for e in range(n_examples):
10     # Número de senos
11     n_sin = random.randint(1, 10)
12     # Armazena um sinal
13     signal = 0
14     for i in range(n_sin):
15         # Frequência da senoide
16         freq = random.randint(1, 10)
17         # Variável auxiliar
18         aux = np.sin(2*np.pi*freq*t)
19         signal += aux
20     # Somando o ruído ao sinal
21     signal = signal + np.random.randn(100)
22     x_data.append(signal)

```

Código 1: Formação do conjunto de dados.

Da mesma forma, o conjunto de teste foi formado por sinais exponenciais e por outras funções como a função Degrau, Sinc e Retangular (Rect). Cada exemplo possuía 100 amostras.

IV. RESULTADOS

O treinamento das duas redes neurais foi feito com o uso da biblioteca Tensorflow, os dados construídos com a biblioteca Numpy e os gráficos com Matplotlib. O código referente ao desenvolvimento das redes neurais apresentadas nesse trabalho pode ser encontrado em [9]. A Figura 3 e a Figura 4 mostram o erro quadrático médio por época da rede usada no cálculo da parte real e da parte imaginária da transformada, respectivamente.

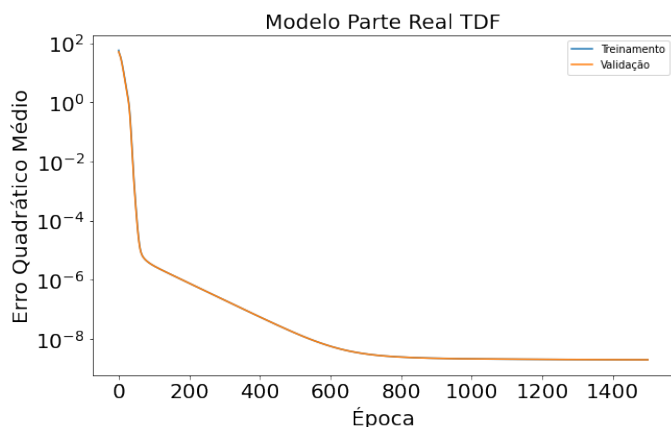


Fig. 3. Erro por época da rede referente à parte real.

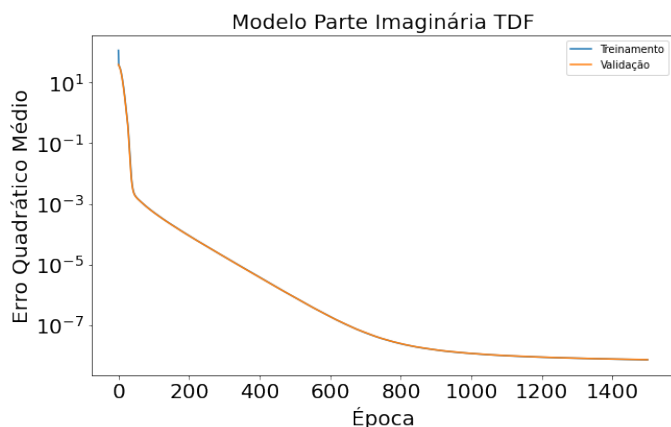


Fig. 4. Erro por época da rede referente à parte imaginária.

É necessário realçar que devido à escala usada na construção dos gráficos, as curvas de erro do conjunto de treinamento e de validação se sobrepõem, porém seus valores são aproximados. Na última época, os erros tanto do conjunto de treinamento quanto de validação foram em torno de $1,97 \cdot 10^{-09}$ para o modelo da parte real e $7,16 \cdot 10^{-09}$ para o modelo da parte imaginária.

A seguir será dado um exemplo de comparação entre o espectro de amplitude obtido com o uso da TRF calculada pela biblioteca Numpy e o espectro construído com as redes neurais implementadas. Para isso, somou-se duas senoides de frequências distintas amostradas em 100 elementos durante o intervalo de 1 segundo. Também foi adicionado um ruído

Gaussiano branco. O sinal resultante pode ser visto pela Figura 5. Os gráficos das Figuras 6 e 7 mostram os espectros de amplitude, sendo que o erro quadrático médio obtido foi igual a $2,16 \cdot 10^{-09}$.

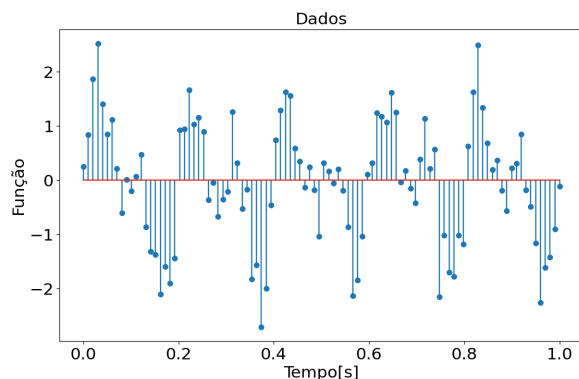


Fig. 5. Espectro de amplitude gerado com a biblioteca Numpy.

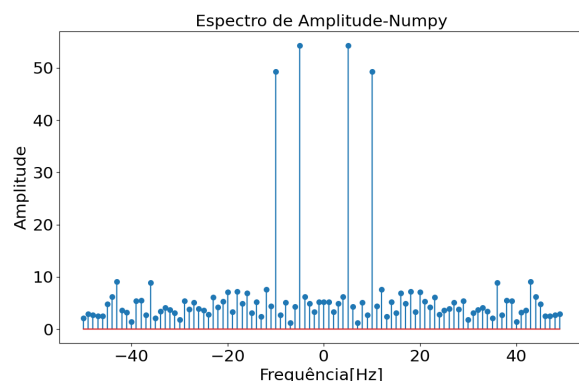


Fig. 6. Espectro de amplitude gerado com a biblioteca Numpy.

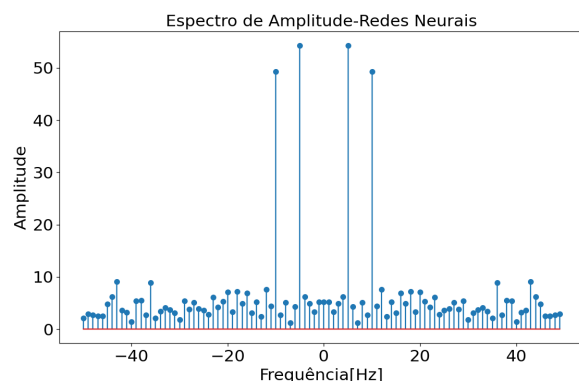


Fig. 7. Espectro de amplitude gerado com as redes neurais propostas.

Com esses resultados, vê-se que os modelos apresentaram erros consideravelmente pequenos, porém o tipo de rede neural utilizada possui uma estrutura fixa sendo necessário que o sinal possua 100 amostras, quantidade dos neurônios do *input layer*. Desse modo, quando o sinal apresenta uma quantidade menor de pontos amostrados é preciso acrescentar zeros até que se tenha 100 pontos, técnica conhecida como *zero padding*. Nesse sentido, o espectro gerado pelas redes neurais é o resultado da convolução entre o espectro do sinal original e a função Sinc,

devido aos zeros acrescentados. A Figura 8 mostra o exemplo de um sinal contendo 8 amostras retiradas de um exercício proposto em [6]. Pela Figura 9, pode-se ver a comparação entre a amplitude da TDF gerada a partir do sinal original e sua amplitude quando se acrescenta zeros.

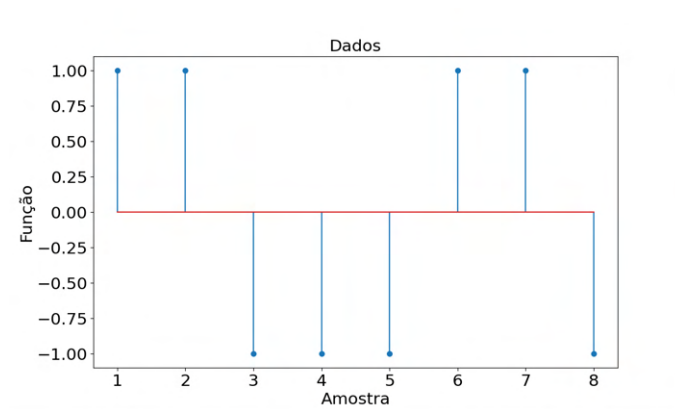


Fig. 8. Conjunto de dados com 8 amostras.

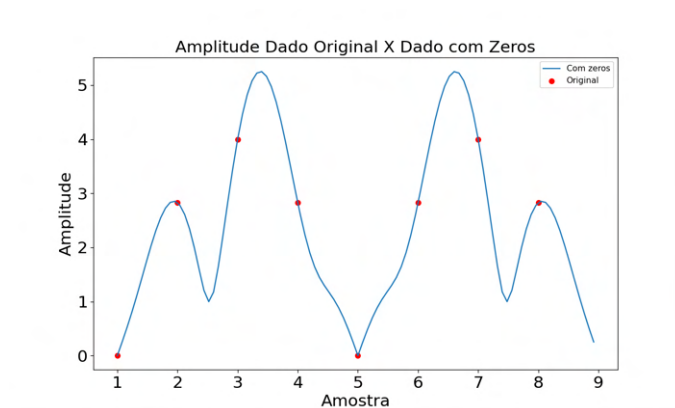


Fig. 9. Comparação da amplitude da TDF de um sinal original e com zeros.

Outra questão importante para se destacar é em relação ao tempo das previsões. As operações das redes neurais podem ser aceleradas com a utilização de *hardwares* específicos [10], fazendo com que o tempo de execução dos modelos sugeridos seja menor que o algoritmo da TRF.

Assim, os modelos propostos se destacam de duas formas. Além das vantagens de processamento das redes neurais e, diferentemente do modelo proposto em [4], com o treinamento da rede neural há uma redução significativa da quantidade de operações para um conjunto de dados grande. E, em comparação ao modelo sugerido em [5] que se refere somente à parte real da TDF, é notável a diferença do erro presente durante o treinamento e na saída da rede neural.

V. CONCLUSÃO

Conclui-se que, com grande acurácia, é possível estimar a TDF por meio de redes neurais artificiais. As limitações apresentadas e a existência de outros tipos de redes revelam a possibilidade de futuros trabalhos, contribuindo não somente para a área de telecomunicações mas também para o avanço tecnológico em totalidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Ph.D. Steven W. Smith. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. California Technical Pub. San Diego, 1997. URL: <http://www.dspguide.com/ch9.htm>.
- [2] B. P. Lathi. *Sinais e Sistemas Lineares*. 2nd. Bookman, 2008. ISBN: 9788577803910.
- [3] M.A. Nielsen. *Neural Networks and Deep Learning*. Determination Press, 2015. URL: <http://www.neuralnetworksanddeeplearning.com/>.
- [4] Rosemarie Velik. "Discrete Fourier Transform Computation Using Neural Networks". Em: dez. de 2008, pp. 120–123. DOI: 10.1109/CIS.2008.36.
- [5] Jonathan Tuck. "Estimating the Discrete Fourier Transform using Deep Learning". Em: (2018).
- [6] Ph.D. Hwei P. Hsu. *Signal and Systems*. 2nd. McGraw-Hill Companies, 2011. ISBN: 9780071634731.
- [7] James W Cooley e John W Tukey. "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series". Em: *Mathematics of computation* 19.90 (1965), pp. 297–301.
- [8] Aurélien Géron. *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, tools, and techniques to build intelligent systems*. O'Reilly Media, 2017. ISBN: 9781491962299.
- [9] Bruna de S. Ribeiro. Maio de 2021. URL: <https://github.com/BrunaSR/ANN-DFT>.
- [10] Yihua Liao. "Neural Networks in Hardware: A Survey". Em: *Department of Computer Science, University of California* (2001).

Breve Tutorial em Programação de Microcontroladores ESP8266 com MicroPython

Fernando F. Ramborger, Maria F. Totti, Maysa F. dos Santos, Evandro C. Vilas Boas

Laboratório de Cyber Segurança e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
fernandoramborger@gec.inatel.br, mariafernanda.mf@get.inatel.br, maysa.santos@gea.inatel.br, evandro.cesar@inatel.br

Abstract—This work presents a brief tutorial on the development of IoT (Internet of Things) applications using the MicroPython programming language and the ESP8266 microcontroller. MicroPython is a Python adaptation, which sets optimized standard libraries. It is used to program the NodeMCU platform, which integrates the ESP8266 microcontroller. This tutorial demonstrates how to install the integrated development environment uPyCraft, update the ESP8266 firmware, manipulate GPIO pins and make an MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) connection.

Index Terms—Internet of Things, Python, MicroPython, NodeMCU, ESP8266.

Resumo—Este trabalho apresenta um breve tutorial sobre o desenvolvimento de aplicações IoT (*Internet of Things*) empregando a linguagem de programação MicroPython e o microcontrolador ESP8266. O MicroPython é uma adaptação do Python que integra um conjunto de bibliotecas padrão otimizadas. Emprega-se essa linguagem para programar a plataforma de desenvolvimento NodeMCU, que utiliza o microcontrolador ESP8266. Demonstra-se como instalar o ambiente de desenvolvimento integrado uPyCraft, atualizar o *firmware* do ESP8266, manipular pinos GPIO e realizar uma conexão MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*).

Palavras chave—Internet das Coisas, Python, MicroPython, NodeMCU, ESP8266.

I. INTRODUÇÃO

A conexão de dispositivos diversos à Internet permite o controle remoto de suas funções e/ou o sensoriamento de aspectos naturais e humanos [1]. Essa abordagem define de modo geral o termo Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT), inicialmente proposto por Kevin Ashton em 1999. Em uma rede IoT, considera-se a conexão e comunicação entre dispositivos para troca de dados e comandos [2, 3]. Conectam-se aparelhos eletrônicos à Internet para controle de seu funcionamento. Utilizam-se sensores em diversas aplicações para coleta de dados, abrangendo aplicações industriais, residências, agrícolas, etc. Atuadores executam comandos específicos para modificação de um ambiente e/ou interação com pessoas.

Para a conexão à Internet e comunicação com outros dispositivos e servidores, definem-se alguns protocolos de comunicação voltados para atender aos requisitos de dispositivos IoT como consumo de energia, abrangência geográfica, qualidade de serviço e vida útil de baterias [4]. Dentre esses protocolos, cita-se o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) amplamente utilizado para desenvolver aplicações IoT [5, 6]. Esse protocolo permite a comunicação entre dispositivos IoT de uma mesma aplicação por meio de uma arquitetura publica/assina. Os dispositivos conectam-se diretamente em um servidor denominado de *broker* que

gerencia a troca de informações estruturando-as em tópicos. Para enviar uma informação à rede, um dispositivo troca mensagens com o *broker* para publicá-la em um tópico. Outros dispositivos interessados em acessar esses dados, indicam ao *broker* a assinatura do tópico. Referem-se a esses processos respectivamente como *publish* e *subscribe* [5, 6].

No meio acadêmico, empregam-se algumas plataformas de *hardware* para o aprendizado e desenvolvimento de aplicações IoT. Geralmente, utilizam-se os microcontroladores da família ATmega e o ESP8266 embarcados em plataformas de *hardware* comumente referenciadas como Arduino e NodeMCU [7, 8]. Para ambos os microcontroladores, a linguagem de programação usual é baseada no C/C++. Todavia, pode-se adaptar o microcontrolador ESP8266 para que a programação do *hardware* seja realizada em linguagem Python específica, denominada MicroPython [9, 10, 11]. O MicroPython é uma versão condensada do Python 3 e embarcada em *hardware*.

Esse trabalho apresenta um breve tutorial para a programação de microcontroladores ESP8266 empregando a linguagem MicroPython. Elencam-se as principais informações para uso da linguagem MicroPython na programação do NodeMCU, representando um resumo de um caderno tutorial desenvolvido pelos autores. Estruturou-se o trabalho em seis seções. Na Seção II, abordam-se alguns aspectos de *hardware* da plataforma NodeMCU como principais características e pinagem. Discute-se a linguagem de programação em MicroPython na Seção III, elencando as principais bibliotecas e comandos. Na Seção IV, introduz-se o ambiente de desenvolvimento integrado uPyCraft, demonstra-se como atualizar o *firmware* da plataforma NodeMCU, manipulam-se pinos GPIO (*General Purpose Input/Output*) digitais e analógico e explora-se a comunicação entre plataformas. Para conectar o NodeMCU à rede em conjunto ao uso do protocolo MQTT, utiliza-se a Plataforma ThingSpeak [12] para desenvolver uma conexão e enviar dados na Seção V. Apresentam-se as conclusões e trabalhos futuros na Seção VI.

II. MÓDULOS ESP-XX E PLATAFORMA NODEMCU

Os módulos ESP permitem estabelecer a conexão entre o microcontrolador e a Internet por meio de uma rede sem fio, utilizando o *chip* ESP8266, mostrado na Figura 1. Existem módulos de diferentes tamanhos e fabricantes. Dentre eles, citam-se os módulos ESP-01 e ESP-12, que se diferenciam em relação ao tamanho e quantidade de entradas e saídas disponíveis para acesso externo [13]. O Módulo WiFi ESP-12E viabiliza a conexão de uma determinada aplicação em uma rede sem fio, possibilitando a troca de informações entre

os microcontroladores com uma rede de computadores ou a Internet. Além disso, esse módulo comunica-se com outros microcontroladores como o Arduino e Raspberry Pi por meio de comunicação serial utilizando os pinos *Tx* e *Rx*, configurados por comandos AT, conhecidos por comandos Hayes [13].



Fig. 1. Chip ESP8266.

A programação dos módulos ESP-XX exige adaptadores para conexão via porta serial (USB, *Universal Serial Bus*) e alimentação externa via pino. Portanto, projetaram-se diversas placas de desenvolvimento que integram os módulos ESP-XX como o NodeMCU e os modelos fabricados pela Sparkfun e WeMos, que apresentam adaptadores micro USB para comunicação serial e/ou entradas apropriadas para alimentação externa. A plataforma Node MCU constitui um *firmware* de código aberto para desenvolvimento de aplicações relacionadas à Internet das Coisas (*IoT Internet of Things*). Essa plataforma possui três versões oficiais, como visto na Figura 2. Dentre elas, utiliza-se a versão 2 e, portanto, exploram-se suas características [14]. Esse modelo possui uma arquitetura RISC de 32 bits; processador para operação em 80MHz/160MHz; 4 Mb de memória *flash*; WiFi nativo padrão 802.11b/g/n; operação em modo AP (*Access Point*), *Station* ou ambos; alimentação externa de 5 V através de conector micro USB; onze pinos digitais; um único pino analógico com resolução de 10 bits, operação em nível lógico de 3,3 V; e programação via USB ou WiFi.

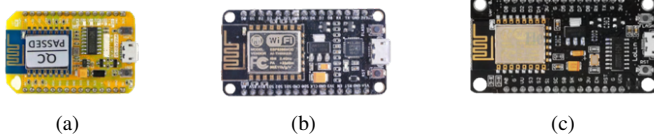


Fig. 2. Versões de NodeMCU (a) Versão 1, (b) versão 2 e (c) Versão 3.

Na Figura 3, indicam-se a pinagem, conexões e componentes da plataforma de desenvolvimento NodeMCU. Destacam-se o módulo ESP-12E, o regulador de tensão de 3,3 V modelo AMS1117 e o conversor USB Serial modelo SILABS CP2102. A placa possui um botão de *Reset* e outro de *flash*, localizados próximo a entrada micro USB. O botão *reset* permite reiniciar a placa, com efeito similar a interromper e reiniciar a alimentação da placa. O botão *flash* provê a gravação de programas no módulo ESP-12E. Realiza-se a alimentação da placa pelo conector micro USB (5 V) ou pelo pino de alimentação externa (V_{in}) com auxílio de um regulador de tensão de 5 V. Deve-se optar por apenas um tipo de alimentação, pois são mutuamente exclusivas. Caso contrário, ocasionam-se danos aos componentes da placa. A placa possui quatro pinos de aterramento (GND) para uso em circuitos externos e também

para referência no uso de alimentação externa. Os três pinos de tensão regulada de 3,3 V oferecem alimentação aos circuitos externos e estão conectados à saída do regulador de tensão AMS1117. O pino de *Reset* (RST) permite reiniciar a placa quando se aplica um nível de tensão de 0 V. O pino *Enable* (EN) ativa o módulo ESP-12E quando aplica-se nível de tensão de 3,3 V. O pino identificado por A0 corresponde a entrada do conversor A/D de 10 bits, sendo empregado como entrada analógica com tensão máxima de 1,1 V. Próximo a esse pino, tem-se dois pinos reservados. Os demais pinos correspondem aos pinos digitais programáveis ou GPIO.

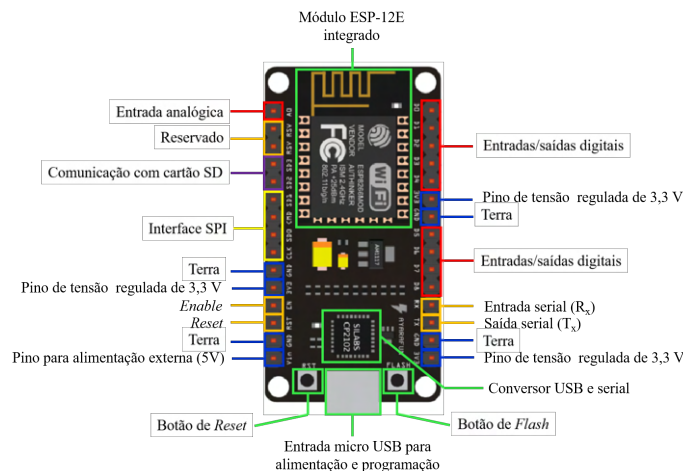


Fig. 3. Layout da NodeMCU e indicação de pinagem, conectores e componentes.

Empregam-se os pinos GPIO rotulados D0 a D8 como entradas e saídas digitais. Na Figura 4, relacionam-se os pinos GPIO com os rótulos D0 à D8. Esses pinos, com exceção do D0, possuem interrupção e modulação por largura de pulso (PWM, *pulse width modulation*). O pino digital D0 também permite controlar os modos *sleep's* da placa, relacionados ao consumo de bateria. O pino digital D3 encontra-se conectado ao botão *flash*, sendo utilizado para controle de *upload* de programas na memória *flash*. Utilizam-se os pinos digitais de D5 a D8 em comunicações SPI de alta velocidade.

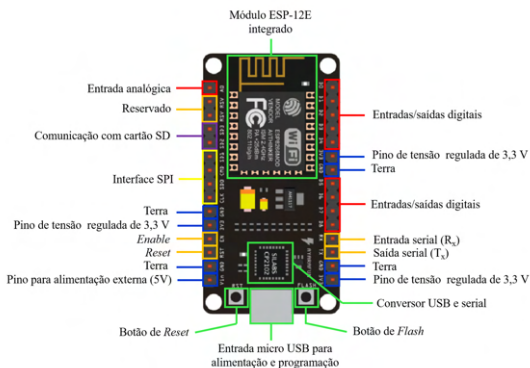


Fig. 4. Identificação dos pinos programáveis.

III. LINGUAGEM MICROPYTHON

A programação em Python surgiu em 1990, sendo desenvolvida por Guido Van Rossum no Centro de Matemática

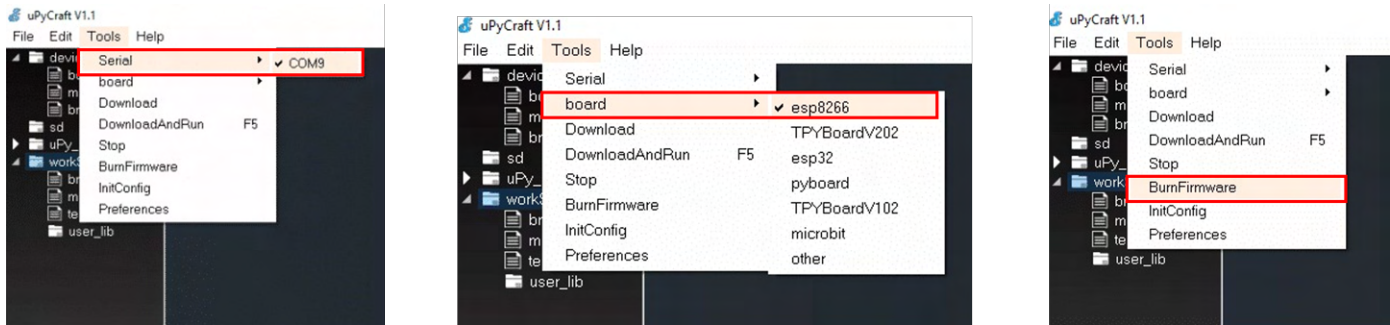


Fig. 5. Primeiros passos para atualização do *firmware* da plataforma NodeMCU para programação em MicroPython por meio da IDE uPyCraft.

Stichting, na Holanda [9]. É uma linguagem de alto nível e orientada a objetos com semântica dinâmica. Popularizou-se devido à sua compatibilidade com a maioria dos sistemas operacionais. Já o MicroPython originou-se dos trabalhos do programador australiano e físico Damien George [10, 15]. Essa linguagem é uma implementação eficiente do Python 3, que inclui um pequeno conjunto da biblioteca padrão otimizadas para programação de microcontroladores.

Na construção da linguagem MicroPython, simplificaram-se as bibliotecas padrão do Python para adequar a linguagem ao propósito. Logo, as novas bibliotecas passaram a conter apenas um subconjunto de funcionalidades quando comparadas à original. Para a nomenclatura, considerou-se o acréscimo da letra ‘u’ ao início da biblioteca padrão, permitindo manter a similaridade com a linguagem Python e ao mesmo tempo identificar as bibliotecas do MicroPython. Devido à correlação entre as linguagens, restringe-se a abordar apenas as bibliotecas específicas para programação do ESP8266. Caso o leitor não tenha conhecimentos amplos sobre a linguagem Python, indica-se consultar [15]. A linguagem MicroPython possui oito bibliotecas específicas, cujas funcionalidades são:

- **btrees**: implementação de bancos de dado usando armazenamento externo e o modelo chave-valor, se assemelhando ao funcionamento do tipo *dict*;
- **framebuf**: geração de um *buffer* de quadro geral para criar e enviar imagens do tipo *bitmap* para um monitor;
- **machine**: manipulação do *hardware*, controlando diversas partes como pinos GPIO e modos de operação;
- **micropython**: acesso e controle de funcionalidades internas do MicroPython;
- **network**: configuração de conexão da plataforma de *hardware* com à Internet por meio de *drivers* e funções de roteamento;
- **ubluetooth**: controle de interfaces Bluetooth disponíveis na placa e com suporte ao Bluetooth *Low Energy* (BLE);
- **ucryptolib**: implementação de mecanismos de criptografia com três possíveis modos: *electronic code book* (ECB), *cipher block chaining* (CBC) e *counter mode* (CTR);
- **uctypes**: Manipulação de dados binários de maneira estruturada;

Dentre as bibliotecas supracitadas, exploram-se principalmente os métodos e funções da biblioteca **machine** para manipular os pinos de GPIO digitais e analógico e da biblioteca **network** para conectar o NodeMCU em uma rede WiFi. Além

disso, empregam-se alguns métodos de bibliotecas padrão como a **time** para prover pausas na execução do código e a **umqtt.simple** para implementar o protocolo MQTT.

IV. PRIMEIROS PASSOS NA PROGRAMAÇÃO DO NODEMCU EM MICROPYTHON

Nessa seção, aborda-se a preparação do ambiente de desenvolvimento para programar o NodeMCU em MicroPython e também algumas programações básicas como a manipulação de pinos digitais e pino analógico.

A. Preparação do ambiente de desenvolvimento

Para programar o NodeMCU em linguagem MicroPython, torna-se necessário selecionar um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE, *integrated development environment*) que implemente o MicroPython, assim como realizar a atualização do *firmware* para interpretar os comandos dessa linguagem. Logo, selecionou-se o IDE uPyCraft que é especificamente projetado para trabalhar com a linguagem MicroPython. Esse IDE é gratuito e de fácil instalação e uso. O uPyCraft oferece suporte para atualizações *on-line*, compatibilidade com os sistemas operacionais Windows, Mac, Linux, suporte *on-line* para atualizações de placas e suportes técnicos pelo Fórum ou Github. Para instalar o uPyCraft, deve-se baixar o instalador (link de sugestão: <https://www.embarcados.com.br/micropython-no-esp8266/>) correspondente ao sistema operacional da máquina que receberá a instalação.

A atualização do *firmware* da plataforma NodeMCU requer a instalação prévia do uPyCraft e o *download* do arquivo, que pode ser encontrado no site do MicroPython (<https://micropython.org/download/esp8266/>). Nesse endereço eletrônico, encontram-se diversas opções de placas e opta-se por ‘*Generic ESP8266 module*’, baixando a versão mais recente do *firmware*. Para a atualização, conecta-se a placa à porta serial de um computador que contenha a IDE e o arquivo de *firmware*. No uPyCraft e em ‘*Tools*’>‘*Serial*’, seleciona-se a porta serial em que o NodeMCU conectou-se. Em seguida, deve-se optar pelo modelo de placa esp8266 em ‘*Tools*’>‘*board*’. Acessa-se a área de inclusão do *firmware* em ‘*Tools*’>‘*BurnFirmware*’. Indica-se esses passos na Figura 5.

Na janela de diálogo que se abre (Figura 6), deve-se selecionar a plataforma em ‘*board*’, habilitar a reescrita do *firmware* da placa em ‘*erase_flash*’, selecionar a porta de comunicação serial em que o NodeMCU conectou-se em

'com'. No campo 'Firmware Choose', opta-se por 'Users' e seleciona-se o arquivo de *firmware* baixado anteriormente. Ao confirma a ação em 'ok', inicia-se o processo de reescrita do *firmware*, exibindo-se o avanço em uma segunda janela de diálogo. Ao finalizar a operação, o NodeMCU está preparado para programação.

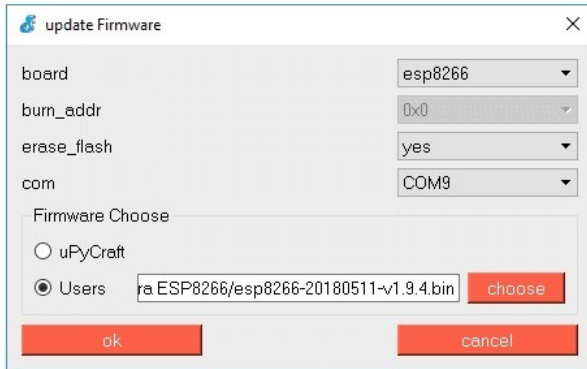


Fig. 6. Configurações para atualizar o *firmware* da plataforma NodeMCU.

B. Manipulando portas digitais

Para utilizar as portas digitais do NodeMCU pela programação em MicroPython, deve-se importar a biblioteca **machine**. Essa biblioteca permite definir o pino ao qual deseja-se trabalhar como entrada ou saída, indicando o pino GPIO e o estado da porta (entrada 'IN' e saída 'OUT'). Ressalta-se que o MicroPython trabalha com a nomenclatura de GPIO apresentada na Figura 4. Para exemplificar, considerou-se o piscar de um LED conectado ao GPIO 0 (correspondente a porta digital D3), como mostrado na Figura 7. Utilizou-se uma função temporizadora *sleep()* para prover o efeito de piscar. Definiu-se o estado do LED por meio do método *value()*.

```
1 # Manipulando portas digitais
2
3 #importando bibliotecas:
4 from machine import Pin
5 from time import sleep
6
7 led = Pin(0, Pin.OUT) # definindo o pino
8
9 led.value(1) # Estado do led como aceso
10 sleep(3.0) # paralisa a execucao por 3 segundo
11
12 led.value(0) # Estado do led como apagado
13 sleep(3.0) # paralisa a execucao por 3 segundo
14
15 led.value(1) # Estado do led como aceso
16 sleep(3.0) # paralisa a execucao por 3 segundo
17
18 led.value(0) # Estado do led como apagado
19 sleep(3.0) # paralisa a execucao por 3 segundo
```

Nota-se que a uPyCraft não possui as funções *setup()* e *loop()*, características da IDE do Arduino. Entretanto, pode-se implementar a função *loop()* por meio de uma estrutura de repetição *while* com laço infinito.

C. Comunicação UART

A IDE uPyCraft não possui um espaço para interação entre a plataforma e o usuário como ocorre na IDE do Arduino

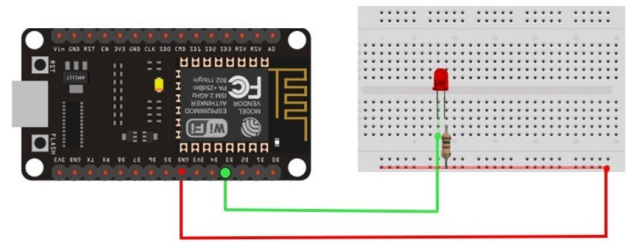


Fig. 7. Circuito para exemplificar a manipulação de portas digitais do NodeMCU pela programação em MicroPython.

por meio da função 'Monitor Serial'. Entretanto, pode-se programar o NodeMCU para estabelecer comunicação com uma plataforma Arduino para utilizar essa funcionalidade. Explora-se a comunicação universal assíncrona transmissor-receptor ou *universal asynchronous receiver-transmitter* (UART) entre as plataformas por meio de comandos uart incluídos na biblioteca **machine**. Utiliza-se o mesmo exemplo da Figura 7 e comandos enviados pelo 'Monitor Serial' da IDE do Arduino para comandar o estado do LED:

```
1 # Comunicacao entre NodeMCU e Arduino
2
3 #importando bibliotecas:
4 from machine import Pin, UART
5
6 uart = UART (0, 115200) #definindo a taxa de
7   comunicacao
8 led = Pin(0, Pin.OUT) # definindo o pino
9
10 ch = b'' #declaracao da variavel em bits
11
12 #loop infinito:
13 while True:
14
15     if uart.any() > 0: #presenca de dados
16         ch = uart.readline() # Le o comando
17
18     #Compara o comando para controlar o LED
19     if ch == b'on':
20         uart.write('Led On! \n')
21         led.off()
22     elif ch == b'off':
23         uart.write('Led Off! \n')
24         led.on()
25     else:
26         uart.write('Comando inv lido')
```

Para que a comunicação funcione corretamente, deve-se habilitar uma linha de código de "boot" e fazer o *download*: *uos.dupterm(None, 1)*. Configura-se um segundo arquivo para o "boot":

```
1 # Configuracao de boot
2
3 import uos,machine
4
5 uos.dupterm(None, 1)
6
7 import gc
```

Na IDE uPyCraft, executa-se os códigos e desconecta-se a placa da IDE. Já na IDE do Arduino, seleciona-se a porta em que a placa está conectada. Em seguida, abre-se o monitor serial e interage-se com o NodeMCU.

D. Uso da porta analógica

Como discutido na Seção II, o NodeMCU possui apenas uma única porta analógica. Emprega-se essa porta para a conexão de sensores diversos como sensor de luminosidade, sensor de umidade, etc. Os comandos necessários para manipular essa porta também se encontram na biblioteca **machine**. Para exemplificar o uso da porta analógica, considerou-se um sensor de luminosidade do tipo LDR (*light dependent resistor*), visto na Figura 8.

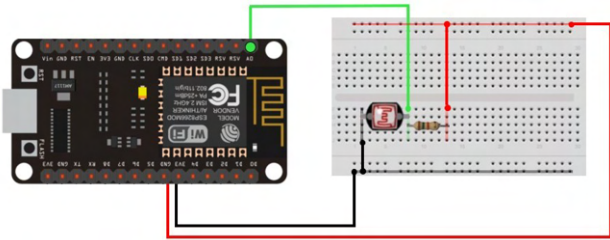


Fig. 8. Circuito para exemplificar o uso da porta analógica do NodeMCU pela programação em MicroPython.

Implementou-se o código a seguir para ler o valor de luminosidade captado pelo sensor e imprimi-lo em intervalos de 5 segundos:

```
1 # Manipulando a porta analogica
2
3 #importando bibliotecas:
4 from machine import ADC
5 import time
6
7 adc = ADC(0) #define o pino analogico
8
9 #loop infinito:
10
11 while True:
12     print('Valor de luminosidade:', adc.read())
13     time.sleep(0.5) #atraso de 5 segundos
```

Com o intuito de prover amplo conhecimento sobre os tipos de sensores. Explorou-se uma gama de sensores e os incluiu no caderno desenvolvido pelos autores. Nesse trabalho, restringiu-se apenas à apresentação de um exemplo com o objetivo de demonstrar a manipulação da porta analógica.

V. CONEXÃO COM A INTERNET E IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO MQTT

Nessa seção, demonstra-se como empregar a biblioteca **network** para conectar o NodeMCU em uma rede WiFi para estabelecer comunicação com a plataforma ThingSpeak por meio do protocolo MQTT implementado pela biblioteca **umqtt.simple**.

A. Conectando o NodeMCU à uma rede WiFi

Por meio da biblioteca **network**, pode-se configurar o NodeMCU para atuar como um ponto de acesso (AP), como uma estação (STA) ou como ambos (AP/STA). Nesse trabalho, explora-se a programação do NodeMCU para operar como uma estação que se conecta em um AP para conexão com à Internet. Inicialmente, importa-se a biblioteca e instancia-se um objeto para acesso a seus métodos e funções. Em seguida, implementa-se uma estrutura de decisão para verificar o estado da conexão. Se não conectado, o NodeMCU tenta estabelecer a

conexão com a rede WiFi desejada. A seguir, tem-se as linhas de códigos para realizar o processo. Estruturou-se o código em uma função por praticidade:

```
1 # Conexao com rede WiFi
2
3 #importando bibliotecas:
4 import network
5
6 #funcao para conexao
7
8 def conectar():
9     #instanciando o objeto
10    sta_if = network.WLAN(network.STA_IF)
11    #verifica a conexao
12    if not sta_if.isconnected():
13        print('Conectando...')
14        sta_if.active(True)
15        #conecta com a rede especificada:
16        sta_if.connect('<Nome da rede>', '<Senha>')
17
18    while not sta_if.isconnected():
19        pass
20
21 #loop infinito:
22 while True:
23     conectar()
24     #demais comandos
```

B. Comunicação com o protocolo MQTT

Para exemplificar uma comunicação por meio do protocolo MQTT, conectou-se o NodeMCU em uma rede WiFi e estabeleceu-se comunicação com a API do ThingSpeak para enviar o estado de um LED a cada intervalo de tempo. O Thingspeak é uma aplicação utilizada para armazenar e recuperar dados por meio de APIs REST e MQTT [12]. Para utilizar a plataforma Thingspeak, deve-se criar um usuário e um canal. No canal, recuperam-se o ID e a API de gravação para uso na programação do NodeMCU, como indicado na Figura 9.

Fig. 9. ID e API de gravação do canal criado no ThingSpeak.

No uPyCraft, importou-se as bibliotecas **machine** para manipular portas digitais, **time** para impor atrasos na execução do código e **umqtt.simple** para a comunicação com ThingSpeak. Em seguida, configurou-se o servidor, instanciou-se um objeto

cliente e explicitaram-se o ID e chave do canal (veja Figura 9). Estruturou-se o tópico para publicação na linha 23 e a mensagem na linha 25. Conectou-se ao ThingSpeak por meio do método `connect()`, publicou-se a mensagem no devido tópico usando o método `publish()` e finalizou-se a conexão com o método `disconnect()`.

```

1 # Conexão com ThinSpeak pelo protocolo MQTT
2
3 #importando bibliotecas:
4 from machine import Pin
5 from time import sleep
6 from umqtt.simple import MQTTClient
7
8 SERVER = 'mqtt.thingspeak.com'
9 CHANNEL_ID = '<ID do canal>'
10 WRITE_API_KEY = '<Chave>'
11
12 #instanciando o objeto cliente:
13 cliente = MQTTClient('umqtt_client', SERVER)
14 led = Pin(16, Pin.OUT)
15 atraso = 1
16 inverte = 0
17
18 while True:
19
20     led.value(atraso)
21     sleep(2.0)
22     #definindo o topico:
23     topic = 'channels/' + CHANNEL_ID + 'publish/' +
24     WRITE_API_KEY
25     #definindo o conteudo:
26     payload = 'field1 = ' + str(led.value())
27
28     cliente.connect()
29     cliente.publish(topic, payload)
30     cliente.disconnect()
31     atraso, inverte = inverte, atraso

```

Na Figura 10, verificou-se o estado do LED (Aceso '1' e apagado '0') em um *dashborad* da plataforma ThingSpeak em tempo real.



Fig. 10. Gráfico gerado pelo ThingSpeak.

VI. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou um breve tutorial sobre o uso da linguagem MicroPython para a programação de microcontroladores ESP8266, representando um resumo de um caderno tutorial desenvolvido pelos autores. A linguagem MicroPython pode colaborar para o fácil aprendizado de conceitos básicos em eletrônica devido à simplicidade da linguagem, característica da linguagem Python. Contudo, concluiu-se que o emprego do MicroPython para programação de plataformas

maker no meio acadêmico é algo recente e pouco difundido devido à consolidação de outras linguagens como o C/C++. Isso está aliado à qualidade dos IDE empregados para a programação. Ao comparar o uPyCraft com o IDE do Arduino, nota-se a ausência de algumas funcionalidades e facilidades que tornam o aprendizado fácil. Encontraram-se referências à outros IDE's para programação em MicroPython tanto do NodeMCu quanto de outras plataformas. Portanto, propõem-se como trabalhos futuros explorar esses IDE's e compará-los em termos de suas funcionalidades, assim como explorar outras plataformas com a programação em MicroPython.

REFERÊNCIAS

- [1] Simone Cirani, Marco Picone, Luca Veltri e Gianluigi Ferrari. *Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards*. 1th. John Wiley Sons Ltd, 2019.
- [2] Ammar Rayes e Samer Salam. *Internet of Things from Hype to Reality: The Road to Digitization*. 2th. Springer, 2019.
- [3] B. K. Tripathy e J. Anuradha. *Internet of Things (IoT): Technologies, Applications, Challenges, and Solutions*. 1th. CRC Press, 2018.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari e M. Ayyash. "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications". Em: *IEEE Communications Surveys Tutorials* 17.4 (2015), pp. 2347–2376.
- [5] Gaston C. Hillar. *MQTT essentials : a lightweight IoT protocol : the preferred IoT publish-subscribe lightweight messaging protocol*. 1th. Packt, 2017.
- [6] Gaston C. Hillar. *Hands-On MQTT Programming with Python: Work with the lightweight IoT protocol in Python*. 1th. Packt, 2018.
- [7] Arduino. *What is Arduino?* URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (acesso em 03/01/2021).
- [8] G. Bauermeister. *Guia do Usuário do ESP8266*. URL: <https://www.filipeflop.com/blog/guia-do-usuario-do-esp8266/> (acesso em 03/01/2021).
- [9] M. L. Hetland. *Python Algorithms Mastering Basic Algorithms in the Python Language*. Apress, 2010.
- [10] C. Bell. *MicroPython for the Internet of Things: A Beginner's Guide to Programming with Python on Microcontrollers*. Apress, 2017.
- [11] A. Kurniawan. *MicroPython for ESP8266 Development Workshop*. 2016.
- [12] ThingSpeak. *ThingSpeak for IoT Projects*. URL: <https://thingspeak.com/> (acesso em 03/01/2021).
- [13] Vida de Silício. *Módulo Wifi ESP8266 12E*. URL: <https://www.vidadesilicio.com.br/modulo-wifi-esp8266-12e> (acesso em 23/11/2020).
- [14] Greici Oliveira. *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 23/11/2020).
- [15] MicroPython. *MicroPython*. URL: <https://micropython.org/> (acesso em 23/11/2020).

Introdução ao Sistema de Monitoramento Zabbix

Fernando B. de Souza, Evandro C. Vilas Boas, Francisco A. S. do Carmo

Laboratório de Cyber Segurança e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
fernandobatista@get.inatel.br, evandro.cesar@inatel.br, francisco.assis@inatel.br

Abstract—This work describes the development of Zabbix monitoring system experiments. It demonstrates the system's implementation in a virtualized environment, monitoring server and the information synchronization agent configurations. It addresses relevant aspects of network monitoring and management. This brief tutorial represents a summary of an experiment prepared for Inatel's (National Institute of Telecommunications) Network Management and Cybersecurity Laboratory.

Index Terms—Cyber security, network management, network monitoring, Zabbix.

Resumo—Esse trabalho descreve o desenvolvimento de experimentos práticos utilizando o sistema de monitoramento Zabbix. Demonstra-se a implementação do sistema em ambiente virtualizado, a configuração do servidor de monitoramento e do agente de sincronismo de informações. Abordam-se aspectos relevantes sobre o monitoramento e gerência de redes. Esse breve tutorial representa um resumo de um caderno elaborado para o Laboratório de gerência de redes e segurança cibernética do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações).

Palavras chave—Gerência de redes, monitoramento de redes, segurança cibernética, Zabbix.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de monitoramento e gerenciamento de dispositivos de redes é inerente à disponibilidade, segurança e estabilidade [1, 2]. O gerenciamento e monitoramento de ativos de redes é de extrema importância para centros de controle de redes na manutenção e identificação de possíveis incidentes de segurança [3, 4]. A indisponibilidade de um sistema ou rede de telecomunicações é uma falha de segurança, assim como a instabilidade. Por isso, o monitoramento é abordado como uma técnica capaz de auxiliar na mitigação de riscos. Existem inúmeras ferramentas e sistemas capazes de realizar o monitoramento e a gerência das redes. Citam-se o Zabbix, Cacti, Nagios, PRTG Network Monitor e Munin como as principais.

Nesse trabalho, explora-se o sistema de monitoramento Zabbix para a elaboração de um experimento prático [1, 5]. Selecionou-se essa ferramenta entre as supracitadas por permitir integrar a tomada de decisões básicas por meio da aplicação de controles de inteligência artificial e aprendizado de máquinas em relação ao comportamento de conexão de rede, consumo de memória, processamento e armazenamento. Alinhando-se aos objetivos de trabalhos futuro. O Zabbix é um *software* de código aberto para uso acadêmico e comunitário. Apresenta como principais características o uso de scripts personalizados, monitoramento em tempo real, customização e fácil integração com bancos de dados.

Para desenvolver o experimento, utiliza-se uma imagem de sistema já concebida, conhecida comumente como *Open Virtual Applications* (OVA). Configura-se o sistema Zabbix para operação em uma arquitetura cliente-servidor. Dessa forma,

sincronizam-se em tempo quase real os reportes de situação de clientes com o servidor que coleta, analisa, processa e exibe os resultados de forma gráfica para os centros de controle de redes. Estruturou-se o trabalho em cinco seções. Na Seção II, demonstram-se as configurações iniciais do ambiente para desenvolvimento do experimento. Discute-se a preparação do cliente Zabbix na Seção III. Executa-se o monitoramento Zabbix e avaliam-se alguns resultados na Seção IV. Na Seção V, abordam-se os principais comentários e conclusões, assim como trabalhos futuros.

II. CONFIGURAÇÕES INICIAIS DO AMBIENTE

Nessa seção, dispõem-se os passos para as configurações iniciais do ambiente empregado durante o experimento. Utilizou-se ambientes com as seguintes configurações:

- Sistema Operacional VWMare Vsphere ESXi versão 7.0;
- Virtual Appliance do Sistema Zabbix (arquivo OVA);

Instalou-se o sistema operacional em um servidor Dell Power Edge R430 Series e importou-se o arquivo OVA no ambiente do sistema operacional, resultando em uma máquina virtual que já possui o sistema Zabbix instalado. Pode-se instalar o sistema em máquinas com sistemas operacionais Linux ou MS Windows com base em repositórios públicos disponíveis no Github.com. Não se recomenda essa prática. Encontra-se a distribuição oficial do Zabbix em (<https://www.zabbix.com/cloudimages>), sendo empregada nesse trabalho. Após instalar o arquivo OVA, pode-se inicializar a máquina virtual e acessá-la via navegador web por meio do respectivo endereço IP. Na Figura 1, tem-se a tela de *login* do sistema Zabbix.

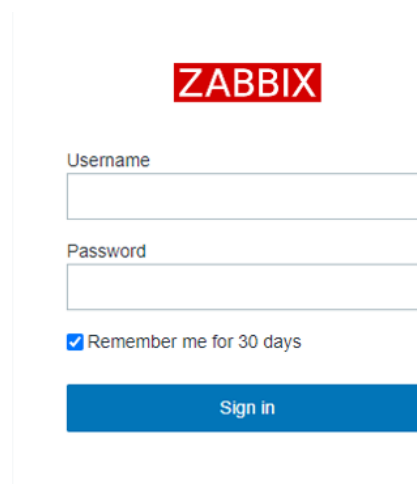
The image shows the Zabbix login interface. At the top, the word "ZABBIX" is displayed in a red box. Below it, there are two input fields: "Username" and "Password". Under the "Password" field, there is a checkbox labeled "Remember me for 30 days". At the bottom, there is a blue button labeled "Sign in".

Fig. 1. Tela de login do Zabbix.

Após o *login*, tem-se acesso à tela de configuração do sistema, como visto na Figura 2. Nessa tela, verificam-se alguns itens importantes como o *status* do serviço Zabbix onde o campo “Valor” deve estar indicando “Sim” e o campo “Detalhes”, o endereço da porta de conexão padrão dos agentes Zabbix. A informação contida no segundo campo é importante para a tarefa de configuração do agente de conexão, assim como o endereço de IP do servidor Zabbix.

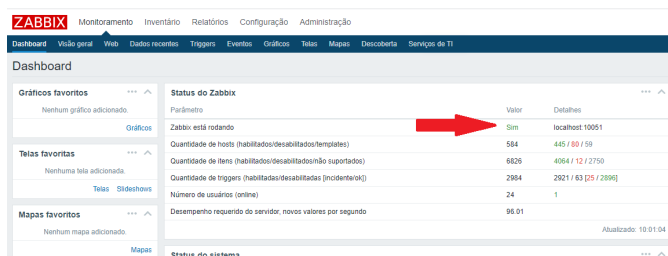


Fig. 2. Tela inicial do Zabbix.

Caso o campo “Valor” indique a mensagem “Não”, deve-se iniciar o serviço por meio de comandos específicos no prompt de comando ou shell do servidor:

- `service zabbix-server start`
- `/etc/init.d/zabbix-server start` ou a sequência abaixo
- `service zabbix-server restart`
- `service zabbix-server stop`
- `service zabbix-server start`
- `service zabbix-server status`

Recomenda-se incluir todos os comandos listados, pois algumas distribuições de OVA podem ser distribuições Linux diferentes. Logo, mitiga-se o risco de um comando não estar adequado à distribuição.

III. INSTALAÇÃO DO CLIENTE ZABBIX

Realizou-se a instalação de cliente Zabbix em um dispositivo com sistema operacional MS Windows 10 Pro. Sincronizou-se esse dispositivo ao servidor Zabbix, que possui um *template* associado com os devidos controles ativos no servidor. Para instalar o cliente, acessa-se o sistema operacional MS Windows 10 Pro. Na sequência, abre-se o MS Windows Explorer e navega-se até a pasta “zabbix” no disco local C:, onde estão os arquivos de configuração conforme apresentado na Figura 3.

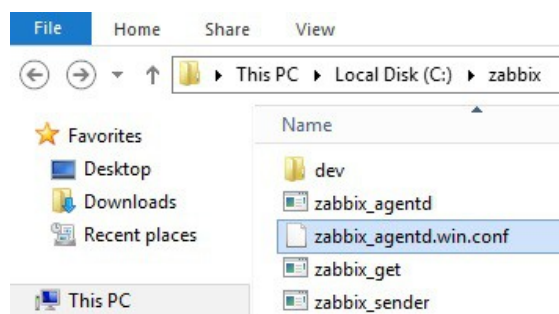


Fig. 3. Arquivos na pasta zabbix.

Em seguida, edita-se o arquivo “zabbix-agentd.win.conf” com um editor de texto. No arquivo, realizam-se as seguintes alterações:

- `Server` = IP do Servidor Zabbix;

- `ListenIP` = IP do computador a ser monitorado;
- `ServerActive` = IP do Servidor Zabbix;
- `Hostname` = zabbix-server (Servidor Zabbix).

Após efetuar as alterações e salvá-las, acessa-se o prompt de comando da máquina com privilégios de administrador e executa-se o comando na Figura 4.

```
c:\zabbix\zabbix_agentd.exe --config c:\zabbix\zabbix_agentd.win.conf --install
```

Fig. 4. Execução de comando zabbix no Prompt.

Se a execução ocorrer corretamente, visualizam-se as mensagens na Figura 5. Caso o comando retorne resultados diferentes, deve-se revisar as configurações do arquivo e repetir a tarefa de execução.

