

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ECONOMIA DE ENERGIA NO CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

OLIVEIRA, Diecson Maycon,
LARA, Carla Orlando de Moraes de

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia mundial vem avançando ao longo dos anos, trazendo inovações e criações magníficas para a humanidade. Busca-se sempre desenvolver produtos a fim de trazer conforto, rentabilidade, entre outros fatores. Em contrapartida, no mesmo ritmo, a demanda por energia também cresce em grande escala para suprir a necessidade atual. Dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) de 2018 mostram que o consumo de energia elétrica no Brasil aumentou cerca de 95% no período de 1995 a 2018, passando de 243.074 para 475.237 GWh. Essa realidade exige um equilíbrio, pois não é viável simplesmente ter uma demanda desenfreada de energia, visto que isso gera vários efeitos colaterais impactando principalmente o meio ambiente. Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2021, cerca de 15,8% da energia gerada no país não é renovável (EPE, 2021).

De acordo com o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), um agravante potencializado em 2021 é a crise hídrica instaurada no Brasil. Considerada a mais grave em 91 anos, maior que a crise de 2001, que afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica no país, sendo necessário racionamento de energia, proibindo shows e eventos noturnos, além de deixar de iluminar vias públicas. Com reservatórios atingindo níveis abaixo de 20%, afetam diretamente a hidrologia do Brasil, responsável por 65,2% da geração de eletricidade em 2020 (BEN, 2021). O cenário atual aponta o risco de necessidade de racionamento, além de medidas emergenciais como aumento de geração termelétricas e até mesmo importação de energia de outros países como Argentina e Uruguai (IEMA, 2021).

Soluções alternativas vêm sendo discutidas para suprir a necessidade de utilizar formas poluentes de geração de energia. A maneira sustentável de maior êxito, está no desenvolvimento de energias renováveis, que como conceito, é aquela gerada por recursos naturais e tem a capacidade de regeneração com a apropriada intervenção do

Comentado [T1]: Atualizei o dado e a referência para BEN 2021, que saiu.

Comentado [T2]: Adicionei essa parte, para enfatizar o problema.

homem (CORRÊA *et al.*, 2020), tornando essa prática uma maneira de produção inesgotável de eletricidade.

Outro fator a ser considerado é a eficiência energética. Pode-se definir eficiência energética como uma forma de realizar um serviço ou trabalho com menos energia, ou seja, fazer mais com menos mantendo a qualidade e ou conforto (SEIXAS, 2020, P8). Essa linha está sendo muito discutida atualmente, tendo como grande precursora a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LED. De acordo com Nogueira (2019), é possível a substituição de uma lâmpada fluorescente de 15 W por uma correspondente de LED de 9 W de potência, gerando uma economia de energia elétrica em torno de 40%, com uma capacidade de iluminação similar. O cenário fica ainda mais favorável quando a proposta é a substituição de uma lâmpada incandescente por LED, chegando a uma incrível economia de 85% (NOGUEIRA, 2019).

Considerando o contexto descrito anteriormente, este trabalho tem como objetivo atuar por meio do conceito de eficiência energética, onde o sistema a ser desenvolvido visa minimizar o consumo de energia elétrica. O que gera inúmeros benefícios, que compreende desde fatores financeiros até a redução dos impactos ambientais provenientes da produção de energia elétrica.

É comum edifícios comerciais, ou até mesmo residências, utilizarem iluminação elétrica por grandes períodos em sua total potência. Porém, nos momentos em que a luz proveniente do sol contribui com a claridade do ambiente, há a possibilidade de reduzir a potência das lâmpadas e ocasionar uma redução de consumo sem afetar a boa iluminação do local. Isto devido a fatores como a popularização das tecnologias de controle de iluminação, custos de aquisição e instalação.

Segundo Vieira e Kühn (2019), em uma aplicação similar na qual foi aplicado dimerização em lâmpadas de LED em vias públicas de uma cidade do estado de Santa Catarina, em horários alternativos onde não há necessidade de utilização da potência total das luminárias, foi possível verificar uma economia de aproximadamente 18,8% no consumo anual de energia elétrica.

Portanto, o intuito deste trabalho é gerar uma redução no consumo de energia, atuando por meio do controle da potência das lâmpadas. Para isto, será utilizado um sistema de controle, que por meio de sensores, captará a quantidade de luminosidade, considerando a iluminação natural, e ajustará a intensidade de potência da lâmpada. Isto pode ser realizado utilizando um sistema de controle e lâmpadas que permitam controlar sua intensidade, chamadas de dimerizáveis. Através da diminuição da potência de qualquer equipamento elétrico, também se diminui a energia consumida por ele.

Sendo assim, quando empregado um sistema como o descrito, pode-se aproveitar a luz natural em conjunto com a iluminação produzida pelas lâmpadas, ocasionando uma diminuição do consumo energético. Além disso, será implementado um sistema de medição de consumo, visando comparar diferentes cenários, verificando assim, a eficiência energética do sistema.

