

Desenvolvimento de um Circuito de Medição e Controle para Luminárias Públicas LED Utilizando o Smart Plug da Pixel Ti

Nathan Ribeiro da Cunha Azevedo, Carlos Alberto Ynoguti
 Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel
 nathanazevedo@gea.inatel.br, ynoguti@inatel.br

Abstract—This work presents the development of a measurement and control circuit for LED public lighting fixtures using the MSP430I2040 embedded in Pixel Ti's Smart Plug hardware with NEMA 7 pins standard. It is concluded that the method of extracting the measurements by serial communication is functional and that it is possible to achieve a measurement accuracy of less than 0.1% by calculating the calibration constants.

Index Terms—MSP430I2040, NEMA 7 Pins, Public Lighting Fixture, Smart Plug.

Resumo—Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito de medição e controle para luminárias públicas LED utilizando o MSP430I2040 embarcado no hardware do Smart Plug da Pixel Ti com o padrão NEMA 7 pinos. Conclui-se que o método de extração das medidas por comunicação serial é funcional e que é possível alcançar uma precisão de medição inferior a 0.1% através do cálculo das constantes de calibração.

Palavras chave—Luminárias Públicas, MSP430I2040, NEMA 7 Pinos, Smart Plug.

I. INTRODUÇÃO

A iluminação pública elétrica compõe as paisagens urbanas desde o final do século XIX, sendo importante para a segurança pública e desenvolvimento urbano [1]. Nos últimos anos, luminárias públicas tradicionais como as de vapor metálico têm se tornado obsoletas sendo substituídas pelas luminárias de LED (*Light-Emitting Diode* - Diodo Emissor de Luz). As lâmpadas LED possuem melhor custo-benefício em relação à eficiência luminosa, temperatura de cor, fluxo luminoso, vida útil e consumo [2].

A gestão da iluminação pública no Brasil é de responsabilidade total dos municípios desde 2014 e representa a segunda maior despesa municipal, a primeira se trata da folha salarial. Por isso, os gestores do serviço público buscam por novas soluções para reduzir esse gasto [3]. O sistema de iluminação pública LED dimerizável e com telegestão, é uma solução adotada em grandes centros urbanos para aumentar os índices de economia da iluminação pública [4].

A redução da visibilidade das vias públicas através da *dimerização*, variação da luminosidade do ponto de luz, reduz o consumo das luminárias, proporciona economia de energia e reduz a emissão de gás carbônico. Porém, pode proporcionar atraso nas reações dos motoristas, originando acidentes e condições favoráveis à criminalidade [5]. Por isso, nesse tipo de sistema de iluminação existem sensores que adaptam a luminosidade das vias públicas a condições pré-fixadas como por exemplo: a intensidade do tráfego de pessoas e de veículos [6]. Já a gestão remota da iluminação pública, pode atuar

na identificação de problemas de funcionamento, análise da redução da vida útil das luminárias, reconhecimento de furto de energia, medição de energia, cadastro de ativos, acionamento e alteração da luminosidade das luminárias de maneira individual ou em grupo [2].

Luminárias de LED são acionadas em sua maioria por circuitos de baixo custo, relés fotoelétricos, utilizando o padrão NEMA (*National Electrical Manufacturers Association* - Associação Nacional de Fabricantes Elétricos) 3 pinos. Este utilizado em conjunto com os relés, é uma boa opção visando apenas o acionamento tendo como referencial o nível de luminosidade, movimento ou um horário pré-definido [7]. Porém, se for necessário implementar um sistema de iluminação com telegestão e *dimerização*, é necessário o uso do padrão NEMA 7 pinos. O circuito de controle utilizado com o último padrão deve permitir o acionamento, a *dimerização* e o monitoramento de consumo [8].

A proposta deste trabalho é desenvolver e testar um circuito de medição e controle para luminárias públicas LED, usando o padrão NEMA 7 pinos. O artigo está estruturado em 6 seções. A Seção II, descreve aspectos técnicos e econômicos da iluminação pública no Brasil. A Seção III refere-se aos materiais e métodos do trabalho. A Seção IV trata dos resultados alcançados. Por fim, a Seção V aborda a conclusão e a Seção VI os trabalhos futuros.

II. ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

Estima-se que no Brasil existam mais de 18 milhões de pontos de iluminação, sendo que sua distribuição está diretamente ligada à concentração demográfica. Os pontos estão mais concentrados nas grandes cidades, com destaque para o sudeste e o nordeste brasileiro, atendendo a 95.5% das famílias. As lâmpadas utilizadas são em sua maioria HPS (*High Pressure Sodium* - Sódio de Alta Pressão) e de vapor de mercúrio. A presença das lâmpadas LED ainda é menor do que as luminárias tradicionais e sua taxa de penetração no sistema de iluminação pública nacional é lenta [9].

A. Aspectos Econômicos

O custo elevado da energia elétrica no Brasil, combinado com a queda do preço da tecnologia LED, torna a modernização na iluminação pública uma oportunidade econômica vantajosa, tanto para o setor público como para o setor privado [9]. Os municípios tendem a procurar por

soluções para reduzir a despesa gerada pela iluminação pública, da qual passou a ser responsável nos últimos anos [3].

A conversão dos 18 milhões de pontos é estimada em 28 bilhões de reais. Nesse valor está inclusa apenas a instalação de luminárias de LED comandadas por relés fotoelétricos; evidentemente para implantar um sistema de telegestão, esse valor deve ser maior [7]. O alto custo se justifica pela situação macroeconômica do Brasil, que encarece os custos de investimento em infraestrutura, devido às taxas elevadas de empréstimo, alto custo para importação dos produtos e a desvalorização do real [9].

O acesso às linhas de crédito públicas é outro grande desafio: os programas criados pelo governo federal para incentivar a eficiência energética como o PROCEL (Programa Nacional para Iluminação e Sinalização Semafórica Eficiente) - RELUZ, não terão fundos suficientes para realizar a modernização nos 5570 municípios do Brasil. Para atingir os níveis de investimento desejados, é necessária a participação do setor privado. Entretanto, para atrair esse capital são necessárias condições favoráveis para o investimento, através dos processos de concessão e privatização [9].

A tecnologia LED proporciona índices de economia que variam de 40 a 70% e o sistema de telegestão, aumenta esse índice em mais 10% [9, 10]. O maior projeto de modernização do Brasil, foi feito através de parceria público-privada na cidade de Belo Horizonte: onde 160 mil postes foram convertidos para a tecnologia LED. Sendo que 33 mil possuem sistema de telegestão, totalizando um investimento de 400 milhões de reais e proporcionando uma economia anual de 25 milhões (45% do gasto com energia elétrica) [11].

B. Aspectos Técnicos

Durante a *dimerização*, existem parâmetros da rede elétrica que podem ser afetados significativamente [12], um deles é o fator de potência: quanto mais próximo de 100% de *dimerização* a luminária está, mais próximo de 1 é o fator de potência [2]. Luminárias sem correção de fator de potência, quando *dimerizadas* em 30%, que é o mínimo permitido pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), podem chegar a um fator de potência na ordem de 0.6 [13]. No Brasil o valor mínimo permitido é de 0.92 para usuários do grupo A, que são unidades com consumo maior ou igual a 2.3kV, caso contrário são tarifados com relação à energia reativa [3], a iluminação pública se encaixa no grupo B, onde essa tarifação não existe. Porém, se o sistema de iluminação for implementado em uma unidade do grupo A este fator deve ser levado em consideração.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolver o circuito de medição e controle, utilizou-se o *Smart Plug* da Pixel Ti comunicando-se serialmente com um NODE MCU (*Microcontroller Unit* - Unidade Microcontroladora) . Conectou-se o *Smart Plug* ao padrão NEMA 7 pinos, instalado em uma luminária pública de 50W, para fazer o acionamento e a medição. Utilizou-se o microcontrolador para tratar as medidas recebidas do *Smart Plug* e enviá-las via protocolo MQTT (*Message Queue Telemetry Transport* - Transporte Telemétrico de Fila de Mensagens) para uma aplicação *web*,

Figura 1. Para implementar o sistema de medição fez-se necessário compreender o protocolo de comunicação serial do MSP430I2040 e suas técnicas de calibração [7, 14].