```
zabbix_agentd.exe [4508]: service [Zabbix Agent] installed successfully
zabbix_agentd.exe [4508]: event source [Zabbix Agent] installed successfully
```

Fig. 5. Resposta ao comando executado na Figura 4.

Em seguida, inicia-se o serviço Zabbix por meio da interface de gestão de tarefas e serviços do MS Windows 10 Pro. Na Figura 6, indica-se essa tarefa.

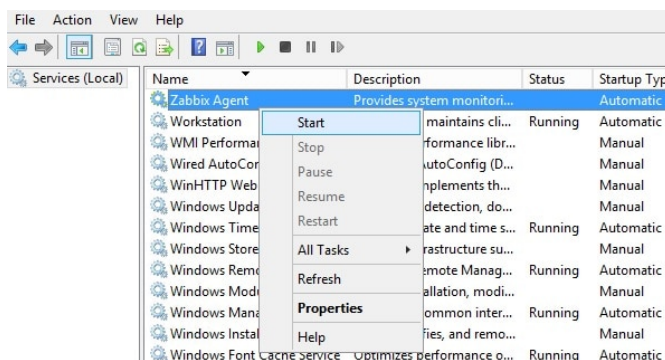


Fig. 6. Iniciando o serviço Zabbix Agent no MS Windows.

Após instalar o Zabbix Cliente e inicializá-lo no sistema operacional MS Windows 10 Pro, deve-se garantir que existam regras de *firewall* para a correta comunicação entre o cliente e o servidor Zabbix. Portanto, deve-se avaliar se a porta de comunicação do Zabbix está aberta no dispositivo, pois é por meio dela que ocorre a comunicação. Caso seja necessário, cria-se regras de entrada e saída no *firewall* do dispositivo. Para saber como criar essa regra, recomenda-se acessar o endereço eletrônico (<https://docs.microsoft.com/pt-br/windows/security/threat-protection/windows-firewall/create-an-inbound-program-or-service-rule>).

IV. ATIVANDO O MONITORAMENTO NO ZABBIX

Para realizar o monitoramento do cliente criado na Seção III, deve-se incluí-lo no servidor Zabbix. Na interface de administração do servidor Zabbix, acessa-se a guia “Configuração” e na sequência o item “Host”, conforme indicado na Figura 7.

Ao clicar em “Host”, seleciona-se “Criar Host” no canto superior direito da tela do Zabbix para acessar a janela de configuração de cliente, exibida na Figura 8. Configuram-se os itens descritos abaixo:

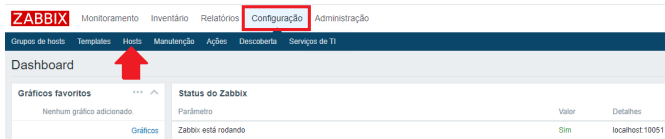


Fig. 7. Acessando a guia "Configuração".

- Nome do Host = é propriamente o nome de sistema do dispositivo;
- Nome visível = é o nome que será exibido na interface do Zabbix;
- Novo grupo = para o caso de grupos distintos (ex: Servidores FTP);
- Endereço IP = o endereço do dispositivo a ser monitorado;
- Porta = a porta de conexão do Agente Zabbix;
- Ativo = se marcado, inicia o monitoramento logo após a adição do *host*.

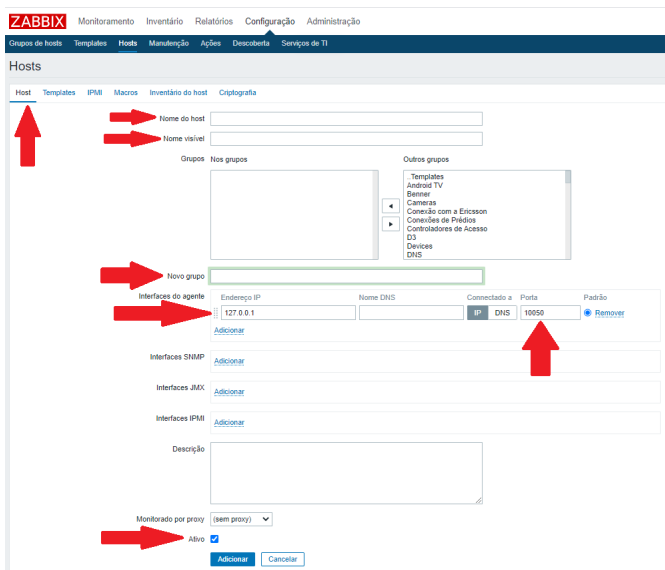


Fig. 8. Itens de configuração na adição de um cliente ao servidor Zabbix.

Ao finalizar as configurações, confirma-se a inclusão do cliente em "Adicionar". Dessa forma, adicionou-se o dispositivo MS Windows 10 Pro ao servidor Zabbix. Em seguida, deve-se definir o parâmetro de monitoramento desse cliente. Para isso, acessa-se o item "Template" em "Hosts", que exibe a tela na Figura 9. O sistema de monitoramento Zabbix possui em seu pacote de instalação uma série de *templates* para associação aos diversos tipos de dispositivos e sistemas operacionais [5]. Além disso, pode-se importar para o sistema alguns tipos de *templates* relacionados à dispositivos de interconexão de redes e também dispositivos de segurança, vigilância e controle de acesso. Para esse experimento, seleciona-se o *template* relacionado ao cliente MS Windows 10 Pro por meio da lista, cuja exibição habilita-se em "Selecionar".

Na sequência, vincula-se o *template* selecionado ao cliente por meio da função "Atualizar", conforme visto na Figura 10.

Essa ação exibe a tela vista na Figura 11, na qual visualiza-se o dispositivo incluso no servidor Zabbix. Deve-se atentar para os campos nome do *host*, interface e *status*. Nesse momento, todos os itens relacionados ao *template* estão disponíveis para,

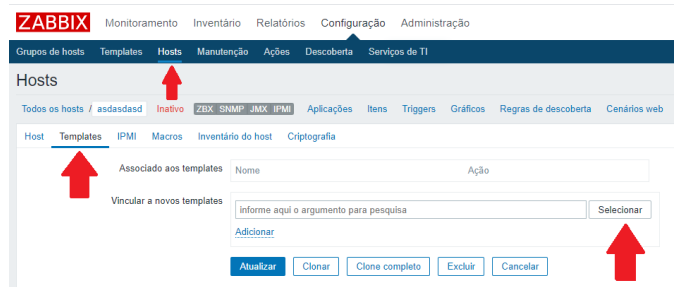


Fig. 9. Atribuindo um template ao "Host".

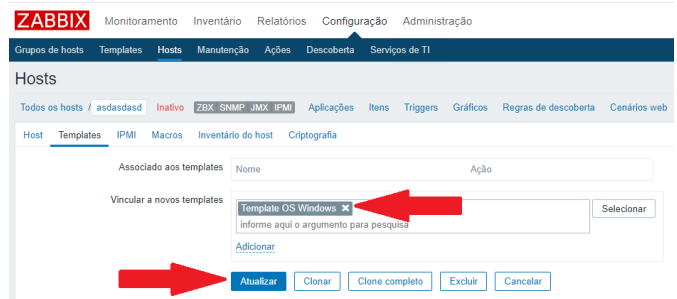


Fig. 10. Vincular "Templates".

por exemplo, geração de gráficos de desempenho. Esses itens referem-se ao consumo de processamento, memória, armazenamento, conexão de rede, etc. A ferramenta dispõe os gráficos em *dashboards*, com a possibilidade de integrá-los a outros sistemas de monitoramento e alerta que se comunicam com o Zabbix.

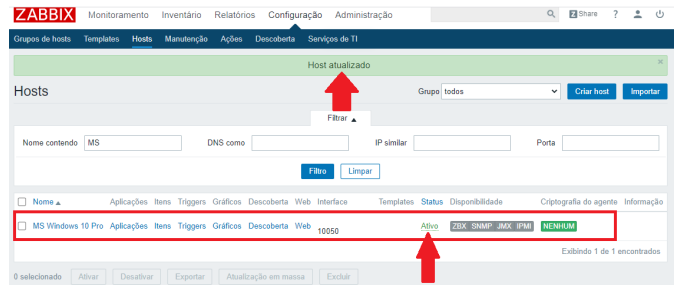


Fig. 11. Dispositivo com informações atualizadas.

Para gerar um gráfico em tempo real do dispositivo MS Windows 10 Pro, clica-se sobre ele e seleciona-se a guia "Gráficos", conforme demonstrado na Figura 12.

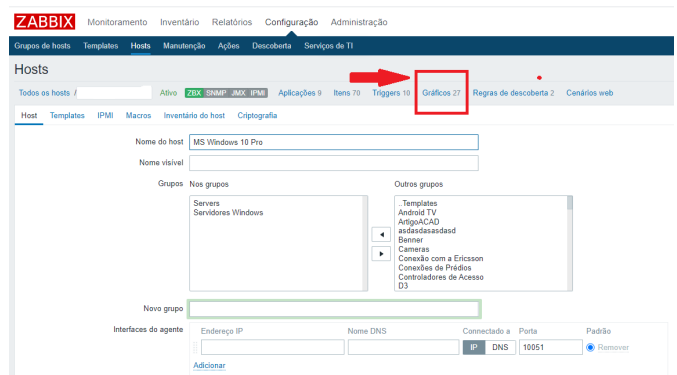


Fig. 12. Criação de um gráfico.

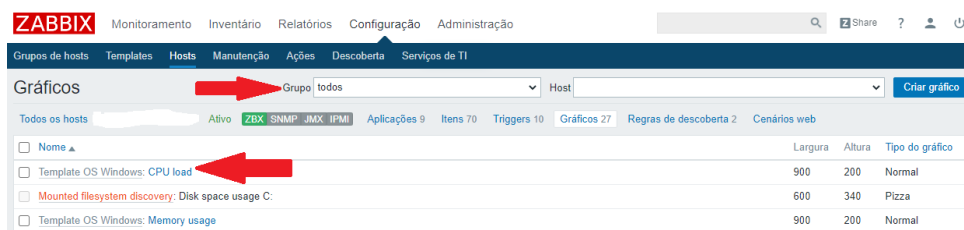


Fig. 13. Seleção de gráfico "CPU Load".

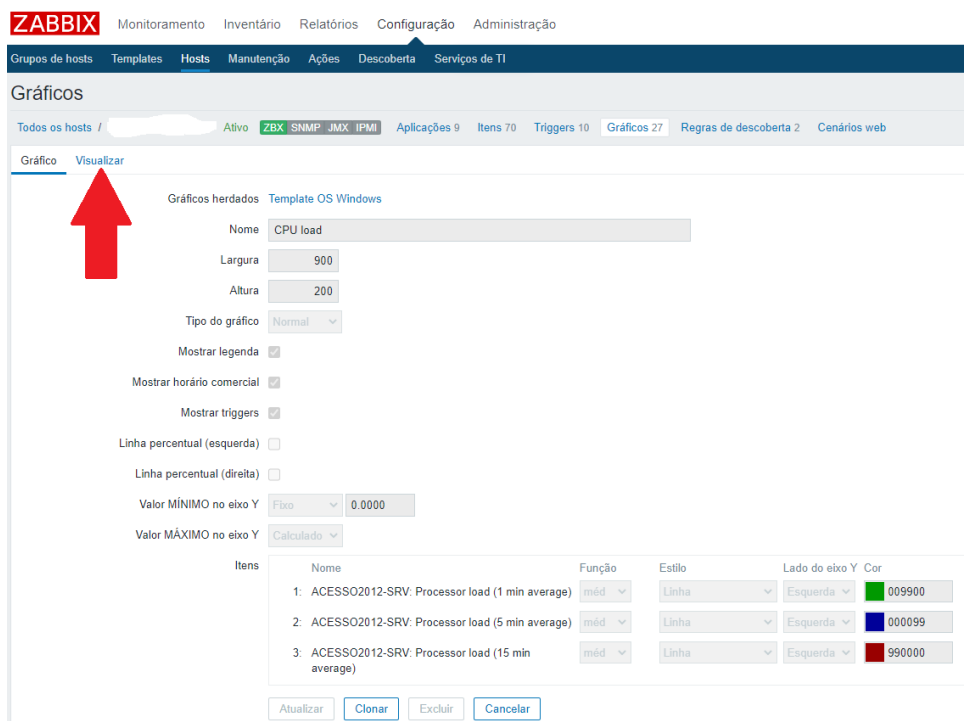


Fig. 14. Tela de configuração das características do gráfico.

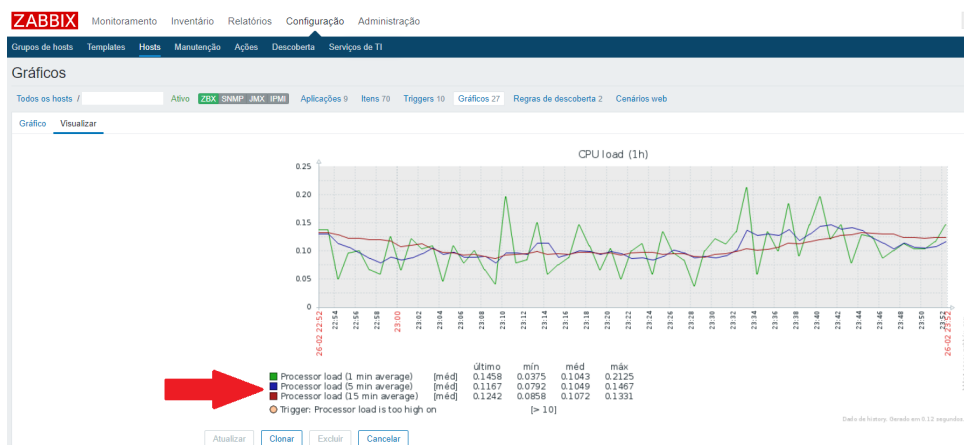


Fig. 15. Visualização do gráfico "CPU Load".

Na tela seguinte, seleciona-se o item "Todos" para acesso aos vários modelos de gráficos que estão associados ao *template* selecionado, como visto na Figura 13.

Para o dispositivo MS Windows 10 Pro, seleciona-se um gráfico de "CPU Load" na Figura 13. Essa ação habilita uma tela para edição de diversas propriedades do gráfico. Ajustam-se controles de nome de exibição, dimensão do gráfico (largura x altura), cores fundamentais, inclusão de legendas, horários,

porcentagens, etc. Na Figura 14, visualizam-se essas opções.

Para visualizar o gráfico, seleciona-se "Visualizar" como indicado na Figura 14. Na Figura 15, tem-se o gráfico de dados de consumo de processamento do dispositivo MS Windows 10 dentro de uma janela de tempo definida como padrão pelo Zabbix. Geralmente, as configurações padrão do servidor trazem parâmetros de desempenho dos últimos 1, 5, 15 e 60 minutos de uso do processador.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um breve tutorial sobre o uso do sistema de monitoramento Zabbix, sendo um resumo de um caderno de experimentos práticos desenvolvido pelos autores para o Laboratório de gerência de redes e segurança cibernética do Instituto Nacional de Telecomunicações. Além das funcionalidades abordadas nesse trabalho, ressalta-se que o sistema de monitoramento Zabbix possui um universo imenso de possibilidades de utilização no contexto de monitoramento, gerenciamento, alerta de incidentes de indisponibilidade, alertas preditivos de indisponibilidade e auxílio no monitoramento de alguns incidentes de segurança.

O sistema de monitoramento Zabbix também permite integrar a tomada de decisões básicas com a aplicação de controles de inteligência artificial e aprendizado de máquinas em relação ao comportamento de conexão de rede, consumo de memória, processamento e armazenamento. Portanto, propõem-se como trabalhos futuros pesquisas para integração de controles inteligentes ao sistema Zabbix por meio da linguagem Python.

REFERÊNCIAS

- [1] Rihards Olups Patrik Uytterhoeven. *Zabbix 4 Network Monitoring - Third Editions*. 3th. Packt, 2019.
- [2] Bin Xiao e Weifeng Wang. “Intelligent network operation and maintenance system based on big data”. Em: *Journal of Physics: Conference Series* 1744.23 (2021), pp. 873–879.
- [3] E. da S. Rocha *et al.* “Aggregating data center measurements for availability analysis”. Em: *Journal of Software: Practice and Experience* (2020), pp. 1–25. DOI: 10.1002/spe.2934.
- [4] Jim Kurose e Keith Ross. *Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down*. 6th. Pearson, 2013.
- [5] Zabbix Community. *Zabbix Documentation 3.0*. URL: <https://www.zabbix.com/documentation/3.0/manual> (acesso em 23/05/2020).

Análise de Vulnerabilidade utilizando a ferramenta OpenVAS

Luiz F. F. Irineu, Lucas S. Vaz, Matheus B. Teixeira, Evandro C. Vilas Boas, Francisco A. S. do Carmo

Laboratório de Cyber Segurança e Internet das Coisas (CS&I Lab.), Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

luizirineu@get.inatel.br, lucas.vaz@get.inatel.br, matheus.braga@get.inatel.br, evandro.cesar@inatel.br, francisco.assis@inatel.br

Abstract—This work presents a brief tutorial for using the OpenVAS tool to search and analyze vulnerabilities in telecommunications systems and networks. It demonstrates how to create a new analysis by configuring the tool, includes a specific target, performs the analysis, and extract the results report. It also discusses some important points of the report. The tutorial represents a summary of an experiment prepared for the discipline of Network Management and Security at Inatel (National Telecommunications Institute), whose objective is to provide the reader's understanding of issues related to criticality and risk of the vulnerabilities present in computer systems and telecommunications networks.

Index Terms—Cyber security, OpenVAS, Vulnerability assessment.

Resumo—Esse trabalho apresenta um breve tutorial para uso da ferramenta OpenVAS na busca e análise de vulnerabilidades em sistemas ou redes de telecomunicações. Demonstra-se como configurar a ferramenta para criar uma nova análise, incluir um determinado alvo, executar a análise e extrair o relatório com resultados. Assim como, analisam-se alguns pontos importantes do relatório. O tutorial representa um resumo de um caderno elaborado para a disciplina de Gerência e Segurança de Redes do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações), cujo objetivo é proporcionar a compreensão do leitor às questões relacionadas à criticidade e ao risco da presença de vulnerabilidades nos sistemas computacionais e nas redes de telecomunicações.

Palavras chave—Análise de vulnerabilidades, OpenVAS, segurança cibernética.

I. INTRODUÇÃO

A digitalização da informação e o seu acesso via redes de computadores ou Internet abriu precedentes para o uso indevido de dados e práticas maliciosas que levam a inoperabilidade de sistemas. Dessa forma, surgiu no âmbito da segurança da informação a segurança cibernética. Esse ramo dedica-se a análise e adequação dos sistemas de telecomunicações para a proteção de ativos de empresas e dados pessoais [1]. Nesse contexto, desenvolveram-se ferramentas para auxílio na análise de vulnerabilidades de sistemas e redes de telecomunicações.

Define-se a vulnerabilidade de um sistema ou rede de telecomunicações como a incapacidade de responder de forma adequada à uma ameaça ou tentativa de invasão [1]. No âmbito da segurança cibernética, uma vulnerabilidade permite que atacantes realizem algum dano ao meio tecnológico em questão, inclusive ao operador ou consumidor desse meio. A vulnerabilidade se relaciona diretamente à falta de proteção, à exposição ou à crença de segurança tanto nos operadores quanto nos dispositivos de um sistema ou rede de telecomunicações [1, 2]. A análise de vulnerabilidades identifica, quantifica e prioriza a fragilidade desses sistemas e redes com o objetivo de tornar

sua segurança mais robusta, sendo uma prática em ambientes de TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação).

A análise de vulnerabilidade difere-se de outras práticas como os testes de intrusão/penetração em sistemas (Pen-test) [1, 3]. O Pentest explora táticas específicas de invasão e estabelece um conjunto de etapas (reconhecimento, varredura, enumeração, exploração, elevação de privilégios e eliminação de rastros) para explorar um sistema ou rede de telecomunicações. Enquanto a análise de vulnerabilidades realiza um mapeamento e um cruzamento de informações encontradas com as bases de vulnerabilidades mundialmente conhecidas, identificando brechas existentes em um determinado sistema. Dentre as ferramentas desenvolvidas para a análise de vulnerabilidades, citam-se a OpenVAS, Tripwire IP360, Nessus Vulnerability Scanner, Comodo HackerProof, Nexpose community e Nikto [4, 5, 6, 7].

Esse trabalho explora a ferramenta OpenVAS (Open Vulnerability Assessment System) para demonstrar a execução de uma análise de vulnerabilidade [4, 5, 7]. O OpenVAS é um sistema de código aberto e bibliotecas públicas destinado à verificação e varredura de protocolos, serviços e portas abertas em um *host* alvo (computador, *smartphone* ou outro dispositivo computacional). Essa ferramenta elenca um conjunto de informações por meio da varredura e identificação destes protocolos, portas e serviços. Em seguida, comparam-se esses resultados às bases mundiais de vulnerabilidades, que se encontram disponíveis e atualizadas na ferramenta. Dentre as bases, têm-se as CVEs (*Common Vulnerabilities Exposures*) que são vulnerabilidades identificadas por qualquer cidadão, em sua maioria pesquisadores, e validadas pelo Mitre, órgão associado à Agência Nacional de Segurança Cibernética dos Estados Unidos. Também estão presentes nas bases da ferramenta as NVDs (*National Vulnerabilities Databases*) que são informações de vulnerabilidades reportadas e identificadas pelo governo dos Estados Unidos em parceria com o NIST (*National Institute of Security Technology*). Ressalta-se que países, organizações e projetos de segurança cibernética de todo o mundo contribuem para a formação dessas bases mundialmente utilizadas.

Estruturou-se esse tutorial em quatro seções. Na Seção II, especificam-se os sistemas utilizados para instalar a ferramenta, exploram-se alguns aspectos da ferramenta e como incluir o alvo para análise. Na Seção III, avaliam-se os resultados contidos no relatório de vulnerabilidade. Dispõe-se as conclusões e principais comentários na Seção IV.

II. ANÁLISE DE VULNERABILIDADES COM OPENVAS

Nessa seção, demonstram-se os passos para configurar o alvo para análise, como executá-la e gerar o relatório.

A. Configurações iniciais e inclusão de alvo

Dispõe-se os passos para a inclusão de alvos de análise em uma rede de computadores e modelos de análises possíveis. Para ambientar o leitor, descreve-se as configurações do ambiente utilizado para a realização do experimento:

- Sistema Operacional VWMare Vsphere ESXi versão 7.0;
- Virtual Appliance da ferramenta OpenVAS (arquivo OVA);

Instalou-se o sistema operacional em um servidor Dell Power Edge R430 Series. O arquivo OVA é preparado exclusivamente para ser importado dentro do ambiente do sistema operacional compondo uma máquina virtual que já tenha a ferramenta OpenVAS previamente instalada [5]. Existe a possibilidade de instalação da ferramenta em sistemas operacionais Linux diversos com base em repositórios públicos disponíveis no Github.com. No entanto, esta não é uma boa prática de segurança. A distribuição oficial da ferramenta OpenVAS pode ser encontrada no site (<https://www.greenbone.net/en/testnow/>), sendo utilizada nesse trabalho. Após a importação do arquivo OVA no ambiente, inicia-se a máquina virtual que contém o OpenVAS. Utiliza-se o endereço IP dessa máquina virtual para acessar o OpenVAS em uma segunda máquina via navegador web. Na Figura 1, visualiza-se a página de *login* da ferramenta.

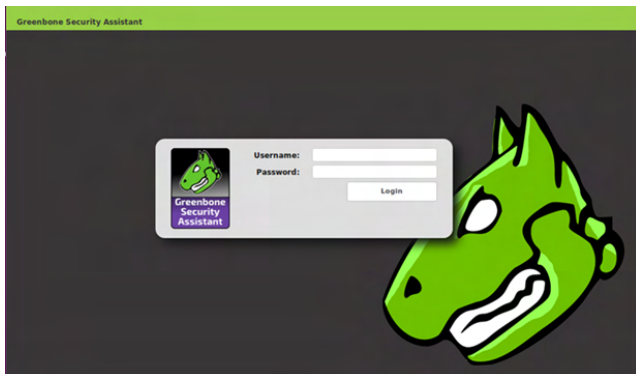


Fig. 1. Tela de *login* do OpenVAS.

As credencias de *login* são padrão para o sistema (usuário = admin e senha = newpassword). Após o primeiro acesso, recomenda-se alterá-las para maior segurança do usuário. Após efetuado o *login*, tem-se uma tela de configurações do sistema, conforme visto na Figura 2. Identificam-se quatro gráficos indicados com as setas vermelhas: gráficos de atualizações de CVEs e NVDs e os serviços de tarefas de busca e identificação de vulnerabilidades.

Para incluir um ou mais alvos, seleciona-se o item "Task" e cria-se uma nova "Task" por meio da tela mostrada na Figura 3(a). Para isso configuram-se alguns campos dessa tela conforme especificado:

- *Name* = criar um nome sugestivo para a tarefa;
- *Scan Targets* = será o alvo propriamente dito, um endereço IP ou uma URL;
- *Scanner* = mantém-se o modo "OpenVAS Default";
- *Scan Config* = opta-se pelo modo "Full and Very Deep";

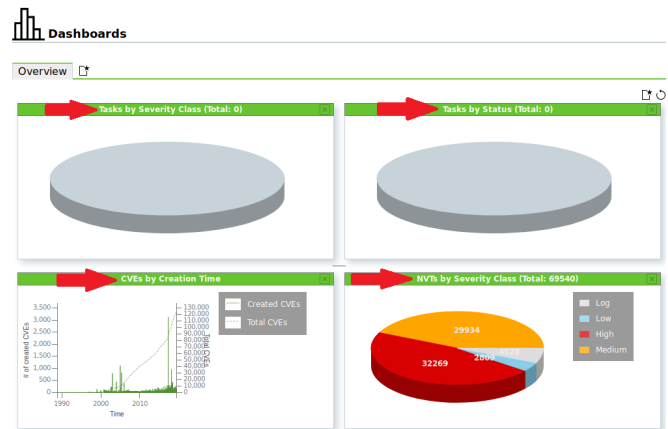


Fig. 2. Tela inicial do sistema OpenVAS.

Para incluir o IP ou URL do alvo para a análise de vulnerabilidades, deve-se clicar no ícone em estrela localizado à frente do campo *Scan Targets* para habilitar uma segunda janela de diálogo como visto na Figura 3(b).

(a)

(b)

Fig. 3. Configurando uma nova análise de vulnerabilidade (a) Tela para criação de uma nova "Task" e (b) Tela para inclusão do IP ou URL alvo.

Nessa tela, configuram-se alguns campos, conforme indicado:

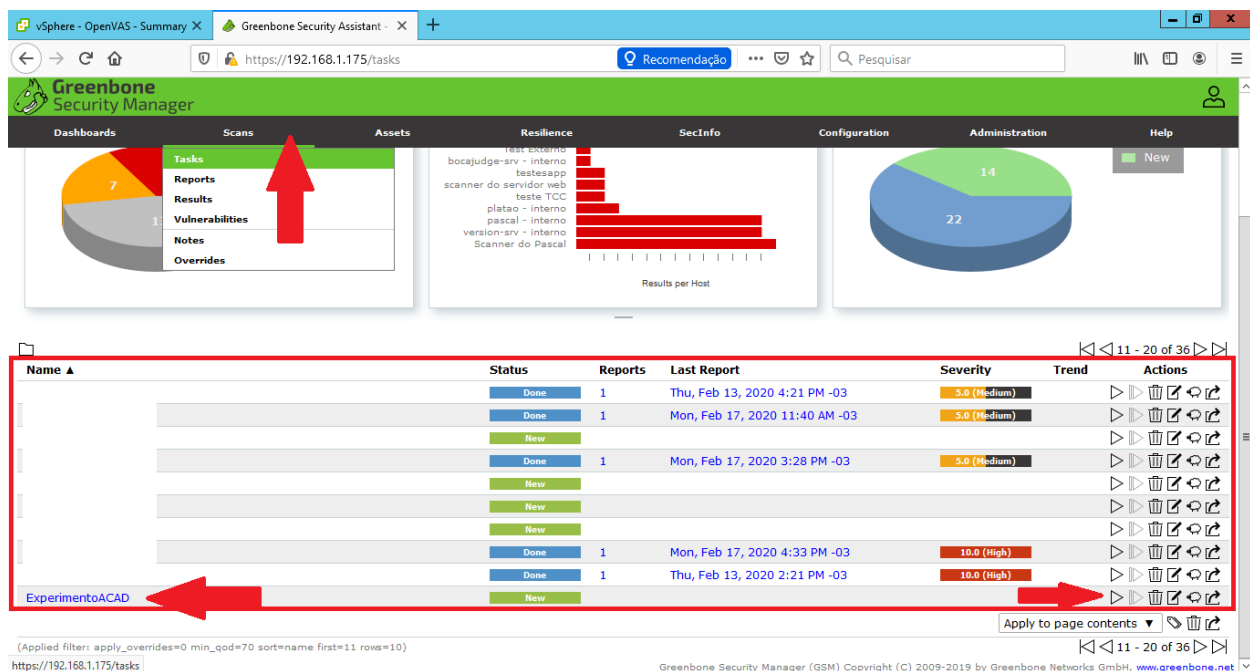


Fig. 4. Tela de login do OpenVAS.

- Name = criar um nome sugestivo para o host alvo;
- Hosts = será o alvo propriamente dito, um endereço IP ou uma URL a ser avaliado;
- Port List = por padrão vamos manter "All IANA assigned TCP 20..."

Em seguida, clica-se no botão "Create" para retornar para a tela de criação de uma nova tarefa, onde o nome do alvo já estará no campo "Scan Targets". Finaliza-se a configuração da nova "Task" clicando no botão "Create" dessa tela.

B. Iniciando a análise de vulnerabilidades

Para iniciar uma tarefa é necessário acessarmos a guia "Scans" na tela principal e o item "Tasks", conforme indicado na Figura 4. Essa ação lista todas as tarefas. Na Figura 4, verificam-se outras tarefas oriundas de análises posteriores. Para esse trabalho, utiliza-se o alvo denominado "ExperimentoACAD". No caderno desenvolvido pelos autores, orientam-se os instrutores a direcionar os alunos para a criação de novas tarefas com novos alvos para exercício do aprendizado.

Para iniciar uma busca e análise de vulnerabilidade, seleciona-se o botão de "Play", indicado na Figura 4, para ativar a atividade. Ressalta-se que a coluna "Name" descreve o nome da tarefa criada e não do alvo em si. Na tela de busca e análise de vulnerabilidades, tem-se a indicação de *status* que apresenta cinco possíveis estados:

- *New* = indica uma tarefa nova que ainda não foi iniciada;
- *Request* = indica que a tarefa foi inicializada e que ela está sendo estruturada junto aos serviços de busca e análise do OpenVAS. Esta tarefa também identifica se o alvo está ligado ou desligado;
- *Running* = indica uma tarefa em andamento;
- *Done* = indica que uma tarefa já foi totalmente finalizada e que os resultados já estão prontos;

- *Error* = indica uma anormalidade na tarefa ou em um dos serviços do OpenVAS responsáveis pela execução da tarefa.

C. Resultados e geração de relatório

Ao fim do teste de vulnerabilidades, a coluna "Status", em relação ao alvo "ExperimentoACAD", estará com o campo *status* configurado em "Done" (1) e a coluna "Last Report" estará preenchida com as informações de data e hora da geração dos resultados. Para analisar o resultado, basta clicar sobre esse campo (2), conforme indicado na Figura 5(a), e ter acesso à área de informações básicas, Figura 5(b).

Name	Status	Reports	Last Report
ExperimentoACAD	Done	1	Thu, Feb 13, 2020 4:21 PM -03

(a)

Information	Results (5 of 62)	Hosts (1 of 1)	Ports (2 of 7)	Applications (5 of 5)	Operating Systems (1 of 1)
Task Name	ExperimentoACAD				
Scan Time	Thu, Feb 25, 2021 10:23 PM -03 - Thu, Feb 25, 2021 10:36 PM -03				
Scan Duration	0:13 h				
Scan Status	Done				
Hosts scanned	1				
Filter	apply_overrides=0 levels=hml min_qod=70				
Timezone	America/Sao_Paulo (-3)				

(b)

Fig. 5. Acessando informações relacionada à análise de vulnerabilidade.

Na tela vista na Figura 5(b), pode-se realizar uma avaliação básica dos resultados clicando na guia “Results”. Nessa guia, tem-se a coluna “Severity”, onde existe uma classificação de 0 a 10 para os níveis de impacto possíveis das vulnerabilidades. Utiliza-se um código de cores para identificar a severidade das vulnerabilidades encontradas, como visto na Figura 6. Ressalta-se que a classificação por cores indica apenas a severidade da vulnerabilidade. Os valores dentro de cada campo correspondem ao número de vulnerabilidades identificadas. Os valores indicados na Figura 6 são fictícios. Exibem-se os valores reais e a classificação de 0 a 10 posteriormente à exportação do relatório completo da análise para o alvo “ExperimentoACAD”.



Fig. 6. Severidade em código de cores.

Para gerar o relatório de resultados da busca e análise de vulnerabilidades, seleciona-se o ícone indicado na Figura 7. Abre-se uma segunda janela para escolha do tipo de arquivo para exportação. Nesse trabalho, optou-se pelo formato PDF.

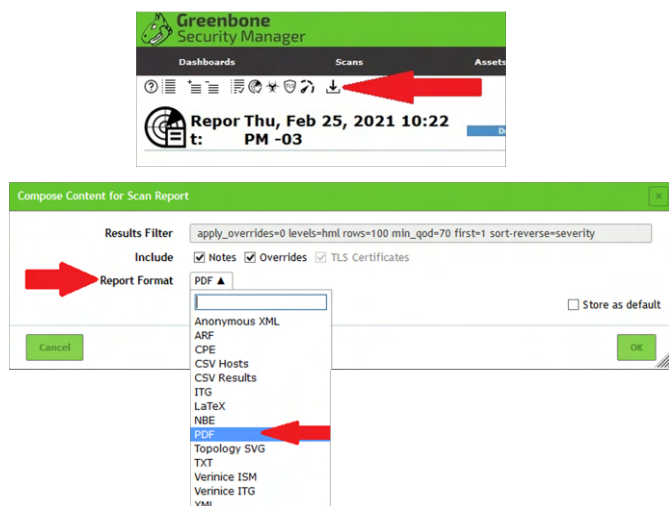


Fig. 7. Exportação do relatório de resultados.

Na Figura 8, visualiza-se a página inicial do arquivo PDF que contém os resultados da análise de vulnerabilidade. O idioma oficial do documento é inglês. Além disso, o documento inclui informações sobre a geolocalização, data e hora de execução dos testes.

III. RESULTADOS SOBRE A ANÁLISE DE VULNERABILIDADE

Nessa seção, discutem-se alguns pontos da análise de vulnerabilidade efetuada na Seção II. Extraiu-se esses dados diretamente do relatório de resultados. Para o alvo analisado, identificaram-se um total de 05 vulnerabilidades classificadas em níveis de severidade conforme indicado na Tabela I. O host avaliado apresentou duas vulnerabilidades com nível de severidade elevado e outras duas com severidade média. Obteve-se também uma quinta vulnerabilidade de severidade baixa.

Por meio do relatório, pode-se obter uma relação de serviços ou portas relacionados as vulnerabilidades encontradas devido

Scan Report

February 25, 2021

Summary

This document reports on the results of an automatic security scan. All dates are displayed using the timezone "America/Sao Paulo", which is abbreviated "-03". The task was "ExperimentoACAD". The scan started at Thu Feb 25 23:08:2021-03 and ended at Thu Feb 25 22:36:562021-03. The report first summarises the results found. Then, for each host, th

Contents

1	Result Overview	2
2	Results per Host	2
2.1	192.168.11.187	2
2.1.1	High general/tcp	2
2.1.2	Medium 22/tcp	5
2.1.3	Medium 443/tcp	6
2.1.4	Low general/tcp	7

Fig. 8. Página inicial do relatório de análise de vulnerabilidades. TABELA I

CLASSIFICAÇÃO DAS VULNERABILIDADES ENCONTRADAS

Host	192.168.11.187 (ctic-srv.local.inatel.br)
Severidade	Numero de vulnerabilidades
Alta	2
Média	2
Baixa	1
Log	0
Falso Positivo	0

ou à má configuração ou à identificação de versões desatualizadas. Assim como, a classificação do nível de ameaça, conforme explicitado na Tabela II.

TABELA II
SERVIÇOS E PORTAS VULNERÁVEIS E NÍVEL DE AMEAÇA.

Serviço (Porta)	Nível de ameaça
general/tcp	Alto
22/tcp	Médio
443/tcp	Médio
general/tcp	Baixo

O relatório também apresenta uma análise das vulnerabilidades elencando alguns pontos:

- *Summary* = apresenta um sumário básico sobre a vulnerabilidade;
- *Vulnerability Detection Result* = apresenta um resultado mais detalhado da vulnerabilidade detectada;
- *Solution* = faz sugestão às possíveis soluções para mitigar/eliminar uma ou mais vulnerabilidades;
- *Vulnerability Insight* = explica o pensamento e a motivação dos pesquisadores que aplicaram os testes relacionados à determinada vulnerabilidade detectada;
- *Vulnerability Detection Method* = apresenta detalhes de como a vulnerabilidade pode ser detectada e, se necessário, aponta a prova de conceito cabível;
- *References* = apresenta as CVEs e NVDs relacionadas ao registro e classificação das vulnerabilidades além de trazer direcionamentos para links externos onde possam conter mais informações sobre elas;

Na Figura 9, tem-se um fragmento do relatório referente a uma vulnerabilidade, onde indicifica-se um sumário com a cor da severidade relacionada à vulnerabilidade. Além disso, verifica-se a pontuação da vulnerabilidade dentro da faixa de

0 a 10, para o exemplo, a pontuação é 4,3. Essa pontuação é oriunda do CVSS(*Common Vulnerability Score System*) [8].

2.1.2 Medium 22/tep

Medium (CVSS: 4.3) NVT: SSH Weak Encryption Algorithms Supported
Summary The remote SSH server is configured to allow weak encryption algorithms.
Vulnerability Detection Result The following weak client-to-server encryption algorithms are supported by the r ...continues on next page ...

Fig. 9. Sumário de detalhamento de uma vulnerabilidade.

IV. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou um breve tutorial para uso da ferramenta OpenVAS para busca e análise de vulnerabilidades em sistemas ou redes de telecomunicações. Demonstrou-se como configurar a ferramenta para criar uma nova análise, incluir um determinado alvo, executar a análise e extrair o relatório. Em seguida, demonstrou-se alguns resultados extraídos do relatório obtido. Esse breve tutorial representa um resumo de um caderno elaborado para a disciplina de Gerência e Segurança de Redes do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações). Espera-se que o leitor seja capaz de replicar novos testes em alvos distintos e também compreender às questões relacionadas à criticidade e ao risco de vulnerabilidades presentes nos sistemas computacionais e nas redes de computadores e telecomunicações.

REFERÊNCIAS

- [1] W. Stallings. *Criptografia e Segurança de Redes*. 6th. Pearson, 2014.
- [2] J. Hintzbergen, K. Hintzbergen, A. Smulders e H. Baars. *Fundamentos de Segurança da Informação: com Base na ISO 27001 e na ISO 27002*. 1th. Brasport, 2018.
- [3] G. Weidman. *Penetration Testing : A Hands-On Introduction to Hacking*. 1th. No Starch Press, 2014.
- [4] Greenbone. *Open System Vulnerabilities Analysis*. URL: <https://community.greenbone.net/t/greenbone-community-edition-6-0-10-released/6132> (acesso em 18/04/2020).
- [5] Infosecurity. *OpenVAS Virtual Appliance*. URL: <https://www.51sec.org/2018/05/09/openvas-virtual-appliance-greenbone-installation/> (acesso em 29/04/2020).
- [6] Y. Wang e J. Yang. “Ethical Hacking and Network Defense: Choose Your Best Network Vulnerability Scanning Tool”. Em: *2017 31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)*. 2017, pp. 110–113.
- [7] Y. Wang, Y. Bai, L. Li, X. Chen e A. Chen. “Design of Network Vulnerability Scanning System Based on NVTs”. Em: *2020 IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*. 2020, pp. 1774–1777.
- [8] FIRST. *Common Vulnerability Scoring System SIG*. URL: <https://www.first.org/cvss/> (acesso em 27/02/2021).

Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para avaliação de pacientes em tratamento fisioterapêutico

Rita Elizabeth Santos de Almeida, Leandro Coutinho de Oliveira, Elisa Rennó Carneiro Dester, Filipe Bueno Vilela
Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
rita.elizabeth@geb.inatel.br, leandrocoutinho@geb.inatel.br, elisa.renno@inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

Abstract—The goniometry technique and the assessment of the sit / stand movement are often used by physical therapists. The goniometer is used to measure the ROM(range of motion), being used for diagnostic purposes and also to define the treatment objectives. The continuous sitting and standing movement test aims to assess the motor capacity, helping to strengthen lower limbs, to coordinate movements and to stabilize the trunk. However, it was necessary to idealize an electronic equipment, which presents accurate results for the diagnosis and treatment of patients submitted to such exercises. Since conventional goniometers need their correct positioning in relation to anatomical references, their results are imprecise, varying according to the handling of the professional. Furthermore, taking into account that there is no equipment capable of evaluating specifically the sit / stand exercise, an electronic device was developed for the evaluation of patients undergoing physiotherapeutic treatment.

Index Terms—Assessment, device, electronics, physiotherapy

Resumo—A técnica da goniometria e a avaliação do movimento de sentar e levantar são utilizadas frequentemente por fisioterapeutas. O goniômetro serve para a medição da ADM(Amplitude de movimento), sendo utilizado para fins de diagnóstico e também para definir os objetivos do tratamento. O teste da movimentação contínua, de sentar e levantar, tem como objetivo avaliar a capacidade motora, auxiliando no fortalecimento dos membros inferiores, coordenação de movimentos e a estabilização do tronco. No entanto, fez-se necessária a idealização de um equipamento eletrônico, que apresente resultados precisos para o diagnóstico e tratamento dos pacientes submetidos a tais exercícios. Considerando que os goniômetros convencionais necessitam de posicionamento correto em relação às referências anatômicas, seus resultados são imprecisos, variando de acordo com o manuseio do profissional. Ademais, tendo em vista a não existência de um equipamento capaz de avaliar especificamente o exercício de sentar/levantar, foi desenvolvido um dispositivo eletrônico para a avaliação de pacientes em tratamento fisioterapêutico.

Palavras chave—Avaliação, dispositivo, eletrônica, fisioterapia

I. INTRODUÇÃO

No ramo da fisioterapia, cada detalhe dos movimentos realizados pelo paciente revela muito sobre sua evolução, como por exemplo: o número de repetições, tempo de execução e precisão dos movimentos. Para o profissional conseguir avaliar os exercícios é necessário que esteja atento a todos esses pontos. A falta de tecnologia aplicada para o auxílio durante as sessões de fisioterapia torna esse momento mais difícil tanto para o fisioterapeuta quanto para o paciente, pois o profissional necessita dividir sua atenção entre instruir os movimentos e registrar os detalhes da execução. Para o paciente, a falta de dispositivos eletrônicos fabricados especificamente para o exercício a ser realizado, traz resultados imprecisos sobre sua performance[1].

A presença de dispositivos eletrônicos oferece mais confiança e qualidade de vida, quando aplicados na fisioterapia, a fim de solucionar problemas e melhorar a eficácia do tratamento de reabilitação. Cada vez mais, torna-se indispensável a interdisciplinaridade, unindo os estudos das ciências da saúde com as ciências exatas, para o desenvolvimento de instrumentos capazes de facilitar o serviço do profissional e objetivando a melhora da capacidade funcional dos pacientes [2].

Devido à demanda de equipamentos que visam solucionar problemas encontrados na área da reabilitação, foram encontrados estudos sobre desenvolvimento de equipamento de CPM (Continue passive motion). Essa estrutura mecânica permite a movimentação dos membros inferiores com um controle de angulação e velocidade, evitando complicações pós-operatórias [3].

Acerca do movimento de sentar/levantar foram encontrados estudos que utilizam a tecnologia das câmeras de infravermelho para a captação 3D dos movimentos em tempo real. O projeto conta também com sensor MPU, que fica preso no antebraço do paciente e consegue por meio do seu giroscópio e acelerômetro, ambos de 3 eixos, armazenar dados a respeito da aceleração do movimento. Um transdutor de posição linear é posicionado ao lado do paciente e, através de um cabo ligado à sua cintura, o transdutor consegue identificar o deslocamento do paciente ao se levantar [4].

Tendo consciência da necessidade de incorporar a tecnologia no âmbito da fisioterapia, foi criado o projeto “Desenvolvimento de dispositivo eletrônico para a avaliação de pacientes em tratamento fisioterapêutico”, possuindo como pré-requisitos um dispositivo que seja capaz de monitorar os movimentos de flexão/extensão de braço e joelho em posição estacionária, assim como a verificação da movimentação contínua de levantar e sentar durante um período estipulado pelo profissional [5] para a análise do controle e equilíbrio de tronco.

Para a validação dos movimentos de flexão/extensão foi criado o “Goniômetro para interpretação e comparação de *feedback* em biomecânica” [1] que possui seu funcionamento explicado em um artigo à parte publicado anteriormente. A segunda parte do projeto que conta com a verificação da estabilidade de tronco no exercício de levantar/sentar, consiste na elaboração de uma cadeira que, por meio do acoplamento de *push buttons* e implementação de um *software* é capaz de devolver um *feedback* a respeito do desempenho do paciente.

II. METODOLOGIA

A. O movimento a ser analisado

O exercício que foi analisado para a construção da cadeira, como visto na figura 1, consiste em solicitar que o paciente sente com a postura correta e levante, repetindo esse movimento durante um período de 30 segundos. No decorrer da elaboração do projeto foi especificado que muitas vezes os pacientes não sentam corretamente, a fim de executar o exercício o máximo de vezes possíveis durante o tempo determinado. O trabalho objetivou analisar o contato do quadríceps com articulação em 90 ° sobre o assento de superfície lisa, encostando o dorso do tronco em toda a região do encosto da cadeira e a região posterior da coxa em toda a extensão do assento.

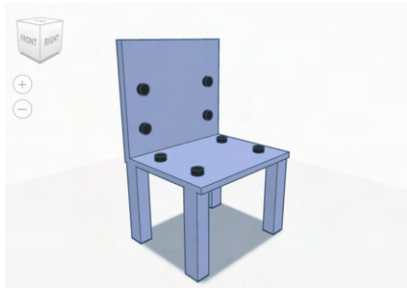


Fig. 1. Cadeira 3D. Fonte: Autoria própria, criada através da plataforma tinkercad

B. Push-button

Para a análise do movimento de sentar foi acoplado na cadeira, 4 *push buttons* dispostos em lugares estratégicos para que sejam acionados somente quando o paciente sentar corretamente em toda a extensão do assento. Considerando uma cadeira com as dimensões mostradas na figura 3, cada botão do encosto fica localizado a 4cm da parte superior, 12cm da lateral e 18cm da base do encosto; já os do assento ficam dispostos a 6cm da lateral e com uma distância de 10cm da parte frontal. O *push button* é um botão tátil com 4 terminais [6]. Sua ligação foi feita de forma cruzada, já que existe entre os pinos A/B e C/D um curto, como visto na figura 2. No pino B foi ligado a tensão de alimentação (5V-Vcc) fornecida pelo *Arduino*, no terminal D foi conectado um resistor de 10K para limitar a corrente que chega no botão. Após o resistor, sai um *jumper* em direção ao terra (GND) também da placa *Arduino* e outro *jumper* faz a ligação do *push button* com a placa, dado que o botão funciona como entrada de dados, que devem ser captados e processados pelo microcontrolador.

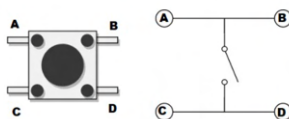


Fig. 2. Circuito Push Button. Fonte: Site LinkedIn [6]

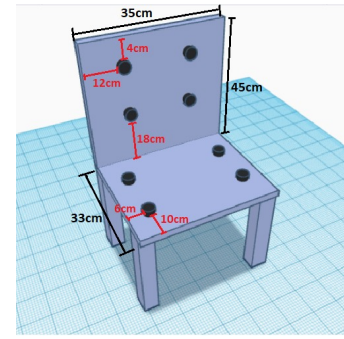


Fig. 3. Modelo 3D da cadeira. Fonte: Autoria própria.

C. Código

Após a decisão da disposição de cada *push button* no assento e encosto da cadeira, foi elaborado um código que leva em conta a lógica do movimento de sentar/levantar. Ao identificar nível lógico alto em todos os botões, o *software* detecta a posição do paciente como “sentado corretamente”. Se houver nível lógico alto em alguns botões e nível lógico baixo em outros, a posição interpretada é de “sentado incorretamente”. Por fim, se todos os botões apresentarem nível lógico baixo, o paciente está “em pé”. A primeira interação com o usuário, é a escolha se a avaliação do método levará em conta somente o assento da cadeira ou utilizará juntamente a parte do encosto.

Visto que o paciente de imediato não aciona todos os botões do assento no instante em que senta, foi necessário criar uma estrutura de decisões que é capaz de identificar se a pessoa sentou e corrigiu sua postura antes de levantar ou se fez esse movimento precipitado. O código armazena o estado do paciente, sendo “1” para a posição “em pé”, “0” para “sentado corretamente” e “-1” para “sentado incorretamente”. O *software* leva em consideração o estado anterior do paciente e a mudança dos níveis lógicos dos botões para alterar o estado atual em que o paciente se encontra e fazer a contagem dos movimentos. Além disso, a estrutura de decisão do algoritmo checa se todos os botões apresentam nível lógico alto, se essa condição não for atendida, uma função é chamada para varrer todo o vetor em que estão armazenados os estados dos *push buttons*, retornando uma mensagem que indica quais botões não estão acionados.

O *software* conta quantas vezes o paciente fez o exercício e em quantas dessas vezes ele foi bem sucedido. A mensagem retornada pela função que verifica os botões é mostrada no *Monitor Serial*, permitindo que o profissional identifique em que ponto o paciente está tendo dificuldades no movimento.

A contagem de movimentos, acertos e verificação dos botões acionados é feita durante 30 segundos. No fim, é apresentado no *Monitor Serial* o *feedback* do exercício. O código foi estruturado baseado na linguagem *Wiring/C++*, utilizando a plataforma de prototipagem *Arduino Uno*.

D. Testes realizados

A montagem do circuito, escrita do código, como visto na figura 4, e design da cadeira 3D foram realizados na plataforma *Tinkercad*. O circuito foi montado em uma *protoboard* e com o auxílio de *jumpers* foi efetuada a ligação das entradas (*Push Buttons*) no *Arduino*.

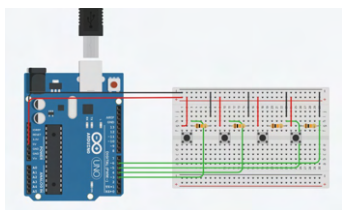


Fig. 4. Montagem do projeto no TinkerCad. Fonte: Autoria própria.

Para a simulação de paciente na cadeira, foi alterado o código de maneira que ele não seja capaz de ler a entrada (botões) como foi programado para atuar. As variáveis que deveriam receber as informações dos botões, a partir do comando *digitalRead*, recebem forçadamente nível lógico alto ou baixo, como pode ser visto na figura 5, a fim de comprovar que os dados mostrados no *Monitor Serial* são coerentes com as informações recebidas pelo microcontrolador.