2 CONCEITOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ILUMINAÇÃO

Nesta seção são abordados os conceitos fundamentais relacionados a iluminação e ao consumo de energia elétrica de forma eficiente, os quais são essenciais para o entendimento do propósito do trabalho.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Conceito que vem tomando força, a eficiência energética tem se tornado presente na vida dos brasileiros. Segundo Moreira (2017), alguns relevantes indícios potencializam a importância da busca por soluções mais eficientes, como o aumento do valor da energia elétrica e mudanças tarifárias, crescimento de processos de edificações, aumento da demanda, entre outros.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi criado em 1985 pelo Governo Federal, o qual é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras). Atua na conscientização da sociedade e no combate ao desperdício de energia elétrica no país, tendo como melhor resultado o Selo PROCEL de aparelhos domésticos, que tem como objetivo alertar o consumidor por meio de etiquetas informativas, os aparelhos mais eficientes. Visando assim, incentivar a compra de aparelhos com menores índices de desperdício energético (INMETRO, 2020). Com parcerias firmadas com o Inmetro, são estabelecidos índices de consumos e desempenhos para equipamentos, que são submetidos a uma série de ensaios em laboratórios indicados pela Eletrobras (PROCEL Info, 2020). Assim, o consumidor final pode optar ao adquirir um produto de consumo eficaz, aliando desempenho e economia de energia.

O PROCEL determina níveis mínimos e máximos de eficiência energética de aparelhos e máquinas fabricadas no Brasil, e tem atingido resultados significativos. Dados do relatório anual de resultados mostram que o programa atingiu a economia de energia de aproximadamente 21,6 bilhões de kWh no ano de 2019 e a marca de 173,2

bilhões de kWh desde 1986 (PROCEL, 2020).

A Pesquisa de Posse de Equipamentos de Hábitos de Uso (PPH), aponta que em 2019 a média de lâmpadas por residências no Brasil caiu cerca de 26% em relação a mesma pesquisa realizada em 2005 (ELETROBRAS, 2019). Essa queda na média brasileira pode ser explicada pelo fato que em 2005 ocorreu uma mudança drástica na utilização de lâmpadas incandescentes, substituindo por modelos de LED e fluorescentes compactas. O que ocasionou uma redução no número de lâmpadas, obtendo a mesma quantidade de iluminação no ambiente.

2.2 ILUMINAÇÃO

O conceito de iluminação é bem amplo, e segundo Mamede (2017), seu entendimento depende de conceitos clássicos como:

- **Iluminância:** corresponde ao fluxo luminoso incidente em uma superfície por unidade de área. Então, se uma superfície plana de 1 metro quadrado é iluminada por uma fonte de luz, de fluxo luminoso de 1 lúmen, essa iluminância corresponde a 1 lux.
- **Fluxo luminoso:** também denominado como potência de radiação emitida por uma fonte de luz e avaliada pelo olho humano, é expresso em lúmen.
- **Eficiência luminosa:** relaciona o fluxo luminoso da fonte de luz e a potência consumida em watts, sendo a sua unidade dada em lúmens/W.
- **Intensidade luminosa:** Potência de radiação visível emitida por uma fonte de luz em uma determinada direção.
- **Luminância:** medida da sensação da claridade emitida por uma fonte luminosa ou superfície iluminada e avaliada pelo cérebro. Medida em candela por metro quadrado (cd/m^2).
- **Refletância:** relaciona o fluxo luminoso refletido por uma superfície e o fluxo incidente sobre ela.
- **Emitância:** é a quantidade de fluxo luminoso emitido por uma fonte superficial. Sua unidade é lúmen por metro quadrado ($lúmen/m^2$).

O parâmetro adotado como base no desenvolvimento projeto foi a iluminância, visto que o sensor utilizado faz a aquisição dos dados em um ponto específico do ambiente, com unidade de medida lux.

Comentado [CEODMDL3]: Acho que esta subseção ficou sem finalizar, acredito que seria legal falar quais destes conceitos foram empregados no desenvolvimento do trabalho. Por exemplo, foi tratado da iluminância, então fala que ela foi considerada como parâmetro do sistema de controle. Neste sentido, você consegue deixar a subseção mais completa.

Comentado [D04R3]: Ok?

Comentado [CEODMDL5R3]: Agora sim.

2.3 LÂMPADAS

De acordo com a norma técnica brasileira (NBR) 5461 (ABNT, 1991), a definição de lâmpada pode ser descrita como “fonte primária construída para emitir radiação óptica, em geral visível”. Sendo que estas, ao longo do tempo foram sofrendo modificações e segundo Vieira e Kühn (2019), atualmente alguns modelos se destacam como as mais utilizadas na iluminação pública, sendo elas: vapor de mercúrio, vapor de sódio, vapor metálico e LED. Já em ambientes residenciais e comerciais, destacam-se as seguintes:

- **Incandescentes:** com tecnologia ultrapassada e ineficiente, muitas residências ainda possuem esse tipo de lâmpada, apesar de não serem mais comercializadas devido aos índices mínimos de eficiência energética que a portaria Interministerial nº 1.007 exige, e as lâmpadas incandescentes não conseguem atender (BASTOS, 2011). Seu funcionamento consiste em um filamento de tungstênio inserido em um envoltório de vidro sem oxigênio, que ao ser aquecido a uma elevada temperatura, emite luz. Extremamente ineficiente pelo fato de produzir uma elevada perda de energia por efeito Joule, somente 10% da energia elétrica é realmente aproveitada na conversão em luz visível. Possui vida útil de aproximadamente 1000 horas e 8% de eficiência energética (NOGUEIRA, 2019).