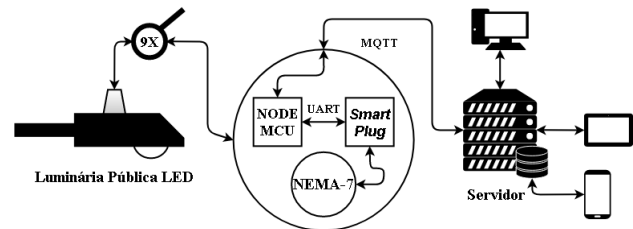


Fig. 1. Diagrama do circuito de controle e medição desenvolvido.

A. Padrão NEMA 7 Pinos

O sistema de iluminação com telegestão é implementado com base no padrão NEMA 7 pinos. O padrão tem 7 contatos metálicos, 3 para acionar e alimentar o circuito de medição e controle, 2 para *dimerizar* e outros 2 para implementar o sensoriamento e a medição [8]. O circuito é soldado em uma base NEMA 7 pinos que é encaixada em um receptáculo fixo na parte superior da luminária. Para proteger o circuito, é rosqueada na base uma abóboda de policarbonato com proteção IP65, Figura 2.

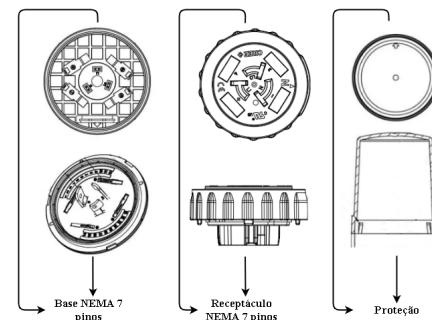


Fig. 2. Base, receptáculo e proteção para o padrão NEMA 7 pinos.

B. Smart Plug

Na Figura 3 mostra-se o *Smart Plug* que é um dispositivo *mesh* que faz parte da linha de automação residencial *e-comfort* da Pixel Ti. Este contém o MSP430I2040 embarcado em seu *hardware*, permitindo o acionamento e desacionamento de cargas conectadas à tomada de modo remoto. Também permite medir sua potência ativa em tempo real que é disponibilizada em uma aplicação *web* e *mobile* [14, 15].

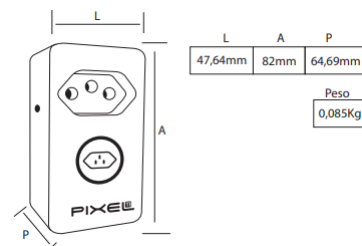


Fig. 3. *Smart Plug* da Pixel Ti.

Com o estudo da comunicação serial do *chip*, possibilita-se fornecer ao usuário final todas as medidas que ele é capaz de fornecer além da potência ativa. E isto pode ser implementado

em qualquer produto que utilize o *hardware* do *Smart Plug* como referência [14].

C. Protocolo de Comunicação Serial

Conforme mostrou-se anteriormente, o MSP430I2040 pode se comunicar com outros dispositivos (*host*) via comunicação serial. Durante seu funcionamento, ele espera por uma sequência de comando em hexadecimal do *host*. Após receber a sequência é feita a checagem dos bytes e a interpretação do campo de dados, para realizar a ação que o *host* deseja. Esse modo de operação do *chip* é chamado de modo de pesquisa e durante esse modo, ele se comunica com o *host* utilizando um protocolo de comunicação [14]. Mostra-se na Figura 4, a sequência de comando para realizar a requisição das medidas básicas.

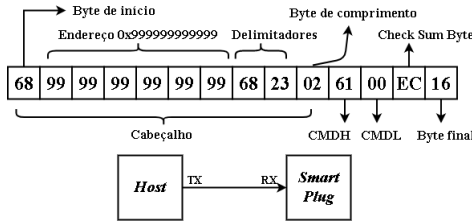


Fig. 4. *Host* envia a sequência de comando para o MSP requisitando medidas.

O *chip* envia ao *host* uma sequência de resposta que contém as informações desejadas no seu campo de dados. Essas precisam ser decodificadas para valores decimais, Figura 5. Os valores convertidos não correspondem aos valores reais, por isso é necessário calibrá-lo. Na subseção posterior aborda-se os métodos de calibração que podem ser utilizados para tal [14, 16].