```
84 //vbc[0] = digitalRead (B[0]);
85 //vbc[1] = digitalRead (B[1]);
86 //vbc[2] = digitalRead (B[2]);
87 //vbc[3] = digitalRead (B[3]);
88 //vbc[0] = digitalRead (B[0]);
89 //vbc[1] = digitalRead (B[1]);
90 vbc[0] = digitalRead(B[0]);
91 vbc[1] = 1;
92 vbc[2] = 1;
93 vbc[3] = 1;
94 vba[0] = 1;
95 vba[1] = 1;
```

variáveis recebendo nível lógico alto

Fig. 5. Código desenvolvido para realizar testes na plataforma TinkerCad. Fonte: Autoria própria.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As respostas obtidas a partir dos testes realizados na plataforma *Tinkercad* indicam resultados satisfatórios, devolvendo o *feedback* pontualmente e com valores de: quantidade de movimentos realizados, quantidade de acertos e quais áreas da superfície não estão sendo ativadas. Esses resultados convergem para as hipóteses levantadas a partir dos objetivos da pesquisa.

Para realizar os testes, três variáveis receberam nível lógico alto e uma delas recebeu o valor lido pela entrada referente ao botão 1. Quando o botão 1 não estava acionado, o *Monitor Serial* apresentou a mensagem de “incorreto: botão 1”, ao ativar o botão, *Monitor Serial* passou a apresentar a mensagem de “correto” indicando que o paciente estava sentado em toda a extensão da cadeira. O resultado desse teste pode ser visto na figura 6.

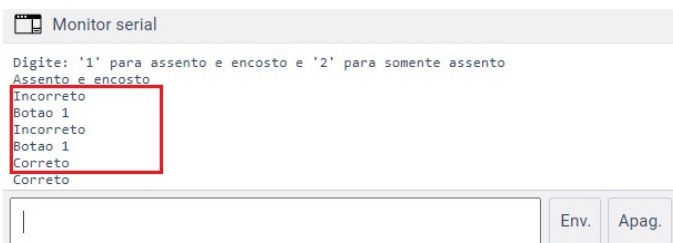


Fig. 6. Saída no *Monitor Serial*. Fonte: Autoria própria, plataforma TinkerCad

No final dos 30 segundos, o programa mostrou no *Monitor Serial* o resultado final do exercício. Como todos os botões não foram desativados ao mesmo tempo, o código interpreta como se o paciente tivesse feito o movimento de sentar

somente uma vez (movimentos totais). Visto que o botão 1, que antes apresentava o estado de desativado e posteriormente foi acionado, o *feedback* mostra que o paciente sentou e corrigiu a postura (movimentos corretos), portanto exerceu corretamente o exercício. Como pode ser visto na figura 7.

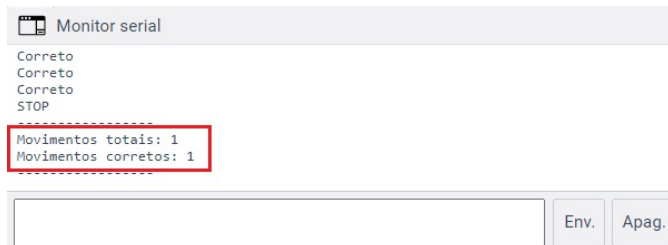


Fig. 7. Resultado no *Monitor Serial*. Fonte: Autoria própria, plataforma TinkerCad

O projeto em questão atende aos requisitos previamente discutidos, como: cronometragem do tempo de exercício de sentar/levantar, *feedback* a respeito dos botões acionados durante o movimento e quantidade de execuções corretas. Portanto, o uso da cadeira na prática clínica de fisioterapia proporcionará mais qualidade à avaliação do exercício e maior controle acerca dos resultados obtidos, facilitando o trabalho do profissional durante as sessões de fisioterapia. Porém, faz-se necessária a montagem do circuito, já montado no *Tinkercad*, e o acoplamento deste na superfície que será utilizada nos exercícios de movimentação contínua de sentar/levantar.

IV. CONCLUSÃO

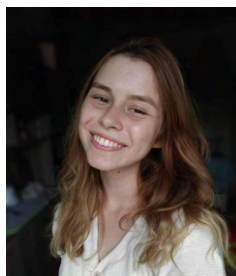
Por todos esses aspectos mencionados, conclui-se que o dispositivo eletrônico para avaliação de pacientes em tratamento fisioterapêutico, apresenta resultados satisfatórios e atende às necessidades especificadas pelo fisioterapeuta. Dentre os problemas apresentados e solucionados em relação à movimentação contínua de sentar/levantar, destaca-se a importância de um cronômetro preciso e o *feedback* da postura do paciente. Os próximos estudos a serem feitos, serão baseados na união do Goniômetro eletrônico para interpretação e comparação de *feedback* em biomecânica [1] com o projeto da cadeira apresentado neste artigo. Tornando assim este dispositivo eletrônico um instrumento completo, prático e acessível.

REFERÊNCIAS

- [1] L. C. de Oliveira, F. B. Vilela e E. R. C. Dester. “Desenvolvimento de goniômetro eletrônico para interpretação e comparação de *feedback* em biomecânica”. Em: *Congresso de iniciação científica do INATEL (Incitel)* (2020), pp. 137–142.
- [2] L. Holanda, P. Silva, J. Alves de Lima e E. Morya. “Instrumentação de recursos tecnológicos no processo de formação do fisioterapeuta”. Em: (dez. de 2018), pp. 135–142. DOI: 10.22533/at.ed.90118021214.
- [3] R. W. Guarnieri. “Movimentador contínuo passivo para membros inferiores”. Em: (2018). (Acessado em 20/02/2021). URL: <http://repositorio.upf.br/handle/riupf/1701>.

- [4] S. T. Orange, J. W. Metcalfe, A. Liefeth e A. R. Jordan. “Validity of various portable devices to measure sit-to-stand velocity and power in older adults”. Em: *Gait Posture* 76 (2020), pp. 409–414. ISSN: 0966-6362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.12.003>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636219317679>.
- [5] Y. Pua, J. Thumboo e R. A. Clark. “Correspondence: Time-based versus repetition-based sit-to-stand measures: choice of metrics matters”. Em: *Journal of Physiotherapy* 64.3 (2018), pp. 200–201. ISSN: 1836-9553. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2018.05.010>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1836955318300602>.
- [6] S. Mesquita. *O segredo do Push Button na montagem*. (Acessado em 05/02/2021). 2020. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/o-segredo-do-push-button-na-montagem-sandro-mesquita?articleId=6625014814089494528>.

lugar do prêmio Fapemig e terceiro lugar do prêmio INATEL (nível 2).



Rita Elizabeth Santos de Almeida Técnica em eletrônica com ênfase em equipamentos biomédicos pela Escola Técnica de Eletrônica “FMC”; Graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL) e Bolsista de Iniciação Científica no eHealth Innovation Center do INATEL.

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 e 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 eHealth Innovation Center 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 eHealth Innovation Center; 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

Sistema para educação de deficientes auditivos quanto ao aprendizado da leitura orofacial

Ana Clara Santos, Filipe Bueno Vilela, Elisa Rennó Carneiro Dester

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

ana.c@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, elisa.renno@inatel.br

Abstract—The Brazilian Sign Language (BSL/ LIBRAS) is the main language for the Brazilian deaf community. However, the percentage of Brazilians who know how to communicate through LIBRAS is extremely small. The challenges that deaf people know in their daily social interactions become evident, mainly affecting their autonomy. As an alternative, other mechanisms are used to aid communication, such as the case of orofacial reading, which is a technique used to understand speech through observation of lip movement, facial expression, gestures and change of posture. Therefore, to contribute to the spread of orofacial reading as an alternative tool in deaf communication, it is proposed to create a platform for learning orofacial reading.

Index Terms—Brazilian Sign Language, Lip reading, Orofacial reading

Resumo—A Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) é o principal meio de comunicação da comunidade surda brasileira. Porém a porcentagem de brasileiros que sabe se comunicar por meio da LIBRAS é extremamente pequena. Tornam-se evidente os desafios que pessoas surdas encontram no cotidiano em suas interações sociais, afetando principalmente a autonomia dos mesmos. Diante desse cenário, outros mecanismos são utilizados para ajudar na comunicação, como é o caso da leitura orofacial (LOF), que é uma técnica utilizada para compreender a fala por meio da observação da movimentação dos lábios, expressão facial, gestos e mudança de postura. Portanto, a fim de contribuir com a disseminação da leitura orofacial como uma ferramenta alternativa na comunicação de pessoas surdas, é proposta a criação de uma plataforma de ensino quanto ao aprendizado de leitura orofacial.

Palavras chave—Leitura labial, Leitura orofacial, LIBRAS, Plataforma de ensino

I. INTRODUÇÃO

A leitura orofacial (LOF), também conhecida como leitura labial ou leitura da fala, consiste na interpretação visual da comunicação de um falante por meio da decodificação dos movimentos dos lábios e das expressões fornecidas pela contração dos músculos da face. Essa técnica é utilizada por uma parcela das pessoas surdas como uma medida facilitadora da comunicação [1].

A surdez pode ser identificada em três diferentes graus: surdez parcial (em que apesar dos indivíduos possuírem a audição deficiente, existe a capacidade de ouvir com ou sem a ajuda de aparelhos auditivos), surdez severa (em que os indivíduos identificam ruídos familiares e podem perceber apenas a voz forte) e surdez profunda (em que se há total ausência de audição) [2].

O número de pessoas com deficiência auditiva no Brasil é de aproximadamente 9,7 milhões [3], sendo que para eles a Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) é o principal meio de comunicação. Contudo, o baixo alcance da língua de sinais

acaba levando muitas pessoas surdas à dificuldade de estabelecimento de vínculos sociais e de comunicação. Como poucos ouvintes usam a LIBRAS, pessoas com deficiência auditiva passam por diversos desafios na escola, no trabalho, nas ruas e até mesmo em hospitais [4].

Tofollo et al. [5] produziram um trabalho cujo objetivo principal era averiguar se o uso da leitura labial e/ou da oralização como complemento à LIBRAS pode auxiliar no processo de aprendizagem da leitura do português. Ao final da pesquisa, foi apontado que a língua de sinais como único meio de comunicação não é suficiente para o estabelecimento de interações entre surdos e ouvintes. E para diminuir essa limitação, faz-se necessário recorrer a formas alternativas de comunicação. Os dados apresentados indicam que a combinação de LIBRAS com a leitura labial é um agente facilitador da aprendizagem da leitura em indivíduos com surdez profunda. É evidenciado que a leitura pode ser beneficiada quando o sujeito possui uma comunicação ampliada, conferindo-lhe maior flexibilidade cognitiva.

Um grupo de pesquisadores do departamento de inteligência artificial da Universidade de Oxford está trabalhando no desenvolvimento de um software que é capaz de realizar leitura labial alcançando um índice de acerto de 93,4%. Este projeto, denominado Lipnet, apesar de ainda não estar no mercado, tem um grande potencial prático, podendo futuramente ser aplicado em aparelhos auditivos melhorados, segurança, reconhecimento da fala em ambientes ruidosos e diversas outras aplicações[6]. No entanto, estudos como esse ainda são muito escassos no Brasil.

Diante desse cenário, o objetivo desse trabalho é o estudo e criação de uma plataforma interativa para educação de pessoas surdas quanto ao aprendizado da LOF na língua portuguesa. Este projeto tem o intuito de ajudar na disseminação da LOF como um instrumento alternativo na comunicação de pessoas surdas.

II. METODOLOGIA

O objetivo final do projeto é a criação de uma plataforma de ensino. Então, foram realizados estudos teóricos e levantamento do conteúdo que a plataforma irá apresentar futuramente, além disso, foram implementados testes de algumas das funcionalidades que irão compor o aplicativo em sua versão consolidada.

A. Estudos teóricos e embasamento científico

Inicialmente, foi realizado o estudo do estado da arte sobre o tema do projeto. As buscas foram realizadas no Google

Acadêmico, J-STAGE, PubMed e SciELO, as chaves utilizadas para pesquisar foram: leitura labial, leitura orofacial e LIBRAS. Foram encontrados 10 artigos de interesse condizentes com o tema de pesquisa. Além disso, foi também realizado uma pesquisa por meio do Google sobre sites e aplicativos que apresentassem uma ideia semelhante ao projeto, para realizar a busca foi pesquisado por “aplicativo para leitura orofacial”.

A fim de fazer um levantamento do conteúdo que poderá ser utilizado na plataforma, chegou-se ao conhecimento da coleção de livros *Novo Alfabetização com Boquinhos* [7]. Com base nesses livros, foram selecionadas palavras e frases que poderão ser apresentadas no aplicativo.

B. Testes de reconhecimento de voz

Um dos propósitos do projeto é fazer com que pessoas surdas consigam se comunicar de uma forma objetiva, e um dos recursos que pode auxiliar nesse processo é o reconhecimento de voz. O aplicativo final contará com exercícios que identifiquem se os usuários estão pronunciando corretamente algumas palavras e frases. Foram então implementados códigos para testar o reconhecimento de voz em três plataformas: PyCharm (por meio da linguagem Python), AppInventor (por meio da biblioteca Blockly) e Android Studio (por meio da linguagem Java). O reconhecimento de voz foi realizado utilizando a API do Google *Speech-to-Text* [8]. Para realizar os testes, foram selecionadas 10 palavras, e então foi testada a identificação de cada uma das palavras nas 3 plataformas de desenvolvimento. As palavras selecionadas foram: casa, abacaxi, cachorro, barco, sorvete, chapéu, bola, pão, óculos, elefante.

C. Testes de interface gráfica

Foram realizados testes de criação de interface gráfica no Android Studio, foram testados componentes como: botões (componentes *Button* e *ImageButton*), caixas de textos (componentes *TextView*, *Plain Text* e *Password*), barra de rolagem, *widgets* de imagem e vídeo. Além de testar configurações de temas, cores, orientações e layout de tela.

Os botões foram utilizados com a finalidade realizar transição de uma tela para outra, executar vídeos, acionar mecanismo de reconhecimento de voz e também para realizar a confirmação de cadastro e login de usuários. Os componentes de textos foram utilizados com a finalidade de exibir mensagens e para entrada de dados dos usuários.

D. Testes de cadastro de usuários

Uma das características que a plataforma final deverá apresentar é a possibilidade que os usuários criem uma conta para que o progresso seja salvo. Testes de cadastro de usuários foram realizados por meio do Firebase, que é uma plataforma da empresa Google com recursos para construção de aplicativos móveis, aplicativos web e banco de dados. Um dos recursos é o *Firebase Authentication* que tem o objetivo de facilitar o desenvolvimento de um sistema de autenticação seguro, oferecendo recursos com e-mail/senha, autenticação por telefone, login do Google, Twitter, Facebook, e outros [9]. Para realização dos testes, foi criada uma interface no Android Studio com os campos nome, e-mail, senha e um botão de cadastrar, que ao ser pressionado tem a função de acionar o envio de dados ao Firebase.

III. RESULTADOS

Nos testes de reconhecimento de voz realizados nas três plataformas de desenvolvimento, foi possível identificar o reconhecimento de todas as palavras selecionadas.

Em Python, o programa foi executado no console do PyCharm. O programa solicita que o usuário diga determinada palavra, caso a pronúncia esteja certa, aparece uma mensagem de “Correto” e, caso contrário, o programa pede que se repita a pronúncia da palavra. Uma observação a ser feita é que em alguns momentos o programa apresentou uma lentidão para retornar uma resposta, sendo que em algumas vezes o tempo de resposta atingiu 40 segundos.

Também foi realizado o teste no AppInventor. Para iniciar a aplicação, é necessário que se clique no botão com ícone de microfone, e automaticamente o serviço de reconhecimento de voz do Google é ativado. Em seguida a palavra que for dita aparece na tela.

A interface do teste de reconhecimento de voz em Java criada no Android Studio é apresentada na Figura 1.

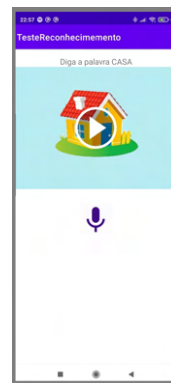


Fig. 1. Figura da interface de reconhecimento de voz no Android Studio

Para o acionamento do comando de reconhecimento de voz, deve-se apertar o botão com ícone de microfone. Automaticamente é aberta uma janela *pop-up* do Google conforme é mostrada na Figura 2, e o reconhecimento de voz começa a ser feito.

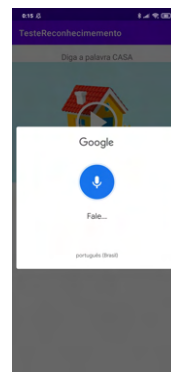


Fig. 2. Figura da janela de reconhecimento de voz do Google

Caso a palavra reconhecida esteja certa, aparece uma mensagem de “Correto” e, caso contrário, aparece uma mensagem de “Incorreto”.

No caso dos testes de reconhecimento de cadastro de usuários, a interface está apresentada na Figura 3.



Fig. 3. Figura da interface de teste de cadastro de usuários no Android Studio

Depois de preencher os campos e clicar no botão cadastrar, os dados são enviados para o Firebase. Na figura 4 é exibida uma tabela no Firebase contendo alguns usuários de teste que foram cadastrados. A tabela é composta pelos dados: identificação (email), data de criação do usuário, data último login e um código de identificação do usuário.

Identificador	Provedores	Criado	Último login	UID do usuário
anaclara0302@gmail.com		8 de fev. de 20...	8 de fev. de 20...	1bXNRzRulkaYbZJN0ZbT07dSL0c2
alice123@gmail.com		8 de fev. de 20...	8 de fev. de 20...	3lQyMhL8bbHEtQ0y03nJ8mJrk1
antonio.jose@gmail.com		18 de fev. de 2...	18 de fev. de 2...	XZfuq0DPbdlP9gcZrZEcr7y5QkU02
pedro123@hotmail.com		18 de fev. de 2...	18 de fev. de 2...	hJ9bARfpEwNjZ5cmJzqzUV9dITRo1

Fig. 4. Figura da tabela do Firebase contendo usuários cadastrados

IV. DISCUSSÕES

Conforme apresentado anteriormente, nas três plataformas foi possível fazer um correto reconhecimento de voz. Mas ao serem comparados os testes, percebeu-se um resultado inferior utilizando Python, devido uma lentidão na execução dos códigos. Em alguns momentos o programa demorou até 40 segundos para retornar uma resposta, enquanto os testes realizados no AppInventor e em Java apresentaram uma resposta praticamente instantânea.

Além disso, considerando todos os recursos que o Android Studio apresenta na criação de interfaces gráficas e na facilidade de integrar o projeto com o Firebase, viu-se uma vantagem maior na utilização dessa plataforma em comparação com Python e AppInventor.

O aplicativo em sua versão final terá um grande potencial benéfico aos usuários. Uma plataforma rápida e interativa, com recursos visuais chamativos e que garanta que o progresso do usuário seja salvo são características importantes para tornar esta uma ferramenta facilitadora no aprendizado da LOF como uma alternativa complementar à LIBRAS.

V. CONCLUSÃO

O uso da leitura orofacial como uma ferramenta alternativa na comunicação de pessoas surdas tem um importante papel de

melhorar a autonomia desses indivíduos. Criar uma plataforma de ensino ajudará a disseminar a leitura orofacial de uma forma mais interativa.

Os testes realizados serviram com uma boa base para auxiliar na criação futura de um protótipo aderente à problemática. Chegou-se a conclusão que utilizar Java na plataforma Android Studio no desenvolvimento de um aplicativo móvel é uma alternativa viável para a criação de um projeto sólido. A solução tem um grande potencial e poderá proporcionar um impacto positivo na vida de muitas pessoas.

Em pesquisas futuras, primeiramente será necessário fazer uma coleta das palavras e frases a serem utilizadas no aplicativo, a coleta será feita por meio da gravação de vídeos de pessoas que possuem boa articulação de fonemas. E então, posteriormente, todos os recursos que foram testados de reconhecimento de voz, banco de dados e interfaces gráficas serão unidos para implementar a plataforma.

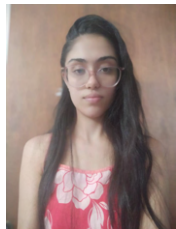
A fim de verificar o desempenho da solução e realizar os ajustes necessários, o projeto será testado pelos próprios autores e validada em laboratório. Depois ela será testada em campo, por pessoas com deficiência auditiva, profissionais da saúde ou pessoas ouvintes que tenham interesse em aprender a leitura orofacial.

REFERÊNCIAS

- [1] Senado Federal. *Acessibilidade na câmera: Leitura Orofacial*. URL: <https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/gestao-na-camara-dos-deputados/responsabilidade-social-e-ambiental/accessible/dicionario-de-libras/l/leitura-orofacial> (acesso em 16/02/2021).
- [2] Instituto Itard. *O que é deficiência auditiva e surdez*. URL: <https://institutoitard.com.br/o-que-e-deficiencia-auditiva-e-surdez/> (acesso em 17/02/2021).
- [3] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Estatística de deficientes auditivos no Brasil, Censo Demográfico de 2010*. URL: <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0&cat=-1,-2,-3,128&ind=4643> (acesso em 17/02/2021).
- [4] Senado Federal. *Baixo alcance da língua de sinais leva surdos ao isolamento*. URL: <https://www12.senado.leg.br/noticias/especiais/especial-cidadania/baixo-alcance-da-lingua-de-sinais-leva-surdos-ao-isolamento> (acesso em 17/02/2021).
- [5] A. Tofollo, E. Bernardino, D. Vilhena e A. Pinheiro. “Os benefícios da oralização e da leitura labial no desempenho de leitura de surdos profundos usuários da Libras”. Em: *Revista Brasileira de Educação* 22 (2017). ISSN: 1413-2478. URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-24782017000400227&lang=pt#B8.
- [6] Yannis M. Assael, Brendan Shillingford, Shimon Whiteson e Nando de Freitas. “Lipnet: end-to-end sentence-level lipreading”. Em: (2016). URL: <https://scinapse.io/papers/2578229578>.
- [7] Viviane Guimarães Renata Jardini. *Novo Alfabetização com Boquinhas*. 1st. Boquinhas Aprendizagem e Acessoria, 2015. ISBN: 978-85-64607-11-8.

- [8] *Documentação da API Speech-toText do Google*. URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text/docs> (acesso em 17/02/2021).
- [9] *Firebase Authentication*. URL: <https://firebase.google.com/docs/auth> (acesso em 17/02/2021).

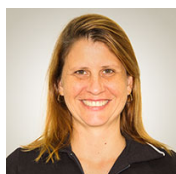
AUTORES



Ana Clara Santos Graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), técnica em informática pelo Instituto Federal do Sul de Minas (IFSULDEMINAS), pesquisadora de Iniciação Científica no e-Health Innovation Center no 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 e-Health Innovation Center do Inatel, professor da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.



Elisa Rennó Carneiro 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.

Avaliação de interface e recursos de comunicação alternativa para pessoas com paralisia cerebral

Felipe S. B. Pereira, Janaína G. Silva, Juliano A. N. Leite, Filipe B. Vilela

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

felipe.silverio@gea.inatel.br, janainagomes@geb.inatel.br, juliano.leite@inatel.br, filipe.bueno@inatel.br

Abstract—The objective of this article is to find the most appropriate method to integrate a system that can capture some patient feedback, such as movements of arms, head and legs, to assist in the communication of patients. An analysis was made of the different types of augmentative and alternative communication that already existed in order to see the one that would be more accessible for the project. In addition, different techniques for capturing biomedical signals were analyzed. A systemic review of articles found in the search and search platform "Google Scholar" was carried out to review the state of the art. Two types of software were found for augmentative and alternative communication and three types of tools for the one that best meet the project's problems. With this, it was concluded that the method that has the greatest benefit for the interface was the one in which it is possible to formulate more phrases freely and that, among the techniques analyzed to choose the words, was eye tracking.

Index Terms—Accessibility, cerebral palsy, eye tracking.

Resumo—O objetivo deste artigo é encontrar o método mais adequado para integrar um sistema que consiga captar algum retorno do paciente, como movimentos de braços, cabeça e pernas, para auxiliar na comunicação de pacientes. Foi realizada uma análise dos diferentes tipos de comunicação aumentativa e alternativa já existentes a fim de ver aquele que seria mais acessível para o projeto. Além disso, diferentes técnicas de captação de sinais biomédicos foram analisadas. Foi feita uma revisão sistêmica de artigos encontrados na plataforma de busca e pesquisa "Google Acadêmico" para revisão do estado da arte. Foram encontrados dois tipos de software para a comunicação aumentativa e alternativa e três tipos de ferramentas para a que melhor atendem à problemática do projeto. Com isto, foi concluído que o método que tem maior benefício para a interface foi aquele no qual é possível formular mais frases livremente e que, dentre as técnicas analisadas para escolher as palavras, foi o rastreamento ocular (RO).

Palavras chave—Acessibilidade, paralisia cerebral, rastreamento ocular.

I. INTRODUÇÃO

Paralisia Cerebral (PC) é uma causa comum de deficiência física e é definida como um grupo não progressivo de distúrbios do desenvolvimento, do movimento e da postura. Dessa forma, a expressão de pensamentos e alerta para momentos de emergência são situações restritivas ao pleno entendimento por terceiros. Comumente, familiares e cuidadores de pessoas nessa condição são capazes de desenvolver ao longo do tempo uma relação interpretativa para os gestos, expressões faciais e sons emitidos pela pessoa com paralisia cerebral (PCP). Ainda que possuam a motricidade fina comprometida, a realização de movimentos grossos é a principal interface de expressão dessas pessoas. No entanto, traduzir os gestos na informação que a PCP quer passar não é um recurso linguístico compreensível

para a maioria da população [1, 2].

A paralisia cerebral é o resultado de uma lesão ou mau desenvolvimento do cérebro, tida como uma encefalopatia, de natureza permanente e que ocorre na primeira infância. Essa lesão cerebral interfere no controle motor do paciente, afetando sua locomoção, utilização dos membros superiores e inferiores e aprendizado de fala. Assim, notadamente meios de comunicação alternativa são objetos de interesse pelas PCP, a fim de que possuam uma ferramenta de interação com outras pessoas e possam ser mais adequadamente inseridas em contextos acadêmicos e profissionais [3, 4, 5].

Atualmente, existem diversos softwares com essa função de comunicação alternativa, como o Telepatix, um software desenvolvido pela Tix Tecnologia Assistiva, que tem como função a comunicação aumentativa e alternativa (CAA), ele permite a escrita de frases e sua leitura em voz alta. Além disso, possui teclado otimizado para comunicação rápida com sugestões de palavras e frases [6].

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é revisar trabalhos científicos publicados e encontrar o método mais adequado para integrar um sistema que consiga captar algum retorno do paciente, como movimentos de braços, cabeça e pernas, para auxiliar na comunicação de pacientes. A interface deve contar com recursos de comunicação por varredura matricial de forma que a realização de um movimento grosso do usuário permita que ele selecione uma letra ou palavra para a composição de uma mensagem. O objetivo de se captar sinais mais grossos ou robustos do corpo do paciente se dá para universalização da solução, uma vez que pode ser utilizada por aqueles que apresentam ou não a motricidade fina preservada.

II. METODOLOGIA

Foi realizada uma análise dos diferentes tipos de comunicação aumentativa e alternativa já existentes a fim de ver aquele que seria mais prático para o projeto. Além disso, diferentes técnicas de captação de sinais biomédicos foram analisados. Uma vez estudado sobre os diferentes estados da arte existentes, foi feita uma revisão sistêmica de artigos encontrados na plataforma de busca e pesquisa "Google Acadêmico", sendo que os principais artigos foram encontrados nas revistas: *A deficiência motora em pacientes com paralisia cerebral*, *Neurociências*, *Educação para o mundo exponencial e Comunicando*. Com isso, o estudo foi aprofundado, buscando novos métodos para que os sinais biomédicos complementassem a interface de comunicação acessível. As palavras-chaves utilizadas foram: Paralisia cerebral, eletromiografia, mecanomiografia, comunicação alternativa, *Eye Tracking*, comunicação

por varredura. Com o uso destes filtros de busca, foram selecionados 25 artigos. Em seguida foi realizado um resumo de cada artigo, expondo os pontos de análise: (a) finalidade do trabalho para PCP, (b) assertividade dos resultados obtidos nos trabalhos em testes com PCP e (c) aderência do projeto para PCP com diferentes níveis de restrição para movimentação. Por fim, a seleção de informações importantes foi realizada, compondo o presente artigo [3, 4, 7, 8].

III. RESULTADOS

O estudo foi inicialmente realizado analisando as diferentes formas existentes de CAA.

Dentre os diferentes métodos de CAA encontrados, dois foram considerados relevantes para a proposta do projeto, em ambos é cumprido o item (a) dos pontos de análise, sendo assim possível utilizar a tecnologia e adaptá-las para PCP, enquanto que apenas o segundo já possui uma forma de atender à pessoas com dificuldade de controle motor fino o que atende parcialmente o item (b) da análise.

Essas tecnologias existentes são: o SimpliX e o TelepatiX. O primeiro (figura 1) é um software que permite a comunicação por meio de pranchas multimídias personalizadas. Enquanto o segundo (figura 2) é um aplicativo onde o usuário pode digitar o que ele deseja falar, este aplicativo pode ser implementado com um detector de piscadas e então as palavras são escolhidas por varreduras e em seguida o que foi digitado é dito [9, 10, 7, 6].

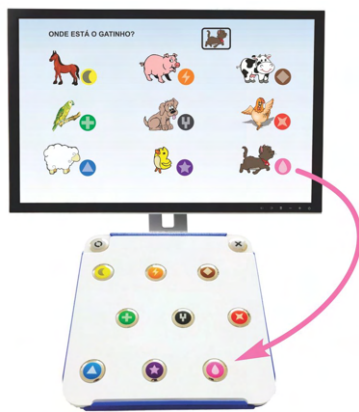


Fig. 1. SimpliX, plataforma de CAA desenvolvida pela Tix Tecnologia Assistiva [11]

O sistema de varredura automática encontrado no TelepatiX é semelhante a uma varredura de uma matriz, onde duas estruturas de repetição são responsáveis por selecionar célula a célula desta estrutura. Porém no TelepatiX primeiro é selecionado a linha do teclado e depois verificado letra a letra desta linha, nele também há palavras sugeridas para agilizar a escrita [12, 6].



Fig. 2. TelepatiX, plataforma de CAA desenvolvida pela Tix Tecnologia Assistiva [13]

PCP apresentam diferentes graus de dificuldades de controle motor fino. Portanto, o método utilizado para controle da plataforma de comunicação deve ser abrangente o suficiente para contemplar todos os tipos de PC. Com este objetivo, foi estudado diferentes métodos de captação de sinais biomédicos para complementar a interface e possibilitar pessoas com dificuldade de controle motor fino a utilizá-la [4].

Uma das ferramentas de controle pesquisadas foi a eletromiografia (EMG). Esta tecnologia não-invasiva capta e analisa sinais elétricos oriundos das contrações musculares. Ela pode ser usada para diagnósticos quanto ao controle de movimentos e como sistema de controle, onde os sinais dos músculos que os eletrodos estão em contato são padronizados e analisados para após processados por uma rede neural serem utilizados a fim de controlar próteses ou membros artificiais [14, 15, 16, 17].

Outra forma de controle estudada foi a mecanomiografia (MMG). Semelhante à anterior, é uma técnica não-invasiva que permite a análise sinais musculares. Porém enquanto a EMG utiliza de sinais elétricos, a MMG registra as vibrações ou sons produzidos pelo músculo esquelético ao se contrair, ou seja, sinais mecânicos [18].

A última tecnologia analisada foi o rastreamento ocular (RO) ou *Eye Tracking* que monitora a posição relativa dos olhos durante tarefas relacionadas à estímulos visuais. Atualmente, o RO é usado para análises de marketing a fim de conhecer o produto que mais chama a atenção do cliente [8].



Fig. 3. Relatório visual de um *Eye Tracking*. Neste relatório está indicado onde o usuário fixou sua atenção em cada momento, assim como um pequeno traço com a forma de linha, indicando as sacadas [8].

Essa tecnologia permite o rastreamento do globo ocular, ou seja, ela é capaz de localizar a posição do olho do usuário e, conforme pode ser visto na figura 3, determinar o ponto que está sendo observado por este. Além disto, a tecnologia consegue dimensionar a dilatação da pupila e o trajeto do olhar. Uma das formas para que seja realizado o RO, é feita por

meio do uso do espectro de luz infravermelha conhecida como oculografia por infravermelho (iROG) [19]

A iROG usa um dispositivo que emite feixe de luz que é refletido nos olhos do usuário e, com o uso de técnicas de processamento de imagens, é possível detectar a pupila do indivíduo por meio. O processamento de imagem pode ser descrito em cinco etapas: (a) Conversão para escala cinza, (b) equalização do histograma, (c) binarização, (d) detecção de bordas e (e) detecção de circunferências [20].

Na etapa (a) é feito a conversão para a redução dos dados para 2 dimensões, na etapa (b) é produzida uma imagem mais uniforme, realçando o contraste entre as bordas dos objetos, já na etapa (c) há uma converção da imagem equalizada em uma imagem com 2 grupos de pixels, os de frente (valor 1) e os de fundo (valor 0), a etapa (d) transforma o que não for borda em fundo da imagem e a etapa (e) realiza a busca pela pupila [20]. Uma vez que a pupila é detectada, é possível analisar a luz que é refletida ao dispositivo, permitindo calcular com precisão para onde o usuário está olhando independente dele realizar movimentos com a cabeça, ou não, sendo assim possível encontrar o “ponto de visualização”, que representa o ponto no espaço para onde a pessoa está olhando [21].

IV. DISCUSSÕES

A interface objeto de estudo do presente trabalho deve permitir que pessoas com paralisia cerebral que apresentaram problemas na fala e dificuldades de controle motor fino consigam se comunicar por meio dela. Seu propósito é permitir que pessoas com essa característica consigam se comunicar e manter suas atividades de vida diária de forma independente.

Para tanto a interface deve ser abrangente o suficiente para que o usuário possa ter autonomia na hora de montar sua fala. Ao analisar e comparar o que já existe no mercado de interface de CAA, notou-se que os softwares existentes utilizam pranchas de multimídias, sendo que em alguns estas são personalizadas e em outros não.

Mesmo que em algumas plataformas seja possível personalizar suas pranchas de comunicação, ao utilizá-las, o vocabulário do usuário torna-se limitado uma vez que há um limite do quanto de informação uma imagem pode passar. Logo este não é um método prático para ser utilizado no cotidiano. Por este motivo, optou-se por fazer com que a interface de comunicação fosse similar ao TelepatiX que, comparado com os outros aplicativos, dá ao usuário maior liberdade e independência ao formular o que será dito.

Devido à dificuldade de controle motor fino do usuário, não é possível digitar ou selecionar as teclas com um mouse para formar a frase que será dita. Tendo em vista esse aspecto, foi preciso encontrar uma forma de selecionar as “teclas” da interface. Dentre as técnicas analisadas para constituir o sistema de escolha da interface, a que se provou mais promissora foi o RO, porque ela atende os itens (a) e (b) de análise, pois não depende inteiramente dos movimentos do usuário e já é usada no mercado para saber o ponto de visualização de determinada pessoa.

Inicialmente, foi considerado o método de varredura para selecionar as letras. A interface será composta por um teclado com as letras distribuídas em uma matriz, então cursor passa

linha a linha e, quando fosse identificado a linha onde estivesse a letra, o usuário a seleciona. Depois a varredura acontece de letra a letra da linha selecionada.

Para identificar a seleção, o usuário deve realizar uma contração que seria registrada ou pela EMG ou pela MMG. Esta forma de selecionar as letras foi descartada após considerar o tempo que seria gasto para montar uma frase. Além disso, para que poder utilizar tanto a EMG, quanto a MMG é necessária a escolha de um músculo que o usuário possua controle total e este deveria, preferivelmente, permanecer parado no momento que estivesse formando a fala.

Já o RO mostrou-se ser uma tecnologia mais adequada para formulação de texto, porque o usuário não precisa esperar para ir formando as palavras, é necessário que ele apenas olhe para a letra desejada. Outro ponto positivo desta tecnologia é que ela não precisa de contato direto com o corpo do usuário. Logo a pessoa fica livre para fazer o que quiser e olhar para onde desejar sem correr o risco de criar uma frase ao acaso.

V. CONCLUSÃO

Tendo em vista o exposto, foi concluído que o método que tem maior benefício para a interface foi aquele no qual é possível formular mais frases livremente e o método que tem maior benefício para escolher as palavras foi o RO.

Para trabalhos futuros será desenvolvido a interface de comunicação bem como um dispositivo de rastreamento ocular, buscando evidenciar a consolidação de um sistema capaz de providenciar uma comunicação mais ampla para pessoas que tiveram a fala afetada e não conseguem utilizar as tecnologias existentes devido as dificuldades de controle do motor fino. Além disso, ser um sistema que possua alto impacto social e de acessibilidade às tecnologias assistivas.

REFERÊNCIAS

- [1] Simone Nique Peralles Graziela Zanini Natália Fernanda Cemin. “PARALISIA CEREBRAL: causas e prevalências”. Em: (2009).
- [2] E. A. GREN L. B.; HURVITZ. “Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America”. Em: (2007).
- [3] Karel Bobath. “A deficiência motora em pacientes com paralisia cerebral”. Em: (2009).
- [4] Jaqueline Maria Resende Silveira Leite e Gilmar Fernandes do Prado. “Paralisia cerebral aspectos fisioterapêuticos e clínicos”. Em: *Revista Neurociências* 12.1 (2004), pp. 41–45.
- [5] Roseli Vasconcellos et al. “Paralisia Cerebral: a fala na escrita”. Em: *Mestrado em Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo* (1999).
- [6] Kelly Gaspar e Isabel Alvarez. “Mobile Applications and Assistive Technology: Findings from a Local Study”. Em: *Societal Challenges in the Smart Society* (2020), p. 523.
- [7] José Motta Filho. *Educação Para O Mundo Exponencial*. Clube de Autores (managed), 2020.
- [8] Ana M Barreto. “Eye tracking como método de investigação aplicado às ciências da comunicação”. Em: *Revista Comunicando* 1.1 (2012), pp. 168–186.

- [9] Bárbara Gorziza Avila. “Comunicação aumentativa e alternativa para o desenvolvimento da oralidade de pessoas com autismo”. Em: (2011).
- [10] Thais Christovam Pamplona. “Contribuições da tecnologia assistiva na aprendizagem on-line, de alunos da educação superior com deficiência física nos membros superiores”. Em: (2016).
- [11] Tix Tecnologia Assistiva. *SimpliX*. URL: [tix . life / download-simplix/](http://tix.life/download-simplix/) (acesso em 07/06/2018).
- [12] Evandro Preuss. “Algoritmos e Estrutura de Dados I”. Em: *Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões* (2002).
- [13] Tix Tecnologia Assistiva. *TelepatiX*. URL: [tix . life / produtos/telepatix/](http://tix.life/produtos/telepatix/) (acesso em 01/03/2018).
- [14] Antonio Donizeti de Sarro Junior, José Jair Alves Mendes Júnior e Steffan Hideki Frantz. “Controle de um braço robótico através de eletromiografia”. B.S. thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- [15] Kety Rosa de Barros et al. “Metodologia para classificação de sinais EMG para controle de próteses com baixo esforço computacional”. Em: (2005).
- [16] Adriano de Oliveira Andrade. “Metodologia para Classificação de Sinais EMG no Controle de Membros Artificiais”. Tese de dout. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2000.
- [17] Arthur M Martins, Fernanda S Andrade, Gabriel S Nascimento, Gustavo B Coutinho, Moises F Queiroz, Ricardo A Valentim e Danilo P Nagem. “Classificação de Gestos Usando Eletromiografia para Controle de Dispositivos”. Em: *Anais Estendidos do XIX Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde*. SBC. 2019, pp. 151–154.
- [18] Marco Aurélio Vaz e Walter Herzog. “A mecanomiografia como técnica não-invasiva para o estudo da função muscular”. Em: *Movimento. Porto Alegre. Vol. 5, n. 10,(1999), p. 15-20.* (1999).
- [19] Eder Manoel Santana et al. “Condução de cadeira de rodas usando rastreamento ocular por imagem”. Em: (2020).
- [20] Alessandro GC Dias, Rafael A da Silva, Antônio CP Veiga e Milena BP Carneiro. “Comparação de diferentes métodos de rastreamento de características da pupila humana”. Em: *XII CEEL-ISSN* (2014), pp. 2178–8308.
- [21] Cecilio Merlotti Rodas, Mari-Carmen Marcos e Silvana Aparecida Borsetti Gregorio Vidotti. “Tecnologia de Eye Tracking em user experience”. Em: (2014).

AUTORES

Felipe Silvério de Brito Pereira graduando em Engenharia de Controle e Automação pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações. Bolsista de Iniciação Científica no eHealth Innovation Center, tendo como linha de pesquisa o estudo de diferentes meios de comunicação assistiva e formas de ajustá-los para pessoas com dificuldades



motoras, também atuou no Centro de Desenvolvimento de

Tecnologia Assistiva (CDTTA) na linha de pesquisa o estudo e a captação de sinais eletromiográficos com calibração automática.



Janaína Gomes Silva graduanda em Engenharia Biomédica pelo INATEL - Instituto Nacional de Telecomunicações. Bolsista de Iniciação Científica no eHealth Innovation Center, tendo como linha de pesquisa o estudo de diferentes meios de comunicação assistiva e formas de ajustá-los para pessoas com dificuldades motoras, também atuou na linha de pesquisa o estudo e a captação de sinais eletromiográficos com calibração automática.



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 eHealth Innovation Center do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.



Juliano Augusto Nascimento Leite, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina; UFSC; Atuou como Engenheiro Clínico no Hospital Tereza Ramos na cidade de Lages/SC; Atuou na Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC) como Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós-graduação, coordenador do curso de Engenharia Elétrica e professor nos cursos de Engenharia de Produção e Engenharia Elétrica. Atuou como Field Service Engineer na Philips Health Systems; Atuou como professor na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) no curso de Engenharia Elétrica; Atualmente é professor auxiliar do quadro de Engenharia Biomédica do INATEL e coordenador da pós-graduação em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica.

Estudo da Eletroestimulação Transcraniana e Técnicas de Processamento de Sinais de EEG Para Identificação de Padrões

Cecília de F. Fernandes, Nicole L. Martins, Vitória C. Neves, Filipe B. Vilela, Juliano A. N. Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

c.fernandes@gec.inatel.br, nicoleluz@geb.inatel.br, vitoria.campos@geb.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, juliano.leite@inatel.br

Abstract—In this article was proposed to present the step-by-step of the development of an electrostimulator by direct current and to evidence the tests made on it. Transcranial direct current electrical stimulation is a non-invasive method of brain electrical stimulation and works by bringing neurons closer to or away from the trigger, creating new neural pathways responsible for greater brain activation. With the use of knowledge acquired through a bibliographic review, the electrical circuit was developed and tested, both online and in-person, in order to guarantee the safety of the equipment and the proof of the parameters of cerebral electro modulation.

Index Terms—Electrical Circuit, Neuromodulation, Prototyping, Transcranial Direct Current Electrostimulation.

Resumo—Este artigo foi proposto para apresentar o passo a passo do desenvolvimento de um eletroestimulador por corrente contínua e evidenciar os testes feitos no mesmo. A eletroestimulação transcraniana por corrente contínua é um método não invasivo de eletroestimulação cerebral e funciona aproximando ou afastando os neurônios do disparo, criando novas vias neurais responsáveis por uma maior ativação cerebral. Com o uso de conhecimentos adquiridos por meio de uma revisão bibliográfica, o circuito elétrico foi desenvolvido e testado, tanto de forma online quanto presencialmente com o fim de garantir a segurança do equipamento e a comprovação dos parâmetros de eletro modulação cerebral.

Palavras chave—Circuito Elétrico, Eletroestimulação Transcraniana por Corrente Contínua, Neuromodulação, Prototipagem.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento na área de estudos pelos métodos de estimulação cerebral não invasiva, é notável. Há a busca por modificar e guiar a plasticidade neuronal, que é a capacidade do cérebro de se adaptar a mudanças por meio do sistema nervoso [1]. A Eletroestimulação transcraniana por Corrente Contínua (*tDCS*) é uma técnica para modular a função cerebral sem alteração da rotina diária do indivíduo [2].

O espectro de uso para a *tDCS* é grande, utilizada para o diagnóstico, prognóstico e terapia, sendo uma técnica de baixo custo [3]. Além disso, possui a possibilidade de ser individualizada e focada na área-alvo, tem efeito imediato e a longo prazo, mínimas contra indicações e efeitos adversos [3]. O Córtex Motor Primário (M1) é uma área-alvo para as técnicas de eletroestimulação cerebral, por ser uma região com limiar de excitação baixo e propício à exposição de diferentes formas de estimulação [4][5].

Com base nas informações citadas acima, este estudo tem como principal objetivo descrever os métodos utilizados para o desenvolvimento de um circuito eletroestimulador transcraniano. O estudo deverá ser utilizado como referência para novas

pesquisas e um guia para futuros desenvolvimentos de um protótipo seguro e eficaz.

II. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi iniciado por uma análise de circuitos de eletroestimuladores já existentes no meio científico, nos quais obtiveram resultados positivos. A plataforma de busca utilizada foi o “Google Acadêmico”, com as palavras chaves: Circuitos Elétricos *tDCS* (*tDCS Electrical Circuits*), estimulação cerebral (*brain stimulation*), Eletroestimulação Transcraniana por Corrente Contínua (*transcranial direct current electrostimulation*), excitabilidade cortical (*cortical excitability*).

Por volta de 15 artigos foram selecionados através desses filtros de busca, e dentre eles foram identificados pontos como: as dificuldades na eletroestimulação, resultados positivos e negativos e propostas para futuras melhorias. Com esse conhecimento, o desenvolvimento de um eletroestimulador transcraniano por corrente contínua foi iniciado.

O circuito elétrico foi avançado a partir da produção e testes feitos através da plataforma online “NI Multisim 14.2”. Nesses testes foi verificada a funcionalidade do eletroestimulador e se os parâmetros para a eletroestimulação são satisfatórios. Posteriormente, o circuito foi reproduzido em uma placa de ensaio e testado para verificar se os resultados teóricos seriam os mesmos na prática. A Tabela 1 apresenta a lista de todos os componentes utilizados para a montagem do protótipo.

TABELA I
COMPONENTES UTILIZADOS

QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
1	DC Power, 9V
1	Resistor, 1K
1	Resistor, 1000K
5	Resistor, 1.2K
2	Capacitor, 10nF
1	Capacitor, 2.2F
1	LM358
1	LM317
1	LED Vermelho
1	Ground

III. RESULTADOS

Com a análise de trabalhos já feitos, foi definido o método a ser aprofundado: a Eletroestimulação por Corrente Contínua (*tDCS*). A *tDCS* é um método de estimulação cerebral não invasiva com potencial para neuromodulação [6]. Estudos demonstraram a capacidade da *tDCS* de alterar a excitabilidade

cortical e os efeitos comportamentais correspondentes, como o aprimoramento do aprendizado motor [7, 8]. Dessa forma, a aplicação da tDCS anodal no córtex motor, provoca um efeito excitatório aumentando a probabilidade de o neurônio disparar um potencial de ação, melhorando o aprendizado motor em sessões de treinamento, com efeito de curto e longo prazo [9, 10, 11, 12, 13, 14].

A tDCS é um protocolo econômico, portátil e de fácil acesso, fornecendo uma corrente direta e monopolar ao cérebro. Os padrões de atividade cerebral mudam à medida que correntes diretas fracas (1–2 mA) são entregues ao couro cabeludo por meio de dois ou mais eletrodos [9, 10, 11, 12].

A. Cálculo Utilizado para o Filtro Passa-Baixa RC

Como forma de segurança, foi incluído um filtro passa-baixa RC, que passa sinais de baixa frequência e bloqueia sinais de alta frequência. Para o cálculo dos componentes do filtro passa-baixa, utilizou-se a seguinte equação:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

No qual:

f_c = Frequência de Corte, em Hertz (Hz);

R = Resistência, em Ohm (Ω);

C = Capacitância, Faraday (F).

B. Desenvolvimento no Software NI Multisim 14.2

O protótipo do Eletroestimulador Transcraniano por Corrente Contínua foi desenvolvido no laboratório *e-Health Innovation Center* do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), instituição localizada no município de Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais. O circuito na Figura 1 representa o modelo da parte elétrica de forma 2D, feita pelo simulador "NI Multisim 14.2".

Uma das funções do "NI Multisim 14.2" é calcular as demais tensões e correntes do circuito para diferentes valores de uma tensão ou corrente de entrada e, também, permite variar a tensão DC da fonte e analisar seu efeito no circuito, o que apresenta grande importância no projeto.

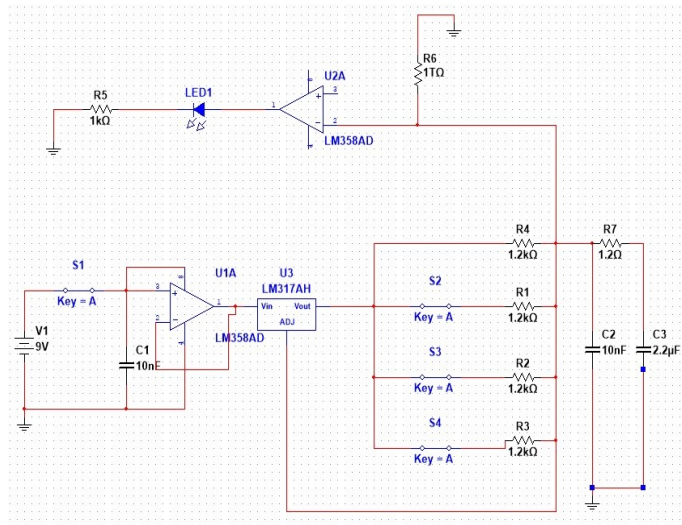


Fig. 1. Imagem em 2D do Circuito Elétrico no Simulador NI Multisim 14.2

O circuito foi alimentado com uma fonte de 9 Volts, que gera uma corrente suficiente e segura para os componentes e, principalmente, para o paciente que utilizará o aparelho. Como forma de abranger o estudo, foi definido um circuito que terá como saída, aproximadamente, entre 1 a 4 mA de corrente contínua, dependendo da chave que for aberta, como é exposto da Figura 2 a Figura 5. Tal variante será útil para a comparação de resultados em futuros testes clínicos.

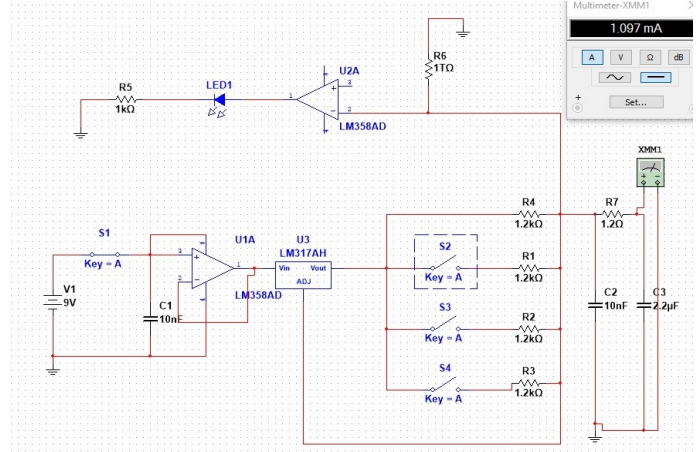


Fig. 2. Corrente de saída com todas as chaves abertas.

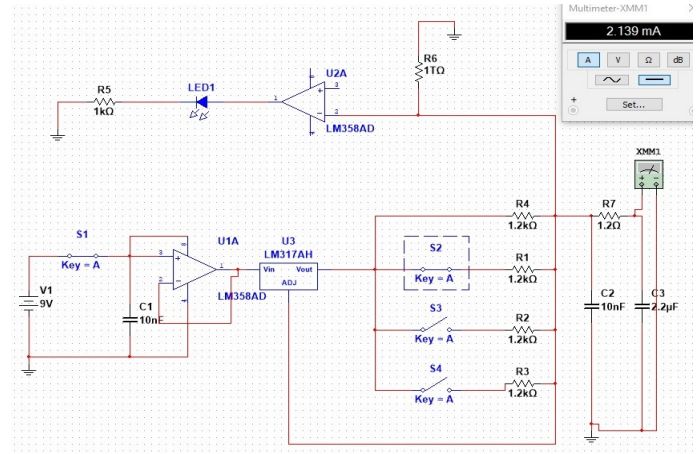


Fig. 3. Corrente de saída com a chave S2 fechada.

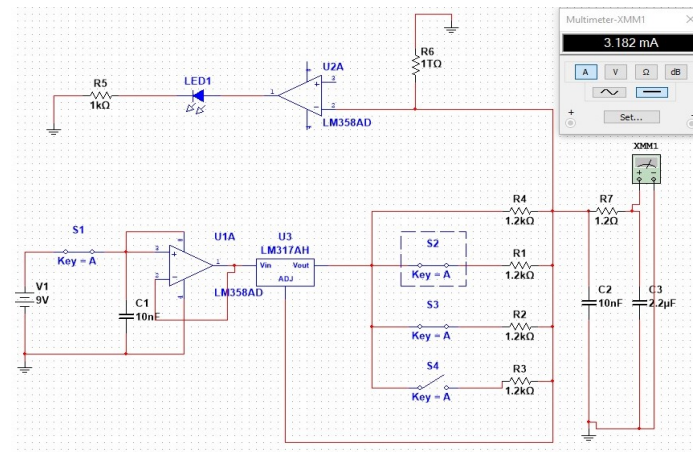


Fig. 4. Corrente de saída com as chaves S2 e S3 fechadas.

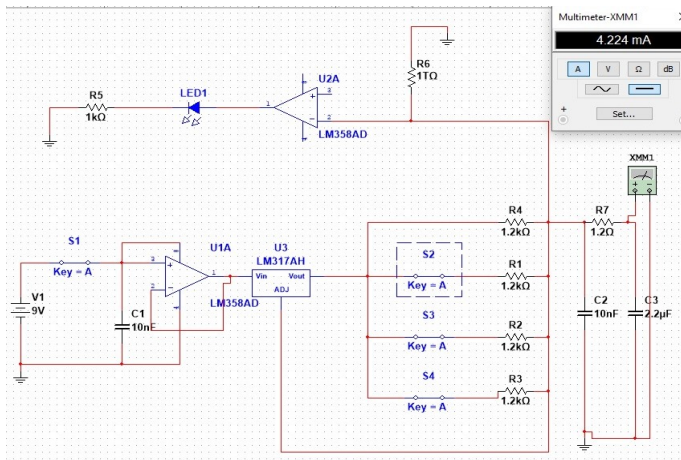


Fig. 5. Corrente de saída com todas as chaves fechadas.

O simulador "NI Multisim 14.2" também foi utilizado para produção do circuito do Eletroestimulador em 3D para representar de maneira didática e organizada as demais ligações do circuito, como é exposta na Figura 6.

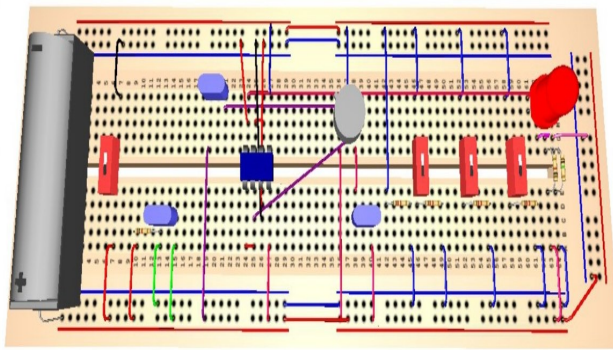


Fig. 6. Imagem em 3D no simulador NI Multisim 14.2.

C. Montagem na Bancada

A parte estrutural do trabalho e os testes na placa de ensaio, foram feitos com o uso de uma protoboard, jumpers, uma fonte de 9 volts e os demais componentes presentes na Tabela 1. O LED vermelho foi aplicado para demonstrar o funcionamento do circuito, indicando se o eletroestimulador está ligado ou não. As correntes esperadas (entre 1 mA a 4 mA) foram comprovadas, como é mostrado nas Figuras de 7 a 10.

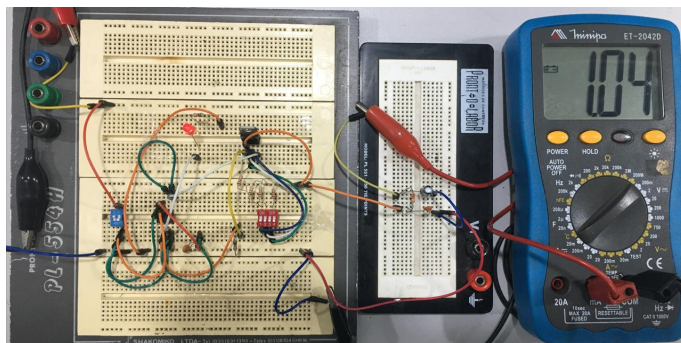


Fig. 7. Corrente de saída com todas as chaves abertas.

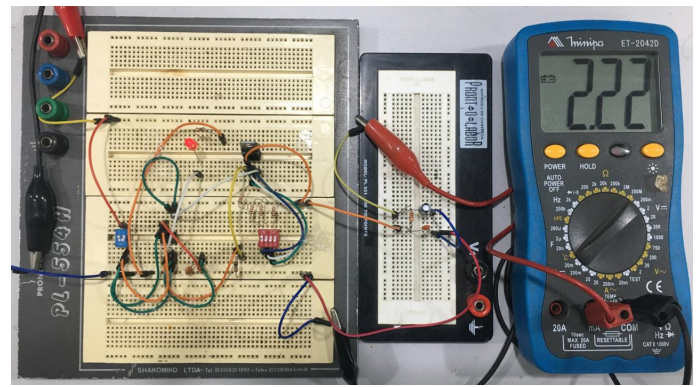


Fig. 8. Corrente de saída com a chave S2 fechada.

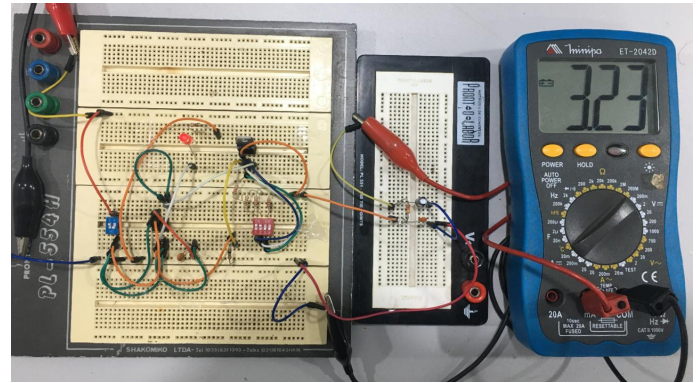


Fig. 9. Corrente de saída com as chaves S2 e S3 fechadas.

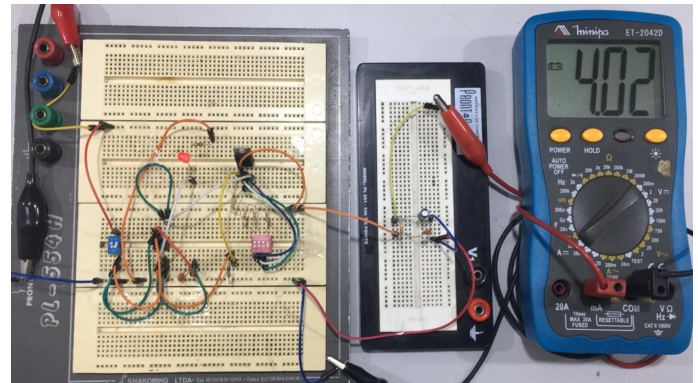


Fig. 10. Corrente de saída com todas as chaves fechadas.

IV. DISCUSSÃO

O objetivo do trabalho foi descrever o processo de produção de um circuito de eletroestimulação transcraniana por corrente contínua. Apesar da existência de futuros testes de segurança a serem feitos, os resultados obtidos fisicamente, pelos testes de bancadas, foi compatível com os resultados obtidos através do software "NI Multisim 14.2", demonstrando ser um circuito que fornece de saída uma corrente contínua com valores próximos de 1mA a 4mA.

As chaves implementadas no circuito serão de extrema importância para futuros ensaios clínicos, visto que há diferença nos valores de correntes fornecidos na saída do circuito é possível investigar qual a melhor faixa de corrente para a neuromodulação cerebral. A disposição do LED também é um componente facilitador para futuros testes, pois ele indicará se

o circuito está em funcionamento ou não, facilitando também o design comercial do eletroestimulador.

Por fim, outro ponto de aprofundamento do estudo seria o filtro passa-baixa RC com frequência de corte igual a 60Hz, no qual não permite a passagem de sinais de alta frequência e funciona como um circuito de segurança para os futuros usuários. Como o intuito é evoluir o circuito elétrico para um eletroestimulador cerebral confiável, deve-se preocupar com os resultados dos testes e se os sinais de EEG (Eletroencefalograma) estão sujeitos a ruído de 60Hz proveniente do sistema de distribuição de energia elétrica. O filtro passa-baixa RC adicionado no projeto garante a eliminação do ruído e resultados confiáveis.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi exibido a montagem de um eletroestimulador de corrente contínua, com a adição de um filtro passa-baixa para eliminação de ruídos, juntamente com a realização do primeiro teste de mesa para a confirmação dos resultados obtidos pelos software de simulação.

O próximo passo é a utilização do “Altium Designer”, um software de projetos eletrônicos utilizado para o desenvolvimento de Placas de Circuito Impresso (PCI), o qual será utilizado para a fabricação da PCI personalizada deste projeto. Por conseguinte a realização de futuros testes para afirmar a segurança para o usuário.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Neuroplasticidade: o que é, como funciona e importância. Disponível em: <https://www.sbcoaching.com.br/blog/neuroplasticidade/>. Acesso em: 15 jan.2020.

[2] Estimulação Magnética Transcraniana (EMT). Disponível em: <https://holiste.com.br/servicos/estimulacao-magnetica-transcraniana-emt/>:text=A

[3] Grossi, M.G.R; Grossi, V.G.R; Souza, J. R. L. M; Santos, E. D. Uma Reflexão Sobre A Neurociência E Os Padrões De Aprendizagem: A importância de perceber as diferenças. 2014. doi: 10.28998/2175-6600.

[4] Sehn F, Chachamovich E, Vidor LP, Dall-Agnol L, de Souza IC, Torres IL, Fregni F, Caumo W. Cross-cultural adaptation and validation of the Brazilian Portuguese version of the pain catastrophizing scale. *Pain Med* 2012; 13(11): 1425–1435. doi: 10.1111/j.1526-4637.2012.01492.x.

[5] Córtex Motor: características e funções. Disponível em: <https://amenteemaravilhosa.com.br/cortex-motorcaracteristicas-funcoes/>. Acesso em: 19 dez.2019.

[6] Patrick Ciechanski, Adam Kirton, a estimulação transcraniana por corrente contínua pode melhorar o aprendizado motor em crianças, córtex cerebral, volume 27, edição 5, maio de 2017, páginas 2758–2767, <https://doi.org/10.1093/cercor/bhw114>.

[7] Nitsche MA, Paulus W. 2000. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol*. 527: 633 – 639.

[8] Reis J, Fritsch B. 2011. Modulation of motor performance and motor learning by transcranial direct current stimulation. *Curr Opin Neurol*. 24: 590 – 596.

[9] Bindman LJ, Lippold OC, Redfearn JW. The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects. *J Physiol* 1964;172:369–82. doi:10.1113/jphysiol.1964.sp007425.

[10] Gartside IB. Mechanisms of sustained increases of firing rate of neurons in the rat cerebral cortex after polarization: reverberating circuits or modification of synaptic conductance? *Nature* 1968;220:382–3. doi:10.1038/220382a0.

[11] Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *J Physiol* 2000;527:633–9. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x.

[12] Nitsche MA, Paulus W. Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology* 2001;57:1899–901. doi:10.1212/WNL.57.10.1899.

[13] Reis J, Schambra HM, Cohen LG, Buch ER, Fritsch B, Zarahn E, Celnik PA, Krakauer JW. 2009. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proc Natl Acad Sci USA*. 106: 1590 – 1595.

[14] Prichard G, Weiller C, Fritsch B, Reis J. 2014. Effects of different electrical brain stimulation protocols on subcomponents of motor skill learning. *Brain Stimulat*. 7: 532 – 540.

[15] Circuito Estimulador Cerebral – Eletroterapia – CES. Disponível em: <http://blog.novaeletronica.com.br/circuito-estimulador-craniano-eletroterapia-ces/>. Acesso em 15 jan.2020.

AUTORES



Cecília de Figueiredo, graduanda do 5º período do curso de Engenharia da Computação do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), membro do e-Health Innovation Center do Inatel.



Nicole Luz Martins, graduanda do 6º período do curso de Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), membro do e-Health Innovation Center do Inatel e bolsista no Centro de Integração Científica, Cultural e Tecnológica (CICCT) do Inatel.



Vitória Campos Neves, graduanda do 5º período do curso de Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), membro atuante do e-Health Innovation Center 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 e-Health Innovation Center do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola

Técnica de Eletrônica “FMC”.



Juliano Augusto Nascimento Leite, nasceu em Itajubá, MG, em 14 de outubro de 1975. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI e mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Atuou como Engenheiro Clínico de 2006 até 2016 no Hospital Tereza Ramos em Lages – SC. Foi Engenheiro de Campo da Philips Medical Systems de 2016 a 2019. Atuou como

professor, coordenador em Engenharia Elétrica e Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós Graduação na Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC de 2010 até 2017. Atualmente é professor no Curso de Engenharia Biomédica, e coordenador do curso de pós-graduação em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL.

Estudo Sobre Robôs Seguidores de Linha

Alexandre Baretalla Lugli, Darlan Borges Ajlune, Egídio Raimundo Neto, João Henrique Silva Delfino, José Marcolino Ribeiro Neto, Marina Ribeiro Barba, Pedro Consoli Bressan, Stefany Rodrigues Lau, Wanderson Eleutério Saldanha

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

baratella@inatel.br, darlanborges@gec.inatel.br, egidio.neto@inatel.br, joao.h@gec.inatel.br, jose.marcolino@gea.inatel.br, marina.ribeiro@gec.inatel.br, pedro.consoli@gec.inatel.br, stefany.rodrigues@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

Abstract—*In the present work, a study on line-following robots is presented based on their use in Follow Line competitions. The aim is to expose the results that are part of the research carried out at the Robotics and Artificial Intelligence Laboratory of the National Institute of Telecommunications, INATEL, explaining the bases of the development of this robotic system, its tests and performances when compared to other robots in competitions, as well as the relationship with industrial technological advances.*

Index Terms—Industry, Robotics, Line follower.

Resumo—No presente trabalho, é apresentado um estudo sobre robôs seguidores de linha com base na utilização destes em competições da categoria *Follow Line*. O intuito é expor os resultados que fazem parte das pesquisas realizadas no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial do Instituto Nacional de Telecomunicações, INATEL, explicando as bases do desenvolvimento deste sistema robótico, seus testes e desempenhos quando comparado a outros robôs em competições. Ainda assim, também é apresentada a relação com os avanços tecnológicos e industriais.

Palavras chave—Indústria, Robótica, Seguidor de linha.

I. INTRODUÇÃO

A Automação tem se tornado uma necessidade cada vez mais importante e frequente na evolução do mundo moderno, principalmente no cenário de processos industriais. No âmbito da indústria 4.0, é nitidamente ampla a utilização de robôs autônomos para a execução de atividades antes realizadas apenas por humanos. Esta aplicação permitiu uma série de avanços no setor empresarial, facilitou processos e ampliou a forma de aplicação da tecnologia, se estendendo aos mais diversos cenários. Sendo assim, a robótica se consolida como peça chave quando se trata de agilidade, facilidade e utilidade no cumprimento de atividades.

Neste contexto, no Brasil, é cada vez mais recorrente a implementação de segmentos da indústria em competições com as mais diversas propostas. Nos torneios, os robôs seguidores de linha ganham destaque pela complexidade em seu desenvolvimento por envolverem uma série de variáveis, conceitos e experimentações da engenharia. Trata-se de uma categoria na qual robôs autônomos devem seguir um trajeto determinado por uma linha, devendo finalizá-lo no menor tempo possível, em que a programação e mecânica devem estar associados de forma intrínseca para obter um desempenho satisfatório.

Vale ressaltar que o desenvolvimento da pesquisa foi realizado no Laboratório de Robótica e Inteligência Artificial[1] do Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL[2] e que os membros que compõem este estudo integram a equipe de robótica RobotBulls, representante do instituto em

competições nacionais e internacionais. Portanto, com este artigo, a exposição do estudo de robôs seguidores de linha deve ser retratada indicando a relevância em sua aplicação como importante ramo da robótica e de aprendizado pelos assuntos nela tratados.

A figura 1 apresenta a logo da equipe de robótica do Inatel.

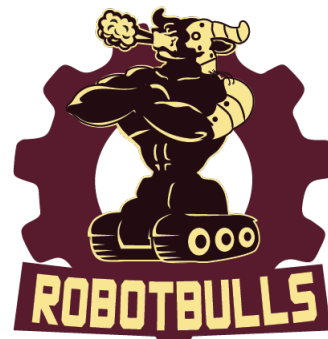


Fig. 1. Logotipo da equipe RobotBulls.

II. FUNCIONAMENTO E REGRAS DA PARTIDA

Um robô seguidor de linha voltado a competição tem como objetivo completar um determinado percurso constituído por uma linha branca em um plano preto no menor tempo possível. A estrutura mecânica é composta por sensores, motores e microcontroladores. O desenvolvimento do *Firmware* (armazenado pelos microcontroladores) é baseado no comportamento de suas entradas e saídas, de modo que os comandos executados permitam que o robô tenha a mobilidade necessária.

Para competir, os robôs devem ser totalmente autônomos com todos os componentes embarcados, não podendo ser controlados externamente via rádio ou fio por atividade humana. Portanto, após a inicialização pelo acionador do robô, o mesmo deve cumprir o percurso com base na mecânica e programação recebidas antes do acionamento, sem nenhum tipo de intervenção ou reparo. Além desta obrigatoriedade, existem especificações nas dimensões que estipulam que o robô não deve exceder 250 mm de comprimento, 250mm de largura e 200mm de altura, além de não poder alterar suas dimensões durante a partida ou utilizar algum mecanismo que aumente sua força normal em relação à pista para obter vantagem.

O percurso é inteiramente preto, com exceção das linhas brancas que marcam o trajeto, constituído por borracha, que deve ser levada em consideração no cálculo e dimensionamento das rodas para melhor aderência. A linha guia é constituída por curvas, retas e arcos que podem estar dispostos em quaisquer

combinações, inclusive podendo cruzar sobre si própria, o que traz inúmeras possibilidades aos percursos das competições visto que o cenário é sempre aleatório.

A figura 2 apresenta um exemplo de percurso na pista do seguidor.

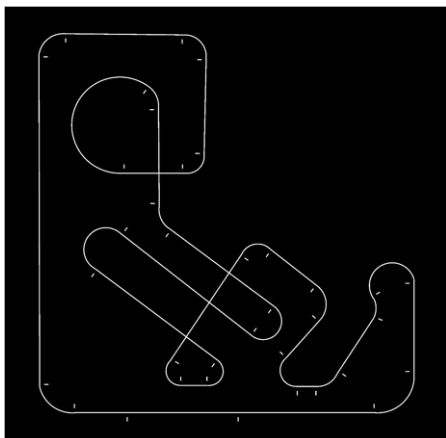


Fig. 2. Pista Follow.

As partidas são constituídas de testes práticos do robô na pista com três tentativas consecutivas para a tomada de tempo, em que se considera válida a volta mais rápida. Um robô por vez é posicionado na linha de partida pelo acionador e liberado não podendo ser interrompido independentemente da situação adversa que a pista oferecer. O tempo de realização do percurso é entendido entre o intervalo em que o sensor na linha de partida do circuito detecta o robô ao sair e retornar.

III. MECÂNICA

A mecânica é uma parte essencial para o desenvolvimento dos robôs de qualquer categoria, pois com ela é possível organizar cada componente do projeto de forma com que todos sejam colocados em posições estratégicas e adequadas na placa. O primeiro passo para a construção de um *follow line* é desenvolver uma carcaça, ou seja, a base do robô seguidor. Para isso é utilizado o software *Solid Works*[3] que possibilita desenvolver um esboço em 3D, de tamanho real com todas as especificações e compartimentos que a placa necessita. Em seguida, basta realizar a impressão dessa peça em uma impressora 3D. A figura 3 apresenta um modelo de carcaça desenvolvida no *Solid Works*.



Fig. 3. Carcaça Construída no *Solid Works*.

Para que seja possível os robôs se movimentarem utiliza-se dois motores, para ser mais específico, moto-redutores DC, da pololu[4], com as especificações a seguir:

- Alimentação de 6V
- Corrente de 20mA
- Caixa de redução de 10:1
- desempenho sem carga de 1300 RPM

A figura 4 apresenta o motor utilizado na categoria.



Fig. 4. Motor Pololu.

E para que esses componentes permaneçam fixos da base do robô, é utilizado um suporte[5] específico para esses motores também da marca pololu, que são parafusados diretamente na estrutura em 3D.

A figura 5 apresenta os suportes que mantêm os motores fixos nas placas.



Fig. 5. Suporte do Motor.

As rodas por sua vez são acopladas ao eixo dos motores nas laterais do robô, utilizamos no momento as rodas pololu[6], que possuem as seguintes características:

- Rodas *wheel* 32x7mm, 1.26" de diâmetro
- Eixos de 3mm
- Pneu de silicone

A figura 6 apresenta as rodas utilizadas na montagem dos robôs.



Fig. 6. Rodas.

IV. ELETRÔNICA

O robô *follow line* é composto por bateria LiPo, reguladores de tensão, sensores infravermelhos, microcontrolador, drive para o motor, motores e sensores encoders. A bateria é a

fonte de energia do robô e é composta por 2 células, dessa forma, possui uma tensão nominal de 7,4V e uma corrente de 300mAh. São utilizados dois reguladores redutores de tensão, um de 5V e outro de 3.3V com o intuito de alimentar os demais componentes. Os sensores infravermelhos[7][8] são utilizados para guiar o carrinho durante o percurso e verificar qual é o trecho da pista. O microcontrolador Teensy 3.2[9] recebe os sinais dos sensores infravermelho, processa e envia um sinal ao drive do motor[10]. O drive do motor é responsável por traduzir os sinais recebidos pelo microcontrolador para os motores. Os motores são responsáveis por fazer o robô correr efetivamente. Os sensores encoders[11] são acoplados ao motor para medir a rotação do mesmo; essa informação retorna para o microcontrolador.

A figura 7 apresenta o microcontrolador utilizado nos carrinhos.



Fig. 7. Microcontrolador Teensy 3.2.

A figura 8 apresenta um diagrama em blocos.

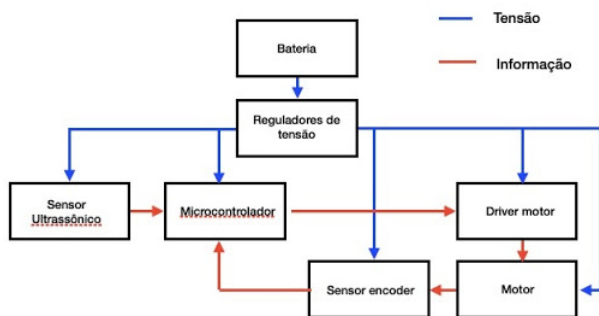


Fig. 8. Diagrama em Blocos.

V. FIRMWARE