- **Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC):** considerada a principal opção utilizada para substituição das lâmpadas incandescentes, estima-se que a cada residência brasileira tenha em média 6,5 lâmpadas, e atualmente a maioria são compactas fluorescentes (PROCEL, 2020). Seu funcionamento consiste em descargas elétricas percorrendo um recipiente com gás, que emitindo luz ultravioleta também emite luz visível ao atravessar seu invólucro revestido de fósforo (NOGUEIRA, 2019). Com vários tamanhos e formas diferentes, ganhou a preferência por aliar bom custo-benefício, vida útil e eficiência energética, entregando o mesmo fluxo luminoso que a sua sucessora com potências menores. Para efeito de comparação, uma lâmpada incandescente de 100 W produz em torno de 1.470 lúmens, enquanto a fluorescente compacta só precisa de 23W para produzir 1.529 lúmens, chegando em até 12.000 horas de vida útil (MARQUES, 2006).

- **Lâmpadas de LED:** diodos emissores de luz (LED), são semicondutores dopados constituídos por uma junção p-n em uma região de fronteira chamada de região de depleção (NASCIMENTO, 2012). Ao polarizar diretamente uma junção p-n, o campo elétrico gerado em seu interior entrega a energia necessária para que ocorra condução de energia elétrica. Ao receber energia necessária para saltar da região n

para p, a partícula se move da banda de condução para banda de valência, e se recombina com uma coluna na região p, assim sendo capazes de emitir luz visível. Essa luz é emitida por meio de uma recombinação de elétrons e colunas em excesso que são produzidas por injeção de corrente com pequenas perdas de energia, formando assim o fenômeno eletroluminescência, base de funcionamento das lâmpadas de LED (RODRIGUES, 2012). Além disso, Nogueira (2019) menciona que a eficiência luminosa deste tipo de lâmpada é de 64 lm/W, e vida útil que pode chegar a 50000 horas.

3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

Para execução do projeto, foi construído um sistema de dimerização automática para controlar a potência da lâmpada à medida que variasse a incidência de luz natural no ambiente. Para isto, foi implementado o sistema apresentado na Figura 3, no qual é possível observar um sistema de controle com realimentação, caracterizando um sistema em malha fechada.

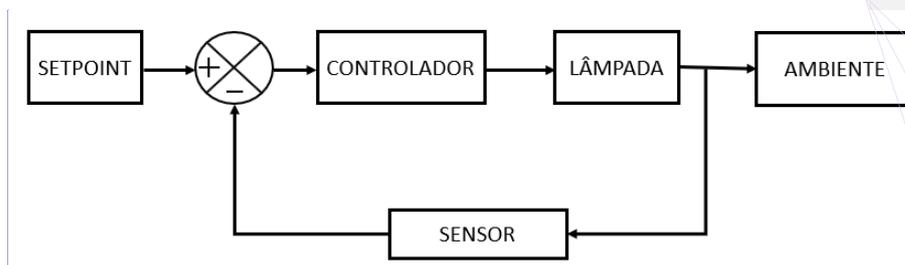


Figura 1: Malha de controle do sistema a ser desenvolvido.

Fonte: O autor (2021).

Ainda por meio da análise da Figura 3, é possível verificar que o valor ideal de luminosidade se trata do *setpoint*, sendo que o objetivo do controlador é manter a luminosidade do ambiente no valor previamente definido. O sensor é responsável por fazer leituras periódicas da variável luminosidade, através desta medição, o sistema pode determinar o sinal de erro, e então ajustar os parâmetros do sistema para que a luminosidade volte ao *setpoint*. O controlador é do tipo proporcional, isto significa que a partir do sinal de erro produzido, o controlador multiplicará este por uma constante, a fim de ajustar a potência da lâmpada. Isto fará com que a luminosidade do sistema seja alterada para o valor do *setpoint*, ou o mais próximo possível.

Comentado [CEODMDL6]: Acho que tem como melhorar essa figura, ela tá um pouco estranha, parece que foi esticada e as letras estão muito pequenas.

Comentado [CEODMDL7]: Faça a substituição desta figura por uma conforme enviei foto.

Comentado [CEODMDL8]: Agora que observei que tem R(s), H(s) e Y(s), como não são utilizados na equação, acho melhor tirar eles da figura.