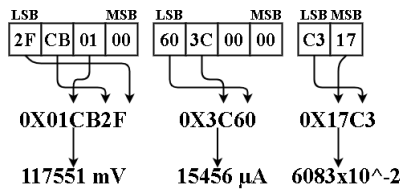


Fig. 5. Exemplo de conversão feita pelo *host* para as medidas de tensão, corrente e frequência.

D. Calibração do Chip

A maneira mais simples para efetuar-se a calibração do *chip*, se dá através do cálculo do Erro de medição, em que $Medida_{MSP}$ é a medida calculada pelo *chip* e $Medida_{REF}$ é o valor real da medida. A correção das medidas feita dessa maneira pode ser feita pelo *host* ou pelo *chip*: deve-se multiplicar o valor do Erro pela $Medida_{MSP}$ e somar o valor obtido à $Medida_{MSP}$ [16].

$$Erro = \frac{Medida_{REF} - Medida_{MSP}}{Medida_{MSP}} \quad (1)$$

Já a melhor maneira para se calibrar o *chip* é através do cálculo das constantes de calibração $VGAIN_{n+1}$, $IGAIN_{n+1}$, $PGAIN_{n+1}$, RES e CAP . Esses valores variam de acordo com o *hardware* no qual o *chip* está embarcado e devem ser escritos em uma página da memória *flash* dele. A escrita é feita pelo

envio de uma sequência de comando contendo os valores, logo após o envio de uma sequência que ordena que os valores anteriores sejam apagados [14, 16].

$VGAIN_{n+1}$ é o novo valor da constante de tensão, V_{REF} é o valor real da tensão medida, V_{MSP} é a medida calculada pelo *chip* e $VGAIN_n$ é o valor anterior da constante de tensão. Deve-se obter V_{REF} e V_{MSP} na condição de o *Smart Plug* não estar alimentando alguma carga [14, 16].

$$VGAIN_{n+1} = \frac{V_{REF}}{V_{MSP}} \cdot VGAIN_n \quad (2)$$

$IGAIN_{n+1}$ é o novo valor da constante de corrente, I_{REF} é a medida real de corrente, I_{MSP} é o valor de corrente medido pelo *chip* e $IGAIN_n$ é o valor anterior da constante de corrente. Deve-se obter I_{REF} e I_{MSP} na condição de o *Smart Plug* estar alimentando uma carga com sua capacidade máxima de 10A [14, 15, 16].

$$IGAIN_{n+1} = \frac{I_{REF}}{I_{MSP}} \cdot IGAIN_n \quad (3)$$

$PGAIN_{n+1}$ é o novo valor da constante de potência, P_{REF} é o valor real de potência ativa medido, P_{MSP} é o valor medido pelo *chip*, $PGAIN_n$ é o valor anterior da constante de potência e V_{erro} é o erro de tensão (1). Deve-se obter P_{REF} , P_{MSP} e V_{erro} nas mesmas condições de (3) [14, 16].

$$PGAIN_{n+1} = \frac{P_{REF}}{P_{MSP}} \cdot PGAIN_n \cdot (1 + V_{erro}) \quad (4)$$

RES é a constante que faz a compensação da resistência imposta pelos fios de alimentação. $V_{REF(I_{max})}$ é a tensão real medida e $V_{MSP(I_{max})}$ é a tensão medida pelo *chip*, ambas obtidas com o *Smart Plug* estar alimentando uma carga com a corrente máxima I_{max} que pode ser fornecida [14, 16].

$$RES = \frac{V_{REF(I_{max})} - V_{MSP(I_{max})}}{I_{max}} \quad (5)$$

CAP é a constante que faz a compensação da capacitância imposta pelos capacitores do circuito. P_{apref} é o valor real da potência aparente medido, P_{apmsp} é o valor de potência aparente medido pelo *chip* e f é a frequência da rede. Deve-se obter as variáveis da equação nas mesmas condições de (3) [14, 16].

$$CAP = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{REF}^2} \cdot (\sqrt{P_{apref}^2 - P_{REF}^2} - \sqrt{P_{apmsp}^2 - P_{REF}^2}) \quad (6)$$

Não necessita-se calcular as constantes VAC_OFFSET , IAC_OFFSET , $PHASE_CORRECTION$, VDC_OFFSET e IDC_OFFSET , pois os valores padrões presentes na memória *flash* são o suficiente para esta aplicação. Porém se o *chip* for utilizado em uma aplicação que necessite de uma precisão de medida inferior a 0.1% estas devem ser calculadas [14, 16].