A programação do microcontrolador é feita através do Arduino IDE utilizando a linguagem C/C++. A lógica se baseia no controle PID (Controlador proporcional integral derivativo) para alterar a diferença das velocidades dos motores. Dessa forma, o robô é capaz de fazer as curvas da pista e obter êxito em sua mobilidade. O cálculo considera os valores dos sensores ultravermelhos frontais, os quais permitem analisar e corrigir a trajetória de acordo com o erro da posição atual em relação à posição correta. Os sensores ultravermelhos laterais, juntamente com os sensores *encoders*, compõem o mapeamento da pista; dessa forma é possível saber as especificações de cada trecho. A partir disso, é definido a velocidade máxima e mínima, além das constantes que são utilizadas no PID (Controlador proporcional integral derivativo) para cada trecho, alterando o comportamento do robô. Abaixo a descrição sobre os recursos utilizados:

- A calibração é realizada pelos sensores ultravermelhos frontais, os quais permitem que o robô siga a linha corretamente. Tal ação é necessária para que ocorra o reconhecimento das cores (branco e preto), modificando as variáveis no programa que definem o seguimento da linha. Dessa forma, o robô está preparado para desempenhar suas funções.
- O controle PID (Controlador proporcional integral derivativo) fornece uma variação contínua da saída dentro de um mecanismo de realimentação de *loop* de controle para controlar com precisão o processo, removendo a oscilação e aumentando a eficiência. Dessa forma, as constantes são pré-definidas no início dos testes e ajustadas ao longo do trajeto após ser feito o mapeamento.
- O mapeamento com velocidade constante é uma forma de reconhecer e definir o trajeto baseado nas marcas da pista. Sendo assim, cada intervalo entre as marcações é definido como um trecho, sendo este registrado na memória do microcontrolador, juntamente com as informações referentes aos *encoders* naquele instante. Após aplicado tal fundamento, são feitas análises sobre os valores, bem como ajustado os comandos de *PWM* (modulação de largura de pulso) referentes a cada motor a partir dos dados pertencentes aos sensores *encoders*.

VI. RESULTADOS

A equipe de robótica do Inatel, RobotBulls, foi fundada em 2013 e a segunda categoria que foi inserida na equipe foi o seguidor de linha. A partir disso, começaram a ser feitos estudos a respeito da categoria para poder inseri-los nas competições nacionais existentes. Ao longo dessa trajetória, a equipe vem desenvolvendo e aprimorando os protótipos a cada competição, a fim de chegar em um resultado satisfatório. Atualmente, existem três robôs em atividade no laboratório, com os quais foram disputadas diversas competições e conquistadas algumas vitórias nos últimos anos. As duas de maior porte que a equipe participa são a *Winter Challenge* e a *Iron Cup*, competição organizada pelo Inatel. Apesar de obter alguns resultados satisfatórios é notável a necessidade de evolução dos robôs e aprimoramento dos códigos. Para isso, a equipe está com um novo projeto em que se pretende usar uma placa de circuito impresso no lugar das carcaças em 3D, a fim de reduzir o peso do robô e também testar uma outra opção de motores similares, porém mais modernos. Algumas classificações e conquistas obtidas pelos robôs desenvolvidos pelos integrantes da categoria entre o período de 2018 a 2020 estão apresentadas na Tabela I.

TABELA I
RESULTADOS EM COMPETIÇÕES

Competição	Colocações
<i>Iron Cup</i> 2020	4° e 8°
<i>Copa Bosch</i> 2019	1° e 2°
<i>RSM Challenge</i> 2019	1° e 2°
<i>Smile</i> 2019	3°
<i>Winter Challenge</i> 2019	7° e 11°
<i>Iron Cup</i> 2019	5°, 7° e 12°
<i>Winter Challenge</i> 2018	4°, 5° e 8°
<i>Iron Cup</i> 2018	2°, 6° e 8°

A figura 9 apresenta os robôs atuais da equipe.

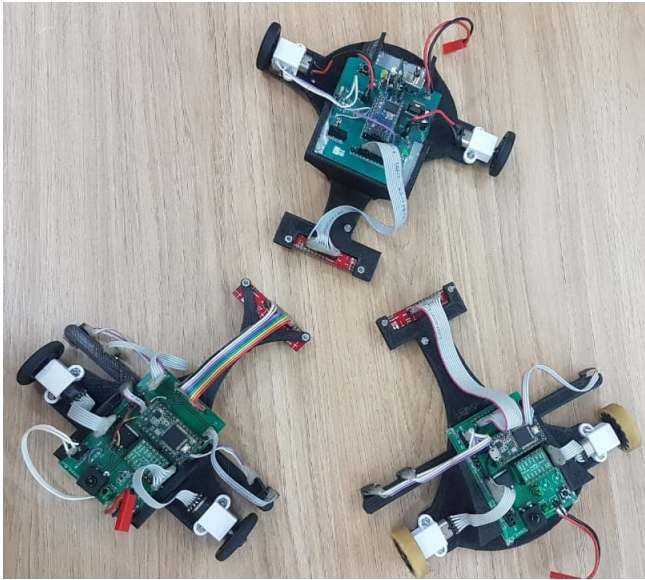


Fig. 9. Robôs desenvolvidos pela equipe.

VII. CONCLUSÃO

Portanto, com base nas informações expostas, vale ressaltar a importância do conteúdo tratado no desenvolvimento deste trabalho pela nítida aplicação de conceitos e de experimentações dos mais diversos ramos da engenharia como: mecânica, programação e física. Ao conhecer as etapas de planejamento, construção e execução deste sistema robótico e o seu emprego no contexto das competições, é possível fazer uma analogia com a operação de robôs industriais que se valem de princípios similares aos mencionados neste artigo. Exemplo claro disso, a complexidade na integração das partes constituintes de *firmware* e mecânica leva a compreender a importância em se desenvolver um mecanismo que seja o mais assertivo possível por estar diretamente relacionado com a qualidade, desempenho e precisão desses robôs nos torneios. Estendendo esta linha de raciocínio ao contexto da Indústria 4.0, o resultado de um segmento ou ramo empresarial, por exemplo, pode ser contundentemente modificado, positiva ou negativamente, pela forma com a qual os robôs foram desenvolvidos. Como forma de progresso para as próximas competições e etapas, a equipe deve implementar melhorias no que tange a parte mecânica para alcançar um melhor desempenho nos torneios, visto que a categoria, atualmente, se projeta como uma das mais desenvolvidas e acirradas em âmbito nacional pelo avanço exponencial da maioria das equipes. Deste modo, a pretensão é manter-se entre os robôs de melhor desempenho e utilizar as competições como formas de validação dos conceitos teóricos e práticos trabalhados em laboratório. Portanto, o projeto conquistou os objetivos pelos resultados apresentados, bem como pela evolução tida em cada evolução de robô que se mostra uma versão melhor do antecessor, permitindo o pleno crescimento da categoria e equipe ao mesmo passo que houve significativo desenvolvimento dos pesquisadores envolvidos neste processo de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Inatel. *Página da web da equipe de robótica do Inatel - Robotbulls*. URL: <https://inatel.br/robotica/> (acesso em 17/02/2021).
- [2] Inatel. *Site Oficial do Inatel*. URL: <https://inatel.br/home/> (acesso em 17/02/2021).
- [3] SolidWorks. *Página da web do software de modelagem 3D*. URL: <https://www.solidworks.com/pt-br> (acesso em 17/02/2021).
- [4] Pololu. *Motor 6V com caixa de redução 10:1*. URL: <https://www.pololu.com/product/3071> (acesso em 01/12/2020).
- [5] Pololu. *Suporte dos motores*. URL: <https://www.pololu.com/product/1089> (acesso em 01/12/2020).
- [6] Pololu. *Pololu Wheel 32x7mm Pair - Black*. URL: <https://www.pololu.com/product/1087> (acesso em 01/12/2020).
- [7] Robocore. *Sensor de Refletância QRE*. URL: <https://www.robocore.net/sensor-robo/sensor-de-linha-qre-analogico> (acesso em 01/12/2020).
- [8] pololu. *sensor_g*. URL: <https://www.pololu.com/docs/0J19/all> (acesso em 01/12/2020).
- [9] tensy. *micro*. URL: <https://www.pjrc.com/store/teensy32.html> (acesso em 01/12/2020).
- [10] pololu. *driver_{motor}*. URL: <https://www.pololu.com/product/713> (acesso em 12/12/2019).
- [11] pololu. *encoder*. URL: <https://www.pololu.com/product/3081> (acesso em 01/12/2020).

Estudo Sobre a Aplicação de Drones Autônomos.

Alexandre Baratella Lugli, Cícero Michel Sousa, Egídio Raimundo Neto, Marcos Henrique Rodrigues Lopes, Matheus Braga Teixeira, Nicole Escobar Alves, Raphael Rangel Freitas, Wanderson Eleutério Saldanha

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

baratella@inatel.br, ciceromichel@gea.inatel.br, egidio.neto@inatel.br, marcos.lopes@gea.inatel.br,
matheus.braga@get.inatel.br, nicoleescobar@gec.inatel.br, raphael.r@gec.inatel.br,
wsaldanha@inatel.br

Abstract—This article aims to present the main components used by the Inatel robotics team to develop a drone and what were the results obtained at the end of the tests carried out with it, in addition to addressing how this technology is being responsible for the development of new businesses and the modernization of the world market.

Index Terms—Autonomous, Drone, Robotic, Technology.

Resumo—Este artigo tem como objetivo apresentar os principais componentes usado pela equipe de robótica do Inatel para desenvolver um drone e quais foram os resultados obtidos ao final dos testes realizados com o mesmo, além de abordar como essa tecnologia está sendo responsável pelo desenvolvimento de novos negócios e a modernização do mercado mundial.

Palavras chave—Autônomo, Drone, Robótica, Tecnologia.

I. INTRODUÇÃO

Em toda a história da humanidade, é visto que ela está em constante evolução para ter maior facilidade em suas atividades. Com o surgimento dos drones não foi diferente, visando um menor risco para as pessoas em missões militares. Através dessa invenção, começou uma enorme revolução que iria impulsionar ainda mais a globalização, encurtando-se ainda mais as distâncias entre as pessoas.

Os drones autônomos, ou RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*), são aeronaves capazes de tomar decisões e realizar missões, sem a necessidade de um piloto em solo enviando comandos ou controlando os seus movimentos. A autonomia se dá através de algoritmos de processamento de imagens e inteligência artificial, através da utilização de câmeras e sensores instalados.

A aeronave no qual serviu de inspiração para os drones foi o Buzz Bomb, inicialmente projetado na Segunda Guerra Mundial. Posteriormente, foi construído o drone militar Predador por Abe Karem, considerado o Pai dos Drones. Com o surgimento da empresa DJI (*Dà-Jiāng*), fundada pelo chinês Frank Wang, os drones foram popularizados e ganharam o mercado mundial não militar, tornando-se objeto de desejo para setores como agricultura, segurança, saúde, entrega, entretenimento e outros.

A tecnologia encontrada nos Drones abre um leque de oportunidades de mercado e de pesquisas e para explorar essa ampla aplicação e desenvolvimento, este artigo foi organizado da seguinte maneira: Na seção II são abordadas as áreas em que estão desenvolvendo novos modelos de negócios ou que estão sendo automatizadas com o uso de drones. Na seção III define-se as peças utilizadas pela equipe Robotbulls para construir um drone. A seção IV explica como foram realizados os testes e

apontamos os resultados obtidos com o drone desenvolvido pela equipe e por fim, na seção V é apresentado a conclusão deste artigo.[1]

II. APLICAÇÕES

Com a evolução da tecnologia e estudos envolvendo drones autônomos, podemos encontrá-los sendo utilizados em empresas consolidadas e em novos empreendimentos.

A. Agricultura

A aplicação de drones no meio agrícola foram introduzidas por Volocopter e John Deere [2] para pulverização de plantações. As duas desenvolvedoras tem o projeto ambicioso para grandes plantações, em que uma aeronave de 19,2 m de diâmetro, possuiria 18 hélices e um motor totalmente elétrico, proporcionando autonomia de 30 minutos de voo. Com a possibilidade de transportar até 200kg e seguir uma rota pré-determinada ou pilotá-lo de maneira remota, pode-se realizar seu objetivo com um conjunto de pulverizadores e tanques no ponto de conexão de carga, conforme mostrado na Figura 1. Nos tanques anexados ao drone é possível abastecer com pesticidas, fertilizantes líquidos, agentes anticongelantes e entre outras aplicações. Sendo assim, o próximo passo, para aplicação de drones autônomos na agricultura, será plantar as sementes.[3]



Fig. 1. Drone aplicado na agricultura. [4]

B. Segurança

Os drones estão sendo utilizados de várias formas para manter a segurança em alguns ambientes, como a Polícia Rodoviária Federal de Pernambuco (PRF), para videomonitoramento, auxílio nos levantamentos de acidentes e outras tarefas. Outro exemplo, com as eleições de 2020, em que foram utilizados drones com câmera com alta definição para obter boas imagens, mesmo com a alta altitude. Sua utilização

foi feita para monitoração e assim prevenir crimes eleitorais, conforme mostrado na Figura 2. [5]



Fig. 2. Drone aplicado para segurança. [6]

C. Saúde

Na área de saúde os drones estão sendo utilizados em locais hospitalares, por exemplo no Hospital Dona Helena em Joinville (SC), para o rastreamento predial nos telhados, geradores, letreiros, etc. Usando a tecnologia a seu favor teve um aumento no desempenho e rapidez, pois nas formas anteriores demorava em torno de 2 dias, nessa nova forma demora aproximadamente 1h10 para ser finalizada e sem riscos humanos. Tendo um potencial para transporte de medicamentos, vacinas ou equipamentos médicos hospitalares, sendo de grande importância quando o tempo é crucial. Na África, já estão sendo utilizados para transporte de vacinas para áreas de difícil acesso, como em Madagascar.[7].

D. Entrega

No ano de 2019 a *startup* do *Reserve* junto com a *My view* foram responsáveis pela primeira entrega feita no Brasil com um drone autônomo. Isso aconteceu através do projeto D4 (*Door-to-Door Drone Delivery*) para entrega comercial de produtos. O *My View D4* utiliza uma aeronave desenvolvida em oito meses de pesquisa, tendo como objetivo iniciar a entrega comercial regular de produtos, para que o serviço seja logo regulamentado no Brasil. O primeiro voo realizado foi entre a Drogaria Venâncio e a casa do cliente, atingindo uma altura de 30 metros, uma velocidade de 14 km/h e percorreu uma distância de 876 metros em menos de 4 minutos. Já em 2020 a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) autorizou pela primeira vez o uso de drones para a entrega da *Speedbird*, prestando serviços ao *iFood*, conforme mostrado na Figura 3. A permissão foi concedida de forma que o drone pese 9 quilos e pode transportar cargas de até 2 quilos, com velocidade máxima de 32 km/h.[8].

E. Entretenimento

Os drones sempre foram vistos como uma forma de *hobby*, porém a maior parte das aplicações para o entretenimento eram de forma controlada. Entretanto, a partir de 2014 surgiram algumas competições autônomas, sendo uma delas a *IMAV* (*International Micro Air Vehicle Conference and Competition*).



Fig. 3. Drone sendo usado para entregas.[9]

O objetivo é realizar missões que simulam procedimentos de emergências, como voar entre obstáculos, mapear territórios, localizar vítimas, coletar água, combater incêndios, carregar alguma carga e entre outras. Ela é configurada para destacar a eficiência, inovação, autonomia, processamento de imagens e cooperação das aeronaves. No Brasil, uma das pioneiras em desafios deste tipo foi a Petrobras em parceria com a *RoboCup* Brasil que promoveram o Desafio de Robótica Petrobras/*RoboCup* Brasil [10]. Com isso, em 2019 foi realizada no Rio Grande do Sul, cujo o Desafio, com um modelo reduzido, tentava simular o ambiente de dutos petrolíferos, onde possuíam 2 plataformas marítimas com bases suspensas de pousos e decolagens, uma base terrestre costeira e três bases terrestres avançadas.

III. MATERIAIS

Nesta seção serão apresentados os componentes utilizados pela equipe de *RobotBulls* para construir um Drone *Quadcopter*.

A. Mecânica

Para esqueleto de sustentação foi disposto um frame S500 de fibra de vidro de 170 mm de altura e peso de 405g, 480mm de um centro de motor ao outro, com trem de pouso, uma placa de distribuição de energia e um suporte de bateria ajustável, para equilibrar o peso, conforme mostrado na Figura 4.



Fig. 4. Frame S500. [11]



Fig. 5. Drone montado pela equipe RobotBulls.

B. Eletrônica

Para alimentação foi utilizado uma bateria de Li-po (Íon de polímero), 3S (11.1V) e 7000mA. Para fazer o controle de velocidade dos motores foi utilizado quatro ESC's (*Electronic Speed Controller*) Turnigy Multistar, 30A de amperagem contínua. O motor utilizado foi um Brushless 2216 - 920 KV (RPM/V) da Turnigy Multistar com amperagem máxima de 18A, conforme mostrado na Figura 5.

C. Controladora

A controladora de voo utilizada foi a HKPilot32 [12] da HobbyKing do projeto independente de hardware e software aberto da PX4/Pixhawk. No seu interior encontramos um processador ARM Cortex M4 e sensores giroscópio ST Micro L3GD20 de 3 eixos, acelerômetro/ magnetômetro LSM303D e acelerômetro/giroscópio MEAS MS5611, conforme mostrado na Figura 6.

D. Software

Para a navegação do drone utilizou-se o software de controle *Mission Planner*, de um projeto voltado completamente para robôs autônomos, chamado *Ardupilot*. Com essa plataforma é possível realizar a calibração dos sensores, monitorar o status do drone, operar o drone em primeira pessoa e realizar voo autônomo.

IV. TESTES E RESULTADOS

Os primeiros testes realizados com o drone construído pela RobotBulls foram utilizados rádios controles, com uma comunicação por telemetria com a estação de solo, que controla os movimentos e envia as informações. Esses testes foram bem sucedidos, tendo a finalidade de testar a montagem e calibrar os sensores e ajustar os parâmetros, conforme mostrado na Figura 7.

Foram realizados testes utilizando o piloto automático da plataforma *Mission Planner*, que utiliza os sensores, internos e externos, integrados da controladora para conduzir o drone de acordo com a rota pré definida. Este teste teve o objetivo de dar início ao estudo de voo autônomo. O drone realizou um voo automático, mas encontrou problemas com o sensor interno, o barômetro, um dos responsáveis pela medição de



Fig. 6. Drone com placa controladora.

altitude do drone. Por isso, o drone perdia a altitude definida nos postos marcados.



Fig. 7. Drone sendo testado pela equipe de robótica.

V. CONCLUSÃO

O mercado de drones autônomos está se expandindo em uma velocidade avassaladora. Diversas empresas estão desenvolvendo tecnologias voltadas para drones, com o intuito de suprir necessidades em segmentos específicos na indústria.

Visto isso, conclui-se que o estudo desta área, realizado por empresas de tecnologias e de instituições de ensino, é de suma importância para a evolução do mercado e torná-lo cada vez mais competitivo.

A equipe de robótica RobotBulls, visando acompanhar o avanço dos estudos na área, observou alguns fatores a serem

melhorados no drone desenvolvido, como o GPS (*Global System Position*) utilizado no drone, a troca da placa controladora e estudo de novos sensores para realizar voo autônomo. O GPS, durante os testes realizados, apresentou perda de sinal e instabilidade e este fator faz com que o drone se perca durante o voo autônomo ou impossibilite a realização do voo, com a utilização modo seguro. Já a placa controladora HKPilot32 apresentou componentes defeituosos em vários testes, sendo necessário a troca do mesmo em várias situações, atrasando o andamento do desenvolvimento. Por fim, para possibilitar a participação da equipe em competições e avançar no estudo de drones autônomos, é necessário realizar testes com sensores externos, como sensores RGB (*Red, Green, Blue*), multiespectral, ultrassônico e óptico.

REFERÊNCIAS

- [1] *História dos drones: como surgiram? Para que servem?* URL: <https://itarc.org/historia-dos-drones/#:~:text=O%20surgimento%20do%20drone,durante%20a%20Segunda%20Guerra%20Mundial> (acesso em 20/02/2021).
- [2] John DEERE. *John Deere apresenta trator autônomo e drone gigante durante a Agritechnica*. URL: <https://vozdocampo.pt/2019/11/19/john-deere-apresenta-trator-autonomo-e-drone-gigante-durante-a-agritechnica/> (acesso em 24/02/2021).
- [3] *Cooperativa usa drones autônomos para pulverizações 'cirúrgicas'*. URL: <https://www.sna.agr.br/cooperativa-usa-drones-autonomos-para-pulverizacoes-cirurgicas/> (acesso em 25/02/2021).
- [4] *Drone na Agricultura*. URL: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ2OLpmVJCD8ilhHI6j5TQvePij4BC7KS13oQ&usqp=CAU> (acesso em 20/02/2021).
- [5] *Polícia Rodoviária Federal passa a usar drones nas rodovias em Pernambuco*. URL: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2020/11/policia-rodoviaria-federal-passa-a-usar-drones-nas-rodovias-em-pernamb.html> (acesso em 25/02/2021).
- [6] *Drone aplicado na segurança*. URL: <https://tecnodefesa.com.br/pl-n-167-o-o-uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-pelos-orgaos-de-seguranca-publica/> (acesso em 20/02/2021).
- [7] *Hospital Dona Helena utiliza drone para mapear riscos e acidentes*. URL: <https://medicinasa.com.br/hdn-drone/> (acesso em 25/02/2021).
- [8] Jonas VALENTE. *Anac autoriza primeiro serviço experimental de entrega por drones*. URL: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2020-08/anac-autoriza-primeiro-servico-experimental-de-entrega-por-drones#:~:text=Publicado%20em%2016%2F08%2F2020,de%20mobilidade%20e%20alimenta%C3%A7%C3%A3o%20iFood> (acesso em 24/02/2021).
- [9] *Drone aplicado para entrega*. URL: https://www.google.com.br/imgres?imgurl=https://www.hypeness.com.br/1/2020/09/Amazon_Drone_horizontal.jpg&imgrefurl=https://www.hypeness.com.br/2020/09/drone-delivery-da-amazon-esta-a- apenas-um-passo-de-ser-lancado/&tbnid=jgsTwGzNyOQ44M&vet=1&docid=hmLbYp-AbE-vzM&w=647&h=450&hl=pt-br&source=sh/x/im (acesso em 20/02/2021).
- [10] CBROBOTICA. *A RoboCup Brasil em parceria com a Petrobras tem o orgulho de anunciar uma nova categoria para a Competição Brasileira de Robótica: O DESAFIO DE ROBÓTICA PETROBRAS/ROBOCUP BRASIL (DRP)*. URL: <http://www.cbrobotica.org/index.php/2020/01/01/nova-categoria-desafio-de-robotica-petrobras/> (acesso em 25/02/2021).
- [11] *Frame S500*. URL: <https://loja.futuriste.com.br/frame-s500> (acesso em 20/02/2021).
- [12] *HKPilot32 Autônoma 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 20/02/2021).

Estudo Sobre a Medição de Vazão em Sistemas Hidráulicos Baseado na Correlação Cruzada de Sinais Ultrassônicos

Giulio Germiniani, Igor Romancini Marques, Wanderson Eleutério Saldanha

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

giulio germiniani@gea.inatel.br, igormarques@gea.inatel.br, wsaldanha@inatel.br

Abstract—The measurement of liquid flow has been a challenge for researchers due to the diversity of intensity and techniques applicable to the various processes where this measurement is necessary. In the industrial sector, flow is the third most important quantity, its value is determined, among other possibilities, through the use of ultrasonic signals. This work presents a study on the flow measurement from the cross-correlation of ultrasonic signals. The theoretical concepts will be addressed and a practical validation for the proposal will be presented.

Index Terms—Cross Correlation, Filter-Active, Transducer, Flow.

Resumo—A medição da vazão de líquidos têm sido um desafio para pesquisadores em função da diversidade de intensidade e técnicas aplicáveis aos vários processos em que essa medição se faz necessário. No setor industrial, a vazão é a terceira grandeza de maior interesse, sendo seu valor determinado, entre outras possibilidades, através da utilização de sinais ultrassônicos. Esse trabalho apresenta um estudo sobre a medição de vazão a partir da correlação cruzada de sinais ultrassônicos. Serão abordados os conceitos teóricos e apresentada uma validação prática simulada para a proposta.

Palavras chave—Correlação Cruzada, Filtro-Ativo, Transdutor, Vazão.

I. INTRODUÇÃO

A medição de vazão tem grande importância na indústria, possuindo inúmeras aplicações, desde a medição de vazão da água, produtos químicos, como também de combustíveis. A medição de vazão pode ser realizada por elemento primário ou secundário, sendo que no primeiro método o elemento sensor tem contato direto com a substância que se deseja conhecer a vazão, e no segundo método procura extrair a grandeza física gerada pela interação com a substância. Para a determinação da vazão existem vários métodos, alguns deles sendo mais empregados, como gerador de pressão diferencial, medição magnética, deslocamento positivo, área variável, geração de vórtices, medidores térmicos, sinais ultrassônicos entre outros[1].

Nesse artigo é apresentado um estudo sobre a medição de vazão através da correlação cruzada, utilizando-se sensores ultrassônicos. Esse método tem o objetivo de identificar o tempo de trânsito do fluido dentro da tubulação, onde aplicando-se a correção cruzada nos sinais recebidos pelos sensores ultrassônicos, obtém-se a defasagem do mesmo, identificando o tempo de deslocamento do fluido e consequentemente a vazão[2].

As informações desse artigo estão distribuídas em cinco capítulos, onde no II são apresentados os Fundamentos

Teóricos que ajudarão na compreensão do conteúdo, no III os detalhes da Metodologia adotada, no IV os Materiais e Métodos aplicados, no V o Estudo Proposto, no VI os Testes e Resultados e no VII as conclusões sobre tudo que foi descoberto.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nessa seção serão apresentados os conceitos teóricos dos principais pontos necessários para o entendimento do estudo desenvolvido.

A. Vazão

A vazão volumétrica, $Q(m^3/s)$, pode ser determinada pelo produto entre a velocidade de escoamento do fluido, $v(m/s)$, e a área da seção transversal, $A(m^2)$, da estrutura por onde ele flui. Essa relação pode ser observada na Equação (1) [3].

$$Q = v.A \quad (1)$$

Sendo que a velocidade média v pode ser obtida pela relação entre o deslocamento considerado, $x(m)$, e o tempo, $t(s)$, necessário para percorrê-lo[4]. Essa relação é apresentada na Equação (2).

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2)$$

B. Sinais Ultrassônicos

Os sinais ultrassônicos são ondas de som em alta frequência, caracterizados por serem acima da frequência audível por um ser humano, que por sua vez podem sofrer influência ambiente, como da temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e o movimento do ar, mudando a velocidade de propagação do sinal. Porém, são insensíveis a poluição como também independem da superfície dos materiais, cor, intensidade da luz e contrastes ópticos[1].

C. Transdutores Ultrassônicos

Os transdutores realizam a conversão de um sinal, de uma forma física para outra distinta. O transdutor ultrassônico é baseado no princípio físico piezoelétrico, que consiste na polarização elétrica de um material, quando submetido a uma tensão mecânica. Pela ação da força F , cria-se proporcionalmente uma carga Q , em sua superfície[1], como mostra a Equação (3).

$$Q = F.S_{xtal} \quad (3)$$

Onde S_{xtal} refere-se a sensibilidade do cristal, que compõe o transdutor.

D. Filtro Ativo Passa-Faixa

Filtros ativos são constituídos por componentes ativos, ou seja, necessitam de uma alimentação externa, como amplificadores operacionais[1]. O filtro passa-faixa, permite somente a passagem do sinal que possuir a frequência igual a frequência de passagem do filtro, ao contrário o sinal é atenuado. Foi utilizado no projeto, filtros passa-faixa na faixa frequência bem próxima a $4,8(MHz)$ para reduzir a taxa de ruído no sistema, a fim de facilitar a obtenção e utilização do sinal.

E. Conversão A/D

O conversor analógico-digital é um dispositivo eletrônico que realiza a conversão de um sinal analógico para um sinal digital equivalente.

Atribuindo valores fixos e definidos para sinais com amplitudes variando entre infinitos valores e definindo intervalos entre os períodos desse sinal, faz-se um conversor analógico-digital com o final propósito de transformar um sinal que é ilegível por um de fácil leitura para um sistema que possui uma quantidade de processamento limitada[10].

F. Correlação Cruzada

A correlação cruzada, é um método matemático, desenvolvido para que se possa verificar o grau de similaridade entre dois sinais, sendo f , o sinal transmitido e g , o sinal recebido. Quando se aplica a correlação cruzada, os dois sinais são multiplicados e somados ponto a ponto, permitindo a obtenção do atraso entre os mesmos [4]. A correlação cruzada para sinais discretos, é representada pela Equação (4), onde m e n são momentos do sinal:

$$(f \star g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f^*[m]g[n+m] \quad (4)$$

III. METODOLOGIA

Inicialmente, baseado em pesquisas e publicações já realizadas, foi feito um estudo sobre a tecnologia e seu princípio de funcionamento. Após isso, foi realizado o modelamento matemático para simulações e comprovação da possibilidade de aplicar a técnica da correlação cruzada para a medição da vazão.

O modelamento matemático foi feito pelo Octave, a fim de obter-se resultados teóricos que deem segurança a experimentação prática.

Foi então feito o estudo sobre a possibilidade de prototipação para validação prática através de testes.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

Essa seção descreve o estudo realizado para uma futura implementação dos componentes no protótipo.

A. Raspberry Pi 3

O protótipo baseia-se no microcontrolador Raspberry Pi 3 modelo B, apresentado na Figura 1, 2. O microcontrolador tem a finalidade de transmitir o sinal, e realizar o processamento do sinal recebido.

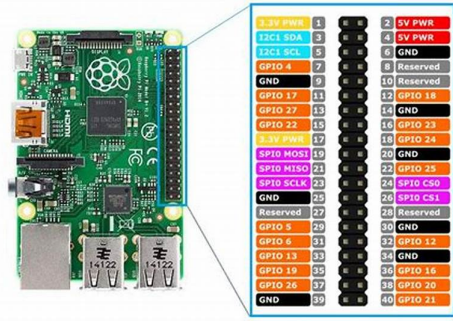


Fig. 1. Raspberry Pi 3 modelo B [6]

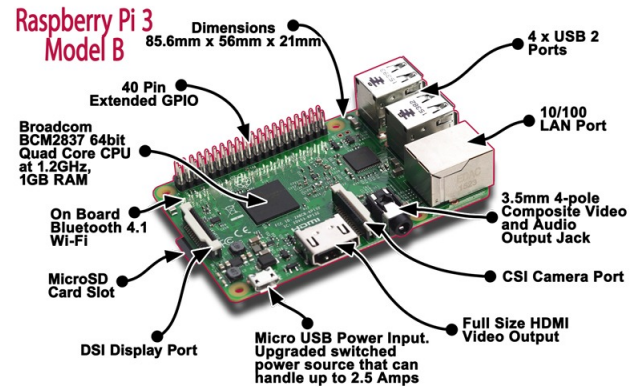


Fig. 2. Raspberry Pi 3 modelo B [6]

B. Transdutor

O transdutor ultrassônico utilizado, ilustrado na Figura 3, trabalha em contato com o líquido, como também suporta uma pressão $16(bar)$ e uma temperatura de $120^{\circ}C$.



Fig. 3. Sensor ultrassônico [7]

C. Conversor A/D

A leitura dos dados no transdutor de recepção, é convertida para um sinal digital, pelo conversor A/D DAC7822, ilustrado

na Figura 4, que possui resolução de 12 bits e opera numa faixa de 2,5 a 5,0(V), com uma banda de passagem de 10(MHz).

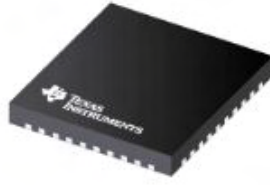


Fig. 4. Conversor A/D [7]

D. Filtro Ativo Passa-Faixa

O filtro ativo passa-faixa da Figura 5 é constituído a partir da junção do filtro passa-baixa, Figura 6, com o passa-alta, Figura 7.

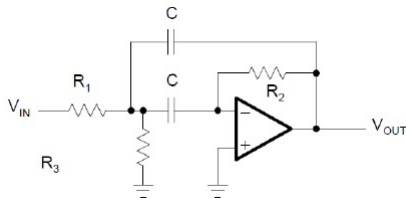


Fig. 5. Filtro ativo Passa-Faixa [1]

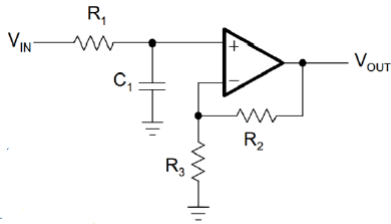


Fig. 6. Filtro ativo Passa-Baixa [1]

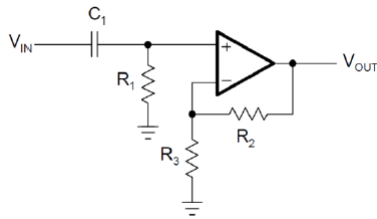


Fig. 7. Filtro ativo Passa-Alta [1]

V. ESTUDO PROPOSTO

O protótipo foi baseado no princípio da correlação cruzada, utilizando-se dois pares de transdutores ultrassônicos (um par para transmissão e outro par para recepção), a fim de se obter o tempo de atraso, entre os sinais [2]. Os pares dos transdutores ultrassônicos se encontram fixados em linha reta, no interior da tubulação conforme apresentado na Figura 8.

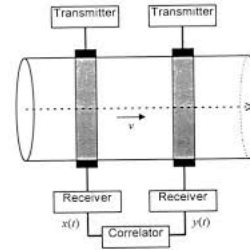


Fig. 8. Representação da Correlação Cruzada[2]

Os transdutores utilizados para transmissão são excitados por sinal de onda quadrada, com uma frequência de 4,8(MHz), *duty-cycle* de 50%, apresentando uma tensão máxima de pico a pico igual 3,3(V). Este sinal é gerado pelo raspberry Pi 3, o mesmo tem a função de receber o sinal através de um conversor digital, sendo que pelo teorema de "Nyquist", Equação (5), deve ter uma frequência de amostragem f_s , pelo menos duas vezes maior que o sinal amostrado f_o , a fim de se conseguir recuperar o sinal original [5].

$$f_s \geq 2f_o \quad (5)$$

Após a recepção do sinal pelo segundo par de transdutores, ele é convertido de um sinal discreto pulsante para um sinal contínuo no tempo, passando por um filtro ativo passa-faixa de segunda ordem, a fim de pegar uma faixa específica do sinal[7].

Sendo que o filtro passa-faixa é composto pela junção dos filtro passa-baixa e passa-alta, tendo a largura de faixa (BW) definida pela frequência de corte do filtro passa-baixa equação (6) e a frequência de corte do filtro passa-alta equação (7), conforme ilustrado na Figura 9 e Equação (8).

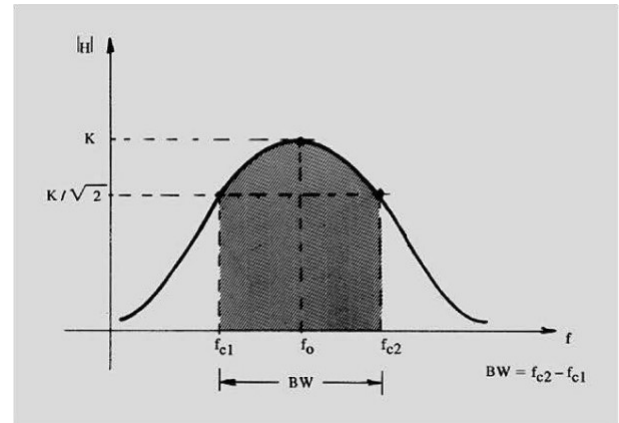


Fig. 9. Filtro ativo Passa Faixa

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1} \quad (6)$$

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2} \quad (7)$$

$$BW = f_{c2} - f_{c1} \quad (8)$$

A frequência de corte do filtro passa-faixa, f_o , pode ser determinada a partir da Equação (9).

$$f_o = \sqrt{f_{c1} \cdot f_{c2}} \quad (9)$$

Ao final desse processo, os tempos de trânsito percebidos por cada um dos receptores produzirá uma sequência numérica proporcional ao perfil da vazão. Por exemplo, turbulências e contaminantes influenciarão o tempo de trânsito da mesma forma nos dois receptores em tempos diferentes. Ao comparar as informações obtidas pelos dois receptores, pode aplicar a correção cruzada para identificar qual o tempo para a mesma ocorrência acontecer nos dois pontos. Desta forma será possível descobrir a velocidade de escoamento do fluido e, conhecendo-se a secção da tubulação, chegar ao valor da vazão.

VI. TESTES E RESULTADOS

Testes realizados são fundamentados em simulações feitas com a utilização dos programas de simulações Multisim e Octave. Onde os filtros e formação do sinal foram amplamente testados para a utilização no sistema.

No Multisim realizamos os testes referente a montagem dos filtros. Por ser um software é possível escolhermos componentes ideais, que não apresentam tolerância, perdas ou necessitam de alimentação, como no caso do nosso AMP-OP.

O circuito montado no software é apresentado na Figura 10, sendo um filtro passa-faixa ativo, não inversor de segunda ordem e apresenta um ganho de 11x, equação (10).

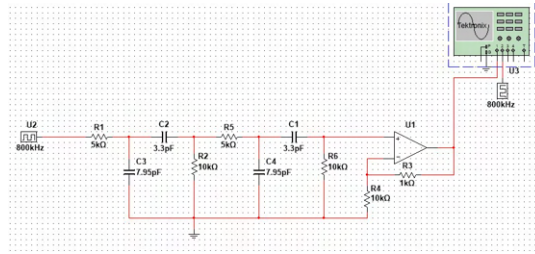


Fig. 10. Filtro Passa-Faixa

$$G = 1 + \frac{R_3}{R_4} \quad (10)$$

Na montagem do filtro foi-se definido uma frequência de corte para o passa-baixa de 4(MHz) e passa-alta de 4,8(MHz), também definimos os valores dos resistores assim nos possibilitando calcular o valor dos capacitores. Após se realizar algumas simulações para diferentes frequências obtivemos os seguintes resultados.

Para uma frequência de 4,4(MHz) Figura 11, é possível notarmos um pequena distorção no sinal filtrado (em amarelo) em relação ao gerado (em azul), porém temos a maior parte da informação sendo passada pelo filtro.

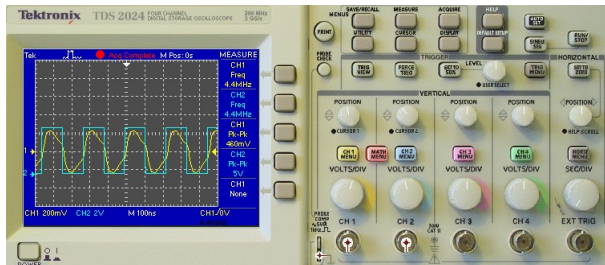


Fig. 11. Resposta do Filtro para 4,4(MHz)

Para uma frequência de 12(MHz) Figura 12, é possível notarmos maior atenuação do sinal filtrado em relação ao

gerado e uma significativa queda de tensão, porém uma boa parte do sinal passa pelo filtro ainda.

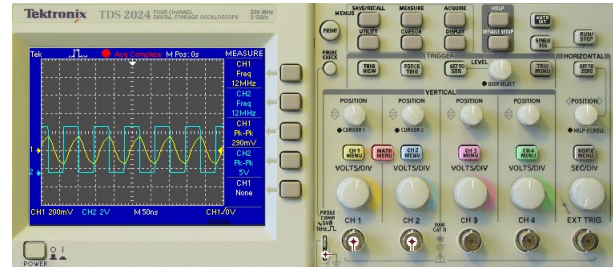


Fig. 12. Resposta do Filtro para 12(MHz)

Para uma frequência de 800(KHz) Figura 13, é possível notarmos maior atenuação do sinal filtrado em relação ao gerado e uma significativa queda de tensão e uma melhor resposta para frequências mais baixas.

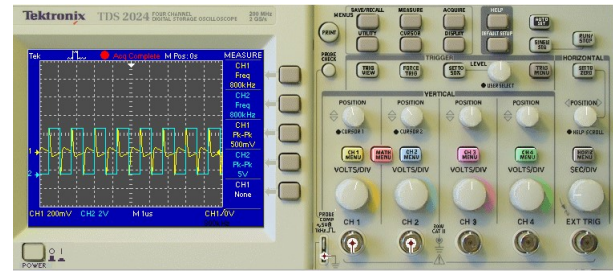


Fig. 13. Resposta do Filtro para 800(KHz)

No Octave realizou-se a simulação dos sinais que seriam recebidos pelos sensores ultrassônicos na prática. Por ser um software matemático, os sinais gerados para os testes não apresentam interferências, que seriam notadas no processo de transmissão e recepção deles mesmos.

Para se realizar a simulação foi gerado dois sinais de onda quadrada com mil amostras, com tempo de amostragem de 1(s) e frequência de 4(Hz). Esses parâmetros foram adotados por limitações do software.

Na figura 14 é apresentado o sinal que seria recebido pelo primeiro par de sensores.

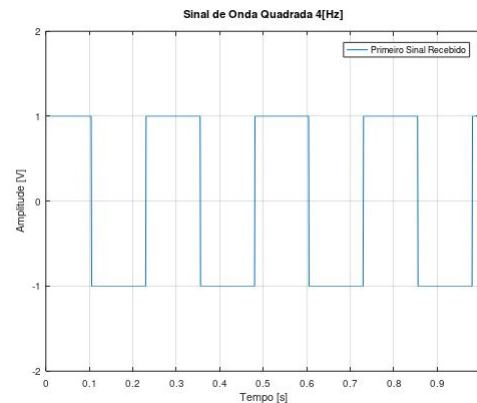


Fig. 14. Sinal Recebido

Na figura 15 é apresentado o sinal que seria recebido pelo segundo par de sensores.

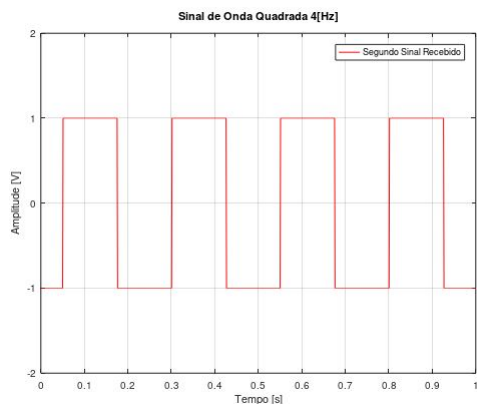


Fig. 15. Sinal Recebido

Quando plotamos os dois sinais na mesma janela gráfica é possível ver que os mesmos apresentam mesma amplitude e frequência, porém estão deslocados no tempo, como ocorreria na prática Figura 16.

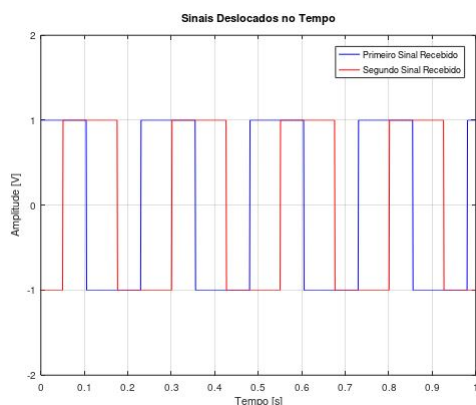


Fig. 16. Sinais Recebidos

Deste modo é possível se utilizar o Octave para calcular a correlação cruzada dos sinais. O gráfico gerado pela correlação cruzada é apresentado na Figura 17.

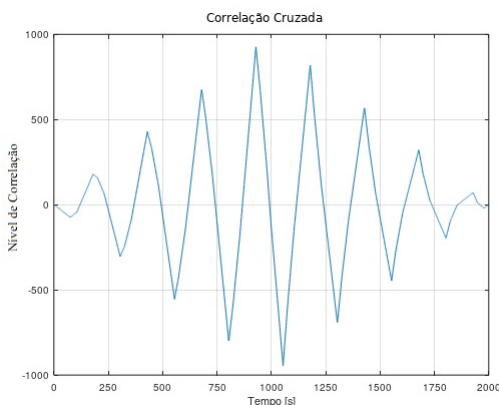


Fig. 17. Correlação Cruzada

A partir da Figura 17 é possível se notar que foi gerada uma janela gráfica que contempla todas as amostras dos dois sinais utilizados para simulação.

No ponto onde se tem a maior amplitude (eixo Y = 926 e eixo X = 929), seria o ponto que nossos gráficos estariam sobre postos. Assim nos possibilitando determinar o tempo que levou para o segundo par de sensores medir o mesmo fluxo de água que passou pelo primeiro par de sensores.

A causa da descontinuação das reuniões foi a medida de proteção descrita pelo Ministério de saúde adotada pela sociedade para o enfrentamento da pandemia do CoViD-19, por esta causa também não se faz possível a utilização dos laboratórios da instituição.

VII. CONCLUSÃO

Com base nas pesquisas conclui-se, que o método matemático da correlação cruzada para medição de vazão de líquidos pode trazer algumas vantagens, como baixa complexidade para realização de cálculos, medições mais rápidas e precisas, uma vez que os sensores ultrassônicos se encontram alinhados e a medição é realizada por um conjunto de sensores como também apresenta maior precisão para líquidos turvos, com resíduos e turbulentos.

Com as simulações realizadas no Multisim, para o testes com filtro passa-faixa não obtivemos um bom resultado, uma vez que é esperado que quando tenhamos uma frequência acima ou abaixo da frequência de corte, o sinal deve ser totalmente atenuado. Uma solução para uma melhor resposta seria aumentar a ordem do filtro ou implementar outros modelos mais eficazes.

As simulações realizadas com o Octave obtivemos os resultados esperados uma vez que o software só precisa fazer o tratamento das informações que são repassadas a ele.

REFERÊNCIAS

- [1] Saldanha, Wanderson, Notas de aula EA 205 - Instrumentação Industrial.
- [2] Arantes, Wallace, Dissertação de Mestrado - Avaliação metrológica da comparação interlaboratorial da calibração de medidores ultra-sônicos.
- [3] D. Savione, F. Kaderli, T. Rathke, TCC - CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE UM MEDIDOR DE VAZÃO VOLUMÉTRICA TIPO VENTURI.
- [4] Sears e Zemansky, Física: Mecânica, Volume 1, 2016, 14e, Person
- [5] Brito, José Marcos, Notas de aula NP 005 - Introdução às Telecomunicações.
- [6] Raspberry Pi Foundation, DataSheet, https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/datasheets/rpi_DATACM3plus1p0.pdf, 2019-28-01.
- [7] D-Flow, DataSheet, Ultrasonic Transducers Data Sheet, 2016-23-1.
- [7] Texas Instruments, DataSheet,
- [10] Luis Brandão Gomes, Evandro, Notas de aula EA 203-Eletrônica Digital II.

Sincronismo de Motores de Passo Utilizando PLC-Open

Gabriel Luiz Bruno Neto & João Paulo Carvalho Henriques

Abstract— This article presents the development of an application in order to act in industrial processes. The integration of PLCOpen state machine allows the users to perform the movement control of a rotating machine in a simple way or with multiple axes in a synchronized way in the application, which can be controlled by position, speed, angle or axis synchronism with relation between master motor and slave motor. In order to facilitate the user's application, using Motion Control (one of the PLCOpen configurations). This adjustment makes the acceleration, deceleration, speed and position controlled according to the operator's interest.

Index Terms— Motion Control, PLCOpen, Stepper Motor, Synchronism.

Resumo— Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma aplicação com intuito de atuar em processos industriais. A integração da máquina de estados do *PLCOpen* permite ao usuário realizar o controle de movimento de uma máquina rotativa de maneira simples ou com múltiplos eixos de forma sincronizada na aplicação, podendo esta ser controlada por posição, velocidade, ângulo ou sincronismo de eixos com relação entre motor mestre e motor escravo. Com a finalidade de facilitar a aplicação do usuário, utilizando do *Motion Control* (umas das configurações do *PLCOpen*). Essa adequação faz com que a aceleração, desaceleração, velocidade e posição sejam controladas conforme o interesse do operador.

Palavras Chave— *Motion Control*, Motor de Passo, *PLCOpen* Sincronismo.

I. INTRODUÇÃO

A automação industrial é um assunto cada vez mais importante em negócios do mundo e do Brasil. Tecnologias que pareciam distantes, como o MC (*Motion Control*), agora já estão bem próximas dos processos produtivos em diversos ramos. Mesmo com essa aproximação, muitos empreendedores, diretores e gestores ainda têm dúvidas sobre as aplicações e as vantagens de adotar esse tipo de automação em suas fábricas. Muitos ainda têm a ideia equivocada de que automatizar é custoso ou complexo [1].

A grande vantagem do sistema de MC é substituir os controles mecânicos por controles eletrônicos automatizados. Com isso, necessitam-se menos componentes e o sistema pode ser configurado conforme a necessidade de cada processo. Suponha que uma fábrica precise embalar produtos em embalagens de dois diferentes tamanhos. Ao tentar fazer isso mecanicamente, suas máquinas seriam caras e complexas. O uso do MC garante a versatilidade das suas máquinas e

equipamentos. Além disso, é possível configurar *Softwares* específicos para a necessidade de cada fábrica ou linha de produção, garantindo também a flexibilidade da solução [1].

Portanto, adaptações que antes seriam trabalhosas e demandariam muito tempo e recursos financeiros, podem ser feitas rapidamente com o sistema de controle de movimento [1].

Motores de passo são sistemas eletromecânicos, formados por uma placa de comando e um motor. São muito fáceis de serem aplicados na indústria, já que permitem trabalhar com sinais digitais, o que ajuda no dia a dia do programador ou projetista. Comercialmente, os motores de passo são mais acessíveis que os servos motores, por terem menos componentes. Eles trabalham com malha aberta, isto é, não têm dispositivos paralelos destinados ao seu monitoramento instantâneo de posição e, conseqüentemente, a sua constante correção de posição ou podem ser acoplados a *encoders* fechando sua malha como, por exemplo, utilizando uma biblioteca como a ACP10SDC. [2].

Este trabalho tem como objetivo apresentar o *MC*, uma tecnologia para controle de movimento. Combinação de softwares e hardwares que resulta em um sistema em que máquinas e motores industriais têm seus movimentos programados e controlados eletronicamente. O trabalho foi dividido em seis capítulos, sendo eles: introdução (Capítulo I), fundamentos teóricos (Capítulo II), materiais e métodos (Capítulo III), aplicação proposta (Capítulo IV),

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para o entendimento da aplicação proposta, faz-se necessário a conceituação e o estudo teórico do Controlador Lógico Programável, Motores de Passo e principalmente do *PLCOpen* e *MC*.

A. CLP

O CLP (Controlador Lógico Programável) ou do inglês PLC (*Programmable Logic Control*) trata-se de um sistema computacional projetado para trabalhar em ambientes industriais. O CLP desempenha funções de controle de diversos tipos de grandezas digitais ou analógicas [3].

A Figura 1 ilustra um exemplo de CLP.



Figura 1. Controlador Lógico Programável[3].

Segundo a NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) o Controlador Lógico Programável é um equipamento eletrônico digital com *hardware* e *software* com aplicações industriais que executa funções específicas usando uma memória programável para armazenar instruções como, por exemplo, lógica, sequenciamento, temporização, contagem e operações matemáticas, para controlar através de entradas e saídas analógicas ou digitais, vários tipos de máquinas ou processos industriais [3].

B. Motor de Passo

O motor de passo é um tipo de motor controlado eletricamente com a finalidade de posicionar algo de forma precisa ou quando é requerido um ângulo exato de movimentação [4].

A Figura 2 apresenta um exemplo desse tipo de motor.

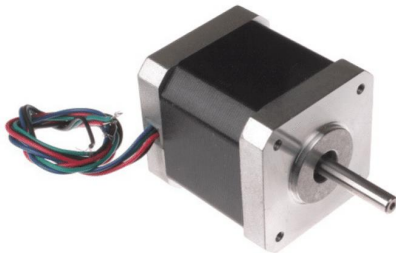


Figura 2. Motor de Passo[4].

De acordo com ATHANI [4], os motores de passo são essenciais em sistemas que é necessário a execução de um movimento de rotação muito preciso, uma vez que eles permitem esse tipo de controle. Além disso, permitem posicionar o seu eixo muito precisamente em qualquer posição, já que a sua rotação é dividida em vários passos, ou ângulos.

Esse dispositivo é capaz de converter um sinal digital em rotação. O motor possui um número fixo de polos magnéticos que determinam os seus passos, sem necessitar de escovas. Os números de passos determinam a precisão de ângulo de rotação do motor de passo [4].

C. PLCOpen

PLCOpen é uma organização independente que oferece eficiência em automação industrial com base nas necessidades dos usuários. Os membros da *PLCOpen* se concentraram nas especificações técnicas em torno da IEC 61131-3, que é uma padronização das linguagens de programação para a automação industrial, criando especificações e implementações a fim de reduzir custos em engenharia industrial.

O resultado, por exemplo, são bibliotecas padronizadas para diferentes campos de aplicação, linguagens de programação e interfaces de engenharia. Os membros especialistas da *PLCOpen* são organizados em comitês técnicos e, em conjunto com os usuários finais, definem esses padrões abertos para atender certas necessidades [5].

Essas necessidades envolvem:

- Controle de movimento (do *MC*).
- Funcionalidade de segurança (*Safety functionality*)
- Formato de troca de dados XML padronizando os dados de base de projetos IEC em sistemas de *software*, como usado, por exemplo, por *AutomationML*
- Projetos de *benchmarking* para ter um bom padrão de *benchmark* sofisticado.

No campo da comunicação a *PLCOpen* desenvolveu em conjunto com a *OPC Foundation* o mapeamento do modelo de *Software* IEC 61131-3 para o modelo de informação da *OPC UA (Unified Architecture)* [6].

D. Motion Control

O *MC* é uma ferramenta do *PLCOpen* com tecnologia para controle de movimento. Uma combinação de *softwares* e *hardwares* que resulta em um sistema em que máquinas e motores industriais têm seus movimentos programados e controlados eletronicamente. O *MC* serve para controlar um ponto específico a ser movimentado na aplicação, podendo este ponto ser controlado por posição, velocidade, torque ou sincronismo de eixos [7].

Para o sincronismo de motores, o *FB (function block)* do *MC* conhecido como *GEAR*, entre outros, é utilizado para o acoplamento entre motor mestre e motores escravos. O *MC_GearIn* pode ser usado para eixos escravos lineares e rotativos. O bloco comanda o movimento do eixo do escravo de forma que uma relação predefinida entre as velocidades mestre e escravo seja mantida. A posição e a aceleração são comandadas para serem consistentes com a velocidade. Este modo de movimento sincronizado é chamado de engrenagem eletrônica. [7].

A Figura 3 representa a máquina de estados do *MC* onde cada estado representa um conjunto de *FBs*.

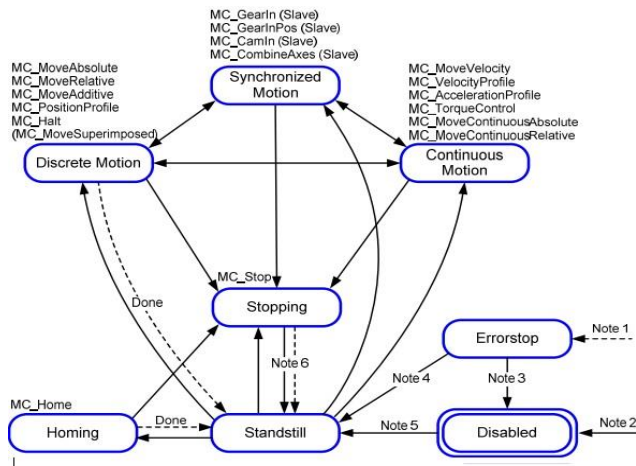


Figura 3. Máquina de Estados do MC. [8]

O estado *Disabled* descreve o estado inicial do eixo. Nesse estado, o movimento do eixo não é influenciado pelos FBs. A energia está desligada e não há erro no eixo. Para que o estado mude, é necessário chamar um comando de *MC_Power* com *Enable = TRUE* para habilitar o *driver* e energizar o motor, alterando o estado do eixo para *Standstill*, caso não haja nenhum erro [8].

O *Errorstop* é válido como prioridade mais alta e aplicável em caso de erro. O eixo pode ter qualquer energia habilitada ou desabilitada e pode ser alterada via *MC_Power*. No entanto, enquanto o erro estiver pendente, o estado permanecerá *Errorstop*. A função desse estado é fazer o eixo parar completamente. Não há mais comando de movimento até que ocorra um *reset* [8].

Quando a energia está ligada, não há erro no eixo e não há comandos de movimento ativos no eixo, significa que o motor está pronto para receber comandos de eixo (comandos referentes ao movimento realizado), portanto ocorre a transição para o estado conhecido como *Standstill* [8].

A partir do estado *Standstill = TRUE* a máquina fica habilitada para entrar em qualquer outro estado de movimento (*Discrete Motion*, *Synchronized Motion* e *Continuous Motion*) de acordo com a aplicação do usuário [8].

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A. CLP

O CLP utilizado neste trabalho é o CLP 4PP481.1043-B5 da B&R (Figura 4). É um *Power Panel* com *display* VGA colorido de 10,4 polegadas sensível ao toque (resistivo), possui 10 teclas programáveis 28 teclas de função e 20 teclas de sistema, 2 slots aPCI, 1 slot *CompactFlash* (tipo I). Possui memórias de 128MB SDRAM, 512KB SRAM. A comunicação com o *software* de programação é ETH 10/100, RS232 e possui 2 USB. O tipo de proteção é IP 65 [9].

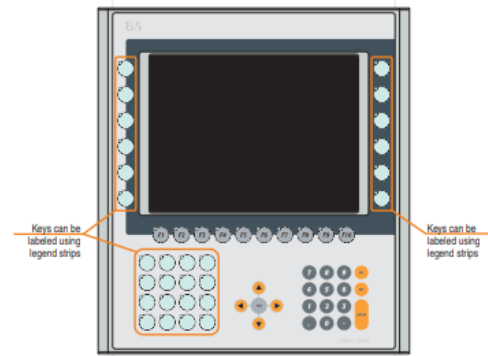


Figura 4. Frente do CLP 4PP481.1043-B5.[9]

Em conjunto com o CLP adicionamos um módulo de comunicação 3IF791.9 (Figura 5), três módulos de *Stepper motor* X67M2436 (Figura 6) e seis motores de passo.

B. Módulo 3IF791.9

É um módulo de interface aPCI com uma interface de Link mestre X2X, isolado eletricamente e um terminal TB704 [10].



Figura 5. Módulo 3IF791.9. [10]

C. Módulo X67SM2436

O módulo de motor de passo é usado para controlar até dois motores com uma tensão nominal de 24 a 38,5 VDC com uma corrente de até 3A (5 de Pico). Esse módulo apresenta seis entradas digitais que podem ser usadas como interruptores ou entradas de *encoders* [11].



Figura 6. Módulo X67SM2436.[11]

D. Motor de Passo

O motor de passo utilizado é um motor de 4,8kgf.cm / 1,0A. Ele é muito robusto e potente, consegue reter uma carga de até 4,8Kg em uma alavanca de 1 cm presa em seu eixo. Além disso, esse motor tem uma movimentação angular de 5,625°, ou seja, a cada pulso elétrico é gerado um movimento de 5,625° em seu

eixo sendo necessários 64 pulsos para que o motor complete uma volta inteira. A Figura 7 representa o motor de passo.



Figura 7. Motor de Passo.

E. Encoder

Os *encoders* utilizados são do tipo incrementais rotativos de até 600 pulsos NPN, eixo de 6mm e 5-24V. A saída de um *encoder* incremental é usada para controlar a velocidade de um eixo do motor. A Figura 8 representa o *encoder*.



Figura 8. Encoder.

IV. APLICAÇÃO PROPOSTA

A Figura 9 representa o diagrama do projeto.

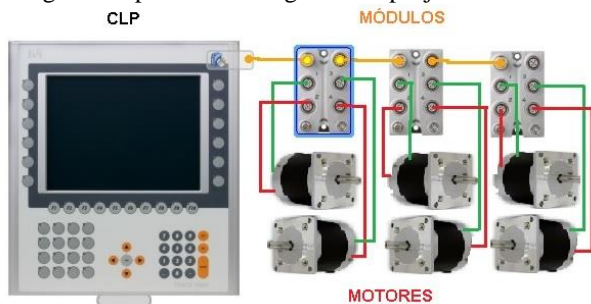


Figura 9. Diagrama do projeto

A Figura 10 mostra todas as partes físicas da aplicação propostas no projeto.

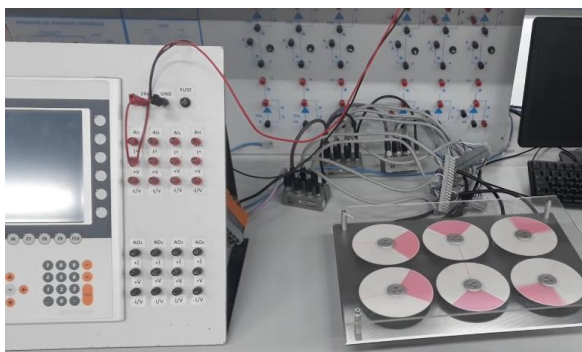


Figura 10. Estrutura do projeto.

A estrutura é dividida em basicamente três etapas, comandos, controle (Supervisório e CLP) e os motores de passo, que representam os atuadores. Cada etapa é melhor descrita a seguir.

A. Supervisório

O supervisório apresenta uma interface amigável e simples, como apresentado na Figura 11, para que o usuário possa fazer as configurações de movimento do motor mestre (Velocidade, Número de Voltas, Aceleração, Desaceleração) e a relação de sincronismo dos motores escravos (Proporção de Giro). Além de três configurações pré-definidas para realização de testes.

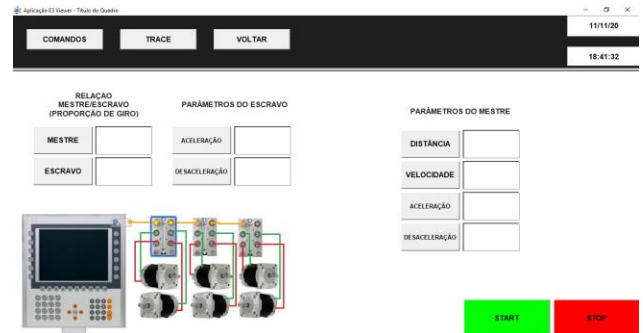


Figura 11. Tela sinótica do supervisório.

B. Programa (Automation Studio)

O programa desenvolvido usou como base dois códigos *Samples* da própria biblioteca do *PLCOpen* para realizar as funções de movimentar o motor mestre e sincronizar os escravos. Esses *Samples* foram, *LibACP10MC_SingleAx_ST* e *LibACP10MC_Gear_ST*, como ilustra a Figura 12.

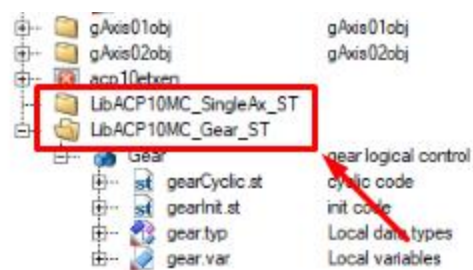


Figura 12. *Samples* base.

No código obtido pelo *Sample* foram realizadas algumas alterações para otimizá-lo, descartando o que não era de interesse para a aplicação. Essas alterações incluem a adição de algumas lógicas de tal forma que a biblioteca “*Gear*” fosse responsável por associar o escravo ao mestre e a biblioteca “*SingleAx*” fosse responsável por realizar o comando de movimento do mestre, e também para pré-definir algumas configurações de testes.

V. TESTES E RESULTADOS

Com o intuito de validar o funcionamento da aplicação proposta, foram realizadas os seguintes testes:

- Mudanças nos valores do *FB_GearIn* e *FB_MoveAdditive* da biblioteca *MC*.
- Execução dos *FBs* com os novos valores
- Comparação entre os diferentes tipos de testes.

Foi utilizada uma configuração dos parâmetros de movimento de acordo com a Figura 13.

Name	Value
ACELERACAO	5000.0
DESACELERACAO	5000.0
MASTER	1
SLAVE	2
VOLTAS	4.0
STOP	FALSE
START	FALSE
VELOCIDADE	1000.0
CONFIG1	TRUE
CONFIG2	FALSE
CONFIG3	FALSE

Figura 13. Parâmetros do bloco *GearIn* e *MoveAdditive*.

Após alguns testes verificou-se que o programa desenvolvido funcionou corretamente, os eixos dos motores fizeram o movimento da forma esperada e de acordo com os parâmetros configurados.

Para validar os dados obtidos, com exatidão, foi utilizado a ferramenta *Trace* do *Automation Studio* [12]. Como essa ferramenta monitora as variáveis especificadas apresentando um gráfico em valor/tempo, é fácil analisar se a velocidade, aceleração, desaceleração e número de voltas estavam de acordo com os valores especificados.

Na Figura 14, foi identificado que a velocidade (mm/s), aceleração (mm/s²) e desaceleração (mm/s²) do mestre e escravo estavam iguais, devido à relação de engrenagem um para um (mestre e escravo fazem o mesmo número de voltas ao mesmo tempo).

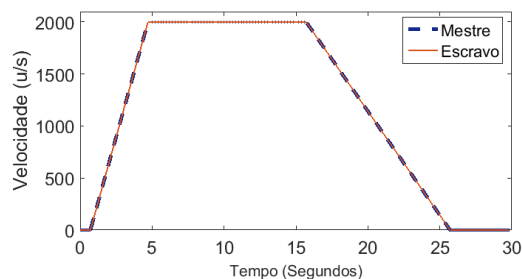


Figura 14. Gráfico Velocidade/Tempo Configuração 1.

Na Figura 15, observou-se que o contador de passos interno do CLP apresenta um pequeno erro (desconsiderável) em sua posição (3600 no eixo Y da Figura 20 equivale a um giro completo do motor) ao ser lido pelo *Trace*, já que fisicamente os dois motores de passo estavam realizando o mesmo movimento e de forma sincronizada [13].

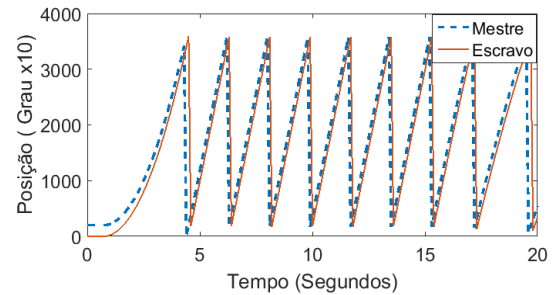


Figura 15. Gráfico Posição/Tempo configuração 1.

Para fazer um estudo mais amplo, foi utilizada uma segunda configuração com parâmetros diferentes, agora com o escravo realizando duas voltas enquanto o mestre completa apenas uma.

Observando a Figura 16, devido à nova relação de engrenagem (dois para um), o escravo precisou compensar com uma velocidade maior que a velocidade do mestre para realizar o movimento síncrono.

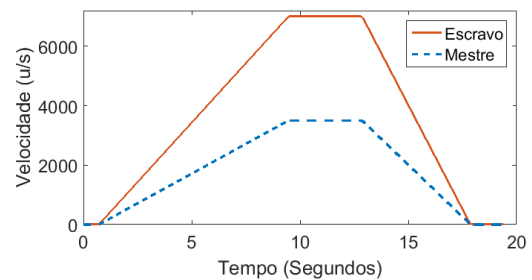


Figura 16. Gráfico Velocidade/Tempo Configuração 2

Pela Figura 17, pode-se concluir que a validação do trabalho foi um sucesso, porém com alguns pequenos erros devido à imprecisão do contador de passos utilizado, em relação ao valor da posição.

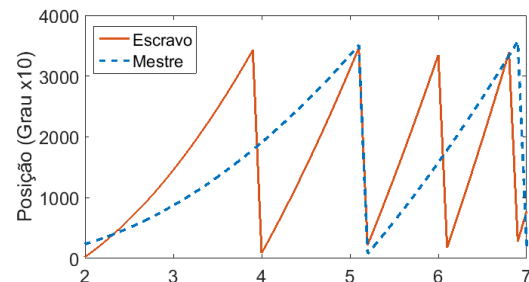


Figura 17. Gráfico Posição/Tempo configuração 2.

VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentado a integração entre os *FBs* do *PLCOpen* através do *MC*, juntamente com o *CLP*, motores de passo e supervisor. A fim de mostrar o desempenho e a facilidade de configuração. A ideia inicial desse trabalho era confirmar a eficácia desse tipo de controle em processos industriais, utilizando várias funções (limitadas ao *MC*) para mover os motores de forma sincronizada (escravos seguindo os “passos” do mestre).

Para validar a ideia, foram utilizados vários motores de passo como atuadores e foi necessária a verificação através do monitoramento das variáveis no programa desenvolvido. Conclui-se que os resultados obtidos foram de acordo com o esperado e nota-se uma grande exatidão do posicionamento dos escravos em relação ao mestre.

As exigências da indústria 4.0, que necessitam de soluções inteligentes, com maior flexibilidade e custo reduzido, faz com que o uso desse tipo de tecnologia tenha um grande espaço para atuação. Como a ferramenta *MC* oferece muitos recursos e funções para diversas aplicações, não se pode afirmar que a solução utilizada foi a melhor, porém os resultados foram excelentes e suficientes para a validação.

REFERÊNCIAS

- [1] Group Promotion. - MOTION CONTROL: O QUE É E POR QUE INVESTIR. Abr. de 2017. URL: <http://www.group-promotion.com/motion-control-o-que-e-e-por-que-investir>.
- [2] Felipe Gonçalves BRITES e Vinicius Puga de Almeida SANTOS. “MOTOR DE PASSO – VANTAGENS E FUNCIONALIDADES”. Universidade Federal Fluminense, Julho de 2008.
- [3] Marilourdes da Silva MELLO. “CLP- CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL”. Em Faculdade Invest de Ciências e Tecnologia (2014). URL: <https://pt.scribd.com/document/216210357/Aluno-Marilourdes-Silva-Clp>
- [4] V. V. ATHANI. STEPPER MOTORS: Fundamentals, Applications and Design. 1 ed. Índia: Editora NEW AGE INTERNATIONAL, 1997.
- [5] ISI-TICS – OPENCLP: O PRIMEIRO CLP DE CÓDIGO ABERTO PADRONIZADO. Fev. de 2018. URL: <https://isitics.com/2018/02/07/openclp-o-primeiro-clp-de-codigo-aberto-padronizado/>.
- [6] Logique – INTELIGÊNCIA EM SISTEMAS. GUIA DEFINITIVO: ENTENDA TUDO SOBRE O QUE É OPC UA E COMO ISSO PODE IMPACTAR A SUA INDÚSTRIA. Abr. de 2017. URL: <https://www.logiquesistemas.com.br/blog/opc-ua/>.
- [7] BECKHOFF. MC_GearIn. 2020. URL: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tccnmcplatform_fb/html/mcgearin.htm&id=
- [8] PLCopen. PLCOPEN MOTION CONTROL PART 1. Committee 2- Task Force. 2009/2011 URL: https://plcopen.org/system/downloads/plcopen_motion_control_part_1_version_2.0.pdf.
- [9] B&R. 4PP481.1043-B5. 2016. URL: <https://www.brautomation.com/en/products/plcsystems/power-panel/power-panel-400-embedded/4pp4811043-b5/>.
- [10] B&R. X67SM2436. 2019 URL: <https://www.br-automation.com/en/products/io-systems/x67-system/motor-modules/x67sm2436/>.
- [11] B&R. 3IF791.9. 2019 URL: <https://www.brautomation.com/en/products/networks-andfieldbus-modules/x2x-link/3if7919/>.
- [12] B&R. AUTOMATION STUDIO. 2020. URL: <https://www.br-automation.com/pt-br/produtos/software/automation-studio/>.
- [13] HARALD, Kleines. “SYNCHRONOUS MOTION WITH S7-1500 PLCs IN NEUTRON INSTRUMENTS”. Em: International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems (16th) (out. de 2017). DOI: 10.18429/JACoW-ICALEPCS2017-THPHA143.

Comparação de Modelos de Previsão de Séries Temporais aplicados à Economia Virtual de um MMORPG

Rubens Cividati

Instituto Nacional de Telecomunicações
rubenscividati@gec.inatel.br

Marcelo V. C. Aragão

Instituto Nacional de Telecomunicações
marcelovca90@inatel.br

Abstract—This research has as initial objective to relate the variation of the MMORPG World of Warcraft virtual currency price with fluctuations of the Brazilian currency and then, to apply time series forecasting models aiming to identify the best performance(s) in short, medium, and long term scenarios. The models are detailed, and their experimental results are presented and compared in the light of metrics well disseminated in the literature. At the end of the work, the best models for predicting the prices of the virtual economy are pointed out, which can be used in applications that indicate opportunities to buy and sell items in-game.

Index Terms—Correlation analysis, foreign exchange, MMORPG, time series forecasting, virtual economy, World of Warcraft.

Resumo—Esta pesquisa tem como objetivo inicial relacionar a variação do preço da moeda virtual do MMORPG World of Warcraft com flutuações da moeda brasileira e, em seguida, aplicar modelos de previsão de séries temporais visando identificar o(s) de melhor desempenho em cenários de curto, médio e longo prazo. Os modelos são detalhados, e seus resultados experimentais são apresentados e comparados sob a luz de métricas bem disseminadas na literatura. Ao final do trabalho, são apontados os melhores modelos para prever os preços da economia virtual, podendo ser utilizados em aplicações que indiquem oportunidades de compra e venda de artigos deste jogo.

Palavras chave—Análise de correlação, câmbio estrangeiro, economia virtual, MMORPG, previsão de série temporal, World of Warcraft.

I. INTRODUÇÃO

World of Warcraft é um jogo *on-line* do gênero MMORPG (do inglês, *Massively Multiplayer Online Role-Playing Game*), desenvolvido e distribuído pela produtora Blizzard Entertainment e lançado em 2004. Em 2013 foi o MMORPG mais jogado do mundo, tendo mais de 100 milhões de contas em sua base de dados [1].

O jogo conta com um ambiente de interações entre jogadores semelhante a uma sociedade real, permitindo a realização de estudos sobre o comportamento humano, tal como o trabalho realizado por Oultram durante o “*Corrupted Blood Incident*”, primeira pandemia dentro de uma sociedade virtual [2].

Um dos elementos presentes no jogo é a casa de leilões, na qual jogadores compram e vendem equipamentos e/ou recursos do próprio jogo. Nela foram contabilizadas 2,8 milhões de trocas diárias em 2013, o que remete a duas vezes a quantidade de transações no eBay na *Cyber Monday* em 2009 [3].

Dentre a diversidade de itens presentes na casa de leilões, um se destaca por ser o único capaz de ser comercializado

por dinheiro real: a ficha de WoW, conhecida também como WoW Token. Este item pode ser obtido utilizando dinheiro real (vendido ao preço de U\$20,00) e seu objetivo pode ser:

- Renovar a mensalidade do jogo, o que é normalmente feito com um plano de inscrição mensal, trimestral ou semestral pago com dinheiro real;
- Ser comercializada entre os jogadores por uma quantia em ouro (moeda virtual de WoW);
- Ser trocada por U\$15,00 de saldo na loja da Battle.net.

Como citado anteriormente, World of Warcraft possui um sistema de assinatura, no qual o jogador paga uma quantia em dinheiro ou uma quantidade em ouro para adquirir a WoW Token e assim renovar a mensalidade. Para a moeda Real Brasileiro, a mensalidade custa R\$35,00.

O preço da WoW Token em ouro pode variar de acordo com a região geográfica que o jogador se encontra, sendo as regiões existentes no jogo: Américas, Europa, Coreia e China.

O objetivo desta pesquisa é unir as séries de dados variação do preço da WoW Token em ouro e flutuação das taxas cambiais que apresentarem o melhor índice de correlação e, em seguida, analisar a previsão para os períodos de curto, médio e longo prazo.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos trabalhos relacionados sobre moedas virtuais dentro de jogos, análise de correlação entre séries temporais e modelos de regressão sobre taxas cambiais foram utilizados como base para realização desta pesquisa. A seguir, serão apresentados resumos com os principais aspectos dos principais trabalhos levados em consideração durante a concepção deste.

De acordo com Harambam et al. [4], em 2011 a indústria de jogos competiu diretamente com outros ramos do entretenimento, e as vendas de jogos nos Estados Unidos subiram de cerca de U\$2,6 bilhões em 1996 para U\$11,7 bilhões em 2008. Os pesquisadores também apontaram que a comercialização de moedas virtuais por moedas reais é capaz de aprimorar a experiência e imersão do jogador com o universo do jogo.

No trabalho de Tang et al. [5] foi feita a comparação entre redes neurais e métodos convencionais para previsão de dados em séries temporais. Os experimentos realizados concluíram que, para séries temporais de memória longa, ambos os modelos apresentaram resultados similares; contudo, as redes neurais se destacaram para séries de memória curta.

No estudo de De Gooijer e Hyndman [6], discorreu-se sobre a importância das pesquisas relacionadas a previsão de dados utilizando de modelos de regressão – tais como o ARIMA (do inglês, *Autoregressive Integrated Moving Average*) e o *Exponential Smoothing* – para cálculo de novas séries temporais. Também foi apresentada a evolução das métricas de avaliação para modelos de regressão, usadas para comparação e seleção de abordagens apropriadas a contextos específicos.

A pesquisa de Boothe e Glassman [7], que abordou a comparação de modelos de previsão de taxas cambiais de moedas reais, apontou os modelos de regressão autorregressivo e o RW (do inglês, *Random Walk*) como os que apresentaram melhores resultados para séries temporais, de acordo com a métrica RMSE (do inglês, *Root Mean Square Error*).

O trabalho feito por Babu e Reddy [8] explora especificamente os modelos de regressão ARIMA, redes neurais e rede Fuzzy para previsão de taxa de câmbio do dólar estadunidense, libra esterlina, euro e iene em relação às taxas de câmbio da rúpia. Na pesquisa, os autores concluíram que o modelo ARIMA apresentou melhores resultados do que os demais modelos não-lineares complexos.

Por fim, o estudo feito por Cividati et al. [9] sobre a correlação entre flutuações cambiais reais com a moeda virtual do World of Warcraft comprovou a existência de uma correlação forte e diretamente proporcional entre a moeda virtual e a taxa de câmbio real.

III. PROPOSTA

Tendo como base as correlações entre flutuações cambiais reais e a variação do preço da WoW Token em cada servidor para o período de 01/07/2019 até 31/12/2019, como foi evidenciado por Cividati et al. [9], esta pesquisa visa unificar as duas séries de dados, flutuações cambiais reais e variação do valor do preço da WoW Token, que apresentam a melhor correlação para o período de 01/01/2020 até 30/06/2020 em uma única série temporal e assim aplicar modelos de regressão para previsão de valores de curto, médio e longo prazo.

Esta pesquisa foi dividida em quatro partes: a primeira é caracterizada pela escolha da série de dados que apresenta a melhor correlação; a segunda consiste na união destas duas séries; na terceira são aplicados os modelos preditivos; por último, é feita a avaliação destes modelos.

A. Escolha da série de dados

No trabalho de Cividati et al. [9] foram utilizados dos modelos matemáticos a seguir para correlacionar a série de dados de flutuações cambiais reais e a variação do preço da WoW Token de cada região do jogo.

- 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. Valores -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 indica que ambos os valores estão inversamente ligados, como por exemplo, quando x aumenta; y diminui.

A tabela I mostra as correlações entre as flutuações cambiais reais (Moeda) e variação do preço da WoW Token (Região) para o período de 01/07/2019 a 31/12/2019. As séries de dados Américas e Real brasileiro foram as que apresentaram os maiores índices de correlação.

TABELA I
CORRELAÇÃO ENTRE WoW TOKEN E MOEDAS REAIS (01/07/2019 - 31/12/2019)

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 tabela II também mostra as correlações entre a Moeda e Região, contudo, para o período de 01/01/2020 a 30/06/2020. As séries de dados Américas e Real brasileiro também apresentaram os maiores índices de correlação (mesmo que inversamente proporcionais).

TABELA II
CORRELAÇÃO ENTRE WoW TOKEN E MOEDAS REAIS (01/01/2020 - 30/06/2020)

Região	Moeda	Pearson	Kendall	Spearman
Américas	Real brasileiro	-0,93	-0,81	-0,94
Europa	Euro	-0,07	-0,05	-0,02
China	Renminbi	0,52	0,29	0,47
Coreia	Won sul-coreano	-0,83	-0,5	-0,69

De acordo com os resultados encontrados nas tabelas I e II, a Região e Moeda alvo desta pesquisa são respectivamente Américas e Real brasileiro, devido às taxas de correlação.

B. União das séries de dados

Foi elaborado uma equação matemática para unificar as séries temporais Américas e Real brasileiro. A série de dados s representa quanto mil moedas de ouro valem em dinheiro real. A equação pode ser compreendida por:

$$s = \frac{M_i * 20}{R_i} \quad (1)$$

- s : nova série de dados;
- M_i : valor da moeda Real brasileiro;
- R_i : valor do preço da WoW Token em ouro;
- 20: constante que converte o preço da WoW Token em dólares para o valor em Real brasileiro

C. Aplicação dos modelos preditivos

A partir da nova série de dados s , aplicam-se os seguintes modelos preditivos:

- Naive Forecaster: modelo de previsão de dados que pode utilizar de três abordagens ingênuas para o cálculo de previsão do próximo valor:
 - last: O último valor da série temporal é considerado o próximo valor;
 - mean: O próximo valor é calculado através da média de todos os valores anteriores;
 - drift: O valor previsto é dado por uma reta entre o primeiro e o último valores da série temporal.

- ARIMA: (do inglês, *Autoregressive Integrated Moving Average*) é uma generalização do modelo ARMA (do inglês, *Autoregressive Moving Average*). Estes modelos podem ser especialmente eficazes nos casos em que os dados mostram evidências de não estacionariedade [10]. As abordagens utilizadas nesta pesquisa foram:
 - bfgs: (do inglês, *Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno*) é um método iterativo para resolver problemas de otimização não linear irrestrita [11];
 - powell: algoritmo para otimizar uma função de várias variáveis que não faz uso de derivadas [12].
- Auto-ARIMA: este processo busca identificar os melhores parâmetros para um modelo ARIMA. As abordagens utilizadas nesta pesquisa foram:
 - nm: (do inglês, *Nelder-Mead*) é um método numérico comumente aplicado usado para encontrar o mínimo ou o máximo de uma função [13];
 - cg: (do inglês, *Conjugate gradient method*) é um algoritmo para a solução numérica de sistemas de equações lineares de matriz positiva definida e simétrica [14].
- Holt-Winters: usa suavização exponencial simples sem componentes de tendência e sazonalidade [15].
- Theta: o método é uma composição de outros métodos que têm como objetivo decompor a série temporal em outras duas séries temporais [16].
- Polynomial Trend: previsão de dados de série temporal com uma tendência polinomial possui configurações padrão que treinam um modelo de regressão linear com uma transformação polinomial de 1º grau. Foram utilizados polinômios de grau 4 para previsões de curto e médio prazo, e de grau 1 para longo prazo.

D. Avaliação dos modelos

Tendo os valores de previsão calculados pelos modelos apresentados na seção anterior, calculam-se as seguintes métricas de avaliação sobre estes dados [17]:

- MAE (do inglês, *Mean Absolute Error*): é a diferença absoluta entre o valor medido e o valor calculado. Esta métrica é dada pela equação 2:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_t - F_t| \quad (2)$$

- A_t : valor real;
- F_t : valor calculado;
- n : quantidade de elementos.
- RMSE (do inglês, *Root Mean Square Error*): é uma medida usada que calcula “a raiz quadrática média” dos erros entre valores observados (reais) e predições (hipóteses). Esta métrica é dada pela equação 3:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_t - F_t)^2} \quad (3)$$

- A_t : valor real;
- F_t : valor calculado;
- n : quantidade de elementos.
- MAPE (do inglês, *Mean Absolute Percentage Error*): consiste em um valor de ponto flutuante não negativo no

qual o melhor valor é 0,0. Não há limite para a magnitude do erro, especialmente quando os valores de A_t estão próximos de zero. Nesses casos, a função retorna um valor grande. Esta métrica é dada pela equação 4:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (4)$$

- A_t : valor real;
- F_t : valor da previsão;
- n : quantidade de elementos.
- SMAPE: em contraste com MAPE, o SMAPE (do inglês, *Symmetric Mean Absolute Percentage Error*) possui um limite inferior e um limite superior. Esta métrica é dada pela equação 5:

$$SMAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_t - A_t|}{(|A_t| + |F_t|)/2} \quad (5)$$

- A_t : valor real;
- F_t : valor da previsão;
- n : quantidade de elementos.
- MASE: essa medida de erro sem escala (do inglês, *Mean Absolute Scaled Error*) pode ser usada para comparar métodos de previsão em uma única série, e também para comparar a precisão da previsão entre as séries. Essa métrica é adequada para séries de demanda intermitente porque nunca fornece valores infinitos ou indefinidos [18]. Esta métrica é dada pela equação 6:

$$MASE = média \left(\left| \frac{e_t}{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |Y_i - Y_{i-1}|} \right| \right) \quad (6)$$

- numerador: erro de previsão;
- denominador: erro médio absoluto.

IV. TECNOLOGIAS UTILIZADAS

O trabalho foi desenvolvido em Python, linguagem de programação interpretada de alto nível, multiparadigma, podendo atuar de forma orientada a objetos, tendo sua licença livre, lançada por Guido van Rossum em 1991 e mantida de forma colaborativa e aberta atualmente [19].

A linguagem dispõe de um acervo de pacotes auxiliares que facilitam a prototipação e agilizam o desenvolvimento de projetos devido à grande abstração e disponibilidade de funções implementadas pela comunidade. Os pacotes utilizados foram:

- Anaconda: distribuição de Python e R para análise de dados que visa simplificar o gerenciamento de pacotes e ambientes de desenvolvimento.
- Numpy: este pacote possui uma variedade de rotinas para operações rápidas em vetores multidimensionais, incluindo matemática, lógica, manipulação de forma, classificação, seleção, entrada/saída, transformadas discretas de Fourier, álgebra linear básica, operações estatísticas básicas, simulação aleatória etc. [20][21].
- Pandas: ferramenta de manipulação e análise de dados de código aberto rápida, poderosa, flexível e amigável. [22].
- Sktime: fornece implementações para previsão de séries temporais e ferramentas compatíveis com a biblioteca scikit-learn para construir, ajustar e validar modelos aplicáveis a diversos problemas de aprendizagem.

TABELA III
PREVISÃO DOS VALORES PARA CURTO PRAZO (1 DIA).

Modelo	Valores Calculados
Naïve (last)	0.909
Naïve (mean)	0.624
Naïve (drift)	0.910
ARIMA	0.909
Auto-ARIMA	0.909
Holt-Winters	0.909
Theta	0.910
Polynomial	0.880

V. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As avaliações dos modelos preditivos foram divididas em três cenários, sendo eles:

- Cenário 1: horizonte de previsão de curto prazo (1 dia);
- Cenário 2: horizonte de previsão de médio prazo (7 dias);
- Cenário 3: horizonte de previsão de longo prazo (30 dias).

Para cada cenário, foi(ram) removido(s) o(s) modelo(s) cujo(s) desempenho(s) (em termos de MAPE e SMAPE, por serem facilmente interpretados já que se dão em escalas percentuais) foi(ram) considerado(s) anomalia(s) de acordo com a análise de amplitude interquartil. Em seguida, os resultados foram dispostos em um histograma com o número de compartimentos obtido de acordo com a regra de Freedman-Diaconis. Desta forma, foi possível discriminar os melhores, médios e piores modelos em cada cenário. [23]

A. Cenário 1

As previsões para o horizonte de curto prazo (1 dia) e os valores de erro estão dispostos na tabelas e III e IV, respectivamente.

TABELA IV
RESULTADOS DAS MÉTRICAS SOBRE OS MODELOS PREDITIVOS PARA O HORIZONTE DE PREVISÃO DE CURTO PRAZO (1 DIA).

Modelo	MAE	RMSE	MAPE	SMAPE	MASE
Naïve (last)	0.002	0.002	0.19%	0.19%	0.250
Naïve (mean)	0.286	0.286	45.83%	37.28%	40.989
Naïve (drift)	0.001	0.001	0.09%	0.09%	0.123
ARIMA	0.002	0.002	0.20%	0.20%	0.261
Auto-ARIMA	0.002	0.002	0.20%	0.20%	0.265
Holt-Winters	0.002	0.002	0.19%	0.19%	0.250
Theta	0.000	0.000	0.05%	0.05%	0.059
Polynomial	0.031	0.031	3.49%	3.43%	4.400

Classificação dos modelos:

- Modelos recomendados: Theta e Naïve (drift);
- Modelos aceitáveis: Holt-Winters, Naïve (last), ARIMA e Auto-ARIMA
- Modelos não recomendados: Naïve (mean) e Polynomial.

A partir dos resultados encontrados para o horizonte de previsão de curto prazo (vide tabela IV), os modelos recomendados são Theta e Naïve (drift), por terem apresentado as menores taxas de erro MAPE e SMAPE. Os modelos Holt-Winters, Naïve (last), ARIMA e Auto-ARIMA são considerados aceitáveis por terem produzido taxas de erro intermediárias; os modelos Naïve (mean) e Polynomial não são recomendados devido as suas altas taxas relativas de erro.

B. Cenário 2

As previsões para o horizonte de médio prazo (7 dias) estão ilustradas nos gráficos das figuras 1 e 2 (zoom), com os valores de erro dispostos na tabela V.

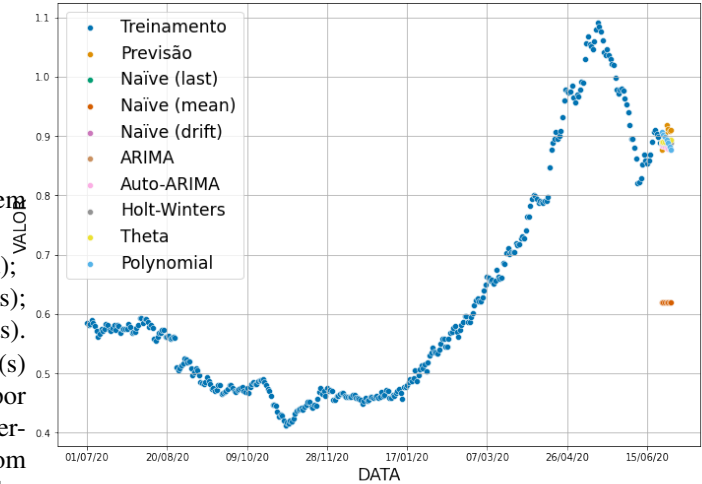


Fig. 1. Gráfico da previsão de médio prazo (7 dias).

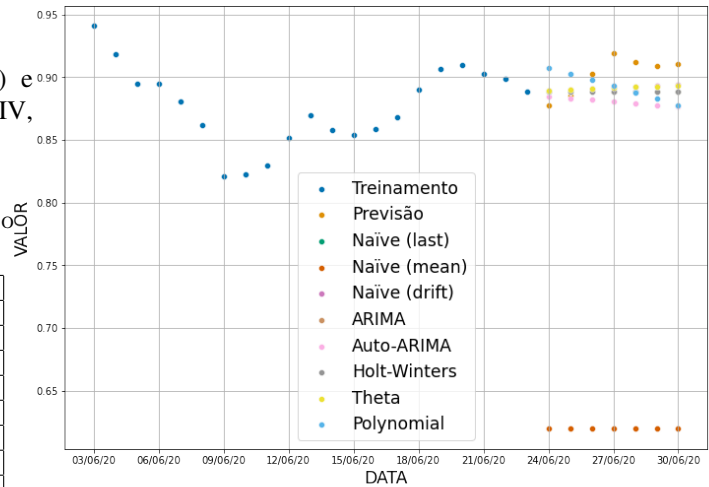


Fig. 2. Zoom do gráfico da previsão de médio prazo (7 dias).

TABELA V
RESULTADOS DAS MÉTRICAS SOBRE OS MODELOS PREDITIVOS PARA O HORIZONTE DE PREVISÃO DE MÉDIO PRAZO (7 DIAS).

Modelo	MAE	RMSE	MAPE	SMAPE	MASE
Naïve (last)	0.018	0.020	2.02%	2.00%	2.592
Naïve (mean)	0.283	0.283	45.59%	37.11%	40.813
Naïve (drift)	0.015	0.017	1.71%	1.70%	2.208
ARIMA	0.018	0.020	2.02%	2.00%	2.597
Auto-ARIMA	0.024	0.027	2.70%	2.66%	3.435
Holt-Winters	0.018	0.020	2.02%	2.00%	2.592
Theta	0.016	0.017	1.75%	1.73%	2.252
Polynomial	0.023	0.025	2.58%	2.56%	3.323

Classificação dos modelos:

- Modelos recomendados: Theta e Naïve (drift);
- Modelos aceitáveis: Holt-Winters, Naïve (last) e ARIMA;
- Modelos não recomendados: Naïve (mean), Polynomial e Auto-ARIMA.

Para a previsão de médio prazo (conforme tabela V), os modelos recomendados são Theta e Naïve (drift), por terem apresentado as menores taxas de erro MAPE e SMAPE. Os modelos Holt-Winters, Naïve (last) e ARIMA são considerados aceitáveis por terem produzido taxas de erro intermediárias; os modelos Naïve (mean), Polynomial e Auto-ARIMA não são recomendados devido as suas altas taxas relativas de erro.

C. Cenário 3

As previsões para o horizonte de longo prazo (7 dias) estão ilustradas nos gráficos das figuras 3 e 4 (zoom), com os valores de erro dispostos na tabela VI.

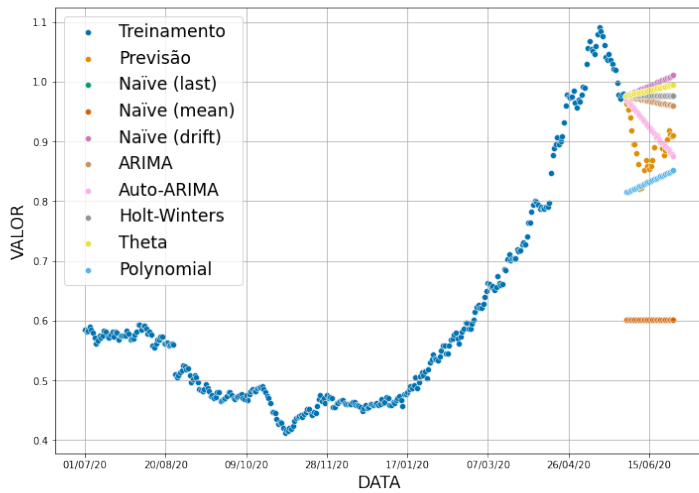


Fig. 3. Gráfico da previsão de longo prazo.

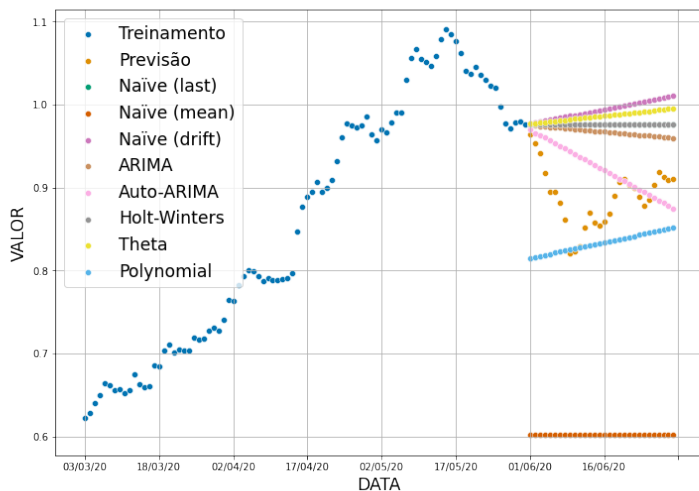


Fig. 4. Zoom do gráfico da previsão de longo prazo (30 dias).

TABELA VI

RESULTADOS DAS MÉTRICAS SOBRE OS MODELOS PREDITIVOS PARA O HORIZONTE DE PREVISÃO DE LONGO PRAZO (30 DIAS).

Modelo	MAE	RMSE	MAPE	SMAPE	MASE
Naïve (last)	0.087	0.094	8.94%	9.43%	13.404
Naïve (mean)	0.287	0.289	47.67%	38.41%	44.048
Naïve (drift)	0.105	0.111	10.59%	11.26%	16.179
ARIMA	0.079	0.086	8.16%	8.58%	12.133
Auto-ARIMA	0.044	0.056	4.70%	4.87%	6.720
Holt-Winters	0.087	0.094	8.94%	9.43%	13.404
Theta	0.098	0.104	9.91%	10.49%	15.007
Polynomial	0.056	0.066	6.71%	6.40%	8.558

Classificação dos modelos:

- Modelos recomendados: Auto-ARIMA e Polynomial;
- Modelos aceitáveis: Holt-Winters, ARIMA e Naïve (last);
- Modelos não recomendados: Naïve (mean) e Naïve (drift).

Analisando o horizonte de previsão de longo prazo (tabela VI), os modelos recomendados são Auto-ARIMA e Polynomial, por terem apresentado as menores taxas de erro MAPE e SMAPE. Os modelos Holt-Winters, ARIMA e Naïve (last) são considerados aceitáveis por terem produzido taxas de erro intermediárias; os modelos Naïve (mean) e Naïve (drift) não são recomendados devido as suas altas taxas relativas de erro.

É perceptível que, quanto maior o horizonte de previsão, maiores são as taxas de erro; portanto, visando ter o menor erro possível e considerando que o cenário típico para compra e venda de itens no jogo é de um dia (pois nestes casos o retorno do investimento acontece rapidamente), os modelos Theta e Naïve (drift) são os mais indicados para esta tarefa.

VI. CONCLUSÃO

Este artigo propôs unificar as séries temporais de flutuações cambiais reais e variação do valor do preço da WoW Token apresentadas por Cividati et al. [9], aplicar modelos de previsão sobre a nova série de dados e avaliar os resultados encontrados para os horizontes de previsão de curto, médio e longo prazos.

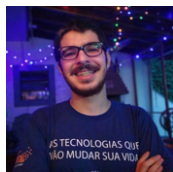
Utilizando diversas medidas estatísticas para avaliar numericamente os resultados produzidos pelos oito modelos de previsão considerados, observa-se que os mais recomendados seriam o Theta e o Naïve (drift) para previsão de curto e médio prazos, e Auto-ARIMA e Polynomial para longo prazo. Os modelos Naïve (mean) e Polynomial apresentaram péssimos resultados em todos os três horizontes de previsão. Os demais modelos apresentaram desempenhos medianos.

São sugeridos os seguintes pontos para trabalhos futuros:

- Levantar em consideração, além do preço da WoW Token e das taxas de câmbio das moedas reais, a cotação das ações da Blizzard Entertainment (ativo ATVI).
- Levantar em consideração a quantidade de jogadores ativos por região como um aspecto de ponderação (nas etapas de concepção da série de dados, treinamento e/ou predição);
- Considerar uma série temporal mais extensa, para os modelos possam utilizar mais dados na generalização e, possivelmente, obter uma menor taxa de erro de previsão;
- Realizar a otimização de hiperparâmetros dos modelos visando produzir previsões mais robustas;
- Conduzir o treinamento dos modelos em regime de validação cruzada de modo a evitar enviesamento e sobreajuste (*overfitting*);

- Desenvolver uma plataforma para exibição dos *insights* obtidos, fornecendo aos jogadores dicas de quando um item em particular deve ser comprado e/ou vendido para maximização de lucro e/ou minimização de prejuízo.

VII. AUTORES



Rubens Cividati é técnico em Informática pelo Instituto Federal do Sul de Minas Gerais Campus Inconfidentes em 2016 e graduando em Engenharia de Computação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel). É estagiário em *DevOps* na empresa 4Intelligence e administrador de campeonatos de jogos eletrônicos pela empresa MVP Network. Possui interesse nas áreas de análise de dados e desenvolvimento de jogos.



Marcelo Vinícius Cysneiros Aragão é graduado em Engenharia de Computação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) em 2014 e Mestre em Ciência e Tecnologia da Computação pela Universidade Federal de Itajubá em 2018. Trabalhou de 2011 a 2018 no Inatel Competence Center, mais recentemente como Especialista em Sistemas, onde atuou principalmente como desenvolvedor de soluções de *Business Support Systems* (BSS) em ambiente de integração contínua. É professor de disciplinas da graduação, como Inteligência Computacional e Redes Neurais, coordenador do curso de pós-graduação em Desenvolvimento de Aplicações para Dispositivos Móveis e *Cloud Computing* e doutorando em Engenharia de Telecomunicações no Inatel. Possui interesse nas áreas de aprendizado de máquina, ciência de dados e engenharia de *software*.

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.
- [3] Blizzard Entertainment. *Ficha de WoW - World of Warcraft — Loja Blizzard*. 2020. URL: <https://bit.ly/blizz-wowtoken>.
- [4] Jaron Harambam, Stef Aupers e Dick Houtman. “Game over? Negotiating modern capitalism in virtual game worlds”. Em: *European Journal of Cultural Studies* 14.3 (2011), pp. 299–319.
- [5] Zaiyong Tang, Chrys de Almeida e Paul A. Fishwick. “Time series forecasting using neural networks vs. Box-Jenkins methodology”. Em: *Simulation* 57.5 (1991), pp. 303–310.
- [6] Jan G. De Gooijer e Rob J. Hyndman. “25 years of time series forecasting”. Em: *International Journal of Forecasting* 22.3 (2006), pp. 443–473.
- [7] Paul Boothe e Debra Glassman. “Comparing exchange rate forecasting models: Accuracy versus profitability”. Em: *International Journal of Forecasting* 3.1 (1987), pp. 65–79.
- [8] AS Babu e SK Reddy. “Exchange Rate Forecasting using ARIMA, Neural Network and Fuzzy Neuron”. Em: *Neural Network and Fuzzy Neuron, Journal of Stock & Forex Trading* 4.3 (2015), pp. 01–05.
- [9] Rubens Cividati, Isabella Capistrano e Marcelo Aragão. “Análise de Correlação entre Flutuações Cambiais Reais e Moeda Virtual de um MMORPG”. Em: *Anais do Congresso de Iniciação Científica do Inatel - Incitel 2020*. Jun. de 2020, pp. 40–45.
- [10] George EP Box, Gwilym M Jenkins, Gregory C Reinsel e Greta M Ljung. *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons, 2015.
- [11] R. Fletcher. *Practical Methods of Optimization*. A Wiley-Interscience publication v. 2. Wiley, 1987.
- [12] Michael JD Powell. “An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives”. Em: *The computer journal* 7.2 (1964), pp. 155–162.
- [13] John A Nelder e Roger Mead. “A simplex method for function minimization”. Em: *The computer journal* 7.4 (1965), pp. 308–313.
- [14] Magnus Rudolph Hestenes, Eduard Stiefel et al. *Methods of conjugate gradients for solving linear systems*. Vol. 49. 1. NBS Washington, DC, 1952.
- [15] Peter R Winters. “Forecasting sales by exponentially weighted moving averages”. Em: *Management science* 6.3 (1960), pp. 324–342.
- [16] Vassilis Assimakopoulos e Konstantinos Nikolopoulos. “The theta model: a decomposition approach to forecasting”. Em: *International journal of forecasting* 16.4 (2000), pp. 521–530.
- [17] Rob J Hyndman e George Athanasopoulos. *Forecasting: principles and practice*. OTexts, 2018.
- [18] Rob J. Hyndman e Anne B. Koehler. “Another look at measures of forecast accuracy”. Em: *International Journal of Forecasting* 22.4 (2006), pp. 679–688.
- [19] Guido Van Rossum et al. “Python Programming Language.” Em: *USENIX annual technical conference*. Vol. 41. 2007, p. 36.
- [20] Travis E Oliphant. *A guide to NumPy*. Vol. 1. Trelgol Publishing USA, 2006.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] James D. Triveri. *Determining Histogram Bin Width using the Freedman-Diaconis Rule*. Mar. de 2019. URL: <http://www.jtrive.com/determining-histogram-bin-width-using-the-freedman-diaconis-rule.html>.

Analizador de *Stream* para Distribuição de Sinais de Áudio e Vídeo Digital

Gabriel Moreira Peixoto Diniz
gabrielmoreira@gec.inatel.br

Msc. Anderson Fagiani Fraga
anderson-fagiani@inatel.br

Abstract—The purpose of this article is to present the results obtained throughout the project and display the stream analysis for the distribution of digital audio and video signals. The importance of TV in the country's current scenario and the exponential growth of technology, this analysis is essential because it is capable of verifying content in certain layers and obtaining important data for signal quality and transmission.

Index Terms—Analysis, TV, Signals.

Resumo—O propósito do presente artigo é apresentar os resultados obtidos ao longo do projeto e mostrar o estudo da análise de *stream* para distribuição de sinais de áudio e vídeo digital. Dada a importância da televisão no cenário atual do país e o crescimento exponencial da tecnologia esta análise é essencial pois é capaz de verificar conteúdos nas determinadas camadas e obter dados importantes para qualidade e transmissão do sinal.

Palavras chave—Análise, Televisão, Sinais.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, um dos meios de comunicação mais importante é a televisão devido a sua grande acessibilidade e a realidade socioeconômica do país. Pode-se afirmar através de dados estatísticos em que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), somente 3,3% dos domicílios do país não havia televisão em 2017 [1]. Em um país com as dimensões geográficas do Brasil, o sistema televisivo tem o papel de unificar cada região, além de levar informação, entretenimento e, ainda, atuar como formadora de opinião em relação ao cenário político [2].

Devido ao crescimento exponencial da tecnologia algumas melhorias foram realizadas para aperfeiçoar a experiência de assistir ao televisor. Dentre estes progressos vale ressaltar o desenvolvimento da televisão digital, esse processo para obtenção de um novo modelo de transmissão em alta definição do aparelho teve início em pesquisas no Japão, com resultados apresentados na década de 1980 que trouxe um sistema de sinal analógico com maior número de linhas, além de transmissão de som de alta qualidade. Esses benefícios foram primeiramente utilizados para elaboração de um padrão de produção em estúdio pensando em futuramente derivar um modelo de transmissão, sendo o primeiro a entrar em operação comercial cujo o nome é *Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding* (MUSE) [3].

Desde então, vem-se progressivamente exercendo mudanças no sinal digital permitindo, assim, uma série de outros avanços técnicos. Segundo o IBGE, somente 6% das residências brasileiras com televisão ainda dependem do sinal analógico [4]. Sendo assim, o modelo de transmissão digital no Brasil vai além de um processo tecnológico, gerou novas necessidades na população brasileira, ampliando o conceito da televisão como era conhecida, e ainda trazendo a imperatividade de melhora

na qualidade da produção dos programas, mostrando-se como desafio aos produtores de conteúdo [5].

O sinal digital, diferente do sinal analógico, assume um conjunto finito de valores discretos ao longo do tempo. Para que sinais analógicos possam ser transmitidos na forma digital, tais como sinais de áudio e vídeo, esses precisam passar por etapas para que serem digitalizados. Este processo é chamado de conversão analógico/digital, sendo composto por três estágios: amostragem, quantização e codificação [6].

Além disso, a transmissão é uma etapa essencial e pode ser observada na Figura 1. A central de produção é onde toda a programação da emissora é gerada, na produção de estúdio são feitas as imagens, edição e entrega de todo o conteúdo. Com isso, toda a programação é organizada pela pós produção, que também tem a função de manipular as fontes de mídia. Esse produto é entregue ao *Master Switcher* que organiza a programação e leva até um sistema de transmissão que encaminha o fluxo de mídia até o sistema de radiodifusão. O fluxo gerado de mídia é serializado em um único fluxo e este é chamado de *Serial Digital Interface* (SDI), responsável por padronizar o sinal para o transporte de áudio e vídeo [7].

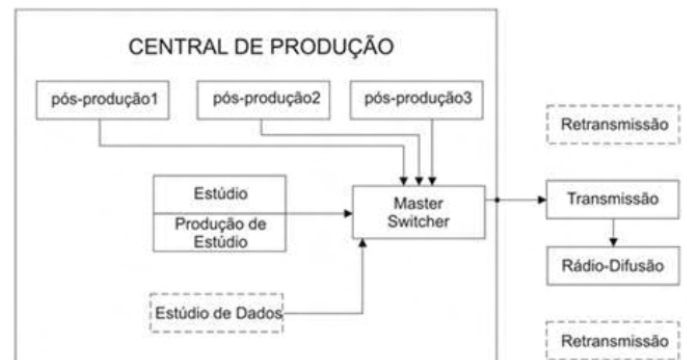


Fig. 1. Produção de conteúdo da TV Digital.

Após o término deste ciclo, o fluxo de mídia passa por um processo de codificação, que é a compreensão dos sinais e sua redução de largura de banda, originando o sinal *Transport Stream* (TS). Assim, a codificação de fonte consiste em reduzir a taxa de transmissão dos sinais. A codificação utilizada é a *Motion Picture Experts Group* (MPEG) que trata dos problemas de codificação e o padrão MPEG-2 corrigia os problemas do MPEG-1 com a transmissão de vídeo via radiodifusão [8]. Por fim, o sinal é emitido através dos transmissores que enviam as informações de modo que a cobertura de televisão cubra todos os locais da cidade.

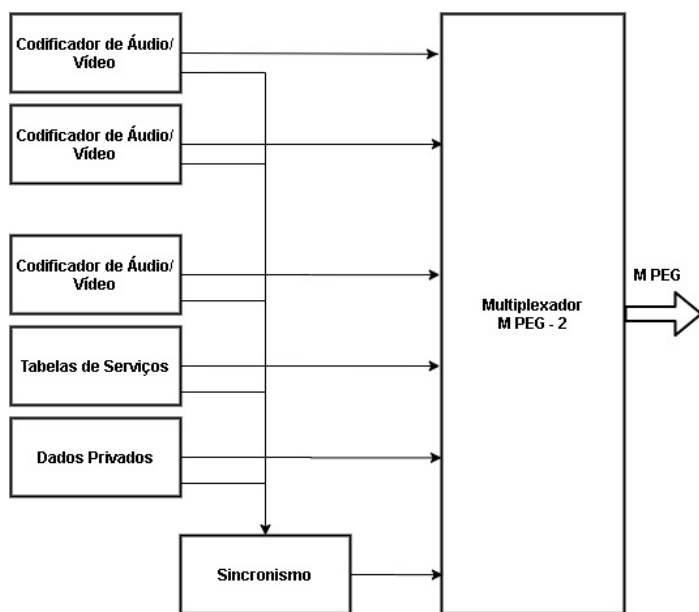
A partir disso, no estágio de transmissão se faz necessário analisar o *stream* para distribuição para sinais de áudio e vídeo

digital. Essa análise acontece quando o conversor sincroniza a programação que foi transmitida pela emissora para que se possa ter acesso ao conteúdo e disponibilizar no televisor. Através dela é possível obter informações necessárias para que se preciso ocorra uma intervenção de melhoria na qualidade sinal oferecido.

II. METODOLOGIA

A. MPEG e sua organização em camadas

O padrão MPEG é um método de compressão criado para armazenar imagens e vídeos utilizados pelos sistemas de transmissão *Digital Video Broadcasting* (DVB), *Advanced Television Systems Committee* (ATSC), *Internet Television Protocol* (IPTV). Este formato mantém a alta qualidade de som e vídeo, oferece diversos recursos para a codificação, transmissão e codificação, além disso, com a combinação destes sinais em uma certa sequência de bytes, é possível ter o controle de toda a transmissão, acessando os sinais visualizando possíveis erros. Na Figura 2, temos um Multiplexador MPEG-2 e nesta pesquisa, interpretamos os dados dos pacotes que são gerados por essa compressão, extraindo diversas informações sobre a transmissão.



Sequência MPEG

- Sequência contínua de bytes (8 bits).
- Técnica de modulação não específicas.
- Proteção de erro não específicas.
- Níveis de sinal não específico.
- Conexão física não especificada.

Fig. 2. Multiplexador MPEG-2.

Existem variações do formato MPEG, como MPEG-2 e MPEG-4 com modificações em sua codificação e organização, porém o foco desta pesquisa é analisar o comportamento das tabelas e variáveis que estão dentro do pacote TS.

B. Formação do pacote de TS

A estrutura de fluxo definida pelo MPEG-2 está dividida entre a camada de compressão seguida pela camada de sistema.

Esta camada de sistema tem a função de dividir e encapsular o fluxo dos pacotes, inserção e sincronização de informações. Já a camada de compressão tem o objetivo de codificar os dados de áudio e vídeo. Essa representação pode ser visualizada na Figura 3.

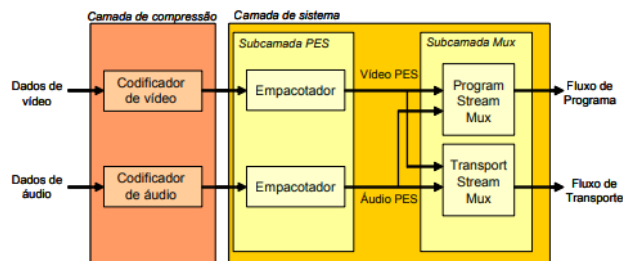


Fig. 3. Fluxo MPEG-2.

Os dados de cada tipo de mídia sofrem o processo de compressão, assim são denominados de fluxos elementares e são divididos em sub pacotes *Packetized Elementary Stream* (PES). Com o pacote PES identificando os fluxos através de um parâmetro, dois formatos para o fluxo do sistema são definidos. O fluxo de programa, que possui um programa para ser usado em ambientes com baixas taxas de erros. Também é definido o fluxo de transporte TS, que é utilizado para a transmissão e armazenamento de ambientes ruidosos em que é frequente a ocorrência de erros.

Para adaptar ao processamento do hardware e também de adequar aos códigos corretores de erros que são inseridos no sinal, os pacotes PES são fragmentados e novamente empacotados em pacotes de comprimentos fixos de 188 bytes. Dessa forma os cabeçalhos dos pacotes de TS devem conter as informações essenciais para o sistema de transmissão. A Figura 4 abaixo ilustra um pacote de TS, e os seus respectivos campos do cabeçalho.

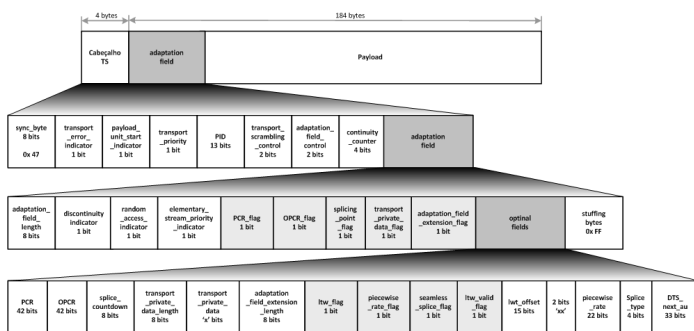


Fig. 4. Organização de um pacote TS.

O primeiro campo do cabeçalho de TS é composto por 8 bits. Este valor é padrão para o sistema de transmissão de televisão digital, este campo será utilizado pelo receptor no processo de decodificação do sinal. Para que os receptores ou até mesmos os analisadores de TS validem a decodificação dos *transport stream* inicialmente é comum o descarte de alguns pacotes de TS, ou seja, os receptores devem encontrar sincronismo do início de cada pacote de TS antes que seja válida a saída do decodificador. Com isto não se recomenda a utilização ou identificação nos demais campos do cabeçalho do pacote de TS com o mesmo valor encontrado no campo do *sync_byte*.

Os campos apresentados na Figura 4 podem possuir um valor diferentes em bits e cada um destes indica algo em relação a transmissão em questão.

C. Tabelas do pacote de TS

Alguns pacotes do TS transportam informações adicionais sobre como está estruturado, sua transmissão. Estes com informações adicionais sobre o TS são chamada de tabelas (*Tables*). As tabelas são essenciais para o processamento de um TS em um receptor e decodificador. Nesta pesquisa, foi analisada as tabela *Program Association Table* (PAT) que lista os programas ou serviços presentes no TS e associa cada programa do fluxo ao *packet identifier* (PID) dos pacotes que transportam a sua *Program Map Table* (PMT), que lista os PIDs dos pacotes que transportam áudio, vídeo, PCR, dados, etc. Existem outras tabelas, mas as citadas foram as abordadas nesta pesquisa científica. Nas Figuras 5 e 6, podemos observar os campos em bits associados às tabelas PAT e PMT.

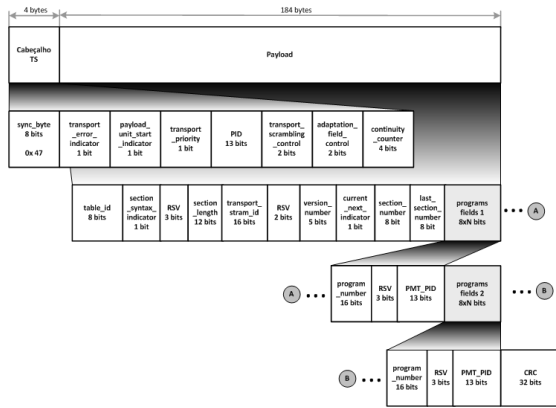


Fig. 5. Tabela PAT.

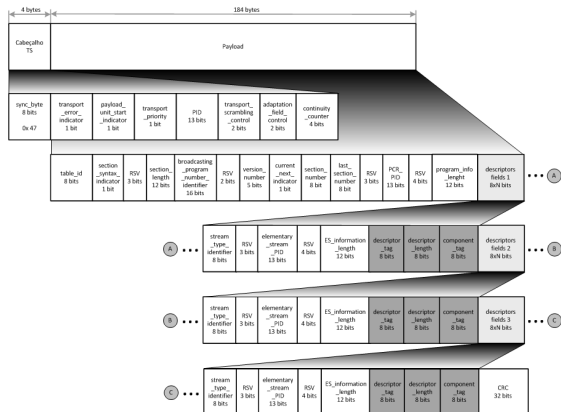


Fig. 6. Tabela PMT.

III. RESULTADOS

Com base nas informações citadas anteriormente a proposta do software, inicialmente, teria a capacidade de abrir qualquer arquivo do formato .ts e convertê-lo em hexadecimais. A partir disso, o arquivo seria dividido entre pacotes de 188 bytes, para facilitar a organização e posteriormente ser analisado os bits do pacote e de suas tabelas respectivamente. Essa conversão e organização estão sendo representados na Figura 7 abaixo.

TS file	
Path	F:\NBTS_PTVALEAPENA2_290910_TVGLOBALOSPO_TORRE.ts
Info	711,573 Kb, 3,571.821 204-byte packets, offset 0, pre ts header 0

TS packet 1	
0	47 1F FF 10 FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
16	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
32	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
48	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
64	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
80	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
96	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
112	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
128	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
144	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
160	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
176	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF

Fig. 7. Organização de um pacote TS em hexadecimal.

Utilizando o conceito de ponteiros, foi analisado bit a bit cada campo das tabelas TS, assim, cada pacote possui sua respectiva tabela PAT com seus campos preenchidos, como segue na Figura 8 abaixo:

TS file	
Path	F:\NBTS_PTVALEAPENA2_290910_TVGLOBALOSPO_TORRE.ts
Info	711,573 Kb, 3,571.821 204-byte packets, offset 0, pre ts header 0

TS packet 718	
0	47 40 00 1C 00 00 B0 15 07 3A C1 00 00 00 00 E0
16	10 E7 40 E1 01 E7 58 FF C8 8C 57 D3 46 FF FF FF
32	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
48	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
64	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
80	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
96	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
112	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
128	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
144	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
160	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF
176	FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF

PAT	
program_association_section	

Table	table_id: 0x0 (program_association_section)
section_length:	21
transport_stream_id:	1850
version_number:	0
current_next:	True
section_number:	0
last_section_number:	0
program_number:	0
program_map_PID:	16
program_number:	59200
program_map_PID:	257
program_number:	59224
program_map_PID:	8136
Section CRC:	8C 57 D3 46

Fig. 8. Tabela PAT de um pacote.

IV. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que este processo de análise é essencial devido a sua interpretação objetiva dos dados considerando a vasta aplicabilidade desta digitalização de sinais. Dessa forma, o analisador de TS consegue expor de uma forma mais clara o valor dos bits nos pacotes e também mostra de forma objetiva os campos das tabelas PAT, PMT. O desenvolvimento do trabalho possibilitou atingir um número maior de tabelas analisadas, bem como inserir uma interface atual, em que fosse possível assistir a transmissão e simultaneamente analisar o pacote em baixas latências de diferença.

A partir disso, devido a complexidade e o curto período destinado ao estudo deste projeto sugere-se um aperfeiçoamento no software para que a leitura dos campos nas tabelas seja feita de uma forma que não sobrecarregue o processamento do software, também poderia ser implementado outras formas de se analisar os pacotes, com outra linguagem de programação mais apropriada pensando no melhor desempenho da análise dos dados.

Com as pesquisas para o desenvolvimento da inciação científica foi possível compreender o conteúdos sobre a codificação de um sinal digital e toda sua subdivisão e organização, colocando em prática os conceitos da compressão

desenvolvendo um software capaz de analisar algumas tabelas de um pacote TS.

REFERÊNCIAS

- [1] IBGE. *Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2017*. URL: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101631_informativo.pdf (acesso em 23/06/2020).
- [2] BORBA M. A. C. “Medição de cobertura no sistema brasileiro de TV digital terrestre”. Em: (2011). URL: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/917/1/CT_CPGEI_M_Borba%2C%20Marco%20Ant%C3%B4nio%20Costa%20de_2011.pdf.
- [3] J. FERNANDES, G. LEMOS e G. SILVEIRA. “Introdução a televisão digital interativa: Arquitetura, Protocolos, Padrões e Práticas”. Em: (2004). URL: <https://cic.unb.br/~jhcf/MyBooks/itvdi/texto/itvdi.pdf>.
- [4] IBGE. *Acesso à Internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2017*. URL: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101631_informativo.pdf (acesso em 23/06/2020).
- [5] G. M. SETTE. *A evolução da televisão brasileira e os novos caminhos para o futuro*. URL: <https://docplayer.com.br/12517839-A-evolucao-da-televisao-brasileira-e-os-novos-caminhos-para-o-futuro.html> (acesso em 23/06/2020).
- [6] T. G. FERNANDES e A. N. PANAZIO. “Do analógico ao digital: Amostragem, quantização e codificação.” Em: (2009). URL: http://ic.ufabc.edu.br/II_SIC_UFABC/resumos/paper_5_74.pdf.
- [7] S. D. D. PEREIRA. “Propagação de ondas eletromagnéticas em ambientes urbanos”. Em: (2014). URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiC1bPdkaqAhU_gnIEHe2aBP4QFjAAegQIBhAB & url = <https://3A%2F%2Ffenix.tecnico.ulisboa.pt%2FdownloadFile%2F395146428641%2Fdissertacao.pdf> & usg = AOvVaw1QTe0izL3qLG-GyeDSQ0aQ.
- [8] INATEL. *Sinais e Sistemas em TV Digital*. Curso de Sistemas de TV Digital no INATEL, 2007.

Geoprocessamento aplicado à Rovers Autônomos Agrícolas

Flávio Henrique Madureira Bergamini, Gabriel Ilian Fonseca Barboza, Douglas Tavares Martins

Samuel Baraldi Mafra, Vitor Alexandre Campos Figueiredo

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

flaviohenrique@gec.inatel.br, gabriel.barboza@gec.inatel.br, douglasmartins@gec.inatel.br,

samuelbmafra@inatel.br, vitor.campos@mtel.inatel.br

Abstract—The worldwide agriculture is already facing its biggest historic challenges: producing food for 10 billions people over the next 30 years. One of the widely presented solutions is the use of high technology in crops, which it has the possibility to improve irrigation, fertilizer application and sustainable pest control. This work has the main objective to present the solution developed by our team for control the "coffee-berry-borer" pest. By using advanced concepts of programming and electronics, such as Geo-processing, an autonomous rover has been developed capable to moving thought the fields capturing this pest, which it represents a safer and cleaner solutions for coffee producers.

Index Terms—Autonomous Rover, Geo-processing, Obstacle detection.

Resumo—A agricultura mundial já está enfrentando seu maior desafio histórico: produzir alimentos para 10 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos. Uma das soluções amplamente apresentadas é a utilização de alta tecnologia nas lavouras, onde será possível melhorar a irrigação, aplicação de fertilizantes e o controle sustentável de pragas. Este artigo tem como principal objetivo apresentar a solução desenvolvida pela nossa equipe para o controle da praga "broca-do-café". Utilizando de conceitos avançados de programação e de eletrônica, tais como Geo-processamento, foi desenvolvido um rover autônomo que pode se locomover por toda a área da lavoura fazendo a captura desta praga, proporcionado então uma solução mais segura e limpa para os produtores de café.

Palavras chave—Detecção de obstáculos, Geo-processamento, Rover Autônomo.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia aplicada à agricultura já é uma realidade no Brasil e no mundo com diversos casos de sucesso. Já existem diversas empresas bem sucedidas provendo produtos e serviços neste mercado. O controle de pragas feito de maneira ecologicamente sustentável, ou seja, sem o uso de pesticidas tóxicos - pode ser mencionado como um exemplo da utilização da tecnologia no ambiente agrícola - as Fazendas Inteligentes. O trabalho intitulado "A Proposed IoT Smart Trap using Computer Vision for Sustainable Pest Control in Coffee Culture" [1] descreve a solução de uma armadilha inteligente que, usando visão computacional, seleciona e captura a praga conhecida por "broca-do-café", típica da cafeicultura. A motivação da armadilha é apresentar uma solução alternativa ao uso de pesticidas que são tóxicos à saúde humana, prejudicial à vida natural e de alto custo para os produtores rurais. Para se tornar uma solução completa, é apontado como trabalho futuro, a construção de um veículo autônomo capaz de percorrer toda a lavoura de café usando geoprocessamento, levando a armadilha inteligente e assim

cobrir toda a área provável de infestação. Este trabalho, portanto, detalha a construção de um rover (veículo de médio porte) tracionado com motores elétricos e com capacidade de geoprocessamento para se guiar de maneira autônoma.

A seguir são descritos como estão organizados os estudos e o desenvolvimento do projeto: Na Seção II, são descritos os principais componentes de *hardware* utilizadas no projeto. As partes mecânicas usadas na estrutura do rover são descritas na Seção III. Na seção IV, é demonstrado como foi feita a elaboração da perspectiva de software e quais foram as lógicas utilizadas para a concepção dos códigos utilizados no rover. A demonstração dos testes realizados é descrita na seção V. Por fim, temos a Seção VI onde são demonstrados percepções e conclusões obtidas a partir dos testes. Também são apresentadas ideias para trabalhos futuros no campo de rovers autônomos para agricultura.

II. MODELO DO HARDWARE

Neste artigo é descrito o desenvolvimento de um sistema de geoprocessamento para guiar o movimento de um rover. Como plataforma de *hardware* - descrita na Figura 1, o sistema utiliza uma *Raspberry Pi* [2] e um Arduíno [3] para sua automação. Conectados ao *Raspberry Pi* estão um sensor GPS (do inglês: Global Positioning System), uma placa controladora de motores para acionamento dos dois motores responsáveis pela tração. No Arduíno estão conectadas o sensor ultrassônico de distância e o servo-motor e o sensor giroscópio. E para possibilitar a conexão do *Raspberry Pi* e o Arduíno, foi usada comunicação serial. Basicamente para se conhecer a localização do rover são coordenadas geográficas (latitude e longitude) são lidas do sensor GPS. A área da lavoura por onde o rover deve se movimentar é a mapeada através de 4 pontos geo-localizados formando um polígono. A medida que o rover se movimenta, o sistema de navegação avalia frequentemente se ele está se mantendo dentro do polígono. Ações foram definidas para o evento de ele ultrapassar a área do polígono. Adicionalmente, o sistema de navegação é notificado sobre a presença de obstáculos no caminho, como galhos, pedras ou animais e toma providências para desviar ou mesmo parar.

A. Comunicação Serial

A comunicação entre o *Raspberry Pi* e o Arduíno é serial e, para tornar esta comunicação simplificada e abstraída, foi utilizada a biblioteca PySerial[4].

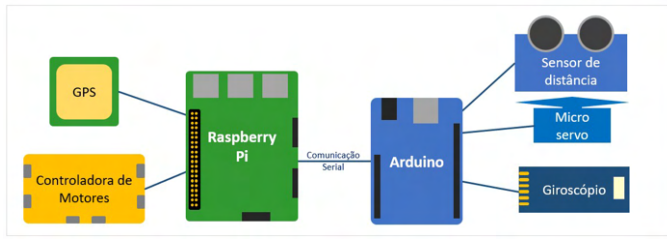


Fig. 1. Plataforma de Hardware: Conexão entre os dispositivos

B. Sensores

b.1) GPS - Modelo EM-506

O sensor GPS é responsável por fornecer, dentre outras, as informações das coordenadas geográficas - latitude e longitude. O conjunto latitude e longitude também é conhecido como geoposição. No sistema operacional do *Raspberry Pi* foi instalado o serviço GPSD [5] - um daemon (software que roda no plano de fundo) especializado em ler o sensor GPS. O GPSD realiza o monitoramento do sensor GPS e fornece a localização e cinemática em tempo real. Através de uma *API open-source* escrita na linguagem *Python* e disponibilizada no *GitHub* [6], foi possível desenvolver um *script* em *Python* para ler dados do sensor GPS.

b.2) Sensor de distância - Modelo HCSR04

O sensor de distância HCSR04 [7] tem a capacidade de medir a distância de objetos, através do envio de sinais ultrassônicos e na leitura posterior do sinal enviado. Tem como principal aplicabilidade detectar possíveis obstáculos. Inicialmente é enviado um pulso de sinal de 10 μ s, que faz com que se inicie a transmissão de dados em nível lógico alto, este pulso é conhecido como *trigger*, após receber este pulso o sensor é ativado e são enviados em seguida 8 pulsos na frequência de 40kHz, posteriormente é esperado o sinal de retorno. O cálculo da distância pode ser feito utilizando-se do intervalo de tempo entre o envio do sinal *trigger* até que seja retornado o sinal “*echo*”. Quando é detectado algum obstáculo é gerado um sinal de nível lógico alto no pino de saída que tem intervalo de tempo equivalente ao de ida e de retorno do sinal enviado pelo sensor. Esta distância é calculada da seguinte maneira pelo sensor:

$$d = \frac{TPWM \cdot v}{2} \quad (1)$$

Onde, d é a distância (m), $TPWM$ é a duração do sinal de saída (s) e v é a velocidade do som (340 m/s).

Através da Figura 2 pode ser verificado um diagrama de temporização do módulo ultrassônico, que demonstra de forma simples seu funcionamento anteriormente explicitado.

b.3) Giroscópio - Modelo IMU 10DOF

É um sensor com múltiplas funções desenvolvido pela [9]. Ele é usado no Arduino para a orientação do *rover*, consultando o magnetômetro como uma bússola, o acelerômetro e giroscópio para identificar a posição e inclinação no relevo.

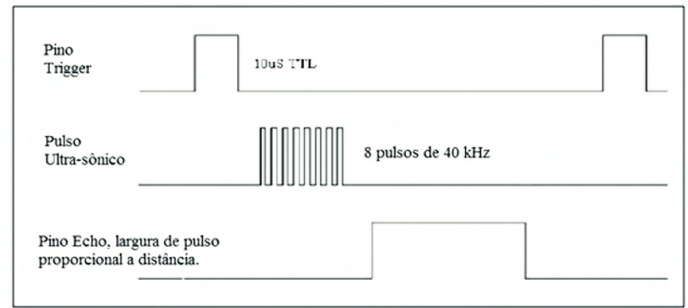


Fig. 2. Diagrama de tempo de funcionamento do sensor HCSR04. Fonte:[8]

C. Atuadores

c.1) Controladora de Motores

Uma placa controladora de motores foi projetada e construída, foram montadas quatro pontes H baseadas no transistor *MOSFET* (do inglês: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) IRF1404 que proporcionou além de controlar o sentido de giro, controlar também a velocidade dos motores, através de pulsos *PWM* (do inglês: Pulse Width Modulation) enviados pela *Raspberry Pi*.

Este controle de velocidade foi necessário para diminuir a inércia do *rover*, tanto ele estando em repouso como em movimento, já que a armadilha é mais delicada, e os motores são muito fortes. O circuito funciona em três divisões, o primeiro é um dobrador de tensão, já que é preciso saturar o gatilho dos *MOSFETs* e considerar a tensão de queda no motor. O segundo utilizando também portas lógicas NAND 4011 garante o *PWM* e protege contra curto-circuito na fonte, caso seja acionado todos os transistores simultaneamente. O terceiro é o circuito de controle do motor em si, formado pelos quatro *MOSFETs*. Conforme é mostrado na Figura 3, existem dois componentes chaveados para conectar os dois motores e um componente para conectar a fonte de tensão.

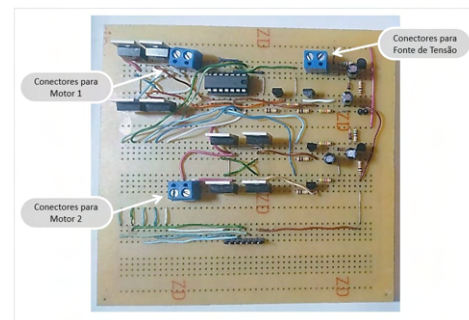


Fig. 3. Placa projetada para controlar motores através de Pontes H

c.2) Micro Servo - modelo SG90

O Micro Servo SG90[10] torna-se um poderoso aliado quando a ideia é rotacionar ou movimentar pequenos objetos, de baixo peso e com potente torque este módulo pode rotacionar pequenos objetos em até 180 graus (90 graus em cada direção).

A união entre o Micro Servo SG90[10] e o sensor de distância HCSR04 [7] ilustrada na Figura 4 potencializa a detecção dos obstáculos já que é possível alterar a direção

do sensor para direita ou esquerda. Quando é detectado algum bloqueio à frente, o micro servo é acionado para rotacionar o sensor de distância para direita e esquerda. Assim analisa-se qual direção está livre de obstáculos e escolhe-se o novo caminho.

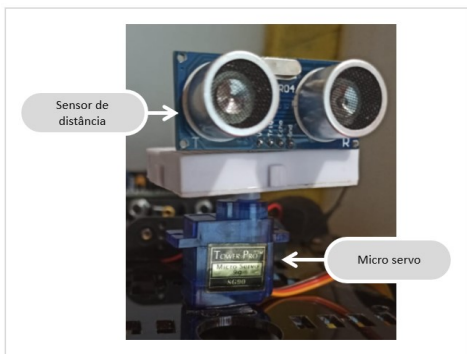


Fig. 4. Estrutura para detecção dos obstáculos.

III. MODELO DA MECÂNICA

A. Chassi

O chassi do *rover* é composto por uma estrutura circular plana em MDF (do inglês: Medium Density Fiberboard) onde se encontram quatro rodas, sendo duas de tração e duas de eixo solto, para garantir a movimentação livre para todas as direções e ainda mantendo a estrutura nivelada.

B. Motores e Rodas

Foram usados dois motores *DC* (do inglês: Direct Current) de 12 V com caixa de redução que geram uma rotação final de 10 RPM (Rotações Por Minuto). Um pinhão dentado foi acoplado a cada motor que, através de uma corrente de moto, traciona a sua roda onde está acoplada uma coroa dentada, conforme mostrado na Figura 5. Cada motor foi ligado por dois fios aos conectores da controladora de motores, que, por sua vez, será responsável por fornecer a tensão para movimentar cada motor, sejam num sentido ou no outro e também controlando sua velocidade.



Fig. 5. Motor conectado à roda através de uma corrente, montados no chassi

C. Suporte da armadilha

Foi projetada uma estrutura conectada ao chassi para manter a armadilha suspensa. Ela consiste de duas barras metálicas dispostas em forma de X. A armadilha fica fixa ao ponto central através de correntes inoxidáveis conforme mostrado na Figura 6.

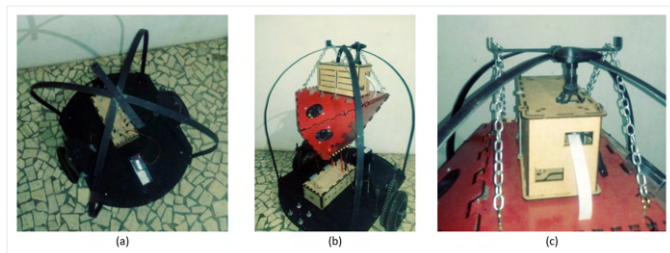


Fig. 6. Suporte da armadilha: (a) visão superior sem a armadilha; (b) visão lateral com a armadilha acoplada; (c) detalhe de como a armadilha está suspensa pelo ponto central

IV. PROGRAMAÇÃO

Tendo em vista todos os sensores e atuadores envolvidos, foi desenvolvido uma lógica de programação da navegação do veículo e outra lógica para a detecção de obstáculos.

A programação consiste em ler dados através dos sensores, fazer o tratamento destes dados de maneira a fornecer as melhores tomadas de decisões no tempo correto. Estas duas lógicas são explicadas através de fluxogramas nas sessões seguintes:

A. Fluxograma para Navegação

A Figura 7 ilustra o fluxograma do programa responsável pela navegação do *rover*, que foi implementado com a linguagem *Python*. Assim que ele é iniciado, realiza a comunicação serial com o Arduino a fim de obter as informações sobre os obstáculos e orientação espacial para a navegação. Uma vez estabelecida a comunicação serial, requisita-se ao sensor *GPS* a geo-posição atual. Caso o programa não tenha obtido sucesso, ele faz um *loop* até que consiga. Quando é geo-posição é definida, o programa identifica o caminho a ser percorrido e então entra em movimento acionando os motores de tração.

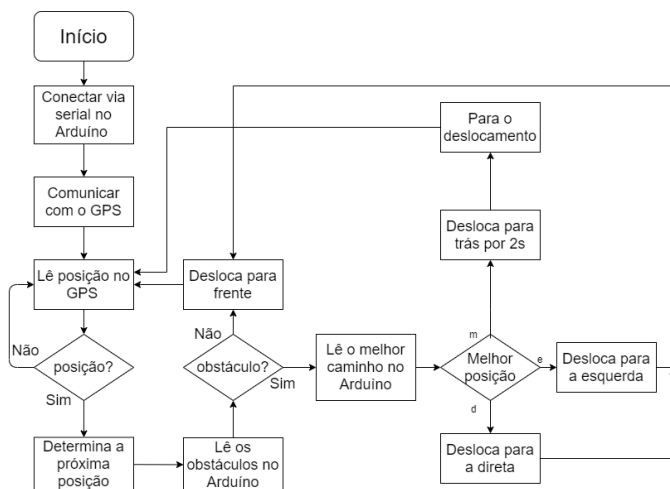


Fig. 7. Fluxograma para Navegação

Foi pesquisado um algoritmo eficaz para implementar a lógica da navegação, sendo este apresentado na próxima subseção.

B. Algoritmo Even-odd rule

A lógica de navegação do *rover* baseia-se em percorrer toda uma área pré-estabelecida e delimitada por quatro geo-posições

formando um polígono. Esta lógica é desempenhada por meio de um algoritmo conhecido como *Even-odd Rule* [11], que tem como principal objetivo encontrar pontos dentro do polígono e ir os percorrendo, de forma que seja possível no fim do processo termos toda a área do polígono percorrida pelo *rover*, assim como é mostrado na Figura 8.

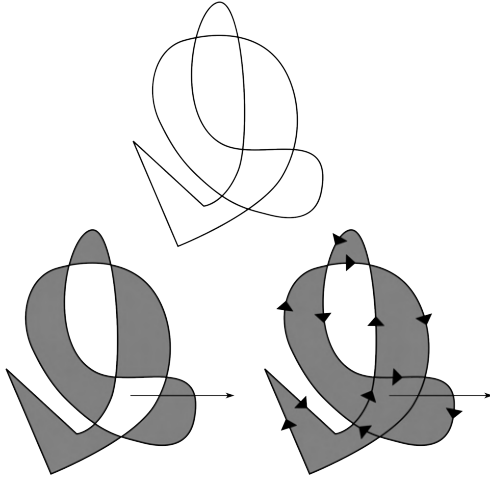


Fig. 8. Algoritmo *Even-odd Rule* preenchendo o polígono delimitado. Fonte: [12]

As quatro geo-posições, contendo coordenadas a cerca do *rover*, são previamente fornecidas ao algoritmo, formando o polígono. Durante todo o percurso, frequentemente são solicitadas ao *GPS* a geo-posição corrente e é analisado se o *rover* ainda se encontra dentro do polígono. Se a coordenada indicar que já está fora do polígono, é disparado um comando para que o *rover* se repositicione e volte para o polígono. Através desta lógica, é possível percorrer toda a área de uma lavoura.

b.1) Fluxograma para Detecção de Obstáculos

Por estar sujeito a um espaço aberto e à condições de geografia e de clima adversas, que poderiam impossibilitar o prosseguimento do *rover*, tais como galhos, pedras ou animais que casualmente passam a frente do veículo, surgiu a necessidade de se desenvolver uma maneira de detectar possíveis obstáculos. Como forma de desenvolvimento de uma estrutura que pudesse realizar tal tarefa, foram utilizados os sensores de distância ultrassônico e o micro servo.

A lógica de detecção de obstáculos é explicada no fluxograma da Figura 9.

O fluxograma da Figura 9, demonstra objetivamente a relação dos sensores e atuadores do projeto. Inicialmente temos o acionamento do sensor de distância, este trecho do código é responsável por fazer a média das 4 leituras de distâncias obtidas pelo *rover* no intervalo de 500 ms, após essa leitura é retornado um booleano que indica se foi encontrado algum obstáculo no raio de 30 cm a frente do *rover*, se for retornado o valor lógico *False*, ou seja, 0, é enviado o comando para que o *rover* acelere, da mesma forma caso seja retornado o valor lógico *True*, ou seja, 1, é enviado o comando para que o micro servo faça um giro de 180 graus, que cobrirá toda a área a frente do *rover*, esta rotação é feita de modo que

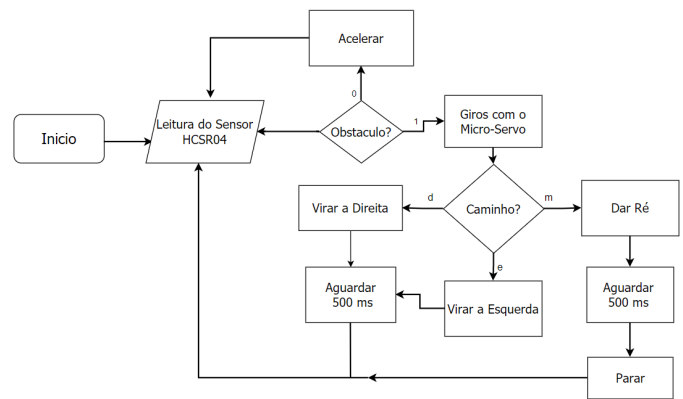


Fig. 9. Fluxograma para detecção dos obstáculos

cubra os extremos, logicamente 0 graus e 180 graus e aguarde-se o intervalo de 500 ms em cada um destes extremos, para que possa ser feito assim o cálculo da distância a esquerda e da distância a direita, o mesmo procedimento é seguido para calcular se a distância central, ou seja, no ângulo de 90 graus, posteriormente a termos computadas as três distâncias é feito o comparativo para que possamos escolher o melhor caminho para o prosseguimento do *rover*, este melhor caminho é retornado como um *char*, caso tenhamos o retorno de um 'e' seguimos esquerda, de um 'd' seguimos a direita, aguardamos o intervalo de 500 ms e depois retornamos à função inicial que calcula a média das distâncias. Em caso de termos o melhor caminho retornado o *char* 'c', é necessário uma intervenção mais categórica, afinal ao que tudo indica este obstáculo cobre quase que toda a extensão de área que está a frente do *rover*, logo é enviado o comando para que o *rover* dê uma ré, aguarde pelo intervalo padrão de 500 ms e cesse seu movimento retornando no mesmo instante a função inicial de leitura da distância com a média de 4 leituras o que dá uma maior precisão na leitura final.

V. TESTES

A validação do *rover* foi realizada numa lavoura de café na Fazenda Coqueiros, localizada na cidade de Três Pontas-MG.

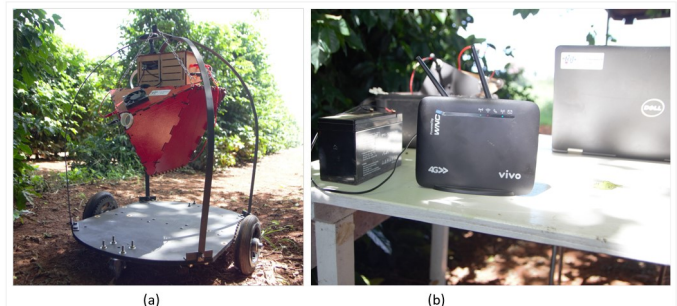


Fig. 10. Preparando os testes do *rover* no cafezal. (a) Armadilha da Broca-do-café instalada; (b) Notebook e modem sem fio (ligado numa bateria portátil)

A Figura 10 mostra a preparação dos testes no cafezal. A armadilha da Broca-do-café [1] foi instalada no *rover* e foram utilizados um notebook e um modem de rede sem fio para prover a infraestrutura para conduzir os testes. Uma rede Wi-Fi [13] foi criada através do modem de rede para conectar o

notebook à placa *Raspberry Pi* do *rover*. Estabeleceu-se então uma conexão remota do notebook ao *Raspberry Pi* do *rover* e assim executava-se os scripts *Python* apropriados.

Nos testes, o *rover* foi posto para percorrer as ruas da lavoura de café e foi submetido a testes de obstáculos para verificar sua reação. Sempre que um obstáculo era detectado, o *rover* parava, analisava os possíveis caminhos livres e prosseguia para a melhor opção, tudo conforme o esperado.

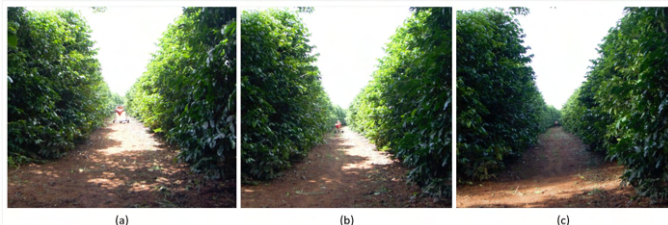


Fig. 11. *Rover* andando pela rua do cafezal em três posições diferentes

A captura da Broca-do-café pela armadilha inteligente foi outro teste realizado. Seguindo a metodologia descrita no artigo original [1], o *rover* percorreu todas as ruas da lavoura e a cada 3 metros era mantido parado por 30 minutos, tempo necessário para atrair a praga. Na Figura 11 é possível observar 3 momentos diferentes na mesma rua onde o *rover* permanecia parado.

VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um *rover* autônomo capaz de se orientar por uma área pré-determinada usando geoposições lidas de um sensor *GPS*. Com a utilização de sensores de distância este também é capaz de identificar possíveis obstáculos, alterando sua rota e evitando danos estruturais.

Foram analisados vários benefícios do uso do *rover*, e concluído que será possível automatizar o processo de captura de pragas no café - conforme descrito no trabalho da armadilha inteligente [1] - com mínima interferência humana.

Durante o processo de desenvolvimento do projeto, surgiram várias ideias para trabalhos futuros, algumas delas estão citadas abaixo:

- Implementação de outros sensores (como o de temperatura e umidade relativa do ar) e assim analisar dados em busca de correlações entre a infestação das pragas e as condições climáticas;
- Instalação de uma placa fotovoltaica para alimentação e recarga de energia das baterias;
- Desenvolvimento de um aplicativo móvel para controlar, programar e monitorar as ações do *rover*;
- Desenvolvimento de um algoritmo capaz de gravar os pontos percorridos e então guiar o *rover* por eles de forma autônoma;
- Concepção de um protocolo para gerenciar a colaboração de múltiplos *rovers* trabalhando numa mesma área ou lavoura. Este protocolo deve ter capacidade de otimizar a distribuição dos *rovers* pela área para minimizar o tempo de cobertura, prever colisões de rotas, ser tolerante a falhas de comunicação.

REFERÊNCIAS

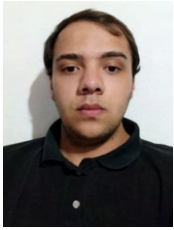
- [1] Vitor Figueiredo, Samuel Mafrá e Joel Rodrigues. “A Proposed IoT Smart Trap using Computer Vision for Sustainable Pest Control in Coffee Culture”. Em: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*. Cuiabá: SBC, 2020, pp. 201–210. DOI: 10.5753/sbcup.2020.11226. URL: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbcup/article/view/11226>.
- [2] Raspberry Pi. *Raspberry Pi 3*. URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/bcm2837/README.md> (acesso em 19/02/2021).
- [3] Arduino. *Documentação de Referência da Linguagem Arduino*. URL: <https://www.arduino.cc/reference/pt/> (acesso em 21/02/2021).
- [4] Chris Liechti. *Welcome to pySerial's documentation*. URL: <https://pythonhosted.org/pyserial/#welcome-to-pyserial-s-documentation> (acesso em 21/02/2021).
- [5] GPST GitLab. *GPST - a GPS service daemon*. URL: <https://gpsd.gitlab.io/gpsd/> (acesso em 20/03/2021).
- [6] Martijn Braam. *GpsResponse Object Information*. URL: <https://github.com/MartijnBraam/gpsd-py3/blob/master/DOCS.md> (acesso em 21/02/2021).
- [7] ElecFreaks. *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04*. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf> (acesso em 18/02/2021).
- [8] Luiz Dworakowski, Ângela Hartmann, Edson Kakuno e Pedro Dorneles. “Uso da plataforma Arduino e do software PLX-DAQ para construção de gráficos de movimento em tempo real”. Em: *Revista Brasileira de Ensino de Física* 38 (set. de 2016). DOI: 10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0009.
- [9] Grove. *Grove IMU 10DOF*. URL: https://wiki.seedstudio.com/Grove-IMU_10DOF/ (acesso em 19/02/2021).
- [10] Diode. *SG90 9 g Micro Servo*. URL: <https://datasheetgo.com/sg90-datasheet-pdf-micro-servo/> (acesso em 19/02/2021).
- [11] Michael Galetzka e Patrick Glauner. “A Simple and Correct Even-Odd Algorithm for the Point-in-Polygon Problem for Complex Polygons”. Em: fev. de 2017. DOI: 10.5220/0006040801750178.
- [12] Wikipedia. *Even-odd rule*. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Even-odd_and_non-zero_winding_fill_rules.png (acesso em 08/03/2021).
- [13] Wi-Fi Alliance. *Wi-Fi CERTIFIED 802.11 ac*. URL: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-ac> (acesso em 13/05/2021).

AUTORES

Flávio Henrique M. Bergamini Graduando Engenharia da Computação no Inatel desde 2018. cursou o Ensino Médio Integrado ao Técnico em Eletrônica e curso modular Técnico em Mecatrônica na Etec João Baptista de Lima Figueiredo (2015-2017). Atuou como estagiário no Inatel Competence Center (2018-2019). É bolsista



de Iniciação Científica no laboratório IoT Research Group. Atua como monitor nas disciplinas de Banco de dados 1 (SQL) e Banco de Dados 2 (NoSQL).



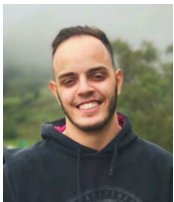
Gabriel Ilian Fonseca Barboza é graduando de Engenharia da Computação no Inatel - Instituto Nacional de Telecomunicações - desde 2019. Atualmente é bolsista de Iniciação Científica no laboratório IoT Research Group. Atua também como monitor nas disciplinas de Física I, Física II e Física III no Inatel. Possui interesse na linguagem Python e é entusiasta em soluções de IoT, visão computacional e geoprocessamento.



Samuel Baraldi Mafra tem pós-Doutorado na Universidade Federal do Paraná (2014-2018). Doutor em Ciências na área de telecomunicações e redes pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2015). Mestre em Engenharia Elétrica com ênfase em telecomunicações pela Universidade Federal do Paraná (2012). Engenheiro Eletricista pela Universidade do Estado de Santa Catarina (2010). Professor e pesquisador do Inatel.



Vitor Alexandre C. Figueiredo estuda mestrado em Telecomunicações com ênfase em IoT e Visão Computacional pelo Inatel (2017-2021). Engenheiro de Computação pela Universidade do Federal de São Carlos/SP (2000). Instrutor e Desenvolvedor Java e Python. Entusiasta de *rovers* autônomos solares e IoT aplicado à agricultura.



Douglas Tavares Martins é graduando em Engenharia de Computação pelo Inatel. É monitor de Matemática, Cálculo I e Cálculo Numérico, Física I e II. Ex-coordenador Geral e atual Conselheiro do Crea-MG Jr - Santa Rita do Sapucaí/MG.

Economia das Coisas com Pagamentos Entre Objetos Utilizando Criptomoeda IOTA

Leandro de Aquino Pereira, Fábio Carli Rodrigues Teixeira, Antônio Marcos Alberti

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

leandropereira@gec.inatel.br, fabio.carli@mtel.inatel.br, alberti@inatel.br

Abstract—This document contains information about the development and implementation of a real application of the Economy of Things concept in an IoT (Internet of Things) environment using the IOTA digital currency. The facilities that such a proposal can generate are not limited to this application, since its potential is great and can be extended to several other sectors of industry and commerce, containing a relatively simple and low cost operation for implementation.

Index Terms—Digital Currency, Economy of Things, IoT, IOTA.

Resumo—Este documento contém informações acerca do desenvolvimento e implementação de uma aplicação real do conceito de Economia das Coisas em um ambiente de IoT (Internet of Things) utilizando a moeda digital IOTA. As facilidades que tal proposta pode gerar não se limita a esta aplicação, visto que seu potencial é grande e pode ser estendido a diversos outros setores da indústria e comércio, contendo um funcionamento relativamente simples e de baixo custo para implementação.

Palavras chave—Economia das Coisas, IoT, IOTA, Moeda Digital.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria das transações financeiras são realizadas utilizando as moedas oficiais dos países, as quais passam por um sistema bancário e são reconhecidas pelos respectivos governos de tal forma que garanta sua segurança em grande parte do processo.

Com a evolução tecnológica, além das diversas possibilidades para realizar tais transações por meios digitais, rapidamente surgiu uma nova e efetiva forma de realizar transações comerciais e que também pode ser utilizada em soluções de Economia das Coisas. A chamada moeda digital não possui seu controle centralizado em governos ou bancos e é uma forma de pagamento revolucionária que, ao longo dos anos, tende a substituir as transações convencionais [1].

Para o desenvolvimento deste trabalho, será utilizado a moeda digital IOTA, sendo assim, serão descritas suas características. Na seção 2 será realizado uma exposição do funcionamento básico da rede Tangle, que é a rede em que as transações são efetivadas. A seção 3 demonstra a integração do protocolo IOTA em uma placa Raspberry Pi 3, desde a instalação do Sistema Operacional (SO) utilizando as bibliotecas necessárias, hardware, etc. A seção 4 apresenta uma análise preliminar do desempenho da solução da solução implementada. Finalmente, na seção 5 conclui o artigo e apresenta possíveis trabalhos futuros.

II. O PROTOCOLO IOTA

A moeda digital IOTA inicialmente aborda duas questões: a escalabilidade e as taxas cobradas pelas transações, que são

problemas decorrentes do uso de Blockchain com PoW (Proof-of-Work – Prova de Trabalho realizada pelos nós da rede para validar e garantir o consenso das transações) [2]. É introduzido um novo conceito: o Tangle [3] [4], que é baseado em um Grafo Acíclico Dirigido (DAG - Directed Acyclic Graph) conforme a Figura 1, com registros distribuídos na rede, sem mineradores e tampouco Blockchain. Como não há taxas de mineração no Tangle, fica mais fácil fazer micro e até nano pagamentos entre dispositivos IoT (Internet of Things), uma das razões da existência desta moeda digital.

Desta forma, a IOTA é uma tecnologia totalmente diferente da maioria das criptomoedas existentes [5], solucionando algumas limitações da Blockchain, tais como as altas taxas de mineração cobradas, o custo energético de manter a rede funcionando e o tempo de geração e confirmação de blocos. Além da grande escalabilidade (e velocidade), e da inexistência de taxas, ela é resistente a ataques por computação quântica e possui estrutura modular e leve, própria para os pequenos dispositivos de IoT. Como não há nós mineradores na IOTA, todos os nós têm igual poder, e a PoW existe em cada uma das transações realizadas, garantindo maior eficiência. Também dispensa a necessidade de backups, pois não há arquivos que possam ser perdidos. Basta que se tenha uma senha guardada de forma segura.

Nas moedas baseadas em Blockchain, quanto mais transações são realizadas, mais caras ficam as tarifas, e mais lenta fica a rede. Transações de pequeníssima monta dificilmente são aceitas pelos nós mineradores. E quando são aceitas, entram em uma fila de processamento muito demorada. Há também a questão da segurança, pois como a Blockchain fica cada vez maior, a carteira ocupa cada vez mais espaço no computador, o que leva o usuário a tentar carteiras leves (light), facilitando ataques. Na IOTA, quanto mais transações ocorrem na rede, mais rápida ela fica, pois a PoW é realizada justamente durante as transações. Como as micro e nano transações serão maioria na IoT, é vantajoso para a rede IOTA fazê-las, pois se beneficiará com isso. Outra característica interessante para a IoT, é que um nó da rede IOTA não necessariamente precisa estar ligado à Internet para ter sincronismo com a rede. Os nós podem estar interligados por diversas formas, inclusive Bluetooth, por exemplo.

O protocolo IOTA foi criado em 2015, na cidade de Berlim, por David Sønstebø, Sergey Ivancheglo, Dominik Schien, e Sergei Popov. É um protocolo criado especialmente para transações entre objetos na IoT [6]. A tecnologia DLT (Distributed Ledger Technology) utilizada na IOTA é o Tangle,

que, de acordo com Popov, permite, além do que já foi citado, que não ocorram forks na IOTA, garantindo uma imutabilidade e maior segurança nas transações. O fork é um tipo de bifurcação, que acontece quando não há um consenso entre os nós da rede. A divergência pode provocar uma bifurcação na cadeia de blocos, e os usuários precisam decidir qual cadeia continuarão seguindo. Todos os nós da rede IOTA são iguais, sem mineradores para censurar a rede. Todos os tokens IOTA já foram emitidos na pré-venda. Existe um total de 2,779,530,230 bilhões de MIOTA (milhões de IOTAs).

Considerando todos estes aspectos, a IOTA Tangle apresenta uma solução interessante de ser avaliada para transações de IoT.

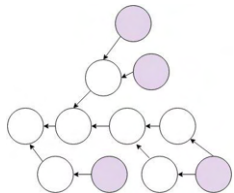


Fig. 1. Directed acyclic graph.

O Tangle é feito de Sites e Nós. Os Sites contêm uma ou algumas transações relacionadas entre si, e os Nós são os usuários IOTA que emitem e recebem as transações. Por via de regra, uma nova transação emitida na rede deve aprovar duas transações mais antigas. E todos os nós da rede são responsáveis por aprovar as transações, o que remove o papel dos mineradores na rede.

A. Gerando consenso na rede

Ao se fazer, por exemplo, uma transferência entre duas carteiras IOTA, um certo temp será necessário para que a rede aceite essa transação como válida e adicione o valor da transação ao saldo da carteira receptora. Para se obter a aprovação da transação pela maioria das transações subsequentes, e assim obter o consenso na rede, há uma forma lógica de processamento das transações no Tangle. Transações distintas possuem pesos distintos no Tangle. Quanto mais produtivo for um Nó da rede, mais peso terão as transações que por ele passarem. E quanto mais aprovações forem recebidas por uma transação, maior também será o peso que ela carrega. Dessa forma, as transações corretas, consideradas válidas, receberão mais atenção dos Nós do que as incorretas (inválidas), uma vez que a transação correta irá ser acelerada no Tangle pelo seu aumento de peso, enquanto que as incorretas ficarão cada vez mais lentas. E à medida em que uma transação for aprovada, com outras transações aprovadas em seu histórico, ela receberá parte do peso dessas outras transações, e assim, quanto mais transações válidas em contato umas com as outras, mais elas serão aceleradas no Tangle.

Essa ponderação que o Tangle promove nas transações é fundamental, não só para gerenciar o rendimento da rede, mas também para evitar, ou minimizar, os ataques de spam, ou de outros ataques diretos ao mecanismo de produção da rede. Sistemas com pesos iguais nas transações podem ser mais facilmente manipulados por ataques de spam. Como a rede IOTA concentra-se nas transações válidas, a capacidade

dos Nós de processar transações de um cenário específico fica limitada, mantendo a segurança.

III. PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO

A proposta de integração física da rede IOTA com um dispositivo Raspberry Pi 3 aqui apresentada, consiste em monitorar o saldo da carteira IOTA receptora da transação e, a partir da diferença de saldo após a transferência, acionar funções de tratamento em uma horta comunitária por um tempo proporcional à quantidade de IOTAs transferida, sendo assim, adotando o princípio de Economia das Coisas. A placa Raspberry Pi 3, vista na Figura 2, é a base de hardware deste sistema, e deverá estar equipada com um cartão SD compatível. Para esta proposta, foi utilizado um cartão SD de 8 GB. O sistema operacional a ser utilizado é a distribuição Linux Raspbian, que é o Sistema Operacional oficial da Fundação Raspberry. As instruções de instalação estão detalhadas no site da Fundação [7]. A linguagem Python, a ser utilizada, já está pré-instalada no Raspbian.



Fig. 2. Raspberry Pi 3.

Para que se tenha acesso ao Tangle da IOTA, é necessário que se instale a biblioteca API PyOTA, que está disponível no GitHub [8].

O sistema desenvolvido poderá acionar quaisquer tipos de carga em benefício da horta por meio de relés, uma vez que os pinos de saída do Raspberry possuem tensão de 5 [V] e baixa corrente. Com isso, podemos obter o acionamento, por exemplo, de um sistema de irrigação e iluminação. Já para obter dados referentes a horta, serão utilizados somente sensores de umidade em um primeiro momento. A Figura 3, logo a seguir, demonstra o circuito comparador do sensor utilizado.

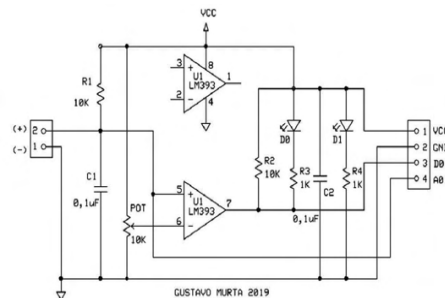


Fig. 3. Circuito comparador do sensor de umidade.

A. Fluxograma

Para melhor assimilar o desenvolvimento do código da aplicação, se faz necessário a visualização da sequência lógica implementada, conforme o fluxograma visto na Figura 4.

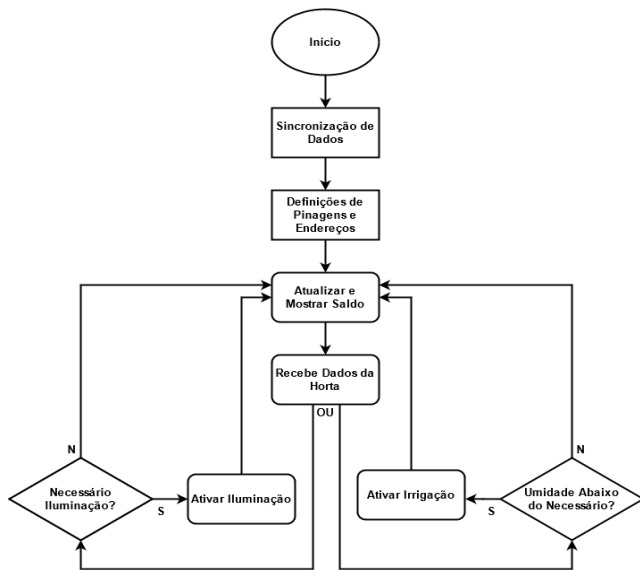


Fig. 4. Sequência lógica de funcionamento do sistema.

B. Código Implementado

Abaixo consta o código desenvolvido e utilizado na implementação do sistema:

```

import time
import datetime
from datetime import datetime, timedelta
print(f"Data e hora
↳ atuais:{datetime.now()}")

import RPi.GPIO as GPIO

from iotat import Iota
from iotat import Address

import csv

SENSOR_1 = 21
SENSOR_2 = 20
SENSOR_3 = 16
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(SENSOR_1, GPIO.IN)
GPIO.setup(SENSOR_2, GPIO.IN)
GPIO.setup(SENSOR_3, GPIO.IN)

RELE_LUZ = 18
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(RELE_LUZ, GPIO.OUT)
GPIO.output(RELE_LUZ, GPIO.LOW)

RELE_AGUA = 24
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setup(RELE_AGUA, GPIO.OUT)
GPIO.output(RELE_AGUA, GPIO.LOW)

```

```

TEMPO_LUZ = input("Quanto tempo (em
↳ segundos) a iluminação deverá ficar
↳ acesa?")

```

```

def checarUmidade():
    if GPIO.input(SENSOR_1):
        print("Sensor de solo 1: seco")
        resultado_coleta_1 = "solo seco"
    else:
        print("Sensor de solo 1: úmido")
        resultado_coleta_1 = "solo umido"

```

```

if GPIO.input(SENSOR_2):
    print("Sensor de solo 2: seco")
    resultado_coleta_2 = "solo seco"
else:
    print("Sensor de solo 2: úmido")
    resultado_coleta_2 = "solo umido"

```

```

if GPIO.input(SENSOR_3):
    print("Sensor de solo 3: seco")
    resultado_coleta_3 = "solo seco"
else:
    print("Sensor de solo 3: úmido")
    resultado_coleta_3 = "solo umido"

```

```

if GPIO.input(SENSOR_1) or
↳ GPIO.input(SENSOR_2) or
↳ GPIO.input(SENSOR_3):
    return False
else:
    return True

```

```

def checarSaldo():
    print("Verificando se há novos fundos
↳ na carteira")
    saldoverificado =
↳ api.get_balances(address)
    balanço = saldoverificado['balances']
    return (balanço[0])

```

```

iotatNode =
↳ 'https://nodes.thetangle.org:443'

```

```

api = Iota(iotatNode, '')

```

```

address = [Address(
b'SZGSOHZTHSXHDKWXLSWNMJX9WFHZQZIRXW9QIRKNSYFOZCEP
)]

```



```

saldoatual = checarSaldo()
print('O saldo atual da carteira
↳ é',saldoatual, 'iotas')
ultimosaldo = saldoatual

saldocarga = 0
contador = 0
statuscarga = False
statusluz = False
auxiliar_luz = int(TEMPO_LUZ)

while True:

    if contador == 5:
        saldoatual = checarSaldo()
        if saldoatual > ultimosaldo:
            saldocarga = saldocarga +
            ↳ (saldoatual - ultimosaldo)
            print('Houve uma nova entrada
            ↳ de:',
            saldoatual - ultimosaldo,
            'iotas. O saldo atual agora é
            ↳ de:',
            saldoatual, 'iotas')
            ultimosaldo = saldoatual
            contador = 0

    if saldocarga > 0:

        if auxiliar_luz > 0:
            if statusluz == False:
                print("Iluminação acesa")
                GPIO.output(RELE_LUZ,
                ↳ GPIO.HIGH)
                statusluz = True
                auxiliar_luz = auxiliar_luz -
                ↳ 1
            else:
                if statusluz == True:
                    print("Iluminação
                    ↳ apagada")
                    GPIO.output(RELE_LUZ,
                    ↳ GPIO.LOW)
                    statusluz = False

        statuscarga = checarUmidade()
        if statuscarga == False:
            print("Irrigação Ligada")

            ↳ GPIO.output(RELE_AGUA, GPIO.HIGH)
            statuscarga = True
        else:
            print("Não é necessário
            ↳ irrigar")