Comentado [CEODMDL9]: Prometo que é a última coisa, só aumenta um pouco o tamanho da fonte, daí fica perfeito! 😊

Para o desenvolvimento do sistema, são empregados diversos componentes, os quais são apresentados a seguir:

- **Raspberry PI:** será utilizado para fazer a leitura do sensor e executar a lógica da malha de controle.
- **Sensor de luminosidade BH1750:** tem a função de captar o valor de luminosidade do ambiente.
- **Microcontrolador PIC16F877A:** irá receber o valor de luminosidade a ser aplicada na lâmpada.
- **Módulo Dimmer TRIAC BT137:** fará o controle de potência da lâmpada.
- **Conversor de Nível Lógico Bidirecional I2c 5v:** utilizado para comunicação UART entre o microcontrolador e o Raspberry. Irá amplificar o nível do sinal enviado de 3,3V para 5V, diferença de tensão de trabalho entre os controladores.
- **Medidor de energia PZEM-061:** utilizado para medir a energia consumida em kWh.
- **Lâmpada de LED dimerizável 8W.** Com intuito de alterar os níveis de luminosidade, a lâmpada de LED utilizada foi a dimerizável, visto que os modelos convencionais não permitem esse tipo de controle.

A seguir, são apresentados estes elementos com mais detalhes, explicando os seus funcionamentos e funções dentro do sistema.

3.1 MÓDULO DIMMER TRIAC BT137

O dimmer é um importante componente neste projeto. Definido como sendo um dispositivo eletrônico embarcado, destinado a controlar a potência de uma lâmpada elétrica (SANTOS, 2001), é o responsável por gerar o corte da senoide de acordo com as respostas do sistema de controle.

Existem vários modelos de dispositivos dimmer atualmente no mercado, porém, a maioria deles possibilita o controle somente manual, através de um potenciômetro que ajusta a constante de tempo de disparo dos tiristores. Para fazer o ajuste automático da dimerização, foi necessário um módulo dimmer com TRIAC BT137, do fabricante Microtech, apresentado na Figura 2.

Comentado [CEODMDL10]: Não falamos o que é pic no artigo, então vamos manter o nome dele como microcontrolador.

Comentado [CEODMDL11]: Seria legal explicar a função de cada um deles brevemente.

Comentado [CEODMDL12]: Não é de 8 W?

Comentado [CEODMDL13]: Dá pra falar que como vai ser feito a variação da intensidade luminosa, foi necessário utilizar uma lâmpada dimerizável.

Comentado [CEODMDL14]: Todos os lugares que mencionar TRIAC, use todas as letras maiúsculas, pois são uma sigla. Além disso, precisa definir está sigla antes de usar ela.

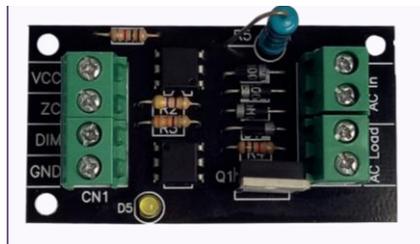


Figura 2: Dimmer TRIAC BT137.

Fonte: O autor (2021).

Seu funcionamento baseia-se em um TRIAC BT137 e dois optoacopladores, MOC 3021 e 4N25, responsáveis pela isolação (CAMPOS, 2016). O módulo dimmer gera uma detecção de ponto zero, ou seja, gera um pulso a cada passagem de zero da senoide (pino ZC), totalizando 120 pulsos por segundo (considerando a frequência da rede de 60 Hz). Esses pulsos são utilizados para ativar uma interrupção externa no microcontrolador PIC16F877a, que por sua vez, gera um pulso de saída que retorna para módulo (pino DIM) no momento desejado de disparo do TRIAC, fazendo-o conduzir e liberar tensão para a lâmpada. Uma representação gráfica deste processo pode ser observada na Figura 3.

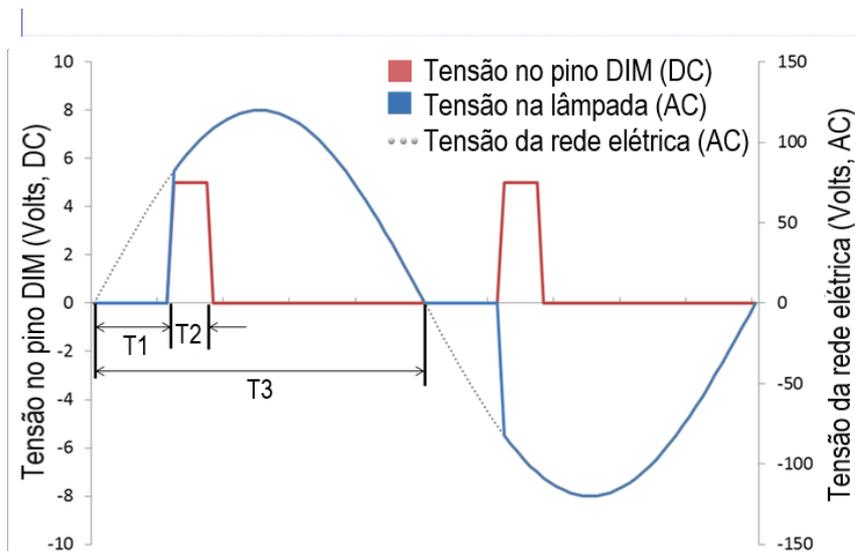


Figura 3: Funcionamento Modulo Dimmer.