IV. RESULTADOS

Neste trabalho possibilitou-se obter as medidas básicas, extras e de temperatura. A disponibilização de cada medida ao usuário final, varia de acordo com a aplicação. Nesta disponibilizou-se medidas de duas categorias, porém não todas, Tabela I. O *chip* ainda possibilita a medição de tensão e corrente DC (*Direct Current* - Corrente Contínua), porém estas medidas não são alvo deste estudo, pois o *Smart Plug* é um produto focado em medidas AC (*Alternating Current* - Corrente Alternada) [14].

TABELA I
MEDIDAS DISPONÍVEIS E SUA UTILIZAÇÃO NESTE TRABALHO

MEDIDA	CATEGORIA	RESOLUÇÃO	USO
Tensão RMS	Básica	mV	✓
Corrente RMS	Básica	μA	✓
Potência Ativa	Básica	mW	✓
Potência Aparente	Básica	mW	✓
Potência Reativa	Básica	mW	✓
Fator de Potência	Básica	0.0001	✓
Frequência	Básica	Hz	✓
Offset da Tensão DC	Básica	-	-
Offset da Corrente DC	Básica	-	-
Potência Ativa Fundamental	Extra	mW	-
Potência Reativa Fundamental	Extra	mW	-
Tensão Fundamental	Extra	mV	-
Corrente Fundamental	Extra	μA	-
Distorção Harmônica de Tensão	Extra	0.01%	-
Distorção Harmônica de Corrente	Extra	0.01%	-
Temperatura	Temperatura	0.01°C	✓

As medidas podem ter variações de acordo com a temperatura de operação da placa, esta variação é muito pequena, e é relevante apenas em aplicações em que a precisão das medidas não pode variar muito. A variação da temperatura é causada pela intensidade da corrente e pela temperatura ambiente externa à proteção do circuito. Mostra-se na Figura 6 que o erro das medidas tende a ficar mais negativo conforme a placa se aquece [14, 17].

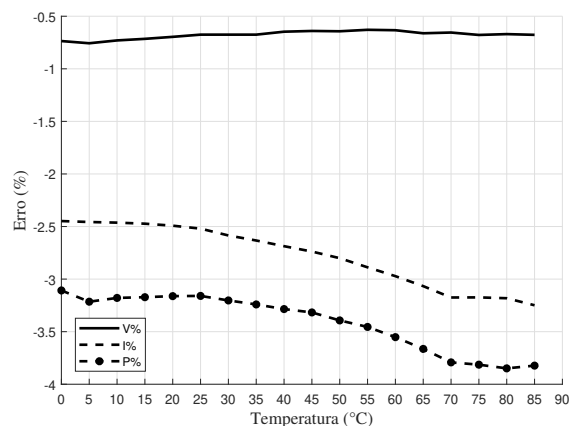


Fig. 6. Gráfico de precisão x temperatura.

Através do estudo teórico sobre o cenário de iluminação pública no Brasil, acredita-se que a medida de temperatura fornecida pelo MSP possa trazer uma funcionalidade diferencial ao circuito. Atuando na manutenção preditiva, identificação de falhas e redução da vida útil das luminárias [14, 18].

Apesar da utilização das constantes de calibração fornecer resultados muito precisos, Tabela II, é importante ressaltar os resultados obtidos com o método de calibração que utilizou-se neste trabalho, Tabela III. Ele se destaca não apenas pela

sua fácil implementação, como também pela oportunidade que oferece de calibrar medidas que não são calibráveis através das constantes de calibração. Entre estas últimas pode-se citar: frequência e fator de potência [14].