            ↳ GPIO.output(RELE_AGUA, GPIO.LOW)
            statuscarga = False

```

```

saldocarga = saldocarga - 1
else:
    print("Favor colocar saldo na
    ↳ carteira para o funcionamento
    ↳ da horta")
    GPIO.output(RELE_LUZ, GPIO.LOW)
    statusluz = False

    print(timedelta(seconds=saldocarga))

    contador = contador + 1

    time.sleep(1)

```

IV. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DE DESEMPENHO

O código, anteriormente demonstrado, inicialmente carrega a data e hora, determina a pinagem a ser utilizada do Raspberry, e carrega a biblioteca PyOTA. GPIO (General Purpose Input/Output), conforme visto no código, é o termo utilizado para o controle de todo pino que possui as funcionalidades gerais de entrada e saída e não possui atribuições dedicadas. Uma função de verificação do saldo da carteira é implementada no código, e será utilizada para as consultas de saldo feitas enquanto o código estiver rodando. Junto com a rotina de verificação de saldo na carteira IOTA, o Raspberry recebe dados referentes a umidade do solo permitindo uma tomada de decisão com base no saldo e no valor que será gasto. A partir desta tomada de decisão, o algoritmo pode acionar ou não a irrigação das plantas, permitindo um solo sempre adequado para o bom desenvolvimento da horta. A Figura 5 e 6 demonstra o experimento em funcionamento.



Fig. 5. Horta. Visão geral.

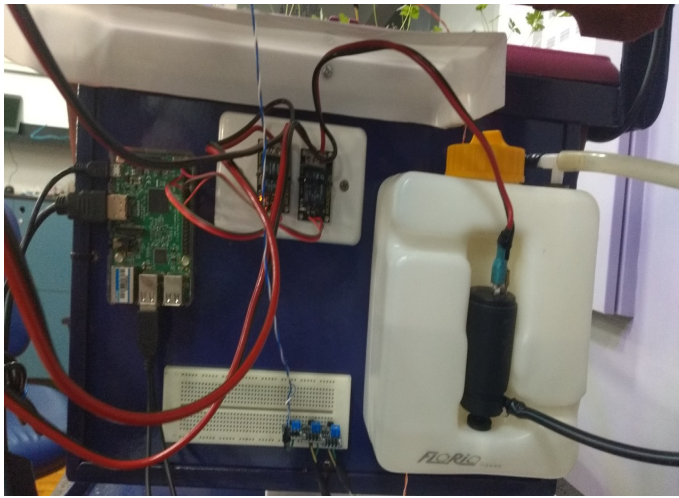


Fig. 6. Horta. Circuito.

V. CONCLUSÃO

Este documento demonstrou uma aplicação real de pagamentos em moeda digital IOTA, que pode perfeitamente ser utilizado em pequeníssimos dispositivos de IoT, a custo baixo, e também com pouco consumo de energia. Codificações mais robustas e hardwares mais sofisticados podem ser implementados, a partir desta ideia inicial, para atingir objetivos maiores a fim de obter mais parâmetros e controles sobre esta horta e, até mesmo, se estender a hortas de maior escala. Um outro desenvolvimento importante, que pode ser considerado como uma futura sequência deste trabalho, é a elaboração de uma front-end para usuários desta horta, afim de obter todos os parâmetros via aplicativo, podendo também conter análises preditivas destes parâmetros via algoritmos de Inteligência Artificial.

REFERÊNCIAS

- [1] R.J. Vicente. “A Criptomoeda como método alternativo para realizar transações financeiras”. Em: *Revista Maiêutica, Indaial* 2 (2017), pp. 85–94. ISSN: 2525-8397.
- [2] A. Biryukov I. Pustogarov. “Proof-of-work as anonymous micropayment: Rewarding a Tor relay”. Em: *In International Conference on Financial Cryptography and Data Security* (2015), pp. 445–455.
- [3] S. Popov. *The Tangle*. URL: https://iota.org/IOTA_Whitepaper (acesso em 01/08/2020).
- [4] O. Saa P. Finardi S. Popov. “Equilibria in the Tangle”. Em: *Computers Industrial Engineering* 136 (2019), pp. 160–172.
- [5] M. Divya N. B. Biradar. “IOTA-Next Generation Blockchain.” Em: *International Journal of Engineering and Computer Science* 7(4) (2018). ISSN: 23823-23826.
- [6] J. Hu. *IOTA Tangle: Introductory overview of White paper for Beginners*. URL: <https://medium.com> (acesso em 06/07/2020).
- [7] *Raspberrypi*. URL: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> (acesso em 18/07/2020).
- [8] *GitHub*. URL: <https://github.com/iotaledger/iota.py> (acesso em 14/08/2020).

AUTORES



Leandro de Aquino Pereira Graduando em Engenharia de Computação pelo INATEL (Instituto Nacional de Telecomunicações). Já atuou como monitor das disciplinas de Eletrônica Digital e Desenho Técnico em todos os cursos de graduação do INATEL. Atualmente é estagiário de Desenvolvimento de Software na Ericsson Telecomunicações. Possui experiência e interesse nas áreas de Engenharia de Desenvolvimento de Software, Realidade Aumentada e Computação Gráfica.



Fábio Carli Rodrigues Teixeira Gradou-se Técnico em Eletrônica pela Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa - ETE FMC, em 1984. É Engenheiro Eletricista, ênfases Telecomunicações e Eletrônica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, 1990. Especialista em Telecomunicações pela Universidade de Brasília - UnB, 1996. Especialista em Docência do Ensino Superior pelo Centro de Ensino Superior em Gestão, Tecnologia e Educação - FAI, 2014. Atuou como Instrutor, Engenheiro e Coordenador de Implantação de Redes na TELES P / TELEFÔNICA. Foi Professor Substituto das cátedras de Comunicações Ópticas e Multiplexação Digital na UNIFEI. Foi Professor Assistente de Comunicações Ópticas, Redes de Computadores, e Física na UNITAU. Atualmente é Professor de Análise de Circuitos e de Redes de Telecomunicações na ETE FMC, onde também é Coordenador de Projetos Pedagógicos, e mestrando no INATEL, na área de Telecomunicações. Áreas de interesse: Internet das Coisas, Criptomoedas, Análise de Desempenho de Redes.



Antônio Marcos Alberti Formou em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil, em 1986, e fez o M.Sc. e Ph.D. em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP, Brasil, em 1998 e 2003, respectivamente. Em fevereiro de 2004, ele se juntou Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL) como professor adjunto. Foi pesquisador visitante no Departamento de Internet do Futuro do ETRI, na Coreia do Sul, entre março de 2012 até fevereiro de 2013. Ele é coordenador do ICT Lab e arquiteto-chefe do projeto arquitetura convergente NovaGenesis. Seus interesses atuais incluem Internet do Futuro, Redes de Rádios Cognitivos, Internet das Coisas e Análise de Desempenho de Redes.

Sistema de Monitoramento de Energia em Tempo Real Usando IoT

Natan Luiz Cavasin, Kleyton Hoffmann

Universidade do Oeste de Santa Catarina - Unoesc

natancavasin@hotmail.com, kleyton.hoffmann@unoesc.edu.br

Abstract—This work consists of the development of a computational system in real-time, to monitor the consumption of electricity, using Internet of Things concepts and architectures. In this way, we sought to create a system that would make it possible to connect the energy meters and send their data to a cloud server. The embedded system was developed using the ESP32 microcontroller, which sends data collected over the Wi-Fi network to the Cloud Firestore and is viewed through a Web application. With that, it was possible to develop a system capable of maintaining the data measured by electricity meters, with the creation of a cloud database and showing the data to the user simply and practically. Thus, it is concluded that the developed system is added to the processes of management and monitoring of energy consumption, allowing the real-time monitoring of the electrical network.

Index Terms—Energy monitoring, Firebase, IoT, Modbus.

Resumo—Esse trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema computacional em tempo real, com o objetivo de monitorar o consumo de energia elétrica, utilizando conceitos e arquiteturas de Internet das Coisas. Deste modo, buscou-se criar um sistema que possibilita conectar os medidores de energia e enviar seus dados para a nuvem. O sistema embarcado foi desenvolvido utilizando o microcontrolador ESP32, que envia os dados coletados via rede Wi-Fi para o Cloud Firestore e são visualizados através de uma aplicação Web. Como resultado obteve-se o desenvolvimento de um sistema capaz de manter os dados mensurados por medidores de energia elétrica, com a criação de um banco de dados em nuvem e apresentá-los ao usuário de forma simples e prática. Desta forma, conclui-se que o sistema desenvolvido, agrega nos processos de gerenciamento e monitoramento do consumo de energia, possibilitando o acompanhamento em tempo real da rede elétrica.

Palavras chave—Firebase, IoT, Modbus, Monitoramento de energia.

I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um dos pilares fundamentais da constante evolução da sociedade, o que resulta em uma crescente dependência deste recurso. Devido a isso, é crucial que seu consumo seja de maneira controlada e eficiente, uma vez que quanto maior for a demanda maior deve ser a capacidade de fornecimento das centrais de distribuição e em muitos casos se torna necessário recorrer a usinas que causam um grande impacto para o meio ambiente na geração de energia.

O monitoramento do consumo de energia, torna-se essencial quando se busca maneiras de melhorar a eficiência energética. Medidores instalados nas subestações de energia possibilitam controlar e medir a entrada e saída de cargas na rede elétrica, impedindo assim que a quantidade de energia consumida ultrapasse a demanda contratada. Todavia, para que os dados coletados possam ser utilizados nas tomadas de decisões,

estes devem ser processados e compartilhados com diferentes tecnologias que auxiliam em todo o processo [1].

De modo a promover a integração entre os monitores de energia com sistemas computacionais diversas tecnologias são envolvidas. Para isso, necessita-se de *hardware* específicos para fazer o monitoramento e a coleta de dados, dispositivos que permitem a comunicação entre a origem dos dados e seu destino final, assim como do desenvolvimento de *software* capazes de fazer o processamento e a análise dos valores coletados, auxiliando as tomadas de decisões, além de técnicas de armazenamento em bancos de dados [2].

Um dos desafios principais é conectar uma estrutura já implementada na Internet quando não se pensou neste recurso em sua fase de projeto, uma vez que a instalação pode ser antiga ou não se teve essa necessidade quando foi construída. Existem diversas maneiras de conectar multimedidores na rede e acessar seus dados, estes equipamentos podem ser conectados diretamente a um computador, através de uma rede RS485, onde este por sua vez envia os dados a um servidor, como descreve o trabalho feito por Jorge [3].

Por outro lado Maestrelli e Napoleão [4], trouxeram uma abordagem diferente para a implementação de um sistema de monitoramento, sendo este dedicado para uso residencial, utilizando um microcontrolador ESP32, responsável por realizar a coleta dos dados de sensores e envia-los para o servidor utilizando uma rede *Wi-Fi*, os dados são visualizados através de uma aplicação Web e são armazenados em um banco de dados relacional MySQL.

O sistema proposto por Singh e Verma [5], traz uma abordagem semelhante ao anterior, utilizando um microcontrolador para se conectar nos dispositivos, entretanto ele aborda a utilização de um banco de dados não relacional, integrando o sistema com a plataforma do Firebase.

O objetivo principal deste projeto, é desenvolver um sistema computacional para monitorar o consumo de energia elétrica em tempo real, utilizado IoT (*Internet of Things*). Este sistema será implementado na Unoesc (Universidade do Oeste de Santa Catarina) de Joaçaba - SC, onde esta já dispõe de multimedidores instalados na subestação de energia, os quais realizam a medição do consumo de energia elétrica da instituição, bem como, coletam valores referentes a tensão, corrente, frequência e outras grandezas elétricas. Contudo, estes valores somente estão disponíveis nos equipamentos instalados na subestação, ou seja, quando necessita-se de alguma informação, torna-se necessária a leitura local e, por conseguinte, o processo de gerenciamento e análise destas informações se torna ineficiente.

Com o objetivo de reduzir os gastos do consumo de energia, a Instituição implementará uma usina fotovoltaica, que ficará localizada no bloco 08 do *campus II* da Universidade, de modo que, esta usina também demandará de um sistema para fazer o gerenciamento do consumo de energia e das demais grandezas elétricas medidas pelos multimetros instalados, além disto este sistema será utilizado também para validar a metodologia de projeto utilizada na usina, bem como seu dimensionamento.

Deste modo, o desenvolvimento de uma aplicação IoT para coletar os dados dos multimetros é crucial, principalmente porque pode gerir não só o multimetro que já está localizado na subestação de energia da Unoesc, bem como os que serão instalados na usina fotovoltaica a ser construída. Em virtude disso, será possível acompanhar em tempo real o consumo de energia elétrica e outras grandezas, como: potência, tensão e corrente, além de permitir monitorar a geração de energia da usina.

Para permitir uma melhor compreensão do tema e do sistema proposto, o trabalho foi organizado da seguinte forma: na Seção II é apresentado a metodologia seguida na construção do sistema; A Seção III apresenta os resultados obtidos, conforme a metodologia seguida; Por fim, na Seção IV a conclusão do trabalho.

II. METODOLOGIA

Nesta Seção, são descritos os materiais e métodos utilizados para desenvolver o sistema computacional de monitoramento, o qual é responsável por coletar os dados dos multimetros e enviá-los para um banco de dados utilizando uma infraestrutura IoT. Estes dados são apresentados de forma gráfica ao usuário através de uma aplicação Web desenvolvida.

A. Visão geral do sistema computacional

O projeto será instalado no *campus II* da Unoesc de Joaçaba, cujo diagrama geral está ilustrado na Figura 1. Nele pode-se observar toda a estrutura envolvida para a construção do projeto, bem como a localização de cada componente nos blocos do *campus* da Universidade.

No Bloco 06, localiza-se a subestação de energia. Esta subestação é responsável por distribuir a energia para o Bloco 08, onde será instalada uma Usina Fotovoltaica. Será utilizado dois módulos ESP32 para coletar os dados, em virtude da distância entre os Blocos, o que dificultaria a criação de uma rede com três multimetros.

Inicialmente os módulos ESP32 enviam a requisição Modbus RTU (Remote Terminal Unit) para o multimetro, informando o endereço dos dados de interesse, o multimetro por sua vez processa esta requisição e retorna os dados solicitados.

Através da rede Wi-Fi o ESP32 envia os dados para uma API REST (Representational State Transfer), utilizando o protocolo HTTP (Hypertext Transfer Protocol), a API (Application Programming Interface) então faz os destino correto dos dados, conforme a URL da requisição, gravando os dados no banco e retornando para o microcontrolador o código de estado. A aplicação Web, implementa os *listeners* disponibilizados pelo Cloud Firestore (banco de dados utilizado) e apresenta os dados para o usuário.

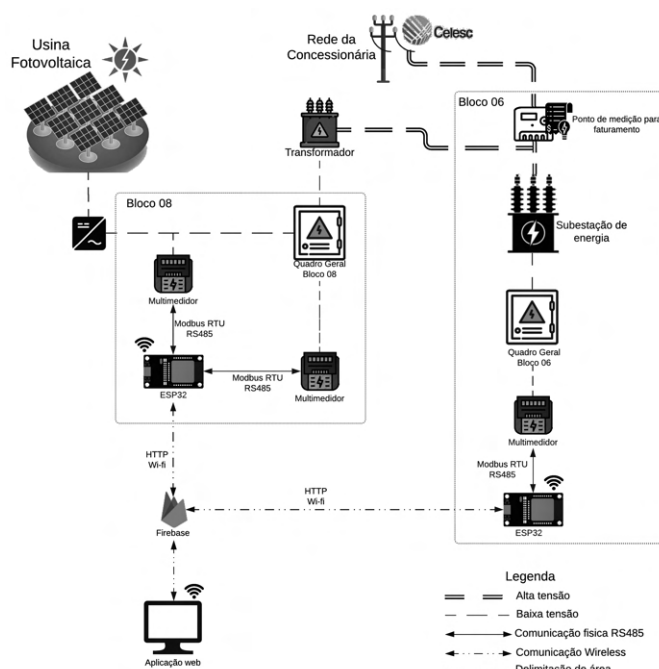


Fig. 1. Diagrama geral do projeto.

B. Análise e projeto do sistema supervisorio

O *software* supervisorio tem como função principal permitir o usuário visualizar e filtrar os dados lidos pelo sistema embarcado, para isto elencou-se os seguintes requisitos funcionais:

- Possibilitar a visualização dos valores de tensão, corrente, frequência, potência ativa, potência reativa e energia reativa lidos pelo sistema embarcado.
- Permitir que o usuário visualize o histórico dos valores referentes ao consumo de energia, tanto em uma tabela como em um formato gráfico.
- Ter a possibilidade de selecionar o dispositivo que fez a leitura dos dados.
- Realizar a filtragem dos dados do consumo em kWh conforme o período selecionado.
- Exportar os dados filtrados para um arquivo PDF (*Portable Document Format*) e *.csv* (*comma-separated-values*).

Deste modo para atender estas funcionalidades uma aplicação Web é proposta, esta foi programada utilizando o *framework* Angular como tecnologia para a construção do *front-end*, juntamente com o *Angular Material* e o *Bootstrap* para o desenvolvimento e personalização da interface com o usuário, uma vez que a segunda ferramenta possui recursos para tornar o sistema responsivo. Para o *back-end* e banco de dados, é utilizado os recursos disponibilizados pelo Firebase, permitindo assim a hospedagem da aplicação na plataforma. Como o sistema será utilizado pela equipe de manutenção e por engenheiros eletricitistas, pode-se utilizar palavras e nomenclaturas técnicas no desenvolvimento da interface da aplicação.

C. Banco de Dados

Os dados coletados dos monitores, trazem uma grande quantidade de informações no que diz respeito ao consumo de energia. Entretanto, para que seja possível estabelecer um histórico destes valores, bem como consultá-los no futuro,

torna-se necessária a persistência destes em um banco de dados. Deste modo, foi utilizando o *Cloud Firestore*, que é uma das soluções de armazenamento do Firebase [6], uma vez que este sistema atende as necessidades do projeto.

Ao analisar o problema, identificou-se que os dados partem sempre da mesma origem, que no caso é o microcontrolador ESP32. Deste modo, uma única coleção foi necessária para armazenar as informações, contendo esta seus campos e uma subcoleção de dados, para o registro dos multimedidores ligados ao ESP32, esta por sua vez, possui outras duas subcoleções, uma para o consumo em kWh e outra para as demais grandezas medidas.

A subcoleção *consumo_kWh* possui dois campos, um para o registro do consumo, sendo este do tipo *number* e outro para o registro da data e hora que foi realizado a coleta dos valores, do tipo *timestamp*. Sempre que um novo documento for criado nesta coleção, este não poderá ser alterado, a fim de manter a integridade dos dados.

A subcoleção *grandezasMedidas* possui seis campos, de modo a armazenar as principais grandezas elétricas mensuradas pelo multimedidor. Sendo assim, identificou-se um campo para o registro da corrente, uma para a tensão, um para a frequência, outro para a potência ativa, um para a potência reativa e o último para a energia reativa, onde todos são do tipo *number*. Como o objetivo é somente manter um histórico do consumo de energia, determinou-se que somente será criado um documento para esta coleção e então os dados serão atualizados conforme forem sendo enviados ao banco.

D. Construção do Sistema Supervisório

A facilidade de interação do Angular com o Firebase, foi outro fator que contribuiu na escolha desta tecnologia para a programação do sistema supervisório, além de possuir diversos recursos que facilitam a criação de serviços, componentes, diretivas, classes, *pipes*, dentre outros mecanismos [7].

Para a criação das páginas Web, utilizou-se o recurso de componentização do Angular, transformando conjuntos de componentes em um único módulo. Pois, além de permitir o reaproveitamento de código, possibilita uma melhor integração dos componentes, enxugando a quantidade de linhas de comando em cada página e facilitando a manutenção do sistema. Elementos como os gráficos e as tabelas, partem todos de um único componente, apenas é passado como parâmetro as características que cada elemento precisa ter na página que foi implementado.

E. Integração com o Firebase

Para integrar a aplicação com o Firebase, utilizou-se o *AngularFire*, cujo este é um módulo oficial para se trabalhar em aplicações Angular. Essa biblioteca fornece todos os métodos necessários para a criação do CRUD (*Create, Read, Update e Delete*), tornando o ambiente de integração entre as duas tecnologias mais natural para projetos desenvolvidos em Angular.

As consultas realizadas, podem ser filtradas e ordenadas, mas não agrupadas, tendo estas como retorno o tipo *Observable<Array[]>*. Um “*Observable*”, pode ser entendido com uma coleção unidirecional, que envia notificações sempre que um dos seus componentes sofre alguma alteração, o

“*Array[]*” é o conjunto de dados que retornou da consulta. Deste modo, torna-se possível criar tabelas e gráficos em tempo real, sem a necessidade de atualizar a página.

F. Desenvolvimento da API REST

Como optou-se por utilizar o *Cloud Firestore* para armazenamento dos dados, foi necessário utilizar o *Cloud Functions* do Firebase e desenvolver uma API REST, baseada em um estudo levantado por Nguyen [8]. Para isto, as seguintes etapas foram realizadas:

- **Etapas 1:** Inicializou-se o *Firebase Hosting and Function* e configurou-se o projeto. Foi necessário realizar a hospedagem para que se torna-se possível possuir uma URL (*Uniform Resource Locator*) da aplicação, que será utilizada para a comunicação do sistema embarcado com a base de dados.
- **Etapas 2:** Instalou-se as dependências do pacote de recursos auxiliares do *Cloud Functions*, executando o seguinte comando na pasta *functions* criada: `npm install --save express body-parser firebase-functions-helper`.
- **Etapas 3:** Codificou-se as funções de integração e manipulação do banco de dados e os métodos responsáveis por receber e interpretar as requisições HTTP enviadas do ESP32 e realizar as devidas operações, se a requisição for do tipo *POST*, então será criado um novo documento da coleção *consumo_kWh* e caso seja do tipo *PATCH*, será feita uma atualização dos campos pertencentes ao documento da coleção *grandezasMedidas*.
- **Etapas 4:** Definiu-se a URL que será utilizada quando se deseja ativar uma das funções escritas na API.
- **Etapas 5:** Por fim, para permitir que estas funções sejam acessadas pelo ESP32, foi realizado a implantação de todos os arquivos no servidor do Firebase.

Para o envio dos dados ao *Cloud Firestore*, foi necessário utilizar a URL gerada na etapa 5, e complementa-la com o caminho definido nas etapas 3 e 4 e com caminho do documento correspondente na base de dados: [URL da aplicação]/[caminho complementar]/[caminho do documento].

G. Desenvolvimento do sistema embarcado

De modo a atender as necessidades do projeto, o sistema embarcado deve ter a capacidade de se conectar a uma rede *Wi-Fi*, conseguir interpretar as mensagens do Modbus RTU e deve suportar o protocolo HTTP, bem como documentos JSON (*JavaScript Object Notation*). Em virtude disto, para o desenvolvimento do mesmo, optou-se por utilizar o microcontrolador ESP32 [9], uma vez que este tem capacidade computacional para suprir todas as necessidades encontradas.

Como o ESP32 possui um processador *Dual Core (Core 0 e Core 1)*, foi utilizado a programação multicore, distribuindo as tarefas entre os dois núcleos. O *Core 0*, é responsável por manter a conexão *Wi-Fi*, reconectando o dispositivo em caso de queda da mesma e por atualizar o relógio, enviando a solicitação para o servidor NTP (*Network Time Protocol*), ambas as tarefas possuem a mesma prioridade e executam paralelamente. O *Core 1*, por sua vez, é responsável por enviar

as requisições Modbus para o(s) multimetro(es) associado(s) e enviar os dados para a API REST.

Quando o ESP32 é inicializado a primeira tarefa a ser executada é a conexão com a rede Wi-Fi e em seguida o relógio interno é configurado utilizando o NTP, por fim, os parâmetros da rede Modbus RTU são definidos, estabelecendo a conexão com os escravos.

Por padrão, assim que todos os parâmetros anteriores forem configurados, é enviado a primeira carga de dados ao banco, contendo os dados do Consumo kWh e das demais grandezas medidas, a fim de verificar se todo o sistema está se comunicando corretamente. Após isto é avaliado as seguintes condições:

- 1) Verifica se completou uma hora desde o último envio do Consumo kWh e então o *frame* RTU responsável por realizar a leitura do consumo em kWh é enviado, avalia-se se os dados foram recebidos corretamente, caso afirmativo é montada a requisição HTTP do tipo *POST* e enviada. Em caso de erro, é realizada uma nova tentativa de envio dos dados.
- 2) Verifica se completou 15 minutos desde o último envio dos dados das demais grandezas elétricas (corrente, tensão, frequência, potência ativa, potência reativa e energia reativa), e então o *frame* RTU responsável por realizar a leitura destas grandezas é enviado. Caso os dados forem lidos com sucesso, envia-se os mesmos através de uma requisição HTTP do tipo *PATCH*, avalia-se então o código de retorno da requisição. Em caso de erro, é realizado uma nova tentativa de envio dos dados.

H. Comunicação entre o ESP32 e os multimetros

Os multimetros utilizam o protocolo Modbus RTU juntamente com a interface RS485 [10], para encapsular e enviar os dados através do canal de comunicação. O Modbus RTU, implementa a arquitetura mestre/escravo e no formato RTU, cada *byte* é constituído de dois caracteres de 4 bits em hexadecimal, onde o primeiro é representado pelos quatro *bits* mais significativos, e o segundo pelos quatro *bits* menos significativos. A mensagem a ser transmitida é colocado em um *frame*, cujo este possui delimitadores de início e fim de pacote, permitindo que seja possível identificar qual dispositivo que está sendo endereçado e quando uma mensagem está completa [11].

Na comunicação o ESP32 sempre atuará como mestre da rede e os multimetros como escravos em ambos os casos. Em virtude de que, estes são pré configurados para enviar dados conforme o necessário.

O microcontrolador envia as informações através dos Pinos Tx e Rx, associados a *Serial 0*, para um conversor RS485 - TTL (*Transistor-transistor logic*), onde este por sua vez, é responsável por transformar os dados do padrão UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) para o RS485 e vice-versa. Deste modo o ESP32 tem conhecimento apenas do padrão UART, o que diminuiu a perda de pacotes causadas pelos problemas na conversão dos dados, quando utilizado somente o MAX485. Além disto, não foi necessário fazer a conversão de nível lógico para a tensão de operação do ESP32. O esquemático da comunicação pode ser observado

na Figura 2, de modo que, para o caso do Bloco 06, basta apenas retirar um multimetro da rede.

O ESP32 foi configurado para ler os dados do multimetro MULT-K *Plus* da KRON. Onde este possui registradores com tamanho de palavra de 16 bits, tornando necessário a leitura de dois registradores para compor o valor lido, uma vez que o tipo de retorno dos dados é o *FLOAT IEEE 32-bit*. Para a utilização do sistema embarcado em outro modelo de multimetro, basta apenas alterar os valores dos registradores responsáveis por armazenar os dados.

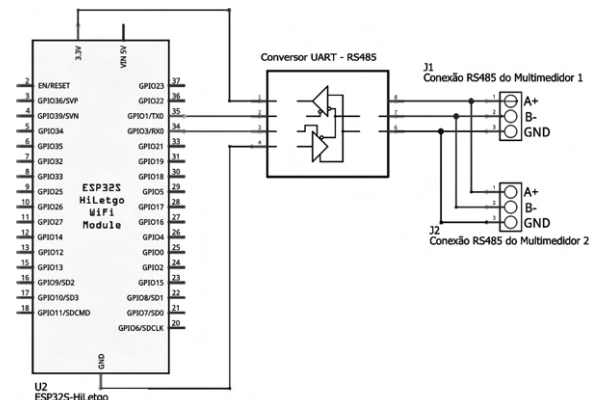


Fig. 2. Esquemático da ligação do ESP32 com os multimetros.

Para o envio dos *frames* RTU, utilizou-se a biblioteca *ModbusMaster.h*, a qual facilitou a criação dos pacotes de dados. Como o multimetro segue o padrão universal do Modbus, utilizou-se a função *readInputRegisters(address, size)* da biblioteca, passando como parâmetro o endereço do dado e a quantidade de registradores a serem lidos. A função tem como retorno um código, que pode possuir os seguintes valores:

- 0x00 - *Success*;
- 0xE0 - *Invalid Slave ID*;
- 0xE1 - *Invalid Function*;
- 0xE2 - *Response Timed Out*;
- 0xE3 - *Invalid CRC*;

Deste modo, analisando o código de retorno da função, foi possível identificar quando um requisição não recebia uma resposta correta e ainda ter conhecimento do erro gerado.

I. Comunicação do ESP32 com a API REST

O envio de dados para a API REST desenvolvida é através do protocolo HTTP e para que seja possível montar as requisições no ESP32, foi necessário incluir as bibliotecas *HTTPClient.h* e a *ArduinoJson.h*, onde esta última permite a criação de documentos no formato JSON, o qual é incorporado na requisição HTTP contendo os dados dos valores medidos. Deste modo, foi necessário montar duas solicitações, uma do tipo *POST* e outra do tipo *PATCH*. Em ambas as requisições verifica-se o código de retorno e em caso de erro este é tratado e a requisição é reinviada.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta Seção é destinada para apresentar os resultados obtidos com as tecnologias utilizadas para a construção do sistema proposto, demonstrando seu funcionamento conforme a metodologia apresentada na Seção anterior.

A. Comunicação entre o ESP32 e os multimedidores

Na Figura 3 é apresentado o protótipo de *hardware* desenvolvido, tendo este suporte para duas formas de comunicação entre o ESP32 e o multimetido distintas, ambas implementando o padrão RS485 no canal, entretanto com conversores diferentes (devido as limitações do padrão UART, estes não podem funcionar simultaneamente). A placa ainda conta com dois LED's (*light-emitting diode*) indicativos, um para os sinais enviados no canal de transmissão (Tx) da UART, e outro para o canal de recepção (Rx).

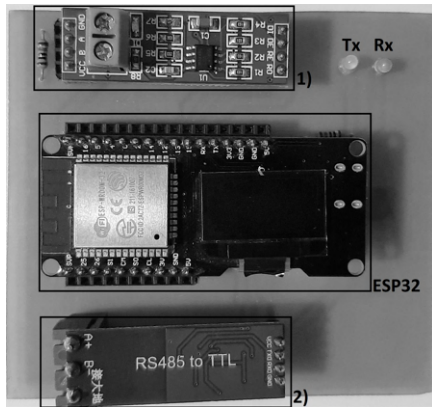


Fig. 3. Protótipo de *hardware*.

No primeiro caso (dispositivo 1 destacado na Figura 3), foi implementado o padrão RS485 no ESP32 e utilizado um módulo MAX485. Deste modo, o canal Tx do ESP32 é conectado no pino DI (*Digital Input*) do dispositivo e o canal Rx no pino RO (*Receive Output*), além disso foi necessária a configuração de um pino de controle, sendo este o GPIO15, para habilitar o modo de recepção ou de envio de dados do MAX485. O multimetido se comunica através dos canais A e B do dispositivo.

Entretanto, quando implementou-se a comunicação deste modo, foi observado que seguidamente ocorriam problemas de *Response Timed Out*, ou seja, o multimetido demorava muito para responder, ou o ESP32 não conseguia interpretar as resposta. Analisando os dados tanto da requisição como da resposta, foi possível identificar que havia uma dessincronia entre os tempos de envio e recebimento dos dados com o pino de controle (GPIO15), o que acabava impedindo a leitura correta dos dados.

Em virtude disto, foram realizados testes com o dispositivo 2, destacado na Figura 3, que implementa um módulo MAX485. Neste caso o ESP32 não tem conhecimento que está conectado a um canal serial RS485, pois o dispositivo utilizado faz todo o trabalho de conversão do padrão UART para o RS485, não necessitando da implementação de um pino de controle para o módulo do MAX485. Conforme análise dos resultados obtidos para esta solução, identificou-se que os problemas de *Response Timed Out* encontrados no método anterior foram resolvidos e possibilitou uma melhor comunicação entre os dispositivos, além de evitar atrasos e possíveis travamentos do sistema no que se refere à leitura ineficiente dos dados. Sendo assim, optou-se por utilizar este modo.

Após resolvido o problema com o dispositivo responsável por fazer a interface entre o multimetido e o ESP32, ambos ficaram conectados por um período de tempo e realizou-se diversos testes, a fim de verificar o comportamento do sistema embarcado, o qual funcionou conforme o esperado.

O ESP32 ainda apresenta uma mensagem de sucesso, indicando que os dados foram enviados para o *Cloud Firestore*, ou de erro caso não consiga enviá-los. Além disto, se não for possível ler os dados dos multimedidores, é apresentado o erro gerado, conforme seu código de retorno.

B. Aplicação Web

Na Figura 4, é ilustrado a página principal, contendo os dados, de tensão, corrente, frequência, potência ativa, potência reativa e energia reativa, além de uma tabela e um gráfico com os dados do consumo em kWh do dia, podendo ser selecionado o ESP 32 de interesse, bem como o multimetido. Os dados apresentados não são valores que representam a realidade, uma vez que o sistema não foi implementado de fato na instituição, entretanto estes dados foram coletados de um multimetido localizado em uma bancada do laboratório, o qual é idêntico ao que é utilizado para o monitoramento de energia.



Fig. 4. Tela principal da Aplicação Web.

Na tela Consumos kWh, foi implementado filtros mais detalhados para a busca dos dados de interesse, deste modo, além da seleção do ESP e do multimetido, estes podem ser filtrados por dia, por hora ou por ambos. Na Figura 5 pode ser observado o resultado da busca realizada, onde definiu-se uma data inicial e final e um período de interesse. O botão “Gerar Relatório”, localizado nesta página, redireciona o usuário para a página de relatório, onde o mesmo pode exportar os dados consultados, tanto para arquivo PDF, bem como para um arquivo .csv.



Fig. 5. Tela Consumos kWh.

A tela de Dispositivos (Figura 6), permite a adição, alteração e consulta dos dispositivos, tanto do ESP32, bem como dos

multimedidores. Deste modo, possibilita o usuário o gerenciamento dos mesmos, uma vez que são estes os equipamentos utilizados no filtro dos dados.

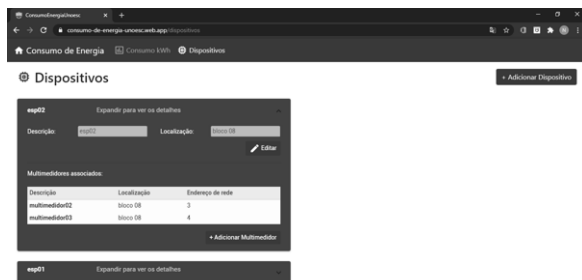


Fig. 6. Tela de gerenciamento dos dispositivos.

IV. CONCLUSÃO

Medir o consumo de energia elétrica não é o único fator que auxilia na diminuição do mesmo, entretanto ter a capacidade de visualizar, analisar e inferir sobre estes valores, através de um sistema de monitoramento em tempo real é de suma importância para que as decisões corretas possam ser tomadas, uma vez que, para poder-se gerar um conhecimento sobre a informação, primeiramente é necessário ter acesso a mesma.

A análise e projeto do sistema embarcado, foi fundamental para encontrar uma maneira mais otimizada de executar os processos, que são objetivos deste trabalho. Deste modo, estas etapas permitiram o desenvolvimento de um sistema multicore, onde os processos foram divididos entre os núcleos, conforme suas características, o que permitiu a atualização de um determinado valor, sem impactar no outro.

A escolha do *driver* que irá fazer a ponte entre as diferentes interfaces, sendo a RS485 para os multimedidores e o padrão UART para o ESP32 demonstrou-se eficiente para a aplicação, possibilitando a troca de dados sem a perda de pacotes. A biblioteca Modbus utilizada no microcontrolador atendeu todas as necessidades do projeto e facilitou na criação dos *frames* de requisição e a interpretação da resposta recebida.

Mesmo que a API REST desenvolvida tenha apresentado algumas implicações, no que se refere a adição de novos dispositivos, a mesma teve ótimos resultados e possibilitou que os dados coletados chegassem ao *Cloud Firestore*. Para a implementação do protocolo HTTP, juntamente com arquivos JSON no ESP32, não se teve muitas dificuldades, uma vez que as bibliotecas utilizadas facilitaram o processo.

O *Cloud Firestore* atendeu as necessidades requeridas, um dos pontos relevantes é o armazenamento dos dados em nuvem, o que garante alta disponibilidade dos mesmos, além da facilidade de integração com a aplicação Web desenvolvida, dentre outros fatores, que compensaram a dificuldade de integração com o ESP32.

Assim como no banco de dados, a aplicação Web também teve que passar pela etapa de análise e projeto, principalmente pelo fato de ela ser totalmente desenvolvida em Angular, motivo este que foi de grande importância para a hospedagem da mesma na plataforma do Firebase. A utilização do *Bootstrap* auxiliou no desenvolvimento da interface gráfica, uma vez que o *framework* dispõe de diversos recursos que facilitam

a organização dos componentes e promove a responsividade nas páginas. A aplicação atendeu as necessidades esperadas para a visualização e filtragem dos dados coletados, de modo simples e rápido, além de possibilitar o usuário salvá-los em dois tipos de arquivos distintos.

REFERÊNCIAS

- [1] I. A. Paranhos. “Sistema de monitoramento digital de grandezas elétricas”. Mestrado em Engenharia Elétrica. Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2007, p. 170. URL: <http://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/3218?mode=full> (acesso em 22/02/2020).
- [2] E. Borgia. “The Internet of Things vision. Key features, applications and open issues”. Em: *Em Computer Communications* 54 (2014), pp. 1–31. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140366414003168> (acesso em 22/02/2020).
- [3] A. F. P. Jorge. “Sistema de Comunicação para Monitorar Consumos de Energia”. Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2010, p. 134. URL: <https://run.unl.pt/handle/10362/6848> (acesso em 24/02/2020).
- [4] G. A. Maestrelli e G. S. Napoleão. “Sistema de supervisão para monitoramento de energia elétrica residencial”. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018, p. 95. URL: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11888> (acesso em 15/04/2020).
- [5] S. Singh e S. Verma. “Automation Using Node MCU, Firebase & IOT”. Em: *International Journal of Scientific Research and Review* 07 (2019), pp. 1289–1294. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Home-Automation-Using-Node-MCU-%5C%2C-Firebase-%5C%26-IOT-Singh-Verma/2792f9759918d51dbd8521a40eaa86dc06bc69ce> (acesso em 06/06/2020).
- [6] *Firebase Documentation*. Google, 2020. URL: <https://firebase.google.com/docs> (acesso em 10/06/2020).
- [7] Brad GREEN e Shyam SESHADRI. *AngularJS: UP and Running*. Gravenstein Highway North, Sebastopol: O’Reilly Media, 2014. URL: <https://pepa.holla.cz/wp-content/uploads/2015/10/AngularJS-Up-and-Running.pdf> (acesso em 10/06/2020).
- [8] Dale Nguyen. *Building a “Serverless” RESTful API with Cloud Functions, Firestore and Express*. 2018. URL: <https://itnext.io/building-a-serverless-restful-api-with-cloud-functions-firestore-and-express-f917a305d4e6> (acesso em 02/06/2020).
- [9] *ESP32 Datasheet*. Espressif Systems, 2016. URL: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents> (acesso em 24/04/2020).
- [10] *Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485)*. Texas Instruments, 2008. URL: <http://www.ti.com/lit/an/slla036d/slla036d.pdf> (acesso em 22/04/2020).
- [11] Vitor Amadeu Souza. *O Protocolo Modbus*. 2018. URL: <https://cerne-tec.com.br/Modbus.pdf> (acesso em 07/03/2020).

Medição e avaliação da aderência à aprendizagem ativa em Engenharia utilizando protocolos de observação em sala de aula.

Leovani Marcial Guimarães, Mariana Fernandes de Mendonça, Bruno Brandão Spagolla

Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL

leovani@inatel.br, marianafernandes@gep.inatel.br, brunospagolla@gep.inatel.br

Abstract - The Active Learning (AL) literature and its application in Engineering courses has grown significantly in recent years. In order to observe the new classroom environments in this context, observation protocols focused on active learning have emerged and have supported researchers in measuring, understanding and objectively demonstrating what a passive or active classroom environment would be like. In this context, this article presents method and results of an experimental research on the application of AL techniques in a course at INATEL, whose classes were observed and measured by an observation protocol to assess the probable profile change comparing the traditional environment with the active, after applying some AA technique. The results showed a statistically significant change, with $\alpha = 0.05$, in the use of the average class time for more participatory activities of students in active classes, compared to traditional ones.

Index Terms - Active Learning, Engineering Education, Classroom Observation Protocols.

Resumo - A literatura Aprendizagem Ativa (AA) e sua aplicação nos cursos de Engenharia tem crescido de forma relevante nos últimos anos. Para observar os novos ambientes de sala de aula neste contexto, protocolos de observação voltados para aprendizagem ativa surgiram e têm apoiado os pesquisadores na medição, compreensão e demonstração objetiva do que seria um ambiente passivo ou ativo na sala de aula. Neste contexto, este artigo apresenta método e resultados de uma pesquisa experimental sobre a aplicação de técnicas de AA em uma disciplina do INATEL, cujas aulas foram observadas e medidas por um protocolo de observação para avaliar a provável mudança de perfil comparando o ambiente tradicional com o ativo, após a aplicação de alguma técnica de AA. Os resultados demonstraram uma mudança estatisticamente significativa, com $\alpha = 0,05$, no uso do tempo médio das aulas para atividades mais participativas dos alunos nas aulas ativas, comparado com as tradicionais.

Palavras Chaves - Aprendizagem Ativa, Educação em Engenharia, Protocolos de Observação em Sala de Aula.

I – INTRODUÇÃO

As mais recentes Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) dos Cursos de Graduação em Engenharia, de 2019, trouxeram novos conceitos atuais, em comparação com a versão anterior do documento, de 2002. Dentre estes conceitos, constaram a) formação baseada por competências; b) o foco na prática; c) a aprendizagem ativa e; d) uma maior flexibilidade na constituição do currículo. O uso da Aprendizagem Ativa (AA) como um novo conjunto de métodos ou técnicas de

aprendizagem, foi, portanto, previsto no novo texto. A intenção foi promover uma educação mais centrada no aluno e o desenvolvimento da autonomia dos alunos na aprendizagem (auto aprendizagem) também surge como forma de aprendizado contínuo na carreira dos futuros profissionais [1]. Organizações que unem a academia e a indústria, tais como a iniciativa CDIO®, do inglês *Conceiving — Designing — Implementing — Operating* (em tradução livre para o português significa Concepção, Projeto, Implementação e Operação) que se apresenta como uma estrutura educacional inovadora para a produção da próxima geração de engenheiros, incentiva o uso da aprendizagem ativa em pelo menos um dos componentes seus standards. A abordagem para o ensino de engenharia integra um conjunto abrangente de habilidades pessoais, interpessoais e profissionais de engenharia ao conhecimento disciplinar de engenharia, a fim de preparar engenheiros inovadores e empreendedores [2]. Os maiores desafios que enfrentam pesquisadores e avaliadores preocupados com a eficácia educacional lidam com a identificação dos fatores que otimizam a eficácia do professor em sala de aula, e que têm efeitos duradouros na maximização de experiências cognitivas dos alunos [3].

Outros estudos abordam o nível de aderência aos métodos de aprendizagem ativa efetivamente observado e medido dentro das salas de aula [4, 5], nos cursos de educação superior. As estratégias de obtenção dos dados de sala de aula que permitem avaliar o nível de aderência à aprendizagem ativa passam pela utilização de técnicas sistemáticas de medição objetiva, comumente chamadas de instrumentos ou protocolos de observação em sala de aula, do inglês COP – *Classroom Observation Protocols*. Um destes instrumentos, cujo acrônimo é COPUS – *Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics)*, foi desenvolvido para uso em intenso processo de medição incluindo 263 cursos de STEM, em 28 grandes universidades americanas com forte enfoque em pesquisa e sugeriram um conjunto de perfis de cursos classificados dentro de uma escala de uso da aprendizagem ativa [6]. O estudo destes pesquisadores utilizou um método empírico para realizar uma confiável e válida caracterização das práticas instrucionais, produzindo uma análise comparativa dos perfis mais comuns das mesmas.

Plataformas tecnológicas de observação das atividades de sala de aula também foram desenvolvidas para facilitar a automatização da medição dos tempos e comportamentos observados nas aulas. Algumas plataformas online automatizam de forma ampla as medições de práticas instrucionais em sala de aula. Por exemplo, a plataforma PGOR - Protocolo Geral de Observação e Reflexão, disponibilizada na web pela Universidade da Califórnia, Davis – EUA (<https://gorp.ucdavis.edu>), é composta de dois painéis laterais e uma parte central com indicadores. Através de um protocolo de observação, é possível medir com relativa precisão a porcentagem relativa do tempo total de aula alocada a cada elemento ou evento do protocolo de observação, o que indica o grau de implementação de aprendizagem ativa ou tradicional (aderência), através de eventos que codificam comportamentos e atividades já cadastrados na plataforma pelo protocolo escolhido.

No contexto do estudo proposto neste artigo, que é uma parte singular de um estudo bem mais amplo do pesquisador sobre a aplicação de AA em Engenharia, a seguinte pergunta de pesquisa P1 é proposta: Os níveis relativos de ocupação do tempo total das aulas pelas diversas atividades e comportamentos de alunos e instrutores, provocados pela implementação ou não de uma ou mais técnicas de aprendizagem ativa, e medidos através de instrumentos confiáveis de observação, mudaram efetivamente o perfil da aula em termos de uso do tempo ativo total? A hipótese associada é H1: O nível de atividade dentro da sala de aula medido pelo protocolo de observação aumentou com a aplicação das técnicas de AA.

II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base científica para o que chamamos de aprendizagem ativa (AA) repousa na teoria construtivista, a qual propõe que o sujeito constrói o conhecimento e aprende através da interação com o meio. As diversas formas de aprendizagem ativa possuem princípios muito semelhantes às teorias de Ausubel, Bruner, Dewey, Piaget, Rogers, entre outros [7]. A pedagogia dos métodos ativos é cientificamente bem enquadrada na crença fundamental que o aprendizado mais efetivo necessita de envolvimento ativo do aluno, uso do conhecimento baseado no contexto e propósito básico bem definido.

O que é a aprendizagem ativa (AA)? Até o presente, a maioria dos educadores ainda confia mais na compreensão intuitiva do que definições exatas de AA. Apesar da ausência de formulação explícita, a AA pode ser entendida como qualquer atividade relacionada ao curso na qual todos os alunos em uma classe são chamados a praticar, fazer ao invés de simplesmente assistir, ouvir o professor e fazer anotações [8]. Há diversas técnicas de AA desenvolvidas e disponíveis ao professor tais como mostrado em [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]

Os projetos de observação em sala de aula e seus protocolos apresentaram variações em suas abordagens aos ambientes ativos de aprendizagem e os diferentes elementos projetados nos protocolos. Um dos principais marcos após 2010 foi o desenvolvimento do COPUS. Diferente de outros protocolos, os autores evitaram julgamentos observacionais e relataram apenas 1,5 horas necessárias para o treinamento. O COPUS documenta os comportamentos da sala de aula em intervalos de 2 minutos durante toda a duração da aula e não exige que os observadores façam julgamentos sobre a qualidade do ensino. Foi baseado em 25 códigos em apenas duas categorias: 1) “O que os alunos estão fazendo” e 2) “O que o instrutor está fazendo”. O resultado da confiabilidade entre avaliadores (IRR) foi de 0,95 e o Kappa de Cohen variou de 0,79 a 0,87. As evidências de validade foram obtidas por meio de revisões de especialistas bem-sucedidas [6]. O COPUS foi replicado em muitos outros estudos para Educação em Engenharia (EE) e disciplinas no grupo STEM, por exemplo em [5, 16, 17, 18, 19].

As recomendações de qual protocolo usar são dependentes dos objetivos e do escopo da pesquisa. De um critério baseado em validação, os protocolos testados para validade e confiabilidade parecem atender a aplicações com uma abordagem psicométrica mais robusta. Do ponto de vista prático, os protocolos mais implantados em termos de número de aplicações podem indicar a facilidade de uso e mais experiência fornecida pela literatura. Se ambos os critérios podem ser atendidos, isso parece ser uma opção ainda melhor para as pesquisas em EE. Por essas razões os experimentos neste estudo serão realizados com o protocolo COPUS.

III – MÉTODO

A. Classificação da pesquisa

A pesquisa científica deste artigo foi estruturada como do tipo aplicada com objetivo experimental/normativo e o método de pesquisa é um experimento. Quanto à natureza, tem uma abordagem quantitativa em diferentes etapas do processo de pesquisa. A técnica de coleta de dados da sala de aula é por observação estruturada, utilizando um protocolo válido e confiável de observação (COP).

B. Experimentação e desenvolvimento da pesquisa

A abordagem e a sistemática metodológica foram desenhadas na forma mais robusta possível para testar a hipótese de pesquisa. Para obter os dados experimentais, buscou-se o apoio e recursos da alta administração da instituição e do docente participante. Essas foram condições necessárias para que dados complexos e confidenciais do ambiente de sala de aula pudessem ser coletados pelo período de pesquisa. Equipes de apoio preparadas e uma gestão rígida das etapas do projeto permitiram a execução do projeto. Houve uma coleta de dados longitudinais, utilizando a mesma

disciplina e turma para medir o nível de atividade dentro de sala de aula (com e sem AA) e sua análise foi feita através da comparação em pares, maximizando o poder estatístico e minimizando a parcela de erro. As seguintes etapas descrevem a sistemática metodológica, após a formação da equipe de pesquisa com assistente, pesquisador, docente e pessoal de suporte:

- a) Treinamento do docente e assistente nas metodologias ativas mais comuns e validação da viabilidade para a disciplina elencada. O assistente foi treinado no processo de observação de sala de aula, utilizando o protocolo COPUS.
- b) O experimento determinou que a primeira metade da carga horária da disciplina eleita durante o período seria utilizada para aulas tradicionais, sem nenhuma técnica de aprendizagem ativa intencional; e a segunda metade da carga horária durante o período seria utilizada para aulas ativas, com alguma técnica de aprendizagem ativa intencionalmente implementada pelo docente.
- c) Uma amostra de 12 aulas, sendo 6 para cada uma das duas etapas do experimento foi planejada e um processo cuidadoso de abordagem de negociação com a equipe de apoio foi feita para permitir as filmagens, setup, gravações, armazenagem dos dados para posterior observação através do protocolo.
- d) As duas etapas - com e sem a aplicação de técnicas de aprendizagem ativa nas aulas, mantiveram o mesmo grupo de alunos da turma para as duas etapas. As medições caracterizaram o nível de aderência à aprendizagem ativa (i.e., ocupação do tempo das aulas com atividades, comportamentos e eventos de aprendizagem característicos de ambientes com e sem a aplicação de metodologias ativas), a partir da estratégia de aprendizagem implementada de forma controlada pelo docente.
- e) As observações foram feitas pelo pesquisador e seu assistente, as quais passaram por análise de confiabilidade utilizando técnicas estatísticas de análise de itens.
- f) Análises estatísticas foram planejadas para testar a hipótese da pesquisa, prover e discutir os resultados.

C. O protocolo COPUS

O protocolo de observação COPUS possui a estrutura de elementos mostrada na Figura 1.

1. Students are Doing	
L	Listening to instructor/taking notes, etc.
Ind	Individual thinking/problem solving. Only mark when an instructor explicitly asks students to think about a clicker question or another question/problem on their own.
CG	Discuss clicker question in groups of 2 or more students
WG	Working in groups on worksheet activity
OG	Other assigned group activity, such as responding to instructor question
AnQ	Student answering a question posed by the instructor with rest of class listening
SQ	Student asks question
WC	Engaged in whole class discussion by offering explanations, opinion, judgment, etc. to whole class, often facilitated by instructor
Prd	Making a prediction about the outcome of demo or experiment
SP	Presentation by student(s)
TQ	Test or quiz
W	Waiting (instructor late, working on fixing AV problems, instructor otherwise occupied, etc.)
O	Other – explain in comments
2. Instructor is Doing	
Lec	Lecturing (presenting content, deriving mathematical results, presenting a problem solution, etc.)
RnW	Real-time writing on board, doc. projector, etc. (often checked off along with Lec)
FUp	Follow-up/feedback on clicker question or activity to entire class
PQ	Posing non-clicker question to students (non-rhetorical)
CQ	Asking a clicker question (mark the entire time the instructor is using a clicker question, not just when first asked)
AnQ	Listening to and answering student questions with entire class listening
MG	Moving through class guiding ongoing student work during active learning task
1o1	One-on-one extended discussion with one or a few individuals, not paying attention to the rest of the class (can be along with MG or AnQ)
D/V	Showing or conducting a demo, experiment, simulation, video, or animation
Adm	Administration (assign homework, return tests, etc.)
W	Waiting when there is an opportunity for an instructor to be interacting with or observing/listening to student or group activities and the instructor is not doing so
O	Other – explain in comments

Fig. 1 - Descrição dos códigos COPUS de professor e alunos.

Fonte: The Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM (COPUS): A New Instrument to Characterize University STEM Classroom Practices [20]

O protocolo do COPUS se mostrou suficiente pois abrangeu todas as diretrizes da pesquisa, permitindo que os observadores com pouco treinamento de protocolo de observação pudessem confiavelmente caracterizar o que professor e alunos estavam fazendo na sala de aula.

IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Validade e Confiabilidade do protocolo de medição

O protocolo COPUS foi extensivamente testado na literatura com índices relevantes de validade e confiabilidade [6, 10, 5]. De forma a prover resultados específicos de validação para esse estudo, uma análise de confiabilidade entre as observações do pesquisador e do assistente corroboraram a adequação do instrumento escolhido como ferramenta de observação em sala de aula nos experimentos ora planejados, com o Alfa de Cronbach e o IRR, aproximado pela correlação de Pearson $> 0,90$ [21]. Esta análise e outras análises estatísticas do artigo foram feitas através do software Minitab® e os detalhes dos cálculos estão disponíveis com os autores como dados suplementares [22, 23].

B. Consistência no Nível de AA nas aulas ativas versus aulas tradicionais

Esta avaliação deve responder à pergunta de pesquisa P1 e testar a hipótese H1. O resultado pretende evidenciar que as aulas tradicionais e aquelas que foram sujeitas às técnicas de AA produziram uma dinâmica diferente de atividades. A forma utilizada para demonstrar esta evidência foi comparando a % tempo ativo médio das aulas ocupado pelos eventos do protocolo COPUS antes e depois da implementação das técnicas de AA (com amostras pareadas). Para se chegar a este resultado, as médias de cada tratamento foram calculadas, sem (S_Média_Dx) e com AA (C_Média_Dx). Depois essas médias foram comparadas através do teste *t* pareado, assegurando-se que a distribuição de frequência das diferenças se aproximou estatisticamente da normal, como mostrado na Figura 2, atendendo a premissa para a validade do teste. A hipótese a ser testada, com nível de significância $\alpha=0,05$ é que o nível de atividade foi maior nas aulas com AA, ou seja, $C_Média_Dx > S_Média_Dx$. E a hipótese nula foi que a média das diferenças supra mencionadas foi zero. A hipótese nula foi rejeitada ($p\text{-value}=0,001$) de acordo com o resultado copiado da janela *Session* do Minitab®, com $C_Média_Dx = 30,76$ e $S_Média_Dx = 13,99$. Ou seja, a consistência de e a diferença entre os tipos de aulas puderam ser evidenciadas estatisticamente. A amostra foi suficiente para detectar um efeito de 0,73 com poder estatístico $> 0,80$ [24].

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
S_Média_Dx	13	13,99	20,68	5,73
C_Média_Dx	13	30,76	27,78	7,71
Null hypothesis $H_0: \mu_{\text{difference}} = 0$				
Alternative hypothesis $H_1: \mu_{\text{difference}} \neq 0$				
T-Value	P-Value			
-4,16	0,001			

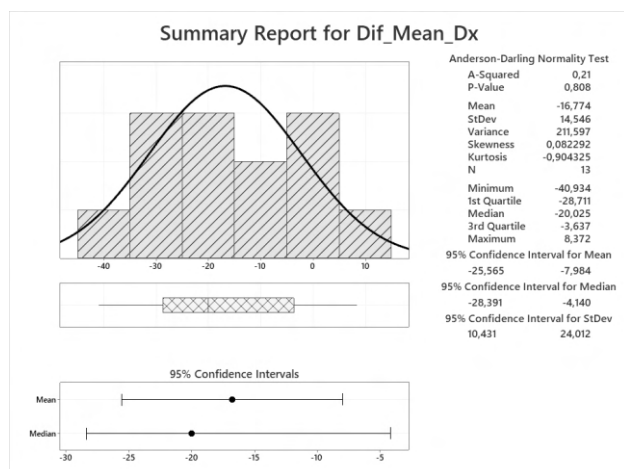


Fig. 2 - Distribuição das diferenças entre médias das observações

C. Análise do perfil das aulas e estratégias de AA

O perfil global comparativo de atividade nas aulas tradicionais (T) e ativas (A) considerando a média entre todas as aulas observadas da disciplina está ilustrado na Figura 3. As aulas tradicionais representadas pelos indicadores das barras hachuradas apresentam barras mais altas na utilização do tempo de aula com palestras (63,74%), escrita no quadro (29,62%) e audição passiva (75,93%), como esperado. O tempo alocado para tarefas administrativas e de espera do instrutor chegam a um máximo de 6,90% do tempo ativo, já identificados pelas observações como eventos específicos durante as aulas amostradas, tais como avisos, manutenção, atrasos, etc.

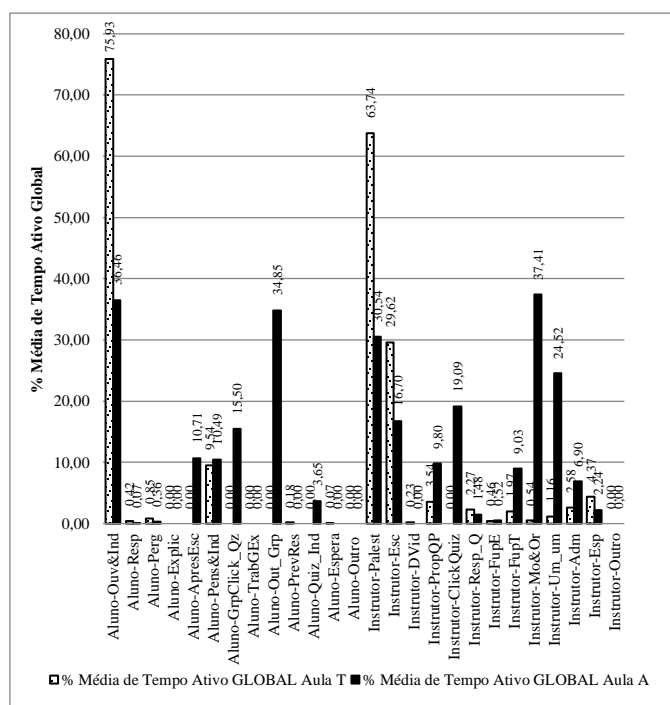


Fig. 3 - Análise Global Aula Tradicional x Ativa - % Média de Tempo Ativo

Nas barras sólidas, percebe-se quedas de 63,74% para 30,54% da porcentagem do tempo total ativo da aula gasto com palestras e de 29,62% para 16,70% da porcentagem relativa do tempo gasto com escrita no quadro, por parte do instrutor. Por parte dos alunos, houve redução de 75,93% para 36,46% da porcentagem de tempo relativo ao total ativo da aula gasto em audição passiva.

V – CONCLUSÃO

A realização desta pesquisa possibilitou incitar uma discussão importante sobre o uso de metodologias ativas em cursos de Engenharia do INATEL, como um elemento de

inspiração para pesquisas e aplicações ainda mais abrangentes em outras instituições e interinstituições, a partir desta experiência. A pesquisa contou com um planejamento sistemático dos experimentos dentro da sala de aula, utilizando um protocolo de observação em sala de aula para obter dados o mais objetivos possível dos comportamentos reais de professores e alunos em duas situações ou tratamentos distintos: sem e com a implementação de técnicas ativas de aprendizagem (AA). O grupo de pesquisa que incluiu o docente, assistente e técnicos, com apoio da direção da instituição foi devidamente treinado para a execução dos experimentos em suas aulas. A relação de causa e efeito entre os níveis de atividade das aulas característicos do tratamento sem técnicas ativas implementadas e com técnicas ativas implementadas foi demonstrada experimentalmente. A riqueza das informações gravadas e depois capturadas pelo protocolo de observação permitiu identificar as estratégias de AA aplicadas, contribuindo para a discussão latente da eficácia dos métodos ativos na EE. Os dados de observações em sala de aula obtidos através do protocolo de observação foram escrutinizados quanto ao seu perfil estatístico para minimizar os erros de medição e desvios nas análises estatísticas. Em geral estes dados originais não atenderam premissas de normalidade e homocedasticidade, tendo que ser tratados com as técnicas compatíveis.

No caso dos protocolos de observação em sala de aula (COP), a interpretação da base de conhecimento extraída de fontes globais revelou várias abordagens de observação em sala de aula e diferentes perspectivas para o desenvolvimento e evolução de aplicativos e protocolos, incluindo aplicativos sobre Educação em Engenharia específicos, alavancados pelas disciplinas STEM. Ficou claro que instrumentos específicos para EE têm um potencial de crescimento visível para acompanhar as várias iniciativas STEM das quais eles podem aproveitar.

Por fim, esta pesquisa, com as limitações e restrições enfrentadas no decorrer do seu desenvolvimento, conseguiu atingir os objetivos propostos inicialmente. A hipótese associada à pergunta de pesquisa foi testada satisfatoriamente. Espera-se também que a ampliação do uso de ferramentas e protocolos de observação em sala de aula traga novas oportunidades de pesquisa em outros formatos e abordagens de forma a utilizar dados relevantes das salas de aula em apoio a melhoria da Educação em Engenharia no Brasil. Com o conhecimento apresentado nesta pesquisa, o docente pode elaborar estratégias para promover motivação e proporcionar a necessária experiência para que os alunos tenham sucesso profissional. Aqueles docentes que desejam aumentar o desempenho acadêmico dos alunos em suas disciplinas podem se dedicar em melhorar a qualidade geral de seu próprio ensino através da integração de elementos de estratégias ativas de aprendizagem e de relações com os alunos criando um ambiente de sala de aula que incentive a cooperação e a harmonia das equipes de trabalho. Devemos tentar encontrar o caminho para

que possa elevar a qualidade de ensino nos cursos de engenharias, para que se tenha boa formação de futuros profissionais na área e que ao mesmo tempo de um caminho árduo de formação seja um ambiente prazeroso a todos envolvidos. São enfrentadas muitas adversidades, pois, não são todas universidades que tem a disposição recursos financeiros, infraestrutura de qualidade, mão de obra para atender toda demanda necessária. Porém, nunca é tarde para revisar conceitos, aprender novas técnicas e rumar para o sucesso. E é de extrema importância que todos, professores e alunos, que é uma caminhada de mão dupla que ambos são dependentes um do outro. O professor, como o grande orientador e facilitador, e o aluno que tem o desejo de se tornar um grande profissional e ter sucesso em sua carreira.

REFERÊNCIAS

- [1] Conselho Nacional De Educação – Câmara De Educação Superior, “Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia,” *Diário Of. da União*, vol. 2019, no. Resolução nº2, de 24 de Abril de 2019, pp. 1–6, 2019.
- [2] E. F. Crawley, J. Malmqvist, S. Östlund, D. R. Brodeur, and K. Edström, *Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach*, 2 ed. New York - NY: Springer International Publishing, 2014.
- [3] K. K. J. Rowe and P. W. Hill, “Modeling educational effectiveness in classrooms: The use of multi-level structural equations to model students’ progress,” *Int. J. Phytoremediation*, vol. 21, no. 1, pp. 307–347, 1998, doi: 10.1076/edre.4.4.307.6953.
- [4] C. J. Finelli *et al.*, “A classroom observation instrument to assess student response to active learning,” in *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, 2014, pp. 1–4, doi: 10.1109/FIE.2014.7044084.
- [5] T. J. Lund *et al.*, “The Best of Both Worlds: Building on the COPUS and RTOP Observation Protocols to Easily and Reliably Measure Various Levels of Reformed Instructional Practice,” *CBE—Life Sci. Educ.*, vol. 14, pp. 1–12, 2015, doi: 10.1187/cbe.14-10-0168.
- [6] M. K. Smith, F. H. M. Jones, S. L. Gilbert, and C. E. Wieman, “The classroom observation protocol for undergraduate stem (COPUS): A new instrument to characterize university STEM classroom practices,” *CBE Life Sci. Educ.*, vol. 12, no. 4, pp. 618–627, 2013, doi: 10.1187/cbe.13-08-0154.
- [7] F. Dochy, M. Segers, P. Van den Bossche, and D. Gijbels, “Effects of problem-based learning: a meta-analysis,” *Learn. Instr.*, vol. 13, pp. 533–568, 2003.
- [8] R. M. Felder and R. Brent, *Teaching and Learning STEM: A Practical Guide*, 1st ed. San Francisco - CA: Jossey-Bass, 2016.
- [9] P. Tynjälä, “Towards expert knowledge? A comparison between a constructivist and a traditional learning environment in the university,” *Int. J. Educ. Res.*, vol. 31, pp. 357–442, 1999, doi: 10.1016/S0883-0355(99)00012-9.
- [10] L. M. Guimarães, R. J. Cerqueira, and J. L. Noronha, “PBL (Problem-Based Learning) methodology application proposal in a production engineering undergraduate course at AT Itajubá Federal University (UNIFEI),” *Int. J. Act. Learn.*, pp. 35–55, 2016.
- [11] L. K. Michaelsen and M. Sweet, “The Essential Elements of Team-Based Learning,” *New Dir. Teach. Learn.*, vol. 2008, no. 116, pp. 7–27, 2008, doi: 10.1002/tl.

- [12] E. Mazur, *Peer Instruction - A User's manual*, 1 Ed. New York - NY: Pearson Education, Inc, 1997.
- [13] E. Mazur and J. Watkins, "Just-in-Time Teaching and Peer Instruction," *Just Time Teach. Across Discip. Across Acad.*, pp. 39–62, 2009.
- [14] S. M. Gómez Puente, M. van Eijck, and W. Jochems, "Towards characterising design-based learning in engineering education: a review of the literature," *Eur. J. Eng. Educ.*, vol. 36, no. 2, pp. 137–149, 2011, doi: 10.1080/03043797.2011.565116.
- [15] T. Eberlein *et al.*, "Pedagogies of engagement in science: A comparison of PBL, POGIL, and PTL," *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, vol. 36, no. 4, pp. 262–273, 2008, doi: 10.1002/bmb.20204.
- [16] J. D. Lewin, E. L. Vinson, M. R. Stetzer, and M. K. Smith, "A campus-wide investigation of clicker implementation: The status of peer discussion in STEM classes," *CBE Life Sci. Educ.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1187/cbe.15-10-0224.
- [17] T. Daher, W. Babchuck, L. Perez, and L. Arthurs, "Exploring Engineering Faculty Experiences with COPUS: Strategies for Improving Student Learning," in *2018 ASEE Conference & Exposition*, 2018.
- [18] K. Akiha *et al.*, "What Types of Instructional Shifts Do Students Experience? Investigating Active Learning in Science, Technology, Engineering, and Math Classes across Key Transition Points from Middle School to the University Level," *Front. Educ.*, vol. 2, no. January, 2018, doi: 10.3389/educ.2017.00068.
- [19] J. H. Tomkin, S. O. Beilstein, J. W. Morphew, and G. L. Herman, "Evidence that communities of practice are associated with active learning in large STEM lectures," *Int. J. STEM Educ.*, pp. 1–15, 2019.
- [20] M. K. Smith, F. H. M. Jones, G. S.L., and C. E. Wieman, "COPUS Training Guide," *CBE-Life Sci. Educ.*, vol. 12, no. 4, pp. 1–2, 2014.
- [21] N. Rui and J. M. Feldman, "IRR (Inter-Rater Reliability) of a COP (Classroom Observation Protocol)--A Critical Appraisal.," *US-China Educ. Rev.*, vol. B, no. 3, pp. 305–315, 2012.
- [22] L. M. Guimarães and J. B. Azevedo Jr., *Estatística Aplicada em Engenharia com Minitab - Vol.1*, 1ed. Santa Rita do Sapucaí - MG: Kindle Direct Publishing, 2020.
- [23] L. M. Guimarães and J. B. Azevedo Jr., *Estatística Aplicada em Engenharia com Minitab - Vol.2*, 1ed. Santa Rita do Sapucaí - MG: Kindle Direct Publishing, 2020.
- [24] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 1ed. Hillsdale - NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.



Mariana Fernandes de Mendonça é graduanda em Engenharia de Produção pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), estagiária no INATEL Competence Center (ICC) e voluntária no *Facebook Developer Center*.



Leovani Marcial Guimarães é pesquisador e doutor em Engenharia de Produção pelo Instituto de Engenharia de Produção e Gestão (IEPG) e membro do grupo de pesquisa LogTranS – Centro de Logística, Transporte e Sustentabilidade da UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá). É professor do INATEL nas disciplinas de Administração, Sistemas de Produção, PCP, Gestão da Qualidade, Logística Empresarial e BPM. Realizou seu mestrado em Engenharia de Produção pela UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), é pós-graduado em Gestão Empresarial pela UNICAMP e no curso de formação de executivos da (FDC) Fundação Dom Cabral. Se formou em engenharia pela UNIFEI. ORCID iD 0000-0002-8686-0508.

AUTORES



Bruno Brandão Spagolla é graduando curso de Engenharia de Produção pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), cursando o 6º período.

Programação 1.0

Alexandre Mendes de Oliveira
Marcelo Henrique Gonaçalves da Silva
Renzo Paranaíba Mesquita
Viktória Rocha Brito
luiz.carvalho@gec.inatel.br
ppcarvalho@gec.inatel.br
sinal.exauce@get.inatel.br

Isabela Rezende Barbosa da Silva
Nícollas Evangelista Oliveira
Samuel Mangia Maciel
alexandre.mendes@geb.inatel.br
marcelo.silva@inatel.br
renzo@inatel.br
victoria.rocha@ges.inatel.br

Luiz Gustavo Domingues de Carvalho
Pedro Piccicelli Carvalho
Sinal Exaucé Mavoungou Nzaou
isabela.r@gec.inatel.br
nicollas.evangelista@gea.inatel.br
samuel.mangia@geb.inatel.br

Abstract— This document has the intention to show the goals and conclusions of the project Programação 1.0, that was created with the purpose to take programming language education to students that attend high school. This article transmits in details the standard of the project, the difficulties due the pandemic period of 2020 and the adaptations done in this edition.

Index Terms— Education, technology, programming, Python.

Resumo— Este documento tem como intuito expor os objetivos e conclusões do projeto Programação 1.0, que surgiu com a intenção de levar o ensino das linguagens de programação aos alunos que cursam o Ensino Médio. O artigo transmite detalhadamente a métrica do projeto, dificuldades devido o período pandêmico de 2020 e adaptações feitas nesta edição.

Palavras Chave— Educação, tecnologia, programação, Python.

I. INTRODUÇÃO

A cada segundo, bilhões e bilhões de dados de tipos variados são trocados. Em uma era de automatização e de conectividade, a comunicação entre todas as entidades, sendo elas humanas ou não, se tornou cada vez mais indispensável. A programação traz solução à problemática, possibilitando por meio dos recursos informáticos, o compartilhamento do conhecimento entre o ser humano e as máquinas, analisando e organizando padrões entre fenômenos ao nosso redor e suas interligações, antecipando situações, e mostrando novas perspectivas de pesquisas. A programação tem permitido o crescimento exponencial da economia mundial e reduziu drasticamente as dificuldades que o ser humano tem enfrentado.

Em outras palavras, a programação é uma extensão da humanidade. Ela possibilitou a criação do maior ecossistema do mundo: as interações seres vivos - máquinas (objetos), dando dessa forma, vida a coisas inanimadas e tornando tudo e todos inteligentes.

No contexto pandêmico devido à proliferação do novo Coronavírus (SARS-COV 2) e o distanciamento social imposto pela situação, a programação vem sendo uma aliada imprescindível. Ela facilitou o desenvolvimento de ferramentas. As plataformas de videoconferências, por exemplo, têm permitido o ensino a distância, ajudaram a manter a proximidade entre pessoas e instituições, impediram a falência de inúmeros empreendimentos e evitaram o colapso do sistema econômico mundial.

Além disso, a programação salvou vidas. Baseado nas múltiplas linguagens computacionais, foram desenvolvidos vários softwares e recursos ou serviços para melhor entender o cenário da disseminação do vírus. A detecção e a identificação do agente patógeno ou da própria doença, assim como o monitoramento dos casos e análise da evolução da crise foram aborçados usando programas informáticos.

Tendo em conta esses fatos, percebe-se a necessidade da iniciação a programação a partir dos níveis mais elementares das esferas de aprendizagem.

O projeto Programação 1.0 do Inatel se insere nessa perspectiva, oferecendo aulas de forma gratuita a alunos do ensino médio no intuito de despertar o interesse pela área.

No mercado de trabalho atual, torna-se essencial conhecimentos básicos de programação. O projeto tem como objetivo levar esse aprendizado para alunos que, em situações normais, não conseguiriam entrar em contato com o campo da tecnologia. Assim, complementando sua formação e despertando interesse no estudo e aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos.

Este projeto de iniciação científica tem, além de sua importância social, o propósito de desmistificar o avanço da tecnologia, explicando para esses alunos que em sua vida profissional eles devem usufruir da modernidade ao invés de temê-la.

De acordo com V.M. Kenski [1], o aprendizado de uma geração é medido pelas tecnologias disponíveis. Através da análise do profissional de educação, é perceptível que a tecnologia pode e deve ser usada como uma ferramenta essencial para auxiliar na aprendizagem das crianças, já que a presença de imagens em movimento e sons cooperam no armazenamento e no acesso das memórias humanas. Dessa forma, é irrefutável a necessidade de apresentar conceitos de programação para estudantes em séries iniciais, para que possam desenvolver seu raciocínio lógico e para que aprendam a usar o recurso a seu favor futuramente.

Isto posto, existem diversos projetos no Brasil com objetivos similares ao Programação 1.0, como por exemplo o Projeto Programação na Escola, promovido pela Universidade Federal do Amapá, que foi criado devido a necessidade de profissionais em programação no seu estado. Além do reconhecimento da importância do aprendizado da programação e suas utilidades, a iniciativa busca despertar o interesse em alunos da rede pública para que eles participem do evento que propõe o ensino dos principais conceitos de lógica de programação de forma lúdica, utilizando a linguagem Scratch, a qual possui comandos em formato de blocos lógicos e permite o estudante melhor compreender o conteúdo por ser análogo ao “LEGO” (brinquedo infantil). O projeto utiliza a Linguagem de Programação Python por acreditar que possui uma escrita simples e enxuta, tornando seu aprendizado mais fácil para aqueles que ainda não dominam a lógica de programação.

Outro projeto voltado ao ensino básico é o Pyladies de São Carlos (SP), que reúne um grupo de universitários para levar palestras e cursos de programação para meninas de esco-

las públicas da cidade. O objetivo é ensinar a linguagem de programação Python e incentivar a participação feminina na área de ciências exatas, demonstrando sua capacidade de aprender a programar e se destacar no mercado de trabalho. Em 2020, o projeto foi adaptado de maneira que pudesse ser aplicado mesmo durante a pandemia. Então, com a ajuda de diversas parcerias, o grupo realizou várias palestras e bate-papos sobre tecnologia e a necessidade de seu domínio.

No artigo de 2018 do Programação 1.0, foi analisado a performance das plataformas online no ensino a distância de programação. Vale ressaltar que atualmente essa forma de estudo possui ainda mais credibilidade (devido ao momento pandêmico) e, portanto, tem sido melhor desenvolvida. O Code Club [2], organização mundial com propósito de ensinar programação para crianças, beneficia atualmente mais de 15.000 jovens com seu trabalho voluntário, abordando conceitos fundamentais de programação em Scratch, HTML, CSS e Python.

Os países do Reino Unido e Austrália já incluíram programação como conteúdo obrigatório nos currículos, porém no Brasil isso ainda não se tornou realidade. Esse é um dos motivos que torna o Programação 1.0 importante e inovador, podendo levar o ensino da linguagem de programação de forma gratuita e ainda oferecer aulas em tempo real com atenção exclusiva de monitores aos participantes com material didático autoral. A linguagem abordada no curso é o Python que, de acordo com o DevMedia [3], continua a ser uma das linguagens mais populares do mercado. O projeto tem como intuito levar o ensino de programação de forma leve e descontraída aos alunos, tentando proporcionar conhecimento de forma democrática atingindo até mesmo os jovens não vocacionados a área de tecnologia. As aulas contam com a presença de pelo menos quatro monitores e um instrutor para que todos os alunos tenham suas dúvidas e curiosidades sanadas. Neste ano em que as aulas aconteceram de maneira remota, também foram oferecidas aulas gravadas, as quais foram disponibilizadas na plataforma de *streaming* YouTube [4], o que foi novidade para esta edição.

A seguir será detalhado o planejamento e operação do Programação 1.0 edição 2020, como o projeto foi idealizado, metas, evolução ao decorrer das edições, métrica, metodologia, os desafios que foram impostos à equipe em 2020 e os resultados obtidos este ano.

II. O PROGRAMAÇÃO 1.0

O Programação 1.0 foi idealizado em 2016, com aplicação em caráter experimental nas escolas de Santa Rita do Sapucaí, sendo analisado metodologias e processos de desenvolvimento do projeto.

Em 2017, o projeto piloto foi iniciado. Foram aplicados os treinamentos em 3 escolas de São Paulo, tendo como foco a linguagem de programação C++. Nesse ano, a ação foi realizada em conjunto com alunos voluntários do CDG Hub e da equipe CodeTroopers, grupo de alunos que participam de maratonas de programação. Para o ano seguinte, foi designado um pilar da Iniciação Científica (IC), com bolsas exclusivas para o projeto.

Em 2018, a linguagem C++ foi utilizada novamente e o projeto foi aprimorado. Agora, o Programação 1.0 estava dividido em fases. A primeira era a fase presencial, que ocorria

aos sábados e tinha a duração de 8 horas. A aula era ministrada no próprio colégio por um bolsista denominado instrutor. Os demais bolsistas atuavam como auxiliares no atendimento de dúvidas. A segunda fase era dividida em duas aulas *online*, tendo a duração de 2 horas cada, utilizando a mesma metodologia da aula presencial. A terceira etapa era a MAPI (Maratona Anual de Programação do Inatel), a competição final. Ela é realizada no campus do Inatel, durante a FETIN (Feira Tecnológica do Inatel) e reúne os colégios finalistas.

Em 2019, os pilares do projeto foram mantidos e novas ferramentas implementadas. Obteve-se como resultado um aumento nas inscrições saltando de 282 participantes para 400. Isso representa um crescimento de 40%.

Em 2020, uma das principais mudanças no projeto foi a Linguagem de Programação, que passou de C++ para Python. Outro fator que foi relevante por reestruturar o projeto foi a forma como o Programação 1.0 reagiu às dificuldades apresentadas no contexto pandêmico. As aulas foram realizadas por meio da plataforma Zoom, enquanto um bolsista lecionava, outros ficavam *online* à disposição para sanar as dúvidas. Foram criados grupos no *WhatsApp*, separando os alunos por escola. Quando o participante manifestava dúvida, ele acionava um bolsista e o mesmo fazia o atendimento por meio do chat particular no aplicativo.

Ao final de 2019, a equipe do Programação 1.0 se reuniu para identificar falhas ou possíveis melhorias no projeto. Assim sendo, concluiu-se que a identidade visual já não se comunicava mais com o público alvo, pois estava desatualizada para a realidade dos novos tempos. Então, foi iniciado um trabalho junto a equipe de marketing para elaboração de uma nova identidade visual, feita do zero, com elementos importantes do projeto e visando uma modernização da sua aparência.

Outro ponto importante para a edição de 2020 do Programação 1.0 foi a escolha de uma nova linguagem de programação. A decisão foi traçada com pauta no crescimento da linguagem Python como uma das mais usadas no mundo, a facilidade de ensino e aprendizagem e ainda a adaptação das ferramentas de correção *online* para esta nova linguagem.

O ano de 2020 foi atípico para a sociedade em geral. Dentre as inúmeras novidades no projeto, a mais radical foi a necessidade de uma transição do padrão presencial para o digital. A barreira prevista era a interação física, que foi trocada por câmeras e telas com a ajuda da tecnologia. A metodologia de trabalho foi adaptada para que houvesse uma maior interação com os participantes buscando por dinâmicas, aulas interativas, bate-papos para que o aprendizado se tornasse atrativo e descontraído.

A priori, essas modificações trouxeram enormes aprendizados e muitas inovações. Dentre elas, foi possível o crescimento de estratégias que possam escalar a divulgação do Inatel de maneira *online*. Para manter contato com os alunos, após a conclusão da etapa final, foi necessário a criação de um novo canal de comunicação. Surge então um quadro para divulgação de notícias atualizadas sobre o mercado de tecnologia dentro da página Promove Engenharia no Instagram.

A metodologia de trabalho estava consolidada devido à experiência adquirida ao longo dos últimos 4 anos de existência do

projeto. Ela consistia no aprendizado prático, no qual contava com o material teórico e autoral para introdução das estruturas básicas de programação, isto pois o público participante, não necessariamente, deveria compreender o assunto previamente. Na sequência, estes conceitos eram colocados em prática por meio de soluções computacionais para problemas lógicos matemáticos que fixassem o conteúdo ministrado.

Ainda no início do ano letivo e com surgimento da necessidade de distanciamento social, observou-se a possível adaptação dos métodos de ensino empregados no curso para que o projeto pudesse continuar operando.

Dado os devidos fatos, para transmissão das aulas ficou estabelecido que seria utilizada a plataforma de videoconferência Zoom Pro [5]. Em relação à aquisição dos ingressos e inscrição dos interessados, foi utilizada a ferramenta Sympla [6], permitindo melhor controle do número de participantes e coleta de informações dos alunos. O material de aula foi desenvolvido por meio do Microsoft PowerPoint [7], software o qual também foi empregado para exibição do material. Já para aumentar a interatividade com os estudantes e afim de testar os conhecimentos teóricos adquiridos no curso foi utilizado uma gamificação do formulário de perguntas e respostas pelo site Quizizz [8]. Para testar os conhecimentos práticos, utilizou-se a plataforma URI Online Judge [9] com o intuito de dispor problemas com soluções computacionais simples como desafio aos estudantes. Para realização da Maratona Anual de Programação do Inatel (MAPI) foi escolhido o site NEPS Academy [10]. O ambiente de desenvolvimento Python adotado pela equipe do Programação 1.0 foi o Repl.it [11] utilizado para compilação do programa de forma *online*. Como parte do método de ensino foram utilizados vídeos curtos gravados pelos alunos do Programação 1.0 e disponibilizados no YouTube [4], tais vídeos revisam assuntos importantes abordados em aula e resolução de exercícios do URI Online Judge.

As ferramentas utilizadas para adequar as aulas virtuais apresentaram diversos benefícios que foram de suma importância para a comunicação, contudo, demonstraram também certas fragilidades. Com isso, vale ressaltar os aspectos de cada um dos diversos mecanismos empregados:

Inicialmente, para aquisição dos ingressos foi utilizado o Sympla [6], uma plataforma *online* e gratuita que permitiu um controle eficaz dos participantes. Para inscrever-se era necessário apenas informar alguns dados pessoais, como: nome, idade escolar e *e-mail*. Após a confirmação da inscrição, o candidato recebia automaticamente as informações personalizadas sobre o evento. A aplicação também organizava os dados, exibia-os em planilhas facilitando sua manipulação e emitia certificados aos participantes. Esse recurso não apresentou nenhuma limitação relevante, visto que tanto a aquisição dos *tickets* quanto a leitura dos dados ou emissão dos certificados foram acessíveis e úteis.

O Zoom Pro [5], ferramenta utilizada para ministrar as aulas, promoveu uma comunicação mais próxima da presencial, dado que permitiu a transmissão da tela, áudio e vídeo em alta qualidade, possibilitando a exposição do conteúdo de forma clara e a interação com os alunos que também tinham a permissão de utilizar suas câmeras e microfones para tirar dúvidas e inte-

ragir com o público presente. No entanto, esse serviço requer uma licença paga para que seja possível utilizá-lo por mais de quarenta minutos, além de necessitar de uma boa internet para tornar a conexão estável.

Junto a isso, foi utilizado o Microsoft PowerPoint [7], programa que viabilizou a exposição do conteúdo de uma maneira simples e objetiva através de slides com o *layout* do Programação 1.0. Contudo, o uso dessa ferramenta requer um conhecimento básico sobre o *design* das páginas de apresentação, visto que há um espaço limitado para a inserção de texto e imagens que, além disso, precisam ser atrativos e enxutos.

Também foi usado o Quizizz [8], um *software* que propiciou a criação de questionários dinâmicos por meio de diversos recursos de fácil uso que promoveram a aplicação do conhecimento passado nas aulas por meio de uma competição baseada nos acertos e no tempo de resposta. O *site* oportunizou momentos de interação e descontração reforçando os assuntos abordados. Entretanto, a plataforma é voltada para perguntas curtas e diretas, fazendo com que outros recursos sejam necessários para aplicar conceitos que requerem uma maior complexidade.

Junto às demais ferramentas, o URI Online Judge [9] foi empregado como fonte de exercícios para os alunos, dado que apresenta uma vasta quantidade de questões com diversos níveis de dificuldade, mas demonstra problemas na realização de torneios, em razão de que os problemas solucionados previamente por um competidor aparecem como resolvidos na disputa sem a necessidade da submissão do código. Com isso, o NEPS Academy [10], que não manifesta o empecilho das submissões já resolvidas, passou a ser utilizado. Entretanto, dispõe de uma menor quantidade de questões e possui um tempo de espera para atualizar o placar, o que muitas vezes pode gerar confusão nos participantes.

Foi empregado o Repl.it [11] como ambiente de desenvolvimento. Ele possui a facilidade de ser acessado pelo navegador sem a necessidade de baixar arquivos, e também dispõe de uma interface simples e direta, contudo, é indispensável dispor de uma conexão na internet para usufruir de suas funcionalidades.

Com a necessidade da criação de conteúdo para revisão e resolução de exercícios, os integrantes do Programação 1.0 gravaram um material contendo resoluções de exemplos abordando os conteúdos apresentados e postaram as apresentações no YouTube [4], *site* que garantiu o *upload* dos arquivos de uma forma rápida e segura, permitindo que todos tivessem acesso as aulas a qualquer momento. A plataforma também possibilitou a realização da transmissão ao vivo da MAPI. Porém, a comunicação nesta rede é limitada, já que é realizada apenas através de comentários que muitas vezes não são notificados. Ademais, foi imprescindível compreender o básico da edição para a produção do conteúdo de uma forma atrativa aos alunos.

III. DESAFIOS 2020

O primeiro desafio para a edição 2020 do Programação 1.0 foi a criação da nova identidade visual. Foi necessário um trabalho minucioso de compreensão de quais as necessidades e expectativas do público alvo. Após entendimento, concluiu-se que os pontos marcantes do projeto estavam centrados em pessoas, na tecnologia e na modernidade. Este processo durou 3

meses até que obtivesse um resultado satisfatório para as diversas peças que foram personalizadas com a marca Programação 1.0. Foram produzidas: camisetas, cabeçalho e rodapé, carta para convite das escolas, cartaz de divulgação aos alunos, certificado, copos, crachás, identificação de mesas, imagem de capa para o Sympla e plano de fundo para os slides.

Com as particularidades do ano de 2020, os métodos de ensino empregados tiveram que sofrer mudanças para melhor atender os alunos e cumprir os objetivos do projeto. Neste período pandêmico, se relacionar com o próximo se tornou um desafio ainda maior, devido a exigência de um contato de maneira remota, o que gerou obstáculos na comunicação não-verbal. De acordo com Ana Lúcia Leal, Fonoaudióloga e Psicóloga, “entende-se que uma adequada comunicação não-verbal é fundamental, pois pode contribuir para melhorar o desempenho do docente em sala de aula.” [12], portanto foi um grande desafio enviar uma mensagem clara aos alunos através de videoconferências e ainda mais desafiador foi tentar perceber a receptividade dos estudantes em relação a mensagem transmitida, devido ao fato desses alunos permanecerem com suas webcams e microfones desativados. Conseguir evitar a distração dos participantes em aula foi outra adversidade, sendo que ao assistirem o curso estavam em suas casas, lugar com inúmeros estímulos que levam a distração, incluindo o *smartphone*. Neste contexto de desafios para a comunicação, os laços que poderiam ser estabelecidos entre monitores e alunos também foram prejudicados. Com a falta de oportunidade para leitura do público, muitas vezes perdeu-se a oportunidade de se personalizar o discurso buscando uma maior identificação com o espectador, o que gerou um distanciamento, algo um tanto quanto impessoal.

A seleção das escolas priorizou as instituições melhores adaptadas às aulas *online*. O convite era enviado por *e-mail* e reforçado por ligação. Para que assim, as escolas selecionadas previamente pelo coordenador Marcelo Henrique, se posicionassem se gostariam ou não de participar do projeto. A devolutiva deste contato também foi prejudicada neste ano, visto que muitas escolas permaneceram fechadas durante o período inicial da pandemia ou apresentaram dificuldade em se adaptar ao EaD. Sendo assim, a equipe do Programação 1.0 buscando solucionar da melhor forma possível, alterou seu calendário e buscou novas instituições de ensino que já estavam mais adaptadas a forma remota. Isso garantiu a continuidade do projeto e a oportunidade de outros jovens terem acesso ao aprendizado da programação. A divulgação também foi feita, em caráter excepcional, utilizando o Instagram, rede social que possui bastante engajamento do público jovem. Nessa plataforma eram postados vídeos gravados pelos bolsistas, contando em detalhes o funcionamento do projeto, bem como a divulgação dos prêmios e do resultado final da competição.

A. Comparação do presencial para o online

A equipe do Programação 1.0, na forma presencial, deslocava-se até as instituições participantes para ministrar aulas. A exposição tinha a duração de 8 horas e ocorria em apenas um dia. Além disso, para não perder contato com os alunos após a realização da etapa presencial, o treinamento continuava com mais duas aulas *online* de revisão e resolução de exercícios. Já na forma remota, houve uma alteração no for-

mato. Agora, o projeto passava a funcionar de forma 100% *online*. Os conteúdos foram divididos em aulas de duas horas durante três dias, totalizando 6 horas de treinamento. A escolha de redução da carga horária, deve-se ao entendimento da equipe que longos períodos de exposição de um mesmo assunto, poderia comprometer o aprendizado tornando-o maçante. Os bolsistas foram responsáveis pela reformulação do material com a intenção de expor os conteúdos de uma forma mais lúdica, pois o ensino remoto corrobora para a dispersão dos alunos. Esses apresentaram dificuldades em relação aos questionamentos, pois muitos não tinham o costume de manifestar suas dúvidas.

IV. RESULTADOS

O Programação 1.0 tem sido uma oportunidade que beneficia todos os envolvidos.

Do ponto de vista dos universitários contemplados pela bolsa de Iniciação Científica, o projeto permite que esses estudantes adquiram uma experiência mercadológica, vivenciando a pressão de entrega dos resultados, o comprometimento com o trabalho e criação de novas responsabilidades. O projeto trabalha tanto as *hard* quanto as *softskills*. Em relação ao ponto de vista técnico, tem a melhoria na comunicação, organização, didática e entendimento avançado da linguagem Python. No ponto de vista comportamental, existe a experiência de se compartilhar recursos, trabalho em equipe, relacionamento interpessoal e controle emocional.

Já as escolas que participam também são beneficiadas proporcionando a seus alunos uma atividade inovadora de caráter socioeducativo de forma gratuita. A estes estudantes do ensino médio, o projeto permitiu a experimentação e estimulou o interesse deles pela programação e a tecnologia. Além de lhes trazer competências em uma linguagem desconhecida muitos desses jovens até então. O Programação 1.0 afinou o raciocínio dos estudantes e proporcionou uma base essencial para aqueles que irão ingressar no mercado de trabalho em breve, tendo em vista, a previsão de um cenário extremamente dependente da tecnologia.

No que diz respeito ao Inatel, a instituição conseguiu demonstrar a sua seriedade, seu profissionalismo e seu interesse em formar profissionais qualificados com sólidos fundamentos. A ação possui caráter social, visto a preocupação em preparar adolescentes para os desafios da sociedade em um futuro próximo. Como consequência disso, temos a divulgação da marca Inatel alcançando públicos ainda maiores e chegando mais longe.

Mesmo diante de um cenário adverso para aplicação do projeto e as dificuldades já elencadas neste artigo, os resultados obtidos se mostraram satisfatórios. As Figuras 1 e 2, apresentadas a seguir, representam a capacidade dos alunos de resolverem os exercícios propostos. Na horizontal, estão dispostos os problemas selecionados para cada fase, organizados por letras em ordem alfabética e na vertical, encontra-se o número de alunos que resolveram cada exercício.

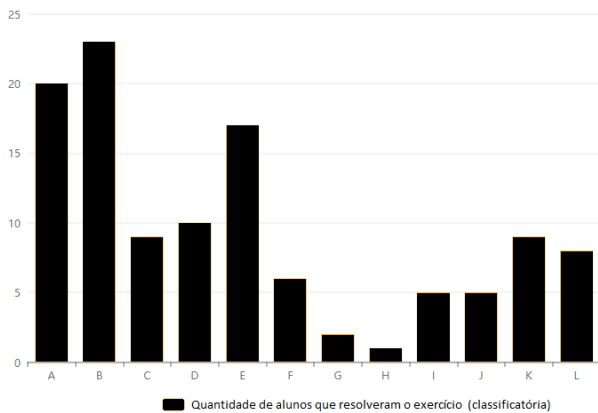


Figura 1: Gráfico referente a classificatória

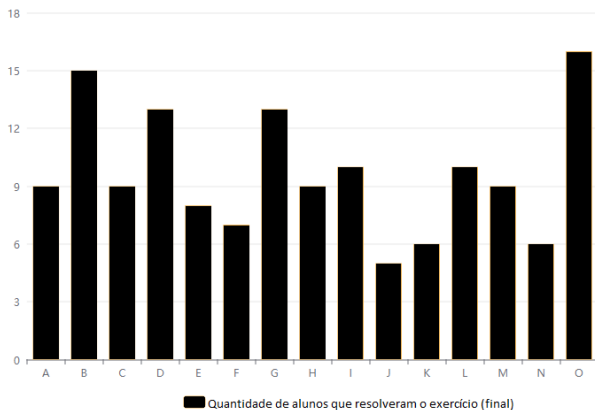


Figura 2: Gráfico referente a final

Os números da edição 2020 do Programação 1.0 surpreenderam, diante do momento enfrentado. Não sobressaíram apenas as dificuldades neste período. Já não sendo possível o deslocamento da equipe até a unidade do colégio selecionado, outras localidades puderam ser incluídas, devido ao encurtamento das distâncias no modo *online*. O número de escolas atendidas saltou de 10 em 2018 e 2019 para 30 em 2020. Estas são de 6 cidades e 4 estados diferentes. Destaque para o convite especial de participação no evento AGCC (*American Girls Can Code*), que foi direcionado apenas a mulheres na cidade de Brasília. Foram, ao todo, 74 alunos das escolas participantes e 147 alunas por parte do evento, totalizando 221 inscritos. Os colégios parceiros, são: Colégio COC de São José dos Campos (SP), Colégio Guimarães Rosa – Integral de Bragança Paulista (SP), Colégio Interativo de Volta Redonda (RJ), Colégio Sete de Setembro - COC Poços (MG) e Colégio São José de Pousos Alegre (MG). Dos 73 alunos inscritos por parte dos colégios, 42% eram mulheres e 58% homens, um número parecido com a edição anterior, 2019, com uma redução da porcentagem de mulheres e consequente aumento dos homens. O projeto atende alunos de 1º, 2º e 3º ano do ensino médio, sendo que 43% são alunos do primeiro ano, 23% do segundo ano e 34% do terceiro ano.

V. CONCLUSÃO

A tecnologia se provou, mais uma vez, aliada para superação dos problemas. Este fato reforça a importância de se preparar os jovens, que ainda estão em idade escolar, para saberem utilizá-la e contribuir com sua evolução. É possível perceber que

o projeto Programação 1.0 teve, no ano de 2020, um momento de grande reformulação. Além das mudanças já previstas, o próprio cenário de pandemia obrigou que outras ações fossem implementadas. Foi uma oportunidade de aperfeiçoamento e descobertas, como por exemplo a exploração do canal no YouTube, que obteve um retorno surpreendente de 274 inscritos em apenas 1 mês.

O projeto seguirá buscando por inovações e identificando a necessidade do seu público. Por hora, a equipe está concentrada em encontrar novas ferramentas de interação com os participantes, produção de conteúdo para fixação e resolução de exercícios, comunicação eficiente, suporte aos alunos e um canal de comunicação direta com os estudantes para divulgar as novidades e informações do Programação 1.0. É clara a evolução dos que passaram por esta experiência dentro do projeto, os conhecimentos adquiridos e as conquistas de cada um. Seja a superação de se falar em público, de escrever um artigo ou de ministrar um conteúdo técnico para as escolas. O sucesso da edição 2020 motiva para que a equipe continue buscando por novos resultados e alcance uma maior abrangência na região do Sul de Minas e outros estados. A intenção é aumentar o número de inscritos para o próximo ano e reforçar a característica de competição do projeto.

Será mantida a estrutura atual do treinamento, com previsão de um aumento da carga horária do curso. Permanece também a linguagem Python e a metodologia de aprendizagem prática do conteúdo. Por fim, é esperado uma maior proximidade com o público na edição seguinte, garantindo o aproveitamento e também o fortalecimento das relações.

REFERÊNCIAS

- [1] Vani Moreira Kenski. "Aprendizagem mediada pela tecnologia". Em: *Revista diálogo educacional* 4.10 (2003), pp. 1–10.
- [2] Code Club Brasil. *Code Club Brasil*. URL: <https://www.codeclubbrasil.org.br/> (acesso em 15/02/2021).
- [3] DevMedia. *Top 10 linguagens de programação mais usadas no mercado*. URL: <https://www.devmedia.com.br/top-10-linguagens-de-programacao-mais-usadas-no-mercado/39635>.
- [4] YouTube. *Canal do Programação 1.0 no YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/channel/UCvZRw7QOxXRCVxqVdWs5nQ> (acesso em 18/01/2021).
- [5] Zoom Video Communications Inc. *Sobre Zoom Video Communications*. URL: <https://zoom.us/pt-pt/about.html> (acesso em 18/01/2021).
- [6] SYMPLA INTERNET SOLUÇÕES S.A. *Sobre SYMPLA INTERNET SOLUÇÕES S.A.* URL: <https://www.sympla.com.br/sobre-sympla> (acesso em 18/01/2021).