[Fonte: (Adaptado de CAMPOS, 2016).]

Comentado [CEODMDL15]: Não achei onde você cita no texto esta figura, ela foi citada? Senão, deve ser.

Comentado [CEODMDL16]: Esta foto tbm foi tirada por vc?

Comentado [DO17R16]: Sim!

Comentado [CEODMDL18R16]: Ótimo então 😊

Comentado [CEODMDL19]: Seria interessante refazer essa figura, para poder aumentar a fonte, assim ficaria mais legível, aí na fonte é só mudar para: Adaptado de Campos (2016).

Comentado [T20]: Como faço a referência da figura adaptada?

Comentado [CEODMDL21R20]: Basta colocar Adaptado de X, já coloquei pra vc.

Comentado [CEODMDL22R20]:

Como pode ser analisado na Figura 3, algumas variáveis temporais são importantes no processo de dimerização. São elas T1, T2 e T3, que representam o corte da senoide, tempo do pulso de disparo do TRIAC e semiciclo da senoide, respectivamente. O controle de potência e luminosidade é feito pela variação de tempo que ocorre o disparo do TRIAC (T2), ou seja, quando é enviado a tensão de 5V no pino DIM do dimmer. Quanto maior o tempo em 0 volts (T1) ocorrerá maior corte da senoide em cada semiciclo (T3), conseqüentemente menor tensão é disponibilizada para lâmpada.

3.2 SISTEMA DE CONTROLE E CONEXÕES

Considerado um pequeno computador, o Raspberry PI foi criado na Inglaterra em 2012. Projetado com finalidade de ser uma inclusão digital para adultos e crianças ingressarem no mundo da programação, a plataforma conta com uma grande quantidade de softwares gratuitos para desenvolvimentos de projetos didáticos e comerciais (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Para a execução do projeto, um programa foi desenvolvido na linguagem de programação Python, no qual será feita a coleta de dados, os cálculos e o envio de comando serial para o PIC16F877A. Conectado ao Raspberry PI, o sensor BH1750 executa a medição em tempo real da luminosidade na unidade de medida Lux (lx), tendo a resolução de 1 a 65535 lx. Considerando um valor de *setpoint* definido pelo usuário, o sistema calcula o valor de erro pela seguinte equação:

$$\text{Erro} = \text{Setpoint} - \text{Luminosidade}$$

Com esse valor de erro, é possível determinar quanto é a diferença do valor da luminosidade atual para a desejada, assim o sistema define o quanto é necessário de potência na lâmpada para chegar na faixa de *setpoint*. A determinação do valor de potência, a ser aplicado na lâmpada, é transmitido pela porta serial do UART do Raspberry para o PIC (*Programmable Interrupt Controller*), via caractere seguindo a correspondência apresentada na Tabela 1.

Comentado [CEODMDL23]: Acho que poderia explicar melhor ainda, por exemplo, comece falando quem são T1, T2 e T3, depois explique a relação deles com as formas de onda. Além disso, é melhor ter mais frases curtas, e não tão longas.

Comentado [DO24R23]: Melhorou?

Comentado [CEODMDL25R23]: Aham, agora sim.

Comentado [CEODMDL26]: Este parágrafo precisa ser reformulado, é necessário começar explicando quem são T1, T2 e T3, e após isto explicar como eles influenciam na tensão enviada para a lâmpada.

Comentado [CEODMDL27R26]: Também é necessário comentar sobre as tensões, a tensão no pino dim, na lâmpada e a proveniente da rede, relacionando elas.

Comentado [DO28R26]: Melhorou?

Comentado [CEODMDL29]: Use letra maiúscula para Python

Comentado [CEODMDL30]: Set point sempre precisa estar em itálico.

Comentado [CEODMDL31]: Precisa dizer o que significa a sigla antes de usá-la.

Comentado [CEODMDL32]: Se vc já tiver definido a sigla antes, não será mais necessário escrever por extenso.

Caractere	Potência (W)	Caractere	Potência (W)
a	8	i	4
b	7,5	j	3,5
c	7	k	3
d	6,5	l	2,5
e	6	m	2
f	5,5	n	1,5
g	5	o	1
h	4,5	p	Desliga

Tabela 1: Relação de correspondência entre caracteres e níveis de potência.

Fonte: O autor (2021).

O microcontrolador PIC pode ser definido como um pequeno componente eletrônico programável utilizado para controlar processos e executar atividades lógicas. Produzido pela Microchip Technology Inc, é dividido em algumas famílias, que possuem características distintas que facilitam a adequação para diversas aplicações (SOUZA, 2005). Nesse sistema foi utilizado a família PIC16F877A, microcontrolador equipado com barramento de dados de 8 bits e barramento de programação de 14 bits. Alojado em uma placa de desenvolvimento, que visa a facilidade de conexão. Na Figura 4 é apresentada a placa de desenvolvimento PIC16F877A, a qual foi utilizada nesta implementação.