TABELA II
MEDIDAS OBTIDAS COM CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO

MEDIDA	MEDIDA MSP	MEDIDA REF	ERRO(%)
Tensão RMS(V)	219.883	219.954	-0.032
Corrente RMS(A)	5.002	5.000	0.025
Potência Ativa(W)	1100.050	1099.830	0.020
Potência Aparente(VA)	1100.052	1099.832	0.019
Fator de Potência	1	1	0
Frequência(Hz)	60.83	60	1.38
Temperatura°C	24.9	25	-0.401

Vale destacar, que existem constantes de calibração para calibrar as medidas extras e a temperatura, porém, na documentação atual do *chip*, equações para encontrar estas constantes não são descritas [14, 16]. E os valores de fábrica não são o suficiente para fornecer uma precisão adequada.

TABELA III
MEDIDAS OBTIDAS SEM CONSTANTES DE CALIBRAÇÃO

MEDIDA	MEDIDA MSP	MEDIDA REF	ERRO(%)
Tensão RMS(V)	126.168	127.021	-0.675
Corrente RMS(A)	0.383777	0.398159	-2.520
Potência Ativa(W)	48.420	50	-3.16
Potência Aparente(VA)	48.517	50	-3
Fator de Potência	1	1	0
Frequência(Hz)	59.98	60	-0.033
Temperatura°C	24.64	25	-1.44

Acredita-se também que o circuito de medição possa atuar na resolução de conflitos entre concessionária e município, no que diz respeito à verificação da tarifação. Este é o maior problema entre ambos, pois não existe uma legislação clara de como deve ser feita essa tarifação, que algumas vezes é estabelecida via contrato entre as partes [9].

V. CONCLUSÃO

O trabalho baseou-se no desenvolvimento e teste de um circuito de controle e medição para luminárias públicas LED. Através de um profundo estudo sobre o protocolo de comunicação do MSP desenvolveu-se uma rotina de requisição, utilizando sequências de bytes em hexadecimal, com as quais obtêve-se medidas básicas, extras e temperatura. Propôs-se métodos de calibração com diferentes níveis de dificuldade para serem implementados, porém com diferentes níveis de precisão. Assim como melhorias para um futuro trabalho utilizando o MSP, baseado em um estudo sobre o cenário de iluminação pública.

VI. TRABALHOS FUTUROS

Na continuação deste trabalho, acredita-se que o circuito de controle e medição para as luminárias deve ter como referência para *dimerizar* as lâmpadas além das condições impostas pela legislação, um sistema de sensoriamento [4]. Fornecendo noções sobre a intensidade do tráfego de pessoas e de veículos, a fim de evitar condições que favoreçam a criminalidade e acidentes de trânsito [1, 6]. Uma proposta para implementar este sistema de sensoriamento, seria através do uso de câmeras e de algoritmos de visão computacional [10].

As câmeras são mais difíceis de se vandalizar do que sensores localizados ao longo da estrutura dos postes de iluminação e são mais fáceis de se instalar, bastando ser posicionadas em um local estratégico na área de interesse [19].

Se for necessário validar o circuito de medição e controle diante da regulamentação do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) [17], não recomenda-se a utilização do método de calibração implementado neste trabalho. O método mais adequado é o do cálculo das constantes de calibração, utilizando instrumentos de medição com precisão de pelo menos 3 casas decimais para tensão e corrente [16].