- [7] Microsoft Corporation. *Sobre o PowerPoint*. URL: <https://support.microsoft.com/pt-br/office/o-que-%C3%A9-o-powerpoint-5f9cc860-d199-4d85-ad1b-4b74018acf5b> (acesso em 18/01/2021).
- [8] Quizizz Inc. *Sobre Quizizz Inc.* URL: <https://quizizz.com/about> (acesso em 18/01/2021).
- [9] URI Online Judge. *Sobre URI Online Judge*. URL: <https://www.urionlinejudge.com.br/judge/pt/login> (acesso em 18/01/2021).

- [10] Neps Academy. *Sobre Neps Academy*. URL: <https://neps.academy/br/about-us> (acesso em 18/01/2021).
- [11] Repl.it. *Sobre Repl.it*. URL: <https://repl.it/languages/python3> (acesso em 18/01/2021).
- [12] Luisa de Fátima Lucena de Sousa, Ana Lúcia Leal e Ester Feijó Correia de Sena. “A importância da comunicação não-verbal do professor universitário no exercício de sua atividade profissional”. Em: *Revista CEFAC* 12 (Oct. 2010), pp. 784–787. ISSN: 1516-1846. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-18462010005000088>. URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-1846201000500009&lng=en&nrm=iso.

Especificação de Motor para um Veículo Elétrico

Fernanda Camiccia Tasca, Renato Gregolon Scortegagna, Marconi Januário

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC

fernanda.tasca@unoesc.edu.br, renato.scortegagna@unoesc.edu.br, marconi.januário@unoesc.edu.br

Abstract—Electric vehicles (EVs) are taking to the streets of the world and are the new age in terms of means of transportation. In the western region of Santa Catarina, where the Unoesc is located, the installation of five EV charging stations is planned in the so-called Santa Catarina electric route. Given this fact, the design of an EV was proposed for future use in studies related to charging stations, integration with smart grids, and autonomous navigation. This work consists in specifying the electric motor of the EV, considering the mechanical specifications of the prototype. The calculations used for the sizing took into consideration aspects of the sidewalk, terrain slope and load. Considering the main sources of resistance to movement, the electric motor was specified with a power of 10 kW. With the calculated data, the complete commercial axle was specified, containing the drive shaft, motor, differential with reduction, axle and brakes.

Index Terms—Torque, Specification, Electric Motor, Electric Vehicle.

Resumo—Veículos Elétricos (VEs) estão tomando as ruas do mundo e são a nova era em termos de meio de transporte. Na região Oeste de Santa Catarina, onde está localizada a Unoesc, está prevista a instalação de cinco eletropostos de recarga de VEs no chamado corredor elétrico catarinense. Diante desse fato, foi proposto o projeto de um VE para utilização futura em estudos relacionados à estações de recarga, integração com redes inteligentes e navegação autônoma. Esse trabalho consiste na especificação do motor elétrico do VE, considerando as especificações mecânicas do protótipo. Os cálculos utilizados para o dimensionamento levaram em consideração aspectos do pavimento, inclinação do terreno e carga. Consideradas as principais fontes de resistência ao movimento, o motor elétrico foi especificado com uma potência de 10 kW. Com os dados calculados foi especificado o eixo comercial completo, contendo *drive* de acionamento, motor, diferencial com redução, eixo e freios.

Palavras chave—Conjugado, Especificação, Motor elétrico, Veículo Elétrico.

I. INTRODUÇÃO

O primeiro veículo elétrico foi construído em 1837, quarenta anos antes do motor de combustão interna. A partir do ano de 1912, os combustíveis derivados de petróleo rapidamente ganharam espaço no acionamento de motores à combustão interna e, consequentemente, na utilização em veículos. Durante as décadas seguintes, as pesquisas relacionadas aos veículos elétricos (VEs) tiveram uma evolução pouco significativa. Contudo, a partir de meados da década de 1990, preocupações com o aquecimento global, diminuição dos níveis de poluição de grandes centros urbanos, entre outras motivações, resultaram na visão de que os VEs são uma alternativa sustentável para substituir o uso de combustíveis fósseis [1], [2]. Um dos primeiros veículos elétricos produzidos é apresentado na Figura 1.

Os denominados veículos elétricos estão divididos em duas categorias, sendo elas os veículos elétricos (VEs), acionados somente por motores elétricos e, os híbridos (VEHs), que

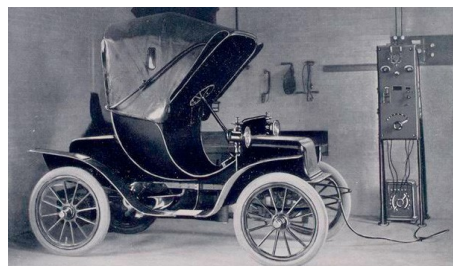


Fig. 1. Veículo elétrico em uma estação de recarga em 1909 [3].

combinam motores elétricos aos motores de combustão interna [4]. De acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), é inegável que o Brasil seja um país de imenso potencial elétrico. O Brasil tem potencial para comercializar 150 mil veículos por ano, mas apenas 11.858 híbridos e elétricos foram comercializados em 2019. Mesmo que seja pequeno o crescimento na aquisição dos veículos elétricos o Brasil ainda está caminhando aos poucos para a evolução tecnológica. O número de vendas/emplacamentos de VEs no Brasil no ano de 2020 foi de 19.745 unidades, um aumento de 66,5% nos emplacamentos em relação a 2019 [5].

Um fator importante a ser destacado com relação ao aumento da frota de VEs está relacionado às estações para recarregar as baterias desses veículos, os chamados eletropostos. Os eletropostos transferem energia elétrica para os VEs a partir da energia proveniente da rede convencional ou de alguma fonte alternativa de energia. Mesmo tendo um custo elevado, alguns investimentos na tecnologia estão sendo realizados em forma de eletrovias. Por exemplo, no Paraná, foi construída a maior eletrovia do país com 730 km de extensão ligando o Porto de Paranaguá às Cataratas do Iguaçu, em Foz do Iguaçu. Ao todo, como pode ser visualizado na Figura 2, são 12 eletropostos espalhados ao longo de toda BR-277, que cruza o referido Estado. Esse projeto foi desenvolvido pela Copel, que é o principal agente de distribuição de energia elétrica do estado do Paraná [6].



Fig. 2. Corredor elétrico do estado do Paraná [6]

No estado de Santa Catarina, a CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina, anunciou em 2020 que ampliará o chamado “Corredor Elétrico Catarinense” que consiste em estações de carregamento de VEs. Esses pontos contemplam estações de carregamento rápido concentradas na principal via litorânea, a BR-101, que interliga o Santa Catarina aos estados vizinhos do Paraná e Rio Grande do Sul. As demais estações, de carregamento semirrápido, serão instaladas no interior do Estado [7]. Na região Oeste Catarinense, onde está situada a Unoesc, estão previstas cinco estações de recarga, conforme destacado na Figura 3.



Fig. 3. Mapa com localização dos eletropostos previstos para compor o Corredor Elétrico Catarinense [7]

Os profissionais de Engenharia Elétrica estão cada dia mais envolvidos com as tecnologias dos VEs. Juntamente com os benefícios, também existem novos desafios que compreendem os sistemas de carregamento de baterias, integração do veículo com redes inteligentes (*smartgrids*), o impacto do carregamento de VEs na rede elétrica de distribuição e o próprio funcionamento e dimensionamento das partes que constituem um VE. Portanto, esse trabalho tem como escopo dimensionar a potência mecânica de um motor elétrico de um VE com capacidade de transportar duas pessoas. O veículo será construído em um projeto futuro e servirá de fonte de estudos de várias áreas relacionadas aos veículos elétricos nos cursos de engenharia da Unoesc.

II. O VEÍCULO ELÉTRICO

De acordo com [8], um veículo elétrico consiste em dois subsistemas, o motor elétrico e os sistemas do veículo. Os principais componentes de veículo elétrico são o motor elétrico como fonte de energia mecânica, uma fonte de energia formada por um banco de baterias e uma central de controle que controla o inversor de acordo com as necessidades variáveis do veículo elétrico. Um diagrama de blocos simplificado que corresponde à descrição é apresentado na Figura 4.

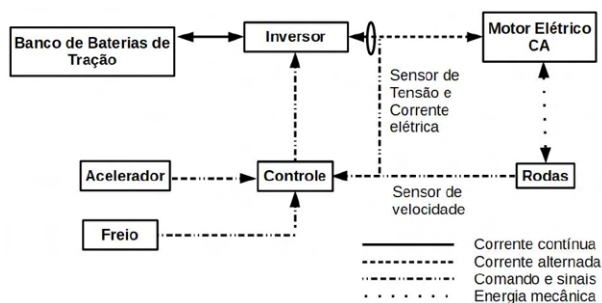


Fig. 4. Diagrama de blocos genérico de um VE [1].

No Diagrama apresentado na Figura 4, a bateria recarregável armazena a energia elétrica que será utilizada para fazer o veículo funcionar. O inversor, por sua vez, converte a corrente elétrica contínua em corrente alternada, que é levada até o motor de indução. A eletricidade, assim, aciona os mecanismos do motor que faz as rodas girarem e o veículo se mover.

Existem diversas configurações de veículos elétricos, que dependem do tipo de aplicação, do tipo de motor e do sistema de armazenamento de energia. De forma geral, os VEs podem apresentar tração dianteira, tração traseira ou tração integral. Na Figura 5, são apresentadas as principais configurações de VEs com sistema de tração traseira, onde a simbologia do motor elétrico é dada pela letra M, E é a embreagem, CV é a caixa de velocidades, CR é a caixa redutora e D é o diferencial [9].

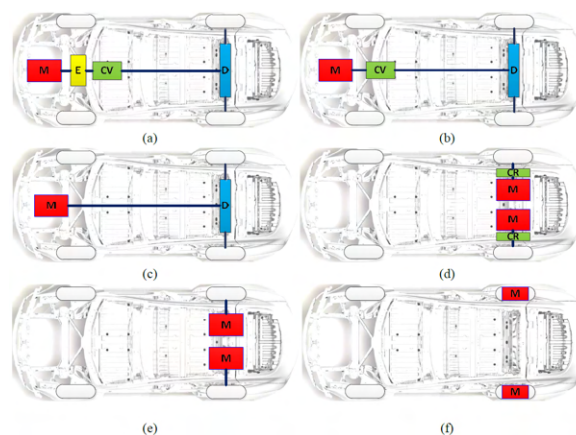


Fig. 5. Configurações típicas de veículos elétricos com tração traseira [9].

Sem a queima de combustíveis, o veículo elétrico não emite ruídos incômodos nem gera poluentes. Além disso, o uso da eletricidade permite que a energia seja melhor aproveitada, uma vez que o mecanismo do motor sofre menos atrito em comparação com o motor a combustão. Assim, a aceleração do veículo se torna mais leve e isso facilita a condução [9].

III. ESPECIFICAÇÕES GERAIS DO VEÍCULO ELÉTRICO

O veículo elétrico da Unoesc foi especificado para transportar duas pessoas (motorista e um passageiro) pelo *Campus II* da Unoesc Joaçaba. Inicialmente, a aplicação do VE será exclusivamente para utilização em pesquisas, não sendo previsto o transporte ou o reboque de cargas extras. Como a característica topográfica interna do *Campus* é predominantemente plana, foi considerada uma inclinação máxima de 5% a ser vencida pelo VE. As principais características do VE são apresentadas na Tabela I.

TABELA I
ESPECIFICAÇÕES DIMENSIONAIS E DE CAPACIDADE DO VE

DESCRIÇÃO	VALOR	UNIDADE
Largura máxima	1,45	m
Comprimento máximo	2,5	m
Velocidade máxima	50	km/h
Pneus	165/70/R13	und
Massa do veículo	500	kg
Massa dos passageiros	180	kg
Inclinação máxima do pavimento	5	%

Com relação ao sistema de tração, nesse trabalho foi optado pelo sistema de tração traseira, constituído por um motor e um diferencial, apresentado na letra c da Figura 5. Esse tipo de configuração, de acordo com [9], geralmente é aplicado para motores com rotação mais elevada ou para rotações menores e conjugado superior, dependendo da relação de engrenagens do diferencial. Nessa configuração, são reduzidas as perdas mecânicas da caixa de marcha. Na Figura 6, é apresentada uma visão geral dos blocos que compõe o VE proposto.

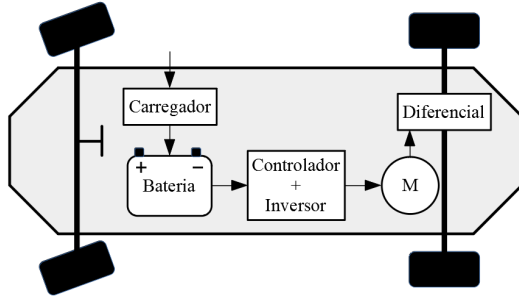


Fig. 6. Blocos que compõe o VE proposto.

Comercialmente existem soluções de conjunto eixo transmissão traseiro totalmente modulares. Os sistemas da fabricante italiana Benevelli incluem caixa de velocidades com diferencial, eixo completo com sistema de freios e motor elétrico [10]. Esses sistemas modulares podem ser configurados para diferentes exigências da aplicação do VE e estão disponíveis para motores com potências que variam de 3 a 20 kW. Na Figura 7, é apresentado um eixo de transmissão traseiro da série TX2 com capacidade de conjugado de saída de até 1000 Nm e sistema de freio hidráulico/mecânico com capacidade de 1200 Nm.

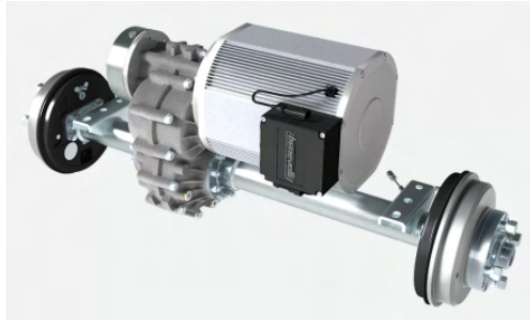


Fig. 7. Conjunto eixo transmissão traseiro da série TX2 [10].

IV. CÁLCULO DA POTÊNCIA DO MOTOR ELÉTRICO

Um motor elétrico, por definição, é uma máquina elétrica capaz de converter energia elétrica em energia mecânica. De acordo com [11], quando uma carga mecânica requer uma determinada potência elétrica (P) em Watts do motor elétrico, isso equivale que tal carga necessita de um dado conjugado (C), em Nm, para uma dada velocidade de rotação (ω), em rad/s. Portanto, para um sistema com movimento de rotação, a potência é descrita por (1).

$$P = C \cdot \omega \quad (1)$$

Quando um motor elétrico aciona uma carga por meio de um sistema de transmissão, as equações que expressam o

comportamento do sistema requerem que os conjugados sejam referidos a um único eixo, usualmente o do próprio motor elétrico. Assim, o conjugado da carga C_C e a rotação da carga ω_C devem ser referidos ao eixo do motor para que seja conhecida a rotação máxima requerida ao motor ω_m e o conjugado mínimo a ser fornecido pelo motor C_m . Para esses cálculos, devem ser considerados o rendimento do acoplamento η e a relação de velocidades R , dada por (2).

$$R = \frac{\omega_C}{\omega_m} \quad (2)$$

Com base no modelo do sistema de transmissão traseira comercial adotado para esse projeto, foi possível identificar a cadeia cinemática básica do sistema de tração do VE proposto. Na Figura 8 são representados os principais elementos da cadeia cinemática, contendo o eixo do motor e o eixo das rodas e pneus, onde r_r representa o raio do pneu.

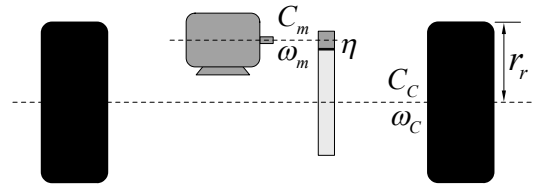


Fig. 8. Cadeia cinemática simplificada do VE projetado.

A. Determinação do Conjugado da Carga

De acordo com a segunda lei de Newton, a variação da velocidade V em função do tempo ou aceleração é igual à diferença entre o somatório de forças de tração do veículo F_T e o somatório das forças de resistência ao movimento F_R divididos pela massa total do veículo M . Ainda, como apresentado em (3), pode ser aplicado um fator δ para a conversão de inércias rotacionais em massa translacional [12].

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\sum F_T - \sum F_R}{\delta M} \quad (3)$$

Os principais fatores que oferecem resistência ao movimento do veículo representado na Figura 9 são a resistência ao rolamento dos pneus f_r , a resistência ao arrasto aerodinâmico e a resistência causada pela inclinação no terreno (movimento de subida) [12], [13].

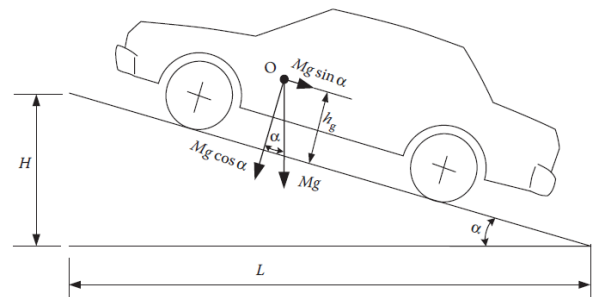


Fig. 9. Forças que atuam sobre um veículo em uma rampa [12].

A resistência ao rolamento está relacionada à perda de energia mecânica do pneu devido às deformações que ocorrem na região de contato com a pista. Essa energia mecânica se dissipa no pneu, causando o aumento da energia interna e, por

consequência, o aquecimento do pneu [13]. De acordo com [12], o coeficiente de resistência ao rolamento f_r de pneus de borracha para estradas com pavimentação asfáltica ou de concreto é de 0,013. Para alguns outros tipos de pavimentos, os valores típicos de f_r são apresentados na Tabela II.

TABELA II
COEFICIENTES DE RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO DE PNEUS

Tipo de pavimento	f_r
Asfalto ou concreto	0,013
Cascalho compactado	0,02
Estrada não pavimentada	0,05
Gramado	0,1 – 0,35

Impactam no cálculo da resistência ao rolamento (4) a força normal, o coeficiente de resistência ao rolamento f_r e o ângulo de inclinação da rampa α .

$$F_{rolamento} = M \cdot g \cdot f_r \cdot \cos(\alpha) \quad (4)$$

A força de arrasto aerodinâmico F_{aero} devido ao movimento do VE, dada por (5), depende da densidade atmosférica ρ (kg/m³), da área frontal do corpo A_c em (m²), e da constante de aerodinâmica do corpo C_d (adimensional).

$$F_{aero} = \frac{\rho \cdot A_c \cdot C_d \cdot (V_{veiculo})^2}{2} \quad (5)$$

A constante aerodinâmica do corpo está relacionada principalmente à forma do veículo [13]. Valores típicos de C_d para automóveis estão entre 0,28 e 0,38, enquanto que para A_c os valores típicos de área frontal estão entre 1,8 m² (veículos compactos) e 2,8 m² (furgões) [1].

Outra força que também deve ser considerada é a força devida à inclinação da pista. Quando um veículo se movimenta em um aclive a componente do peso paralela à pista resiste ao seu avanço [9],[13]. Assim, a força resistente ao movimento devido à inclinação da pista é definida por (6).

$$F_{inclinacao} = M \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (6)$$

Calculadas as forças resistentes ao movimento, o conjugado nominal da carga C_C é definido como o somatório das forças de resistência ao movimento em N, multiplicadas pelo raio r_r em metros do pneu utilizado.

$$C_C = (F_{rolamento} + F_{aero} + F_{inclinacao}) \cdot r_r \quad (7)$$

B. Determinação da potência do motor elétrico

Uma vez determinado o conjugado da carga e, conhecendo a velocidade máxima do veículo, pode ser determinada a potência mecânica requerida pela carga por meio de (8).

$$P_C = \omega_C \cdot C_C \quad (8)$$

Considerando a cadeia cinemática apresentada nesse trabalho, a potência do motor elétrico pode ser definida adicionando as perdas do sistema mecânico de engrenagens do diferencial, definido pelo rendimento. Essa relação é expressa por (9).

$$P_m = \frac{P_C}{\eta} \quad (9)$$

V. RESULTADOS DA ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR

Considerando as especificações do VE e os principais parâmetros indicados na literatura, foram realizados os cálculos da especificação do motor para o veículo elétrico da Unoesc. Para o cálculo da força de resistência ao rolamento foi considerado o f_r de 0,013, pois as ruas e estacionamentos do *Campus* são pavimentadas com asfalto ou *paver*. O ângulo de inclinação α foi calculado em função do percentual de inclinação máximo do pavimento dado por (10).

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{5}{100} \right) = 2,86^\circ \quad (10)$$

Assim, a força causada pela resistência ao rolamento é determinada em (11).

$$F_{rolamento} = [680 \cdot 9,81 \cdot 0,013 \cdot \cos(2,86^\circ)] = 86,61 \text{ N} \quad (11)$$

Para a determinação da força causada pelo arrasto aerodinâmico foi considerada uma área frontal do VE de 2,0 m². A constante aerodinâmica do VE foi considerada em 0,3 e a velocidade total de 50 km/h foi convertida para 13,88 m/s. A força causada pelo arrasto aerodinâmico é calculada em (12).

$$F_{aero} = \frac{1,275 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot (13,88)^2}{2} = 73,69 \text{ N} \quad (12)$$

Dada a especificação de inclinação máxima do pavimento, a força resistente ao movimento em rampa é dada por (13).

$$F_{inclinacao} = 680 \cdot 9,81 \cdot \sin(2,86^\circ) = 332,84 \text{ N} \quad (13)$$

O valor do conjugado nominal da carga é dado pelo somatório de forças resistentes com a distância em relação ao centro do eixo, neste caso o raio do pneu r_r . Para o pneu especificado, 165/70/R13, o raio r_r é determinado por (14).

$$r_r = \frac{13 \cdot 0,0254}{2} + 0,07 = 0,235 \text{ m} \quad (14)$$

Conhecido o raio do pneu, o conjugado da carga é calculado em (15).

$$C_C = (86,61 + 73,69 + 332,84) \cdot 0,235 = 114,06 \text{ Nm} \quad (15)$$

A potência requerida pela carga é calculada pelo produto da rotação e do conjugado. A rotação máxima do eixo é a relação entre a velocidade especificada em m/s dividida pela circunferência do pneu dado em 16.

$$\omega = \frac{V_{veiculo}}{r_r} = \frac{13,88}{0,235} = 59,06 \text{ rad/s} \quad (16)$$

O valor potência total solicitada pela carga é de

$$P_C = 114,06 \cdot 59,06 = 6,737 \text{ kW} \quad (17)$$

A potência do motor deve levar em consideração as perdas no conjunto mecânico. Desta forma, utilizando o valor de

rendimento de 95% expresso no catálogo do fabricante, a potência elétrica do motor foi calculada em (18).

$$P_m = \frac{P_C}{\eta} = \frac{6,737}{0,95} = 7,092 \text{ kW} \quad (18)$$

A. Especificação do modelo comercial

Uma vez que foi determinada a potência elétrica, é necessária a verificação da disponibilidade de valores comerciais com capacidade igual ou imediatamente superior. Consultados os catálogos de motores *on-line* da fabricante Bevenelli, foi especificado o motor comercial trifásico assíncrono modelo AMAC 200-165 com potência nominal de 10 kW. A curva conjugado *vs* velocidade apresentada pelo fabricante apresenta conjugado constante de 50,3 Nm até a rotação nominal de 2000 rpm.

Dados os valores de catálogo, faz-se necessária a especificação da relação de transmissão mecânica do diferencial e, por fim, a verificação para constatar se o conjugado do motor é superior ao conjugado resistente imposto ao eixo do motor.

A relação de velocidades entre o motor e o eixo para a máxima velocidade de projeto é dada por (19).

$$R = \frac{\omega_C}{\omega_m} = \frac{59,06 \text{ rad/s}}{209,44 \text{ rad/s}} = 0,282 \quad (19)$$

Em outras palavras, para cada volta completa no pneu do veículo, o motor elétrico terá girado 3,546 voltas, uma relação sob o ponto de vista do motor de 3,546:1.

Comercialmente, conforme dados do fabricante, o valor mais próximo da relação especificada é 3:1, ou seja, o valor da relação é $R = 0,333$. Dessa forma, é necessária uma verificação para comprovar se os parâmetros de velocidade e conjugado ainda são atendidos. Para que a velocidade máxima do VE seja atingida a rotação do motor deverá ser de

$$\omega_m = \frac{59,06 \text{ rad/s}}{0,333} = 177,18 \text{ rad/s}, \quad (20)$$

o que equivale a aproximadamente 1692 rpm.

Outra verificação necessária é com relação ao conjugado resistente no eixo do motor. Para isso, o conjugado da carga deve ser referido ao eixo do motor, considerando a relação de engrenagem e o rendimento do sistema mecânico, conforme (21).

$$C_{mr} = \frac{R \cdot C_C}{\eta} = \frac{0,333 \cdot 114,06}{0,95} = 40,021 \text{ Nm} \quad (21)$$

Dado ao atendimento das especificações, pode-se considerar que o motor atende à capacidade de potência demandada pela carga, mantendo-se abaixo dos parâmetros nominais de velocidade e conjugado do motor.

B. Comparação com modelos comerciais de VEs

Adicionalmente à especificação do motor do VE, apenas para fins de comparação, foram consultadas as fichas técnicas de alguns VEs comerciais com capacidade de transporte de duas pessoas. Entre os veículos elétricos consultados, estão o modelo EcoTech 2 comercializado pela empresa paranaense

Hitech Electric, o VE Ami, da fabricante Citroën e o BEV, que é o primeiro veículo 100% elétrico da Toyota. A Tabela III apresenta os dados de peso, potência e velocidade máxima de cada um dos VEs pesquisados e do VE proposto nesse trabalho.

TABELA III
CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS VES PARA 2 PESSOAS

Nome do VE	Peso	Potência	Velocidade
EcoTech2	430 kg	6 kW	68 km/h
Citroen Ami	485 kg	6 kW	70 km/h
BEV	690 kg	9 kW	60 km/h
VE Unoesc	680 kg	10 kW	50 km/h

VI. CONCLUSÃO

Os veículos elétricos, atualmente, apresentam-se como uma solução limpa, sustentável e econômica para a diminuição da demanda de combustíveis fósseis. Apesar de algumas ações para incentivar o uso de VEs, a falta de uma ampla infraestrutura de recarga e o custo de aquisição de um veículo elétrico, principalmente em países de baixa renda per capita como o Brasil, resultam em avanço pouco significativo em termos de frota, quando comparados a países de primeiro mundo como a Noruega, onde a frota elétrica vem crescendo significativamente.

Diante da expectativa da expansão da infraestrutura de recarga para VEs, no estado de Santa Catarina, esse artigo apresentou os passos utilizados para a especificação do motor de um VE que está em fase de projeto da Unoesc. O projeto do veículo elétrico é importante para estudos e pesquisas acadêmicas dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Computação que compreendem os sistemas de carregamento de baterias, integração do veículo com redes inteligentes e navegação autônoma.

Apesar de escassos os exemplos de dimensionamento na literatura, foi possível utilizar equações e conceitos da física mecânica para determinar a potência mecânica exigida pela aplicação e, por fim, especificar um conjunto eixo transmissão juntamente com um motor elétrico. Comparativamente com alguns modelos de VEs comerciais, considera-se que o projeto está adequado. Futuramente, como proposta, podem ser pesquisados outros fabricantes de conjuntos eixo transmissão e verificada a possibilidade de especificar um motor comercial com potência mais próxima a calculada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Unoesc e ao Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina (UNIEDU) pela concessão da bolsa de iniciação científica. Esse trabalho foi selecionado nos termos do Art. 170 do EDITAL Nº 14 /UNOESC-R/2020.

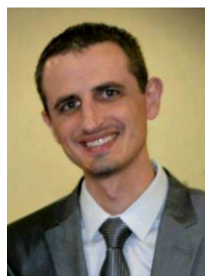
REFERÊNCIAS

- [1] Toshizaemom Noce. “Estudo do funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento”. Tese de doutorado. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2009, p. 129.
- [2] Gilmar Barreto. “Veículo Elétrico a Bateria: Contribuições à Análise de seu Desempenho e seu Projeto”. Tese de doutorado. Unicamp, 1986, p. 369.

- [3] Daniel Pereira. *O quanto o carro elétrico é realmente ecológico?* URL: <http://www.sermelhor.com.br/ecologia/o-quanto-o-carro-eletrico-e-realmente-ecologico.html> (acesso em 10/02/2021).
- [4] Christian Vonbun. “Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos PLUG-IN: Uma revisão da literatura”. Em: *Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada* (2015), p. 48.
- [5] ABVE. 2020: *o melhor ano da mobilidade elétrica no Brasil*. 2021. URL: <http://www.abve.org.br/2020-o-melhor-ano-da-eletromobilidade-no-brasil/> (acesso em 05/03/2020).
- [6] Copel. *Copel inaugura maior eletrovia do país*. 2019. URL: <https://www.copel.com> (acesso em 06/11/2020).
- [7] Celesc. *Celesc divulga lista dos parceiros pré-selecionados para eletropostos*. 2020. URL: <https://no.voportal.celesc.com.br/listagem-noticias/celesc-divulga-lista-dos-parceiros-pre-selecionados-para-eletropostos> (acesso em 24/02/2021).
- [8] Farhan A. Salem. “Mechatronics design of small electric vehicles; research and education”. Em: *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* 13.1 (2013), pp. 23–36.
- [9] Victor Wilson Gonçalves Azevedo. *Projeto de um protótipo de um veículo elétrico*. Madeira - Portugal, 2015.
- [10] Benevelli Electric Powertrain Solutions. *Electric Transaxles TX2 Serie*. 2021. URL: <https://benevelli-group.com/index.php> (acesso em 20/02/2021).
- [11] Sílvia Orlando Lobosco. *Seleção e aplicação de motores elétricos*. São Paulo - SP: McGraw-Hill : Siemens, 1988.
- [12] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Stefano Longo e Kambiz M. Ebrahimi. *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles*. 3ª ed. New York: CRC Press, 2018, p. 573.
- [13] Fernando Lang da Silveira. “Potência de tração de um veículo automotor que se movimenta com velocidade constante”. Em: *Revista Brasileira de Ensino de Física* 3.1 (2011), p. 7.

AUTORES

Fernanda Camiccia Tasca Graduada do curso de Engenharia Elétrica da Unoesc Joaçaba-SC. Atualmente é bolsista de iniciação científica pelo programa de bolsas universitárias de Santa Catarina (UNIEDU). Tem interesse nas áreas de Engenharia Elétrica voltadas à mobilidade por meio de veículos elétricos e na geração de energia elétrica por fontes alternativas e sustentáveis.



Renato Gregolon Scortegagna Doutorando em Engenharia Elétrica na UTFPR - Curitiba no Laboratório de Processamento Eletrônico de Energia (LPEE). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (2015). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (2011) e Técnico em Eletrônica pelo SENAI SC (2005). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Elétricos, Magnéticos, Eletrônicos e Automação de Processos. É membro da Associação Brasileira de Eletrônica de Potência (SOBRAEP) e atua como professor nos Cursos de Engenharia da UNOESC.



Marconi Januário Engenheiro Eletricista graduado pela Fundação Universidade Regional de Blumenau em 2003. Especialista em Automação Industrial pela Fundação Universidade Regional de Blumenau, título obtido em 2004. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. Doutor em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina no Grupo de Concepção e Análise de Dispositivos Eletromagnéticos - GRUCAD, título obtido em 2015. Marconi Januário é professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC. Também foi coordenador do Curso de Engenharia Elétrica na UNOESC durante o ano de 2010. Foi coordenador do curso de Especialização em Engenharia de Automação Industrial na UNOESC durante os anos de 2017 e 2018. Atualmente, é coordenador do curso de Especialização em Indústria 4.0 e I.A. na UNOESC. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Circuitos Magnéticos, Magnetismo e Eletromagnetismo. Trabalha e pesquisa em assuntos relacionados com seguintes temas: Transformadores, Modelagem de Transformadores, Resposta em Frequência, Máquinas Elétricas, Determinação numérica de valores de parâmetros de modelos, Qualidade de Energia, Harmônicas, Sistemas de Controle, Automação Industrial e Inteligência Artificial.

Escaneamento de membros e impermeabilização para Mão Biônica controlada por EMG/MMG

Ana Beatriz T. Higashizima, Athus C. S. Freitas, Pedro A. Cruz, Filipe B. Vilela, Juliano A. N. Leite

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

ana_higashizima@geb.inatel.br, athus.freitas@geb.inatel.br, pedro.antonio@gec.inatel.br,

filipe.bueno@inatel.br, juliano.leite@inatel.br

Abstract—The purpose of this article is to find the best tool to make an anthropometric analysis of the stump of the hand from scans and software for the correct dimensioning of the Bionic Hand for the patient. Several tests were carried out with different programs and programming languages, such as C++, GoLang and Python. An analysis of different methods of waterproofing the prosthesis was also carried out in order to obtain a satisfactory result in the use of the waterproofed Bionic Hand.

Index Terms—Scanning, waterpproofing, MDX4-4210, bionic hand.

Resumo—O propósito deste artigo é encontrar a melhor ferramenta para fazer a análise antropométrica do coto da mão a partir de escaneamentos e softwares para o dimensionamento correto da Mão Biônica ao paciente. Foram realizados diversos testes com diferentes programas e linguagens de programação, como C++, GoLang e Python. Foi realizado também a análise de diferentes métodos de impermeabilização da prótese a fim de obter um resultado satisfatório na utilização da Mão Biônica impermeabilizada.

Palavras chave—Escaneamento, impermeabilização, MDX4-4210, mão biônica.

I. INTRODUÇÃO

A mão biônica diferente da mão robótica, consegue reproduzir com facilidade os movimentos de uma mão humana. Para um bom encaixe da prótese é necessário o dimensionamento do coto da mão que pode ser realizado por diferentes métodos de escaneamento [1, 2].

O escaneamento a partir de equipamentos de alta precisão encarecem o processo de dimensionamento, portanto pesquisas foram feitas buscando métodos que utilizassem imagens tiradas a partir de celulares com uma câmera comum usando software como MatLab. A possibilidade da utilização de celulares como scanner 3D também foi considerada visto que esse software funciona bem ao montar o modelo 3D de esculturas e estátuas [3, 4].

Para um bom funcionamento da mão biônica também é necessário que ela seja impermeabilizada para evitar danos ao funcionamento elétrico e mecânico da prótese. Essa impermeabilização pode decorrer-se de diversas formas, como a utilização de luvas já disponíveis no comércio, a fabricação própria de luvas a partir de soluções de silicone não curado como o de *Manufacturing textured gloves of silicone rubber* ou com a utilização de elastômeros [5, 6].

Então, tem-se o objetivo de encontrar a melhor forma de escaneamento e dimensionamento, assim como qual o melhor processo e substância a ser utilizada para a impermeabilização da mão biônica.

II. METODOLOGIA

Inicialmente foi feito um estudo antropométrico, que iria definir parâmetros mensuráveis da morfologia humana para próteses. Em um segundo momento, foram realizados estudos de plataformas, que podem ser utilizadas para o desenvolvimento do software e também quais as extensões de imagem deverão ser usadas para o devido processamento (fotos da mão anatômica) e quais serão as extensões de saída (arquivo com extensão compatível para impressão 3D). Essas pesquisas foram feitas com base em artigos científicos, sites comerciais e cursos online.

Paralelamente ao desenvolvimento do software, foi feito o estudo de materiais e métodos que confirmam impermeabilidade à prótese por meios de artigos científicos e descrições de produtos químicos disponíveis no comércio. O estudo leva a refletir a análise de designs de construção e ciências dos materiais para identificar o componente de mais fácil aplicação e melhor efetividade.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados a seguir foram discutidos e apresentados para a verificação da melhor forma de escaneamento e dimensionamento assim como a etapa de impermeabilização.

A. Escaneamento e dimensionamento

A princípio foi iniciado com a procura por uma plataforma para se desenvolver o escaneamento. Processing é uma linguagem de programação de código aberto e ambiente de desenvolvimento integrado, construído para as artes eletrônicas e comunidades de projetos visuais com o objetivo de ensinar noções básicas de programação de computador em um contexto visual. É possível o escaneamento 3D e gerar um documento compatível com a impressora 3D. Foram realizados testes básicos para compreender o Processing para certificar-se que seu uso seria o ideal. Começou-se a utilizar a linguagem C++, porém após alguns testes e pesquisas foi verificado que a linguagem não era a mais ideal para o escaneamento por conta da dificuldade em encontrar exemplos de escaneamento em OpenCV, dessa forma o desenvolvimento foi migrado para linguagem GoLang. [7]

Foi também considerado a aplicação de *Dataset* de braços e mãos, que são diferentes conjuntos de dados já cadastrados. Foi discutido também sobre a utilização do OpenCV para escaneamento de mãos junto com Aprendizado de Máquina, IA, visão computacional, utilizando um objeto como referência para o cálculo das dimensões, como mostra a Figura 1. Apesar

do OpenCV ser uma opção interessante, deixou bem claro a preferência a linguagem de programação Python, devido a sua facilidade em uso e aplicação de bibliotecas.[8]



Fig. 1. Demonstração do funcionamento do Open CV.

Depois de várias pesquisas, foram encontrados duas formas de calcular distâncias a partir de imagens, a primeira é similar ao macacão Zozosuit na Figura 2, ele utiliza um objeto como referência, que seja facilmente identificado na imagem e com dimensões conhecidas. Com o algoritmo em Python e o objeto de referência, é feito o dimensionamento de objetos na imagem.[9]



Fig. 2. Zozosuit com a utilização do aplicativo para dimensionamento do corpo.

B. Impermeabilização

Inicialmente foram pesquisados luvas já disponíveis no comércio como método de impermeabilização da prótese, como a luva biônica para golfe mostrada na Figura 3 que é impermeável, e quando molhada não fica escorregadia, foi encontrado também luvas de *nylon* cobertas por poliuretano na palma na Figura 4 que geralmente são utilizadas para proteção antiestática. Apesar das luvas disponíveis serem ótimas, ambas

as luvas seriam grossas demais para a utilização na mão biônica.



Fig. 3. Luva biônica para golfe.



Fig. 4. Luva ttil de helanca banhada em poliuretano.

Por isso foi dada continuidade nas pesquisas de diferentes métodos de impermeabilização da prótese, dando prioridade à métodos de fabricação apartir de componentes químicos. Assim como membranas de poliuretano modificadas com isopropil na encapsulação de implantes eletrônicos, porém na utilização da impermeabilização da mão biônica em maior escala e para outro ambiente não seria interessante [10].

Na vertente odontológica, diversos silicones são utilizados, o MDX4-4210 Elastômero Biomédico em comparação ao Bio-skin apresenta menor rugosidade, portanto uma maior estabilidade quanto à essa propriedade [6, 11].

Com o estudo de todas as opções para a impermeabilização da mão biônica, o método mais atrativo foi o do MDX4-4210 por conta da flexibilidade do tempo de cura visto na Tabela I, assim como a possibilidade de ajuste na sua viscosidade [5].

IV. CONCLUSÃO

Os trabalhos relacionados à mão biônica tem-se mostrado efetivos. Esse artigo trouxe uma abordagem teórica e

TABELA I
TEMPO DE CURA E TEMPERATURAS

TEMPO DE CURA	TEMPERATURA
5 horas	40° C
2 horas	55°C
30 minutos	75°C
15 minutos	100°C

prática de 3 técnicas diferentes, mostrando seus parâmetros de construção, e também abordou as principais aplicações para o uso dessas tecnologias. Foi possível observar que a utilização da linguagem Python junto ao OpenCV é o caminho mais promissor para o escaneamento e dimensionamento do pulso e da mão. Assim como o MDX4-4210 apresenta características e propriedades que trarão um melhor resultado na impermeabilização da mão biônica. Como futuros trabalhos, sugere-se o desenvolvimento e aprimoramento de diferentes métodos análises, tanto teóricas quanto práticas assim como melhorias de protocolos de impermeabilização e até suas substâncias.

REFERÊNCIAS

- [1] Deivyson Bruno Silva Ribeiro. “Mão biônica controlada por luva de sensores.” Em: (2018).
- [2] Caique Milhomem Barbosa, Vinicius Oliveira Ataíde e Carlos Andrew. “O Avanço da Robótica no Auxílio da Medicina e o que o Futuro nos Reserva: Um Estudo”. Em: *Publicado por* ().
- [3] MatLab. *Measuring Planar Objects with a Calibrated Camera*. URL: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/measuring-planar-objects-with-a-calibrated-camera.html> (acesso em 18/02/2021).
- [4] Kalin Kolev, Petri Tanskanen, Pablo Speciale e Marc Pollefeys. “Turning mobile phones into 3D scanners”. Em: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2014, pp. 3946–3953.
- [5] Carl W Miller, Lester C Vandenberg e Wayne H Statt. *Manufacturing textured gloves of silicone rubber*. US Patent 4,061,709. Dez. de 1977.
- [6] Juliana Barchelli Pinheiro. “Identificação da microbiota de próteses bucomaxilofaciais e tecidos adjacentes e avaliação da efetividade antimicrobiana de diferentes protocolos de higiene e de seus efeitos sobre propriedades de dois silicões”. Tese de dout. Universidade de São Paulo.
- [7] Ben Fry e Casey Reas. *processing*. URL: <https://processing.org/examples/regularpolygon.html> (acesso em 18/05/2021).
- [8] Adrian Rosebrock. *OpenCV*. URL: <https://www.pyimagesearch.com/2016/04/04/measuring-distance-between-objects-in-an-image-with-opencv/> (acesso em 18/05/2021).
- [9] ZozosuitCorp. *Zozosuit*. URL: <https://corp.zozo.com/en/measurement-technology/> (acesso em 18/05/2021).
- [10] Nima Roohpour, Jaroslaw M Wasikiewicz, Alireza Moshaverinia, Deepen Paul, Mike F Grahn, Ihtesham U Rehman e Pankaj Vadgama. “Polyurethane membranes modified with isopropyl myristate as a potential candidate for encapsulating electronic implants: A study of biocompatibility and water permeability”. Em: *Polymers* 2.3 (2010), pp. 102–119.
- [11] Sudarat Kiat-Amnuay, Trakol Mekayarajjananonth, John M Powers, Mark S Chambers e James C Lemon. “Interactions of pigments and opacifiers on color stability of MDX4-4210/type A maxillofacial elastomers subjected to artificial aging”. Em: *The Journal of prosthetic dentistry* 95.3 (2006), pp. 249–257.

AUTORES

Filipe Bueno Vilela, graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto de Telecomunicações (INATEL), mestrado em Engenharia de Materiais com foco em biometrias pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do eHealth Innovation Center do Inatel. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”

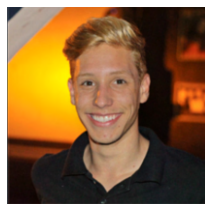


Juliano A. N. Leite, Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina; UFSC; Atuou como Engenheiro Clínico no Hospital Tereza Ramos na cidade de Lages/SC; Atuou na Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC) como Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós-graduação, coordenador do curso de Engenharia Elétrica e professor nos cursos



de Engenharia de Produção e Engenharia Elétrica. Atuou como Field Service Engineer na Philips Health Systems; Atuou como professor na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) no curso de Engenharia Elétrica; Atualmente é professor auxiliar do quadro de Engenharia Biomédica do INATEL e coordenador da pós-graduação em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica.

Athus César Silveira Freitas Graduando de Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Estagiário em Field Marketing na Ciena Communications Brasil Ltda. Pesquisador de Iniciação Científica do INATEL no projeto: “Estudo para desenvolvimento de software de escaneamento e material de impermeabilização



para adequação de prótese robótica a braço de paciente”, “Monitor cardíaco vestível”, “Avaliação Antimicrobiana de Substâncias Utilizadas na Desinfecção de Superfícies Hospitalares” e “Produção de Poli-Hidroxi-Butirato (PHB) por Leve-

duras de Reuso na Indústria Cervejeira”. Criador da página e podcast “Visão Biomédica”.



Ana Beatriz Tiemi Higashizima

Graduanda em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL) com conclusão prevista para Junho de 2023. Voluntária de Iniciação Científica no eHealth Innovation Center do INATEL, tendo como tema de pesquisas Métodos de impermeabilização da Mão Biónica assim como o processo de escaneamento do coto da mão para seu

dimensionamento.



Pedro Antonio Cruz, graduando em Engenharia de Computação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), bolsista de Iniciação Científica pela Finatel no eHealth Innovation Center. Tem interesse em equipamentos médicos, tecnologia, jogos e computação gráfica.

Dispositivo de acessibilidade para pessoa com surdez interagir com interfaces sonoras em ambientes não adaptados

Lucas Bernardes Pereira, Lucas Chiomark Pereira Santos, Filipe Bueno Vilela, Carlos Alberto Ynoguti

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

lucas.bernardes@gel.inatel.br, lucas.santos@gea.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, ynoguti@inatel.br

Abstract—Hearing impairment transforms the lives of those affected totally or partially by deafness, implying changes in their daily lives and in the places where these individuals attend. With the improvement of the comfort and health of these people, this work proposes a sound detection mechanism capable of identifying patterns and alerting the user. Currently the system is able to identify sounds based on the sound intensity received by microphones received close to the sound feint that you want to detect. Thus it is possible to integrate this community in an adequate way, guaranteeing the best quality of life and reducing the risk of accidents.

Index Terms—Assistive technology, hearing impairment, visual alert, sound interface, sound detection.

Resumo—A deficiência auditiva transforma a vida daqueles acometidos total ou parcialmente pela surdez, implicando em mudanças no cotidiano e nos locais onde estes indivíduos frequentam. Com a finalidade de melhorar o conforto e a saúde dessas pessoas, é proposto neste trabalho um mecanismo de detecção sonora capaz de identificar determinados padrões e alertar o usuário. Atualmente o sistema é capaz de identificar sons com base na intensidade sonora recebida por microfones localizados perto da fonte sonora que se deseja detectar. Assim é possível integrar de forma adequada esta comunidade garantindo melhor qualidade de vida e diminuindo risco de acidentes.

Palavras chave—Alerta visual, deficiência auditiva, detecção sonora, interface sonora, tecnologia assistiva.

I. INTRODUÇÃO

Um problema enfrentado pelos deficientes é a adaptação de seus locais de vivência. Para a comunidade com deficiência auditiva, alarmes e outros indicadores sonoros representam um obstáculo para percepção de sistemas de alerta. Segundo a pesquisa feita em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 5,1% dos brasileiros sofre de algum tipo de deficiência auditiva [1]. Isso representa mais de 10 milhões de pessoas com problemas auditivos. Dentre elas cerca de 2,2 milhões têm deficiência auditiva em situação severa; e, entre estes, 344,2 mil são surdos. Mais de 5% da população mundial – ou 466 milhões de pessoas – têm deficiências auditivas incapacitantes (432 milhões de adultos e 34 milhões de crianças) e isso impacta em sua qualidade de vida. A maioria vive em países de baixa e média renda. Estima-se que até 2050 mais de 900 milhões de pessoas, ou 1 em cada 10, terão perda auditiva incapacitante [2].

Em situações de emergência existe uma gama de desafios para toda a população. Para deficientes auditivos a situação se agrava, pois, em determinados casos a própria percepção da emergência é uma tarefa difícil. Levando em consideração

situações extremas, durante os períodos de guerra em Israel, sirenes de alerta soam em sirenes e rádios e a "cor vermelha" (código para ataque) e exibido nas telas das TV's, avisando os habitantes para buscarem abrigo imediato. Entretanto pessoas surdas requerem suporte adicional das autoridades para receber os alertas [3]. Devido a esta condição, residências, hospitais, escolas e estabelecimentos devem ser adaptados para em casos de calamidade pública sinais sonoros não sejam as únicas indicações acionadas, pois precisam ser somados o uso de alertas luminosos ou mensagens de texto rápidas. Porém, isto não é uma realidade, ao se deparar com situações extremas sirenes são mais comumente utilizadas, deixando pessoas surdas sem conhecimento da situação [4].

Todavia não é somente em situações de emergência que surdos enfrentam dificuldades. Em diversas situações do cotidiano sinais sonoros são utilizados, por exemplo, nas residências, como campainhas, dispositivo muito comum encontrado em diversas casas no Brasil. Contudo, poucas moradias possuem uma adaptação que permite ao deficiente auditivo a identificar o alarme sonoro. Para tal feito são necessárias tecnologias muito invasivas e complexas de serem instaladas, como os produtos que podem ser acoplados a alarme de incêndio e campainha mas devem ser inseridos diretamente no circuito destes [5]. Quando encontradas tecnologias de fácil implementação estas são de alto custo, existem vários exemplos de companhias estrangeiras como a Bellman & Symfon que produzem produtos excelentes, impedindo a acessibilidade da população de baixa renda [6].

Outra grande dificuldade encontrada em projetos que visam entregar ao usuário um reconhecimento sonoro do local é a quantidade de ruído ambiente [7]. Protótipos com propostas ousadas como o sistema automatizado para auxiliar surdos na identificação e reconhecimento de sons emitidos no trânsito. Projeto que utilizou de microcontroladores, inteligência artificial e microfones, entretanto apresentou problemas com os ruídos do ambiente ocasionando em falhas no funcionamento [8].

Tendo em vista estes problemas, é proposto neste trabalho um sistema para alerta visual de eventos sonoros. Nesta etapa foram detectados sons de campainha e de alarme de incêndio no intuito de relacionar o áudio ambiente com o usuário e alertá-lo sobre sinais sonoros como campainha e alarme de incêndio.

II. CONTEXTO

Atualmente, apesar do avanço tecnológico e da expansão da internet das coisas (IoT) ainda é raro encontrar dispositivos de custo acessível a população de baixa renda. Para a comunidade surda estes mecanismos ainda possuem mais um desafio, comunicar-se com o usuário sem utilizar sons. Existem marcas que se especializam na área e buscam trazer um bom resultado aos deficientes auditivos como a Bellman & Symfon uma empresa Sueca que foi fundada em 1989. A empresa se dedica a melhorar a qualidade de vida de pessoas com problemas auditivos por meio da produção e desenvolvimento contínuo de novas soluções para problemas auditivos [9]. Porém, quando comparados os custos e os benefícios destes produtos ficam evidentes dois problemas principais.

O primeiro sendo o alto custo dos produtos que apresentam diversas funções. Um alarme de pulso o qual notifica o usuário com vibrações quando campainha, telefone, babá eletrônica ou alarme de incêndio tocam fica inacessível economicamente para pessoas de baixa renda [5].

O segundo problema é relacionado a escassa quantidade de recursos dos produtos populares. Existe mercadoria para identificar campainha individualmente, ou identificar alarme de incêndio individualmente, porém além de estarem comprometidos a somente uma função requerem que sejam instalados diretamente no circuito existente ou montado um novo circuito com os materiais da companhia [5].

Logo, um dispositivo capaz de reconhecer múltiplos sons e que apresenta um baixo custo se torna uma necessidade entre a comunidade dos deficientes auditivos [6]. Para suprir tal carência o presente projeto foi pensado de modo a fazer o reconhecimento sonoro de campainha e alarme de incêndio, utilizando de materiais acessíveis e apresentando uma boa interface de comunicação com o usuário surdo.

III. METODOLOGIA

A. Sensoriamento

Para a finalidade de captar áudio ambiente foi escolhido um sensor de som, capaz de medir a intensidade sonora a sua volta. O modelo escolhido foi o módulo KY-038, que pode ser ligado por meio de uma porta digital a um microcontrolador. Com auxílio de um potenciômetro, é possível a regulação da intensidade do ruído necessário para que sua saída digital seja ativada. A Figura 1 representa o módulo sensor de som.



Fig. 1. Módulo sensor de som.

B. Dispositivos de saída

Tendo em vista que o deficiente auditivo precisa ser informado das vibrações sonoras relevantes vindas do ambiente em que está inserido, sinais luminosos e notificações no aplicativo

de mensagens instantâneas *Telegram* são disparadas. Sendo assim, é possível que ele seja alertado sobre os ruídos captados. Os sinais luminosos são gerados por diodos emissores de luz, ou seja, os LED's. Já as notificações são concebidas através do chat criado com o *Robot* do *Telegram*.

C. Microcontrolador

O microcontrolador é responsável por monitorar as entradas digitais e, de acordo com seus estados, disparar as sinalizações pertinentes. Com isso, é possível a interpretação dos níveis lógicos gerados pelo sensor para realizar o acionamento das sinalizações luminosas, e ainda, fazer o envio das notificações para o usuário. Foi escolhido o microcontrolador ESP8266, também conhecido como *NodeMcu*. Ele tem como um de seus recursos a possibilidade de conexão com a internet. Com essa característica, é possível a comunicação com a interface de programação de aplicações (do inglês, *API*) do *Telegram*. Uma *API* é uma forma de interconexão entre dois ou mais sistemas distintos que compõe uma aplicação, ou seja, nesse caso uma forma de conectar o microcontrolador com o aplicativo de mensagens instantâneas. A Figura 2 representa o microcontrolador utilizado.



Fig. 2. Microcontrolador ESP8266.

Foram realizados testes para determinar a viabilidade do dispositivo em situações reais. Para averiguar a porcentagem de precisão do protótipo em identificar alguém na porta foi utilizada uma campainha real. Nos exames foi colocado o módulo sensor KY-038 preso a saída de som da campainha, que por sua vez era conectado ao microcontrolador, o qual enviava o sinal de alerta para o *Telegram* do usuário. Tendo em vista que a campainha elétrica residencial geralmente é instalada dentro da residência, em algum lugar onde seu som possa ser ouvido, mesmo que as pessoas estejam em outros ambientes da residência [4]. Foi escolhido uma cozinha, cômodo no qual campainhas são comumente instaladas, para realização dos testes. Para verificar a ocorrência de falsos negativos evitou-se qualquer outro ruído ambiente e foi acionada a campainha. Na apuração de falsos positivos foi maximizado a quantidade sonora do ambiente utilizando um liquidificador, eletrodoméstico com alta intensidade sonora, em uma distância de um metro (1m) do sensor de som. Ligando ambos, campainha e liquidificador, ao mesmo tempo foi anotado a quantidade de alertas reais e alertas falsos, quando somente o liquidificador foi ativado.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho foi dividido em etapas. Cada bloco era desenvolvido separadamente para diminuir os riscos de eventuais falhas do projeto.

O módulo sensor possui um potenciômetro de ajuste que permite a calibração do nível de ruído mínimo a ser captado. Assim, o *NodeMcu* consegue distinguir quando ocorreu alteração do nível lógico no sensor de som e realizar os comandos necessários para informar o deficiente auditivo sobre tais eventos sonoros.

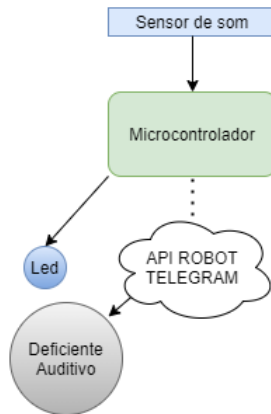


Fig. 3. Diagrama em blocos 1.

Graças a esta função do potenciômetro, foi possível ajustar o esquema como representado na Figura 3. Assim, quando a campanha tocar, a perturbação sonora gerada faz com que o módulo sensor informe ao ESP8266 o seu nível lógico. Portanto, o ESP8266 passa a informar quando o som da campanha foi emitido. Para tornar o sistema mais robusto, foi introduzida a função de encaminhar mensagens instantâneas ao aplicativo *Telegram* da pessoa com deficiência, toda vez que a campanha fosse acionada.

Dentro do aplicativo, o usuário tem a opção de executar determinadas funções pré-programadas no microcontrolador. Ao enviar mensagens o ESP8266 identifica a chegada de novas mensagens e verifica se estão registradas como comandos. No código foi utilizado somente o comando */start* (utilizado para reiniciar o sistema). Após o acionamento da campanha, o usuário recebe uma mensagem de alerta. Para que este sistema de alertas funcione de forma satisfatória, é necessária uma sincronização da API com o microcontrolador. Para a sincronia, é preciso inserir nas linhas de código uma chave de acesso, ou seja, uma senha de uso único. A chave de acesso é obtida assim que o usuário cria seu *Robot* no *Telegram*. Para criação do *Robot* é necessária uma conversa com o *Bot Father* por meio do próprio aplicativo. Para iniciar uma conversa com o *Bot Father*, basta encontrá-lo por meio de pesquisa no APP e enviar a ele os comando de */help*, em seguida */newbot*. Após isso, o nome do *Robot* é definido pelo usuário. Ao término da nomeação o *Bot Father* envia a chave de acesso via *chat*. A figura 4 representa um exemplo de alerta no Chat com *Robot* do *Telegram*.

Foram realizados os testes do sistema definido pelo diagrama em blocos da Figura 5. As implementações de algumas melhorias foram necessárias. Em uma versão primária do *firmware*, as entradas digitais do microcontrolador que recebem o sinal do módulo sensor de som eram checadas a cada execução do *loop*. Porém, se o *loop* for extenso e executar sucessivas linhas de instrução, o tempo entre as checagens ficariam longas,

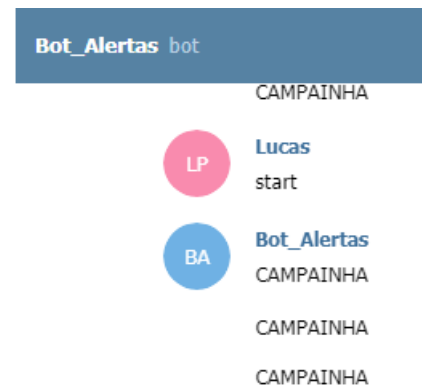


Fig. 4. Chat com Robot do *Telegram* após três acionamentos repetitivos da campanha.

e então, o microcontrolador poderia deixar de perceber que o ruído sonoro foi captado pelo sensor. Para contornar esse problema, foi utilizada uma rotina de interrupção. A rotina é executada sempre que o módulo sensor de som variar o nível lógico entregue ao ESP8266, garantindo assim, uma prioridade das portas lidas do sensor com relação as demais. A rotina é sempre executada, independente da atual instrução que o *firmware* estiver executando. O novo diagrama em blocos da Figura 5 foi obedecido.

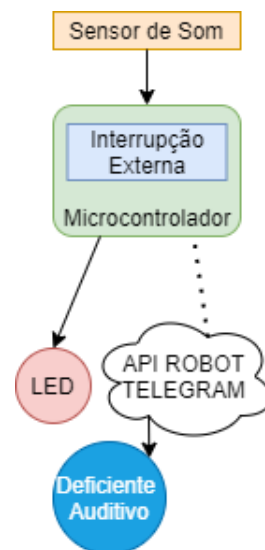


Fig. 5. Diagrama em blocos 2.

A fase de validação do sistema revelou outra não conformidade. Quando o microcontrolador perde sua alimentação por alguns segundos e logo em seguida ela é retomada, se o ESP8266 necessita se comunicar com a API do *Telegram*, a conexão não ocorre devido a queda de energia. O *NodeMcu* para voltar a se interagir com a API deve receber uma mensagem enviada do *Telegram* do usuário. Para contornar o problema, foi acrescentado nas instruções do microcontrolador uma execução disparada a cada cinco milissegundos(5ms). Ela realiza o monitoramento da alimentação do microcontrolador. Assim que a fonte de energia tem uma variação significativa, uma mensagem é enviada ao usuário informando uma possível falta de alimentação do ESP8266. Então, quando o usuário observar essa mensagem ele fica ciente do acontecido e para

retomada de comunicação com o *NodeMcu* é necessário o envio da mensagem \start. O novo diagrama em blocos da Figura 6 foi estabelecido para representar a lógica descrita nessa seção.

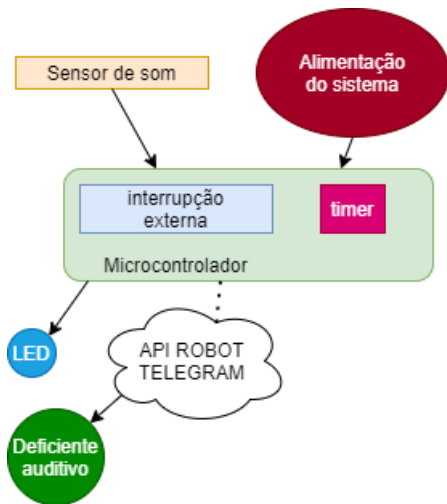


Fig. 6. Diagrama em blocos final.

No estado atual, o dispositivo se encontra sem a alimentação própria do sistema, sendo utilizado um cabo micro-USB para fornecer energia ao microcontrolador. Na Figura 7, é possível observar o sistema montado, com o ESP8266 conectado ao sensor de som KY-038 e ao LED verde. Ao lado é exibido a tela de um celular no qual a interface de interação com o usuário é exibida, esta representada pelo aplicativo *Telegram*. As mensagens exibidas (CAMPAINHA) foram enviadas pelo microcontrolador, após múltiplos acionamentos da campanha.

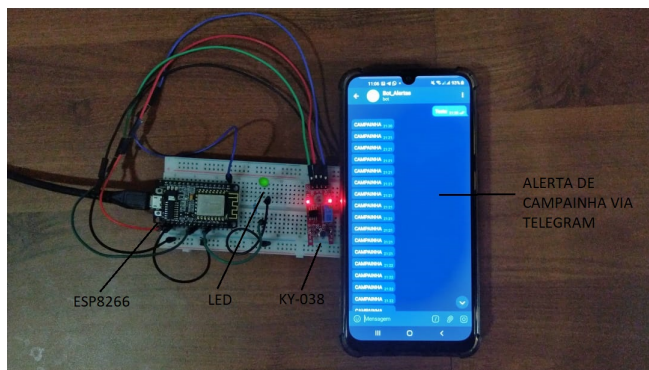


Fig. 7. Projeto sem a fonte de alimentação ininterrupta. Ligação do ESP8266 com o sensor de som KY-38 e LED. Ao lado a tela do celular mostra a sala de conversas com o Robô do Telegram, onde ocorre a comunicação com o usuário

Os testes de ruído realizados utilizando a intensidade sonora de um liquidificador, obtiveram uma taxa de falsos negativos em 20%. Logo, para um quarto ($1/4$) dos sons o projeto falhou em distinguir o ruído da intensidade almejada. Em relação aos testes de falso positivo, foram capitadas 100% das vezes em que a campanha foi alarmada. Ou seja, para o modo como o teste foi conduzido o protótipo não falhou em informar que a campanha foi disparada.

O presente estudo obteve sucesso ao conseguir identificar sons de campanha, ao obter 100% de sucesso ao avisar o usuário. Entretanto foi ineficiente em distinguir ruídos, pois ainda não consegue distinguir totalmente sons do ambiente. É

possível observar que caso implementado para uso prático no estado atual do projeto o usuário não necessita de nível técnico para utilizar do recurso de detecção sonora. Devido ao uso do aplicativo de mensagens instantâneas *Telegram*, a interface é intuitiva e de fácil visualização. Portanto em relação ao quesito de comunicação o projeto concluiu seu objetivo, porém, ainda não atingiu a meta de estabelecer uma comunicação que filtre de sons do ambiente. Os problemas encontrados durante o andamento do trabalho foram resolvidos com sucesso, contudo, em estudos futuros podem ser novamente avaliados e melhorados, como a necessidade da fonte de alimentação ininterrupta.

Os próximos passos devem ser a análise sonora do ambiente utilizando inteligência artificial, etapa ainda não aplicada ao presente momento. Foi verificada a viabilidade do código com os presentes materiais, e com os devidos ajustes o *firmware* pode ser implementado. Utilizando desta tecnologia é possível diminuir as interferências externas e incrementar a variedade de sons a serem analisados, por exemplo adicionando barulhos de vidro quebrando, podendo sinalizar risco ao deficiente auditivo.

V. CONCLUSÃO

Tendo em vista a ideia principal proposta no início dos trabalhos, o resultado foi satisfatório. Com a reprodução do projeto é possível fazer com que os deficientes auditivos consigam se interagir com um ambiente não adaptado por meio da identificação de sons e o envio de mensagens ao aplicativo de mensagens instantâneas *Telegram*. O aplicativo pode ser instalado em qualquer sistema operacional e exibir as mensagens no *chat* por meio de *push notifications* exibidos em *smartphones*, computadores e *smartwatches*, dependendo da acessibilidade à tecnologia do deficiente.

REFERÊNCIAS

- [1] IBGE. *Estatística de deficiência auditiva no Brasil*. URL: <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0,3,4,1,2,5&cat=-1,-2,-3,128&ind=4643> (acesso em 12/02/2021).
- [2] OPAS/OMSBRASIL. *OMS e União Internacional de Telecomunicações recomendam novo padrão global para prevenir perda auditiva entre 1,1 bilhão de pessoas*. URL: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content%5C&view=article%5C&id=5869:oms-e-uniao-internacional-de-telecomunicacoes-recomendam-novo-padrao-global-para-prevenir-perda-auditiva-entre-1-1-bilhao-de-pessoas%5C&Itemid=839#:~:text=Mais%5C%20de%5C%205%5C%25%5C%20da%5C%20popula%5C%C3%5C%A7%5C%C3%5C%A3o,em%5C%20sua%5C%20qualidade%5C%20de%5C%20vida. (acesso em 05/02/2021).
- [3] Carolina Tannenbaum-Baruchia, Paula Feder-Bubis, Bruria Adinia e Limor Aharonson-Daniel. "Emergency situations and deaf people in Israel: Communication obstacles and recommendations". Em: *Disaster Health* (2014). ISSN: 106-111. DOI: 10.4161/21665044.2014.989131. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4161/21665044.2014.989131>.

- [4] Marcelo Abranches Abelheira, Orlando Sodré Gomesa, Ivana Soares de Aguiar e Sergio Gomes Ribeiro da Silva Filho. “Sirenes de alarme para deslizamentos de encostas: a experiência precursora da cidade do Rio de Janeiro”. Em: *Mosaicos* 1 (2019). DOI: <https://doi.org/10.37032/remos.v1i1.22>. URL: <http://revistamosaicos.isaebrasil.com.br/index.php/EGS/article/view/22>.
- [5] Jessica do Canto Pureza. “DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS PARA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL: ALERTAS PARA CRIANÇAS SURDAS”. Em: *LUME* (2017). URL: <http://hdl.handle.net/10183/174512>.
- [6] Jorge Luís Victória Barbosa João Elison Da Rosa Tavares Tefferson D Guterres. “Apollo APA: towards a model to care of people with hearing impairment in smart environments”. Em: *WebMedia* 19 (2019), pp. 281–288. DOI: <https://doi.org/10.1145/3323503.3360295>. URL: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3323503.3360295>.
- [7] Dan Stowell, Dimitrios Giannoulis, Emmanouil Benetos, Mathieu Lagrange e Mark D. Plumbley. “Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events”. Em: *IEEXPLORE* 17 (2015), pp. 1733–1746. DOI: 10.1109/TMM.2015.2428998. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7100934>.
- [8] Eliezer Silva Bonfim De Jesus, Josedacson Barbosa De Lacerda e Kevin Ruan Dos Reis Oliveira. “sistema automatizado para auxiliar surdos na identificação e reconhecimento de sons emitidos no trânsito”. Em: (2015). URL: <http://sistemaolimpico.org/midias/uploads/3a88a96146a3836d6bf13251b99fe405.pdf>.
- [9] BELLLMAN & SYMFON. *site da Empresa BELLLMAN & SYMFON*. URL: <https://bellman.com/en/about-us/our-commitment/> (acesso em 24/02/2021).

AUTORES



Carlos Alberto Ynoguti Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo(1991), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo(1995), doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas(2000) e pós-doutorado pela Universidade Estadual de

Campinas(2001). Atualmente é Professor titular do Instituto Nacional de Telecomunicações. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações. Atuando principalmente nos seguintes temas:processamento digital de sinais, processamento de voz, reconhecimento de fala.

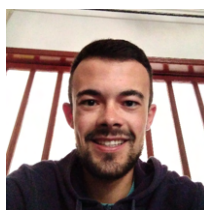


Filipe Bueno Vilela, graduado em Engenharia Biomédica pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL), mestrando em Engenharia de Materiais com foco em biomateriais pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Coordenador do O eHealth Innovation Center do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso

técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.



Lucas Bernardes Pereira é graduando em Engenharia elétrica pelo INATEL- Instituto Nacional de Telecomunicações. Bolsista pelo eHealth Innovation Center - INATEL. Ocupa o cargo de ajudante em projetos fotovoltaicos, pela empresa Nova Loja - Campestre. Tem interesse no desenvolvimento de tecnologias assistivas.



Lucas Chiomark Pereira Santos é graduando em Engenharia de Controle e Automação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL. Possui formação Técnica em Eletrônica pela Escola Técnica de Eletrônica Francisco Moreira da Costa - ETE FMC. Atualmente ocupa o cargo de Auxiliar de Engenharia na KVA indústria e comércio

LTDA.

Cadeira de rodas com design ergométrico e sistema elétrico de controle para pacientes com restrição motora de membros superiores e inferiores

Emerson Assis do Couto, Guilherme Ferreira Nogueira Paiva, Filipe Bueno Vilela, Juliano Augusto Nascimento Leite
Instituto Nacional de Telecomunicações – Inatel

emersoncouto@gea.inatel.br, guilherme_ferreira@gea.inatel.br, filipe.bueno@inatel.br, juliano.leite@inatel.br

Abstract - Wheelchairs, notably, represent an important resource to support individuals with movement difficulties, although they give greater mobility to this group of people, the commonly used models have obstacles to the execution of daily tasks and autonomy for control by patients with affected upper limb motility, the project aims to propose a new, less expensive wheelchair design with a view to its compliance with appropriate ergonomic standards and with electrical and electronic resources for its control by quadriplegic individuals.

Keywords - *Wheelchair, ergonomics, quadriplegia, assistive technologies*

Resumo - As cadeiras de rodas, notadamente, representam um importante recurso de suporte a indivíduos com dificuldades de movimentação. Contudo, ainda que confiram maior mobilidade a esse grupo de pessoas os modelos comumente utilizados possuem obstáculos para a execução de tarefas cotidianas e de autonomia para o controle por pacientes com motricidade dos membros superiores afetados. O projeto objetiva a proposição de um novo design de cadeira de rodas de menor custo com vistas à sua conformidade com padrões ergonômicos apropriados e com recursos elétricos e eletrônicos para seu controle por indivíduos tetraplégicos.

Palavras chave — Cadeira de rodas, ergonomia, tetraplegia, tecnologias assistivas.

I. INTRODUÇÃO

As cadeiras de rodas representam um importante recurso de suporte a indivíduos com dificuldades de movimentação. Contudo, ainda que confiram maior mobilidade a esse grupo de pessoas, os modelos comumente utilizados possuem restrições para a execução de tarefas cotidianas e de autonomia para o controle por pacientes com a motricidade dos membros superiores afetada. A realização de tarefas simples, como o uso de vaso sanitário, acesso a mesas de largura reduzida ou mesmo a pias para lavagem de louça e mão, são dificultadas pela inadequação das cadeiras de rodas ao ambiente [1]. Esse cenário leva à necessidade de adaptação da residência do cadeirante, ajustando entradas e móveis para adequarem-se à sua realidade [2]. Ainda que a adaptação residencial favoreça a realização de atividades comuns, ela não consolida um contexto de plena inclusão e acessibilidade ao usuário. Tendo em vista que fora desse ambiente, as ruas e imóveis não apresentam as mesmas condições [3,4].

O *design* das cadeiras de rodas convencionais implica em entraves ergonômicos e de adequação continuada. Estudos mostram que os formatos dos principais modelos, bem como a

utilização de seus acessórios, não compreendem de sobremaneira os parâmetros ergonômicos aceitáveis tais como superfícies de encosto inapropriadas para apoio e segurança, assento desfavorável à mudança de posição, dimensões não reguláveis e sem possibilidades de adequação contínua do usuário.

A troca da cadeira à medida que ocorrem variações anatômicas do usuário, devido ao crescimento natural ou atrofia postural, e a difícil movimentação das rodas são as observações mais recorrentes feitas por esses estudos [5, 6]. As alternativas às estruturas padrões possuem custos mais elevados para aquisição, bem como são direcionadas a públicos mais específicos, como paratletas [7].

Há enormes diferenças entre as cadeiras motorizadas para cadeiras de rodas manuais. As motorizadas oferecem uma variedade de controles como *joysticks* e *touchpads* e se saem bem ao ar livre, especialmente em terrenos acidentados devido ao uso de motores para mover as cadeiras. Por outro lado, as cadeiras manuais exigem que o usuário se mova utilizando uma força significativa da parte superior do corpo



Fig. 1. Cadeira manual e cadeira motorizada.

Dessa forma o projeto objetiva a proposição de um novo design de cadeira de rodas de menor custo com vistas à sua conformidade com padrões ergonômicos apropriados e com recursos elétricos e eletrônicos para seu controle por indivíduos tetraplégicos.

II. METODOLOGIA

Inicialmente foi feita uma análise bibliográfica dos principais problemas apresentados pelas cadeiras de rodas convencionais. O resultado dessa análise levou ao apontamento dos principais parâmetros de adequação.

Foi elaborado então um diagrama inicial geral do circuito de controle (vide figura 2).

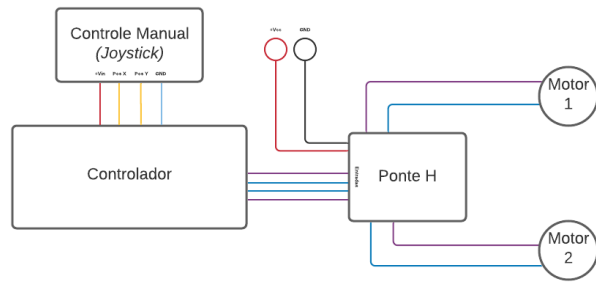


Fig.2. Diagrama do Circuito

O protótipo inicial do sistema de controle foi desenvolvido utilizando uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única (Arduino). Em que, através de um comando manual do usuário em um *joystick*, seria possível realizar o avanço, recuo e giros para ambos os lados na cadeira.

Utilizando a plataforma TinkerCad foi realizada uma primeira versão do circuito (figura 3), com o intuito de verificar a lógica de funcionamento. O circuito é composto de uma bateria representando a alimentação do original, um motor CC que simula o motor especificado a ser utilizado, tem-se também o circuito integrado L293D, o qual se trata de um CI duplo de ponte-H e um potenciômetro de 250 kΩ representando o *joystick*.

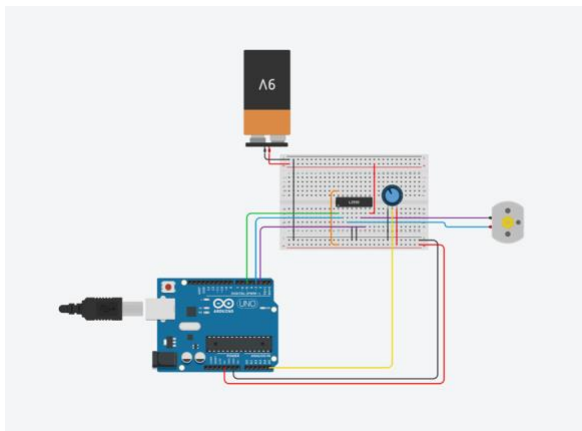


Fig. 3. Circuito simulado com um motor.

Neste circuito, o motor realiza 2 tipos de movimento, horário e anti-horário e isso depende para que lado o potenciômetro está posicionado. Quando posicionado para esquerda 15°, o controlador comuta duas chaves opostas e inversas da ponte-H, como na figura 4 abaixo.

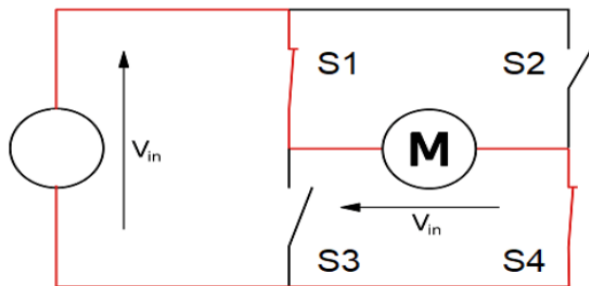


Fig. 4. Ponte-H sentido 1.

E caso o potenciômetro esteja posicionado para o lado direito também com 15°, o esquema oposto acontece, como na figura 5 abaixo. Dessa forma, o motor é acionado no sentido oposto.

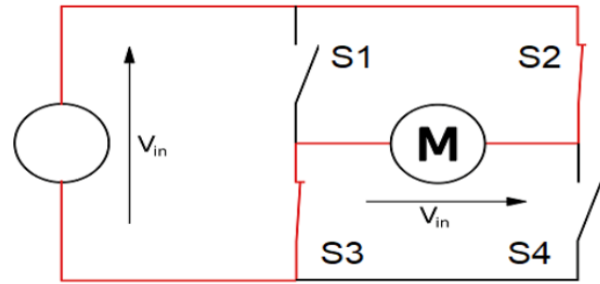


Fig. 5. Ponte-H sentido 2.

Contudo, com o intuito de aproximar o modelo de simulação do modelo real, foi projetado um outro circuito (figura 6). Complementando a aplicação anterior, foram adicionados um novo motor de passo e um potenciômetro de 250 kΩ.

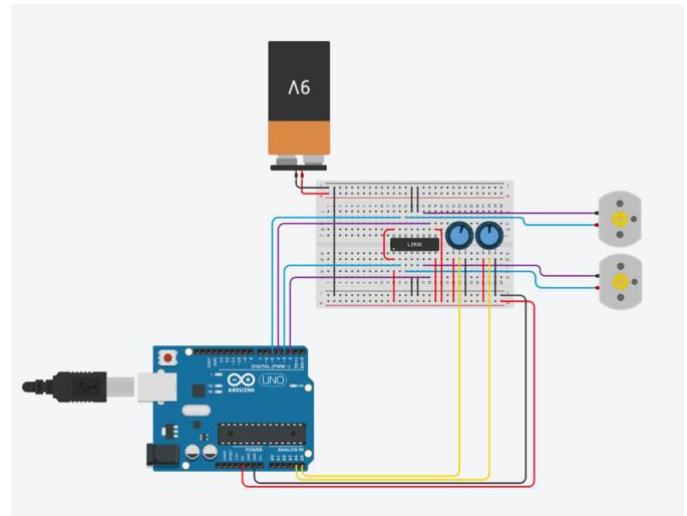


Fig. 6. Circuito simulado com dois motores.

Os dois potenciômetros servem para fazer a função do *joystick*, sendo que um deles determina o eixo x e o outro o eixo y. Dessa maneira, caso o potenciômetro do eixo x apresente maior resistência que o potenciômetro do eixo y, os dois motores funcionam no mesmo sentido, possibilitando o avanço e o recuo da cadeira. Porém, caso o potenciômetro do eixo y assumira um maior valor de resistência que x, os motores passam a rotacionar em sentidos opostos, permitindo que a cadeira faça um giro em seu eixo. Há uma folga de 15° para cada sentido em cada potenciômetro com o intuito de evitar que um simples toque acione os motores, nessa folga os motores ficam parados ou se estiverem ligados, os mesmos desligam. O funcionamento descrito pode ser visto na figura 7.

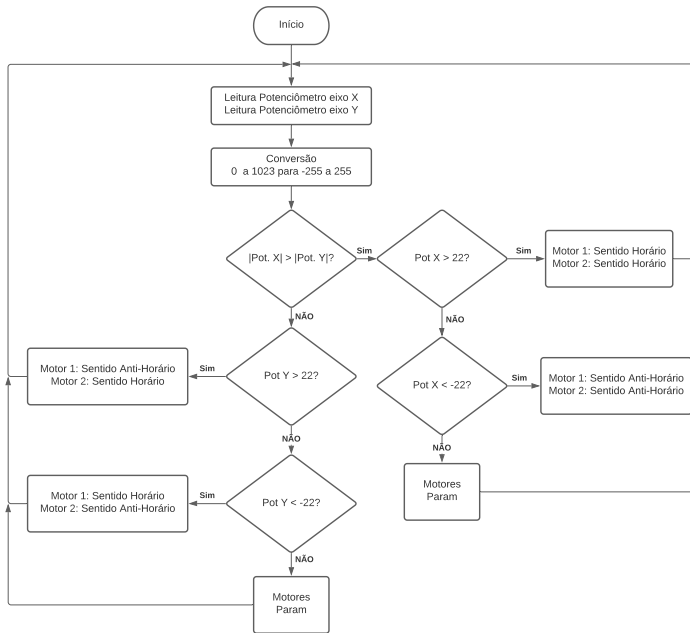


Fig. 7. Fluxograma Programação.

Todos os circuitos apresentados anteriormente foram simulados utilizando a linguagem de programação C através da plataforma TinkerCad e apresentaram um resultado satisfatório, no entanto, posteriormente se faz necessário a validação através da montagem prática.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os estudos já realizados é esperado o desenvolvimento de uma cadeira de menor custo com vistas à conformidade, com padrões ergonômicos apropriados e com recursos elétricos e eletrônicos para seu controle por indivíduos tetraplégicos. Um *joystick* está em desenvolvimento, e através de simulação o *joystick* funcionou perfeitamente, sendo a melhor opção a ser acoplada a cadeira para fazer teste iniciais para o controle da mesma. Uma vez comprovado o funcionamento do *joystick*, o trabalho será direcionado para o desenvolvimento e testes.

Em relação aos motores, os motores de corrente contínua sem escovas ou BLDC (*Brushless* DC) se mostraram a melhor opção para o uso e acoplamento na cadeira, com a necessidade de dois motores um para cada roda. A escolha por esses modelos de motores se deu por oferecerem diversas vantagens sobre os modelos de corrente contínua com escovas, dentre as quais se podem destacar a confiabilidade mais elevada, o ruído reduzido, a vida útil mais longa (devido à ausência de desgaste da escova), a eliminação da ionização do comutador e a redução total de interferência eletromagnética (EMI). Porém, uma desvantagem é o custo mais elevado [9].

Com a utilização de motores sem escova a cadeira é esperada uma autonomia de funcionamento melhor, com maior confiabilidade, menor ruído e tempo de vida útil superior. Um modelo que se destaca é o da marca Machine Motors, como na figura 8.



Fig. 8. Motor sem escova [8].

Com os motores do protótipo validados, será feita a integração da parte elétrica e eletrônica à estrutura mecânica da cadeira. Dessa forma, é esperado que o novo modelo proporcione uma melhora nos parâmetros ergonômicos, bem como uma otimização do sistema de controle proporcionando uma melhor experiência para pacientes com a motricidade dos membros superiores afetada.

IV. CONCLUSÃO

O presente projeto está sendo feito e aprimorado com o intuito de auxiliar nos recursos de suporte a indivíduos com dificuldades de movimentação. De modo mais prático e menor custo, com vistas à conformidade com padrões ergonômicos apropriados e com recursos elétricos e eletrônicos para o controle por indivíduos tetraplégicos.

Ao contrário de outras cadeiras convencionais no mercado que implica em entraves ergonômicos e de adequação continuada, a cadeira do presente projeto tem como objetivo ser melhor adaptável e com melhor ergonomia para a movimentação.

Melhorias ainda se fazem necessária como a implementação prática dos recursos elétricos e eletrônicos já desenvolvidos, para futuros testes e conclusão do objetivo.

V. REFERÊNCIAS

- [1] GARNHANI, Márcia Regina *et al.* Adaptação da pessoa após acidente vascular encefálico e seu cuidador: ambiente domiciliar, cadeira de rodas e de banho. *Acta Fisiátrica*, São Paulo, v. 4, n. 7, p. 164-168, dez. 2010.
- [2] BIFFI, Rubiani Ferracin *et al.* Levantamento dos problemas do dia a dia de um grupo de amputados e dos dispositivos de auxílio que utilizam. *Revista de Terapia Ocupacional da Universidade de São Paulo*, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 46-53, 2017.
- [3] MENDES, Bruna. C.; PAULA, N. M. de. A hospitalidade, o turismo e a inclusão social para cadeirantes. *Revista Turismo em Análise*, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 329-343, 2008.
- [4] REMIÃO, Josiane Lopes. Acessibilidade em ambientes escolares : dificuldades dos cadeirantes. 2012. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul., Porto Alegre, 2012.
- [5] COMELIO, Maria Estevam ; ALEXANDRE, Neusa Maria Costa. Avaliação de uma cadeira de banho utilizada em

ambiente hospitalar: uma abordagem ergonômica. *Rev. bras. enferm.* [online]. 2005, vol.58, n.4, pp.405-410

[6] BERTONCELLO, Ione; GOMES, Luiz Vidal Negreiros. Dyachronous and synchronous analysis of the manual mechanic standard turnable wheelchair. *Prod.* [online]. 2002, vol.12, n.1, pp.72-8

[7] MENHA, Hugo Rodrigo. Avaliação da agilidade dos jogadores de basquetebol em cadeira de rodas com paraplegia por lesão medular. 2009. 7 f. TCC (Graduação) - Curso de Educação Física, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

[8] MACHINE MOTORS. Kit Bicicleta Elétrica 800W 48V 1V Freio a Tambor Preto. Disponível em: <https://machinemotors.com.br/kit-traseiro-bicicleta-eletrica-800w-48v-1v-freio-a-disco-preto.html>. Acesso em: 20 jan. 2021.

[9] MENDONÇA, Yuri Nakahara de. Otimização do driver para motor Brushless. 2018. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, Faculdade de Tecnologia de Santo André, Santo André, 2018

Revisão Bibliográfica: Sistemas de Monitoramento Remoto de Parâmetros Vitais e/ou Quedas com Sistema de Alertas Sem Fios

Isadora Bello Pereira Rodrigues (Bolsista IC)

Filipe Bueno Vilela (Orientador)

Juliano Augusto Nascimento Leite (Orientador)

Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel

isadora.bello@gec.inatel.br

filipe.bueno@inatel.br

juliano.leite@inatel.br

Abstract—The following document presents a bibliographic summary about the technologies used to develop a device capable of capturing the vital parameters of a patient and / or if the patient has suffered of a fall, send and store the data obtained on another device, such as smartphones or tablets, and when necessary, alert if any anomalies were detected, such as: cardiac arrhythmia, fever and / or fall. In that manner, a remote monitoring technology with a wireless alert system.

Index Terms—Elderly health, remote monitoring, wireless alert system.

Resumo—Expõe-se nesse documento um resumo bibliográfico quanto as diversas tecnologias empregadas em desenvolver um aparelho capaz de captar os parâmetros vitais de um paciente e/ou caso o mesmo tenha sofrido uma queda, enviar e armazenar os dados obtidos em outro dispositivo, como em celulares smartphones ou tablets, e, quando necessário, alertar se alguma anomalia foi detectada, tais como: arritmia cardíaca, febre e/ou queda. Nesse sentido, uma tecnologia de monitoramento remoto com sistema de alertas sem fio.

Palavras chave—Saúde de idosos, monitoramento remoto, sistema de alertas sem fio.

I. INTRODUÇÃO

No Brasil, a população mantém sua tendência de envelhecimento ao longo dos anos, estima-se que entre 2012 e 2017, houve um aumento superior a 4 milhões de pessoas idosas no país. Consequentemente, a preocupação com a qualidade de vida e bem estar desse grupo também aumentam em âmbito social. [1] [2]

As quedas estão entre as três maiores causas de mortalidade entre pessoas com mais de 65 anos no Brasil. Um a cada três idosos no mundo caem, pelo menos, uma vez por ano. No estado de São Paulo, a Fundação SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados), estimou que nos anos de 2000 a 2016, houve um aumento de 421% nas mortes dos integrantes desse grupo etário por lesões ao cair. [3] [4]

Atualmente, ferramentas computacionais são usadas diariamente na área da saúde. O crescimento do uso das mesmas e o aperfeiçoamento dessas tecnologias, proporcionam agilidade e precisão aos profissionais da área em questão. Dentre estas ferramentas, destaca-se computações móveis que possibilitam acompanhamento remoto de pacientes por médicos e/ou enfer-

meiros, como em casos de uso de aplicativos celulares para monitoramento.[5]

Tecnologias como essas, vinculadas a dispositivos capazes de captar parâmetros vitais e sinais de quedas, podem ser soluções para os dados preocupantes citados anteriormente.

Entende-se que o uso de tecnologias remotas para monitoramento contínuo de pacientes pode colaborar para fatores como: redução nas quantidades de consultas médicas presenciais, visto que na atual situação de pandemia mundial da Covid-19, tornou-se inviável as "idas e vindas" de pacientes a hospitais, principalmente de idosos, que são grupo de risco; além de diminuir a realização de possíveis exames médicos desnecessários.

Neste artigo, propõe-se uma revisão bibliográfica de artigos que tiveram como objetivo criar dispositivos que pudessem auxiliar, remotamente, o monitoramento de pessoas, através da captação de dados vitais, tais como temperatura corporal, oxigenação sanguínea e batimentos cardíacos e/ou a detecção de possíveis quedas, enquanto armazena e envia os dados coletados para um aparelho celular e é responsável por alertar caso alguma anomalia e/ou queda seja detectada.

II. METODOLOGIA

Foram escolhidos os artigos que carregassem assuntos relacionados as seguintes palavras chave: monitoramento remoto, monitoramento de sinais vitais, monitoramento de quedas, aplicativos de saúde, IoT na saúde, queda de idosos. Priorizou-se aqueles datados de 2018 a 2021.

A. Tecnologia IoT

É importante, antes de iniciar a revisão, fazer uma breve introdução quanto ao termo IoT (Internet of Things), Internet das Coisas em português, visto que é um termo amplamente utilizado durante a construção do texto.

A base do conceito IoT é permitir a conexão, comunicação, troca de informações e tomada de decisões entre dispositivos e a capacidade de compartilhamento de dados autônoma, enquanto conectados à Internet. Sua tecnologia é baseada em identificadores de rádio frequência (RFID) e a Wireless Sensor Networks (WSNs), Redes de Sensores Sem Fios, em português.

A WSNs funciona, principalmente, em sensores inteligentes para detecção e monitoramento de ambientes, seja virtual ou físico. Esse conceito será um importante tópico nos resumos a seguir. [6]

B. Protótipo de Monitoramento Remoto da Saúde do Idoso

O protótipo criado tem como objetivo captar frequência cardíaca e temperatura corporal, além de detectar situações de quedas. Propõe-se ser uma tecnologia vestível e compacta. Utiliza da IoT (Internet of Things), que tem como conceito a comunicação entre objetos físicos, via rede Wi-Fi, para fazer a ligação entre o dispositivo que entra em contato com o paciente e aparelho celular que capta as informações em tempo real. Também oferece enviar alertas quando algo dista do normal for captado. [7]

Foram usados um sensor de frequência cardíaca e um módulo IoT, que possui acelerômetro, giroscópio e sensor de temperatura integrado, para fazer as medições propostas, que são acoplados a um microcontrolador. Um aplicativo foi desenvolvido, utilizando das plataformas Heroku e Firebase, além de outros recursos como Ionic Framework e Flask Microframework (ambos são desenvolvimentos em software que unem códigos comuns entre vários projetos de software provendo uma funcionalidade genérica).

Ao ser programado, alguns dados são pré cadastrados no dispositivo, são eles: mínima e máxima frequência cardíaca; mínima e máxima temperatura corporal. Assim, caso algum parâmetro captado assemelhe-se com as informações cadastradas, um alerta é enviado ao aparelho celular que possui o aplicativo criado e que esteja em conexão com a internet.

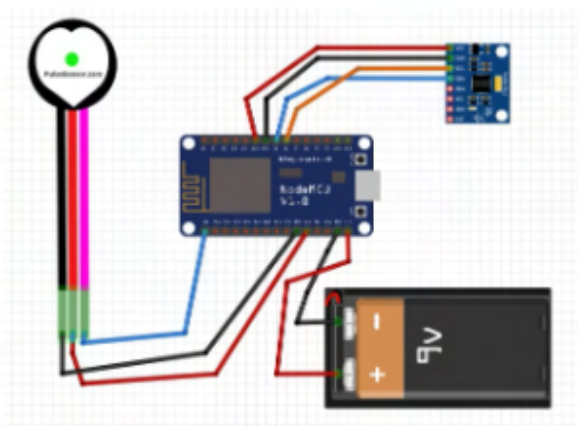


Fig. 1. Ilustração do protótipo do sistema embarcado.

C. Monitoramento Remoto e Contínuo da Temperatura Corporal

Semelhante ao artigo tratado na subseção B, Protótipo de Monitoramento Remoto da Saúde do Idoso, este propõe a captação de algum sinal vital, enquanto envia as informações para um aplicativo, via conceito IoT. Porém, nesse trabalho apenas a temperatura corporal é lida e não há uso de alertas no aplicativo criado.

Utilizou-se de um sensor de temperatura, um microcontrolador, módulo carregador de bateria, uma bateria e outros componentes menores na composição do instrumento. [1]

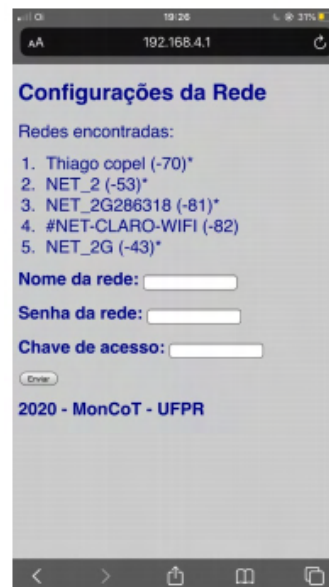


Fig. 2. Layout da página do aplicativo.

D. Modelagem de um sistema para o telemonitoramento de idosos com condição crônica baseado em biotelemetria

Nesse projeto, usou-se um mecanismo de smartwatch, que é responsável por coletar dos dados por medidores e sensores internos (acelerômetro e GPS) e são enviados para uma plataforma de telemonitoramento que foi hospedada na Internet (cloud computing). Também é usado de um aplicativo em telefone móvel. [8]

Quatro faixa são criadas a fim de facilitar o monitoramento dos dados captados e servirem de parâmetros para alertas, foram pré programadas anteriormente por um profissional da saúde de acordo com o tipo de condição crônica e o propósito do acompanhamento do paciente, no caso um idoso. Alerta verde (normalidade), Alerta amarelo (atenção), Alerta vermelho (perigo), Alerta preto (urgente).

Cada resultado obtido é armazenado em um banco de dados para que depois possa ser gerado relatório com as informações relevantes (histórico).

E. Internet das coisas (IoT): Monitoramento Remoto de Sinais Biomédicos

Um microcontrolador em conjunto com um sensor de frequência cardíaca e oxímetro e sensor de temperatura são usado para desenvolver a parte de captação desse projeto. Similar aos dois primeiros modelos citados, um aplicativo para celulares smartphones também foi programado, responsável por receber as informações capturadas pelo microcontrolador. Utiliza-se no desenvolvimento do artigo tecnologias integradas ao IoT (resumidamente, a comunicação de dispositivos via internet). [9]

Para o aplicativo, a Plataforma Heroku e o framework Spring BooT empregados.

*O projeto, entanto, encontra-se pendente em certas etapas, como construção do envio dos dados lidos pelos sensores para App (aplicativo) e quanto a exibição dos dados para o usuário em alguma interface gráfica.

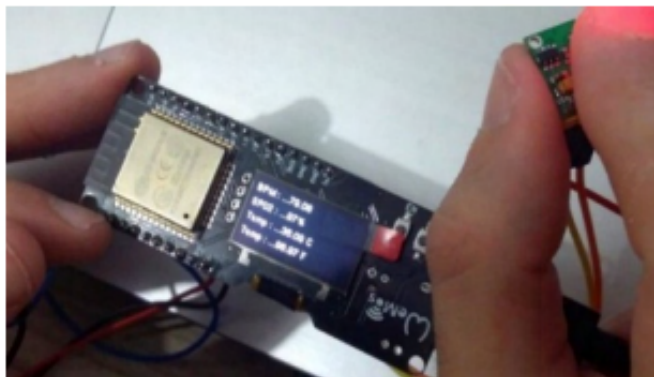


Fig. 3. Exemplificação do uso dos sensores.

F. Health Care Remote System - Sistema de Monitoramento Remoto de Sinais Biomédicos

O modelo exibe um sistema de monitoramento compacto, que permite obter o registro histórico de informações relacionadas à saúde do indivíduo, transmitindo essas informações remotamente de forma que os dados lidos possam ser monitorados por meio de um aplicativo para smartphones e tablets.

Dispondo de uma placa Arduino Mega, um oxímetro de dedo, um medidor de pressão arterial automático de braço portátil, um módulo para comunicação com Arduino que possui protocolo Bluetooth, fez-se a parte física do projeto, enquanto que para a aplicação para celulares usou-se Android Studio e WampServer. [10]

Nesse caso, as transmissões dos dados armazenados temporariamente no Arduino foram transferidas para o aplicativo celular utilizando a tecnologia Bluetooth.

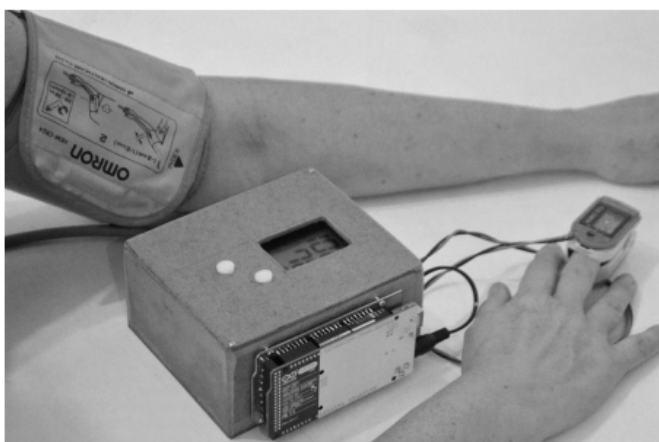


Fig. 4. Imagem do protótipo em uso.

G. Fall Monitor: Detector de Quedas para Dispositivos Móveis para Cuidado à Pessoas com Mobilidade Debitada

Neste trabalho, desenvolveu-se uma ferramenta voltada para os celulares, que tem por objetivo identificar quedas, utilizando o acelerômetro do aparelho. Quando identificado uma possível queda, o aplicativo irá enviar uma alerta para um usuário

que esteja monitorando o paciente. A notificação possui a habilidade de persistir, não sendo perdida caso o cuidador esteja ocupado com outra tarefa. [11]

Recorrendo a um cálculo simples, o dispositivo faz uma resultante da aceleração dos valores dos três eixos (x,y e z) e compara com um valor pré cadastrado. Caso a solução dessa conta infrinja algum dos parâmetros usados como base, um alerta é enviado.



Fig. 5. Layouts da tela inicial e da tela do responsável pelo paciente após notificação de queda.

H. Desenvolvimento e validação de um protótipo para a coleta de sinais vitais

O protótipo emprega um Arduino UNO em conjunto Shield e-Health, que permite executar aplicações biométricas e médicas onde o monitoramento de sinais vitais é necessário. Também é usado os conceitos de IoT por um microcontrolador.

Um aplicativo para celulares Android foi desenvolvido para permitir ao usuário o acompanhamento dos valores aferidos em tempo real. [12]

I. Abordagem I3VSM: Acompanhamento Autônomo de Pacientes Explorando Ciência de Situação na IoT

Nesse artigo, uma abordagem diferente é usada, o conceito de Ciência de Situação -modelo no qual o sistema computacional é capaz de verificar os aspectos nos quais tem interesse e, quando necessário reagir as suas alterações disparando procedimentos pertinentes. Outra concepção usada é a I3VSM (Interactive, IoT-based and Intelligent Vital Signs Monitor-Monitor Inteligente e Interativo de Sinais Vitais baseado na IoT).

É uma abordagem não automatizada que emprega a Early Warning Score (EWS) ou Pontuações de Rastreamento e Acompanhamento de sinais vitais. [13]

III. CONCLUSÃO

Dos artigos descritos, [1] obtém ótimos resultados e o aplicativo desenvolvido é simples e de fácil compreensão, entretanto apenas capta dados de temperatura corporal do paciente, apenas um dos parâmetros vitais importantes para aferir e certificar o

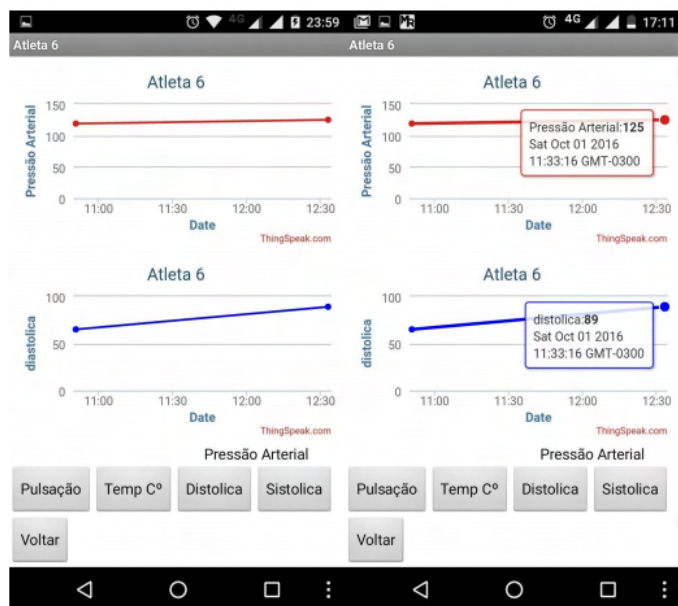


Fig. 6. Tela do aplicativo após aferição dos dados. Referente a subseção H.

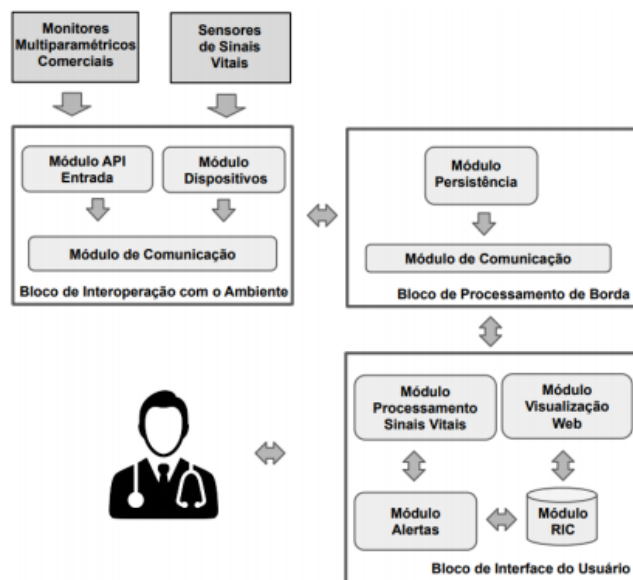


Fig. 7. Arquitetura de software da I3VSM.

bem estar do usuário. No [7], que também possui uma metódica clara, obteve falhas quanto a captação de quedas, foram lidos falsos negativos (quando há uma queda, mas não é identificada) e falsos positivos (quando outros movimentos, como pular ou se abaixar, são entendidos como quedas). Outro obstáculo é que, na época em que foi realizado o estudo, os materiais utilizados somaram um custo de 32,61 dólares (na cotação do ano de 2018) e com a conversão dos gastos para a cotação atual, 2020, torna-se um gasto inviável para instituições de baixa renda, por exemplo.

O estudo [10] possui uma dinâmica de uso simples, porém tem dimensões consideravelmente grandes, o que torna trabalhoso seu uso constante por um paciente. O material utilizado para a confecção do reservatório em que é acoplado os equipamentos utilizados, madeira, acaba por tornar todo o modelo pesado e dificulta ainda mais seu uso contínuo. Outro

empecilho notado é a necessidade de informar o endereço de IP do dispositivo, para que haja conexão entre o aplicativo criado e o protótipo.

O trabalho [9] apresentou problemas na leitura do sensor de frequência cardíaca e oxigenação, visto que é necessário um tempo de processamento dos dados lidos pelo microcontrolador para serem enviados para o dispositivo celular. A API (Application Programming Interface - Interface de Programação de Aplicativos, em português) criada, também auxilia nesse quesito, pois gasta-se um intervalo de tempo para que as informações sejam apresentadas na mesma.

O [11] não foi finalizado, deixando em aberto se seus resultados são promissores ou não.

Outro artigo que apresentou bons resultados foi o [12]. Através de questionários disponibilizados aos voluntários dos testes com o dispositivo, notou-se, em sua maioria, respostas de satisfação quanto ao protótipo. O trabalho não relata os imprevistos ou quaisquer erros que possam ter ocorrido ao longo do estudo.

Assim como no parágrafo anterior, o projeto [13] não narra dificuldades pelas quais possa ter passado e também utiliza de questionários para saber a opinião de 10 médicos de 3 hospitais de Pelotas-RS, que mostraram-se positivos em relação ao trabalho. O texto ainda expõe a possibilidade do dispositivo auxiliar na antecipação de diagnósticos e procedimentos hospitalares, reduzindo o tempo de internação dos pacientes.

Como relatado na seção anterior, há disponíveis tanto no mercado quanto como material de pesquisas, diversos projetos que abordam o desenvolvimento de produtos de monitoramento remoto de sinais vitais com sistema de alertas sem fio.

Na presente sociedade, o avanço da tecnologia permite sua atuação nas mais diferentes áreas, incluindo a da saúde. A aliança entre um dispositivo de captação de parâmetros vitais com um aplicativo de armazenamento e processamentos de dados, pode proporcionar avanços no âmbito de cuidados de pacientes. Benefícios como: diminuição de consultas físicas, redução nos exames médicos desnecessários, atendimento/socorro mais rápidos e eficazes, visto que em casos de situações graves um alerta é enviado com os dados vitais anexados, em tempo real.

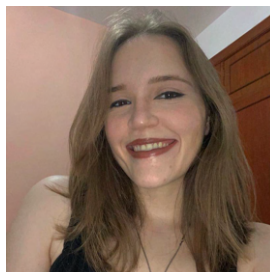
REFERÊNCIAS

- [1] Eduardo da Silva Júlio. "MONITORAMENTO REMOTO E CONTÍNUO DA TEMPERATURA CORPORAL". Em: (2020). URL: <http://www.eletrica.ufpr.br/edu/MonCorp.pdf>.
- [2] AGÊNCIA IBGE NOTÍCIAS. *Número de idosos cresce 18% em 5 anos e ultrapassa 30 milhões em 2017*. URL: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/20980-numero-de-idosos-cresce-18-em-5-anos-e-ultrapassa-30-milhoes-em-2017>.
- [3] G1 NOTÍCIAS. *Quedas são a terceira causa de mortalidade entre pessoas com mais de 65 anos*. URL: <https://g1.globo.com/bemestar/noticia/2019/06/08/quedas-sao-a-terceira-causa-de-mortalidade-entre-pessoas-com-mais-de-65-anos.ghtml> (acesso em 06/08/2019).

- [4] SEADE FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANALISE DE DADOS. *Dia do Idoso: mortes por queda sobem 421% em 16 anos em São Paulo*. URL: <https://www.seade.gov.br/dia-do-idoso-mortes-por-queda-sobem-421-em-16-anos-em-sao-paulo/> (acesso em 03/10/2019).
- [5] M. Gatti R. Silva. “APLICATIVOS DE SAÚDE PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA”. Em: *Brazilian Journal of Health Review* 3 (2020), pp. 11754–11765. ISSN: 2595-6825. DOI: <https://doi.org/10.34119/bjhrv3n5-033>. URL: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJHR/article/view/16152>.
- [6] Giuliano S. Pinto Silze C. Massola. “O USO DA INTERNET DAS COISAS (IOT) A FAVOR DA SAÚDE”. Em: *Revista Interface Tecnológica* 15 (2018), pp. 124–137. DOI: <https://doi.org/10.31510/inf.v15i2.515>. URL: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/515>.
- [7] Cícero Moura e Otávio Xavier. “PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO REMOTO DA SAÚDE DO IDOSO”. Em: (2018), pp. 163–176. URL: <https://sol.sbc.org.br/index.php/erigo/article/view/7137>.
- [8] Alessandra G. Petraroli Antonio V. Netto. “MODELAGEM DE UM SISTEMA PARA O TELEMONTORAMENTO DE IDOSOS COM CONDIÇÃO CRÔNICA BASEADO EM BIOTELEMETRIA”. Em: *Journal of Health Informatics* 12 (2020), pp. 10–16. ISSN: 2175-4411. URL: <http://www.jhi-sbis.saude.ws/ojs-jhi/index.php/jhi-sbis/article/view/691>.
- [9] Gabriel S. Martins. “INTERNET DAS COISAS (IOT): MONITORAMENTO REMOTA DE SINAIS BIOMÉDICOS”. Em: (2018). URL: <https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/view/701/723>.
- [10] Alessandra D. Coelho Lucas B. Cestari. “HEALTH CARE REMOTE SYSTEM – SISTEMA DE MONITORAMENTO REMOTO DE SINAIS MÉDICOS”. Em: (2017). URL: <https://maua.br/files/122017/health-care-remote-system-sistema-monitoramento-remoto-sinais-medicos-261732.pdf>.
- [11] Lukas M. Torquato André F. Monteiro Felipe R. Henriques. “FALL MONITOR: DETECTOR DE QUEDAS PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA CUIDADO À PESSOAS COM MOBILIDADE DEBILITADA”. Em: jan. de 2017. DOI: 10.14209/sbrt.2017.79.
- [12] Juliano V. de Carvalho Jorge A. S. Aranda Marta R. Bez. “DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA A COLETA DE SINAIS VTAIS”. Em: *Anais do XVII Workshop de Informática Médica*. São Paulo: SBC, 2017. DOI: 10.5753/sbcas.2017.3715. URL: <https://sol.sbc.org.br/index.php/sbcas/article/view/3715>.
- [13] Roger Machado Rogério Albantes e Adenauer Yamin e Jorge Barbosa. “ABORDAGEM I3VSM: ACOMPANHAMENTO AUTÔNOMO DE PACIENTES EXPLORANDO CIÊNCIA DE SITUAÇÃO NA IOT”. Em: jan. de 2019. DOI: 10.14209/sbrt.2019.1570558850.

AUTORES

Isadora Bello Pereira Rodrigues Graduanda do 5º período do curso de Engenharia da Computação pelo Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL). Membro atuante do e-Health Innovation Center do Inatel.



Filipe Bueno Vilela 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 Itajuba (UNIFEI). Coordenador do e-Health Innovation Center do Inatel, professor auxiliar da mesma instituição. Professor do curso técnico em eletrônica da Escola Técnica de Eletrônica “FMC”.



Juliano Augusto Nascimento Leite



Juliano Augusto N. Leite, nasceu em Itajubá, MG, em 14 de outubro de 1975. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI e mestrado em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Atuou como Engenheiro Clínico de 2006 até 2016 no Hospital Tereza Ramos em Lages – SC. Foi Engenheiro de Campo da Philips Medical Systems de 2016 a 2019. Atuou como professor, coordenador em Engenharia Elétrica e Pró-Reitor de Pesquisa, Extensão e Pós Graduação na Universidade do Planalto Catarinense – UNIPLAC de 2010 até 2017. Atualmente é professor no Curso de Engenharia Biomédica, e coordenador do curso de pós-graduação em Engenharia Clínica e Engenharia Biomédica do Instituto Nacional de Telecomunicações – INATEL.