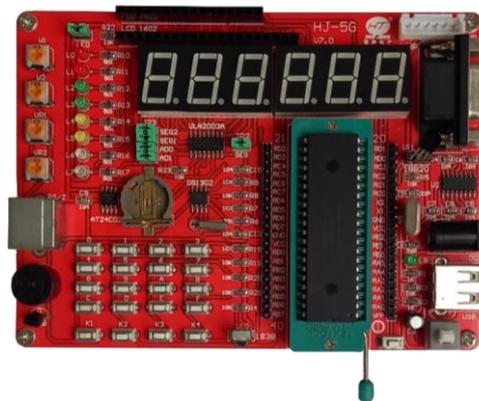


Figura 4: Placa de desenvolvimento PIC16F877A.

Fonte: O autor (2021).

As conexões empregadas no PIC seguiram a pinagem apresentada na Tabela 2, por meio da qual é possível observar em qual pino foi conectado cada componente.

Comentado [CEODMDL33]: Você que tirou esta foto?

Comentado [D034R33]: Sim!

Comentado [CEODMDL35R33]: Ótimo!

PINO	FINALIDADE
RB0	INPUT (ZC)
RB1	OUTPUT (DIM)
RC7	USART
VCC	DIMMER
GND	DIMMER
VCC	CONVERSOR DE NÍVEL
GND	CONVERSOR DE NÍVEL

Tabela 2: Pinagem no PIC16F877A.

Fonte: O autor (2021).

No sistema, o PIC tem a função controlar o pulso de disparo do TRIAC em seu pino de saída RB1, ao executar uma interrupção externa sempre que receber o detector de passagem de zero do dimmer (ZC), conectado ao seu pino de entrada RB0. Sendo assim, essa interrupção será ativada com a frequência de 120 vezes por segundo, disparando na mesma frequência pulsos no pino DIM, os pulsos de disparo do TRIAC. A potência da lâmpada é alterada pelo momento em que esse disparo é executado, logo quanto mais tempo demorar no ciclo da senoide para efetuar o disparo, mais será "cortada", logo um menor nível de tensão é disponibilizado. O controle do momento em que o pulso é disparado é feito pelo contador de tempo interno do microcontrolador. O timer 1 para esta família de PIC é um contador de 16 bits e então foi necessário configurar o ciclo de máquina na programação para contar de 1 a 65536 em 8 milissegundos. A variável *time* no código, controla a partir de comandos do Raspberry em que momento dessa contagem é executado o pulso no pino DIM do dimmer.

Em síntese, o Raspbarray monitora a luminosidade pelos dados obtidos através do sensor. Além disso, define o valor de potência em que a lâmpada precisa estar ligada para chegar na faixa de *setpoint*. Essa informação é transmitida via serial UART para o PIC, que a converte em um valor da contagem do timer, correspondente a potência desejada, alterando o momento em que o pino DIM é ativado e o corte da senoide, resultando na potência desejada na lâmpada.

O sistema regula a potência da lâmpada, a fim de manter a luminosidade do ambiente na faixa desejada, obtendo assim uma redução na potência consumida. Isto faz com que ocorra uma diminuição no consumo de energia elétrica, uma vez que a lâmpada não precisará trabalhar em sua potência nominal em vários momentos do dia.

Comentado [D036]: Você formatou a tabela sem bordas laterais? Está correta?

Comentado [CEODMDL37R36]: Isso, deixei assim para ficar mais padrão de artigo.

Comentado [CEODMDL38]: Pode chamar de tabela tbm, não precisa ser quadro.

Comentado [CEODMDL39]: Este parágrafo está um pouco confuso, precisa ser melhorado. Além disso, o raspbarray faz o cálculo da potência? Esta parte não ficava no PIC?

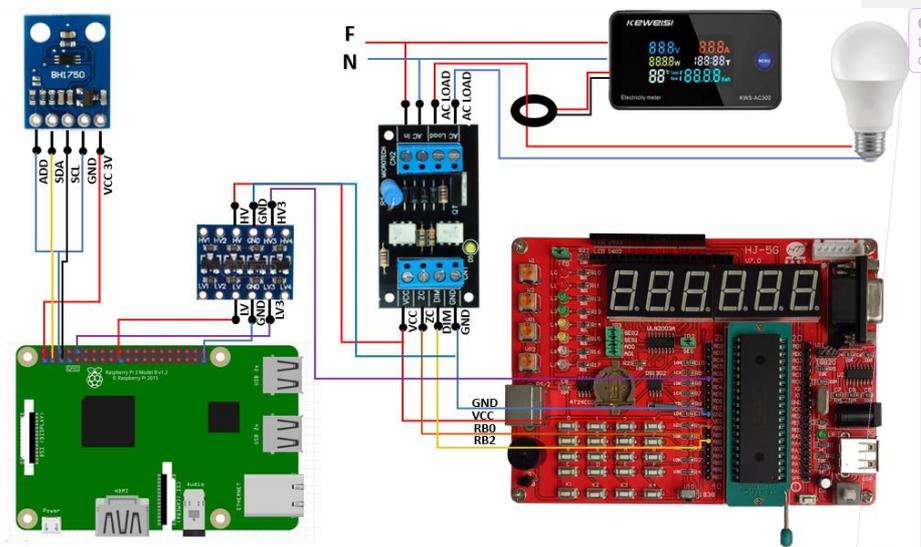
Comentado [D040R39]: Quem calcula a potência a ser inserida na lâmpada é o Raspbarray, o PIC transforma essa informação em T1 e T2, para que o dimmer execute o valor que o Raspbarray definiu.