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi inteiramente financiado pela Pixel Ti. Os autores agradecem o Eng. Henrique Vilela, o Eng. José Carlos Costa Júnior, o aluno Roberto Luiz Assad Pinheiro pelo suporte técnico e o Eng. Cláudio Ribeiro pela orientação.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Green, C. Perkins, R. Steinbach e P. Edwards. “Reduced street lighting at night and health: A rapid appraisal of public views in England and Wales”. Em: *Health & Place* 34 (2015), pp. 171–180. ISSN: 0164-1212. DOI: 10.1016/j.healthplace.2015.05.011. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353829215000775>.
- [2] L. Linnický, P. Janiga e R. Dubnička. “Electrical Parameters of Dimmable Luminaire”. Em: *2018 VII. Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen V4)*. IEEE, set. de 2018, pp. 1–3. ISBN: 978-1-5386-7924-1. DOI: 10.1109/LUMENV.2018.8521147. URL: <https://doi.org/10.1109/LUMENV.2018.8521147>.
- [3] ANEEL. *Resolução Normativa n. 414*. URL: <https://www.aneel.gov.br> (acesso em 03/01/2020).
- [4] G. Shahzad, H. Yang, A. W. Ahmad e C. Lee. “Energy-Efficient Intelligent Street Lighting System Using Traffic-Adaptive Control”. Em: *IEEE Sensors Journal* 16.13 (jul. de 2016), pp. 5397–5405. ISSN: 2379-9153. DOI: 10.1109/JSEN.2016.2557345. URL: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2557345>.
- [5] Yanqing Xu, Cong Fu, Eugene Kennedy, Shanhe Jiang e Samuel Owusu-Agyemang. “The impact of street lights on spatial-temporal patterns of crime in Detroit, Michigan”. Em: *Cities* 79 (2018), pp. 45–52. ISSN: 0264-2751. DOI: 10.1016/j.cities.2018.02.021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275117311368>.
- [6] J. M. Wood, G. Isoardi, A. Black e I. Cowling. “Night-time driving visibility associated with LED streetlight dimming”. Em: *Accident Analysis & Prevention* 121 (2018), pp. 295–300. ISSN: 0001-4575. DOI: 10.1016/j.aap.2018.08.023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457518305037>.
- [7] SED (Paraná) et.al. *Manual de iluminação pública*. COPEL. Paraná, 2012, p. 44.
- [8] Ilumatic. *BRM-7 para uso em luminárias*. Especificação do Produto. São Paulo, 2018, p. 2.
- [9] M. Meyer, L. Maurer, J. Freire e C. De Gouvello. *Lighting Brazilian Cities: Business Models for Energy Efficient Public Street Lighting*. World Bank, 2017. DOI: 10.1596/29537. URL: <http://hdl.handle.net/10986/29537>. License: CC BY 3.0 IGO.
- [10] E. Petritoli, F. Leccese, S. Pizzuti e F. Pieroni. “Smart lighting as basic building block of smart city: An energy performance comparative case study”. Em: *Measurement* 136 (2019), pp. 466–477. ISSN: 0263-2241. DOI: 10.1016/j.measurement.2018.12.095. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224118312405>.
- [11] O. Machado. *Modernização da iluminação pública em BH gera economia anual de R\$ 25 mi*. URL: <https://www.canalenergia.com.br> (acesso em 03/02/2020).
- [12] L.t. Doulos, I. Sioutis, P. Kontaxis, G. Zissis e K. Faidas. “A decision support system for assessment of street lighting tenders based on energy performance indicators and environmental criteria: Overview, methodology and case study”. Em: *Sustainable Cities and Society* 51 (2019). ISSN: 2210-6707. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101759. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719304846>.
- [13] CEMIG. *Projetos de Iluminação Pública*. Manual de Distribuição. Minas Gerais, nov. de 2012, p. 64.
- [14] Texas Instruments. *Single Phase and DC Embedded Metering (Power Monitor) Using MSP430I2040*. Especificação do Produto. Dallas, Texas, ago. de 2014, p. 68.
- [15] Pixel Ti. *C006TINT Smart Plug*. Especificação de Produto. Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, jul. de 2019, p. 2.
- [16] Texas Instruments. *TI Designs Single-Phase AC and DC Power Monitor with Wire Resistance and EMI Capacitor Compensation*. Especificação do Produto. Dallas, Texas, ago. de 2014, p. 50.
- [17] INMETRO. *Portaria Inmetro n. 375*. URL: <https://www4.inmetro.gov.br> (acesso em 05/02/2020).
- [18] A. Cachada et al. “Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture”. Em: *2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. Vol. 1. IEEE, set. de 2018, pp. 139–146. ISBN: 978-1-5386-7108-5. DOI: 10.1109/ETFA.2018.8502489. URL: <https://doi.org/10.1109/ETFA.2018.8502489>.
- [19] B. Eamthanakul, M. Ketcham e N. Chumuang. “The Traffic Congestion Investigating System by Image Processing from CCTV Camera”. Em: *2017 International Conference on Digital Arts, Media and Technology (IC-DAMT)*. IEEE, mar. de 2017, pp. 240–245. ISBN: 978-1-5090-5210-3. DOI: 10.1109/ICDAMT.2017.7904969. URL: <https://doi.org/10.1109/ICDAMT.2017.7904969>.