Comentado [D041R39]: Alterei um pouco, ficou mais claro? A ideia desse parágrafo foi meio que resumir a grande quantidade de informação dos anteriores.

Conectado ao sistema, um medidor de consumo monitora a energia e expressa em um visor em kilowatt / hora (kWh), unidade em que a energia elétrica é cobrada por grande parte das concessionárias.

Comentado [CEODMDL42]: O k de kilo é sempre minúsculo, se você coloca K se refere a temperatura em Kelvin.

A Figura 5 apresenta o esquemático do projeto desenvolvido, sendo possível observar a interligação entre os elementos que compõem o sistema, além das suas respectivas conexões.



Comentado [CEODMDL43]: Tente aumentar a fonte desses textos pequenos, como Serial UART, Alimentação AC, e os outros.

Figura 5: Esquemático do projeto desenvolvido.
Fonte: O autor (2021).

3.3 | PROTÓTIPO

Para verificar a eficiência do sistema, foi criado um protótipo com intuito de simular um ambiente real, como um escritório. Uma estrutura em madeira de dimensões 330x430x740 mm foi construída para acomodar os componentes do projeto, tornando possível a aquisição dos dados de medição de forma otimizada, pois dispõem de luminosidade natural ideal em seu interior para a simulação, proporcionada pela abertura lateral replicando uma janela. Com área reduzida, foi necessário a instalação de um suporte com vidro difusor para receber a lâmpada dentro do protótipo, a fim de obter um nível máximo ideal de luminosidade artificial dentro da estrutura para realizar os testes.

Comentado [CEODMDL44]: Acho que esta seção precisa ser melhorada como um todo, ela está estranha. Tente pensar quais informações são importantes sobre o protótipo que você desenvolveu, sobre quais informações as pessoas podem querer saber...

Com isso vc vai conseguir reescrever ela 😊

Comentado [D045R44]: Melhorou?

Comentado [CEODMDL46]: Acho que aqui caberia as informações que você colocou em outra seção mais a frente.

Com todas as etapas de software e hardware dos sistemas finalizados, as medições e obtenção dos dados foram realizadas no protótipo elaborado conforme o que é apresentado na Figura 6.



Figura 6: Protótipo em funcionamento.

Fonte: O autor (2021).

Para visualização da potência aplicada na lâmpada em tempo real, e da energia consumida durante o tempo de medição, foi instalado um medidor da marca Keweisi modelo KWS-AC300. Este aparelho executa a leitura através de um toróide que envolve o cabo conectado a carga a ser medida. Exibe em seu visor os valores de tensão de alimentação, corrente na carga, potência, energia, tempo de medição e temperatura, conforme Figura 7.



Figura 7: Medidor de consumo Keweisi.

Fonte: Keweisi 2021.

Comentado [CEODMDL47]: Precisa explicar um pouco mais sobre o protótipo, o que ele representa, como foram realizadas as conexões, onde está cada coisa.

Comentado [CEODMDL48]: Na verdade estes dados podem ser todos inseridos na seção 3.3 protótipo, assim já mostra ele, e mostra a lâmpada ligada. Senão fica muito repetitivo.

Comentado [DO49]: Peguei essa imagem do fornecedor, mercado livre. como devo citar?

Comentado [DO50R49]: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1846691879-wattimetro-voltimetro-amperemetro-ac-50-a-300v-100a-_JM?matt_tool=56291529&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303413604&matt_ad_group_id=125984287157&matt_match_type=&matt_network=o&matt_device=c&matt_creative=539354956218&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=109648948&matt_product_id=MLB1846691879&matt_product_partition_id=1404886571258&matt_target_id=aud-1267094690608:pla-1404886571258&qclid=Cj0KCQjw_fIL-BhDOARIsAF4khR0ctdwoxmQ5EtBThOjLH-tPYd1ZKxhCvi0kVB7hhGG8VQqUi6fIXkaAv8WEALw_wcB

Comentado [CEODMDL51R49]: Diecson, aqui você pode colocar o Fabricante e o ano, dai nas referências você coloca o nome do equipamento, fabricante, e ano.

3.3 EXPLICAÇÃO SOBRE O USO DO RASPBERRY EM CONJUNTO COM O PIC16F877A

O sistema pode ser implantado utilizando várias opções de microcontroladores, porém para execução deste trabalho foram avaliadas algumas características essenciais que resultaram na escolha do microcontrolador PIC16F877A e microcomputador Raspberry Pi 3B em conjunto. O principal motivo é não ser possível fazer o controle somente em um controlador, devido à alta frequência de interrupções externas no controle do dimmer, necessidade de leitura constante do sensor, e cálculos para definição de potência ideal aplicando a malha de controle. A preferência pelo Raspberry Pi tornou-se viável pela capacidade de expor resultados e dados de medições e desempenho do sistema com excelência, possibilitando a plotagem dos gráficos com centenas de amostras diárias.

4 RESULTADOS

Para verificação do sistema implementado, foram realizadas medições e coletas de dados, os quais são apresentados nesta seção. A seguir constam dados referentes a curva de dimerização da lâmpada, além de dados referentes ao nível de luminosidade medidos durante o período de dez horas de execução do sistema, considerando um dia útil comercial e monitorando o consumo.

4.1 OBTENÇÃO DA CURVA DE DIMERIZAÇÃO

Uma característica relevante para a análise do sistema é a curva de dimerização. Consiste em relacionar a quantidade de luz medida com a potência consumida, a fim de verificar o comportamento da variação da lâmpada. Sendo assim, a lâmpada utilizada forneceu a curva apresentada na Gráfico 1, por meio da qual é possível verificar o comportamento linear da dimerização. |

Comentado [CEODMDL52]: Ainda não to gostando desta figura, será que não conseguia fazer uma melhor? Pode ser até no excel, mas as letras precisam estar maiores.

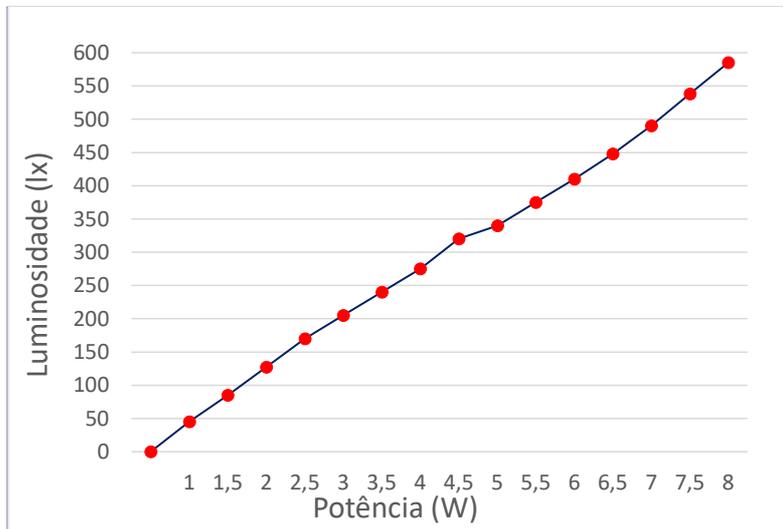
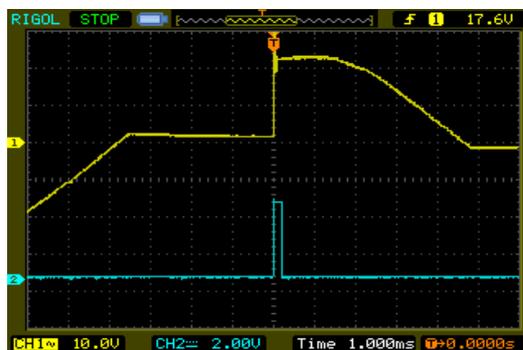


Gráfico 1: Curva de dimerização.

Fonte: O autor (2021).

4.3 VERIFICAÇÃO DO SINAIS

Como explicado anteriormente, o pulso de disparo do TRIAC é de suma importância para o controle de potência do dimmer. Para ocorrer o corte da senoide é necessário um pulso de disparo do TRIAC em cada semiciclo, enviado pelo pino DIM do módulo dimmer. A Figura 8 representa a senoide cortada no canal 1, e o pulso de disparo no canal 2, em imagem captada em um osciloscópio. Por meio da análise da Figura 8, pode-se observar o corte da senoide sendo realizado exatamente quando o pulso de disparo do TRIAC ocorre.



Comentado [CEODMDL53]: Precisa comentar o significado das formas de onda, qual a relação entre a onda do canal 1 e a do canal 2.

Comentado [D054R53]: Melhorou?

Figura 8: Monitoramento da senoide via osciloscópio.

Fonte: O autor (2021).

4.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE CONTROLE DE ILUMINAÇÃO

Para verificar a eficiência do sistema, os dados foram obtidos seguindo uma aplicação considerada ideal e necessária, o setor comercial. Para um ambiente de escritório, a norma regulamentadora (NR) 5413 considera como ideal uma luminosidade de 500 a 1000 lx, e deixa ao usuário essa faixa para que outros fatores, como tipo de atividade exercida no local, possam ser considerados. Portanto, foi estabelecido como *setpoint* uma luminosidade de 650 lx. Além disso, o intervalo de tempo em que foi avaliado a incidência de luz natural, foi o período comercial médio considerado em boa parte do Brasil, que é das 8 às 18 horas. Os dados obtidos são representados nos Gráficos 2 e 3.

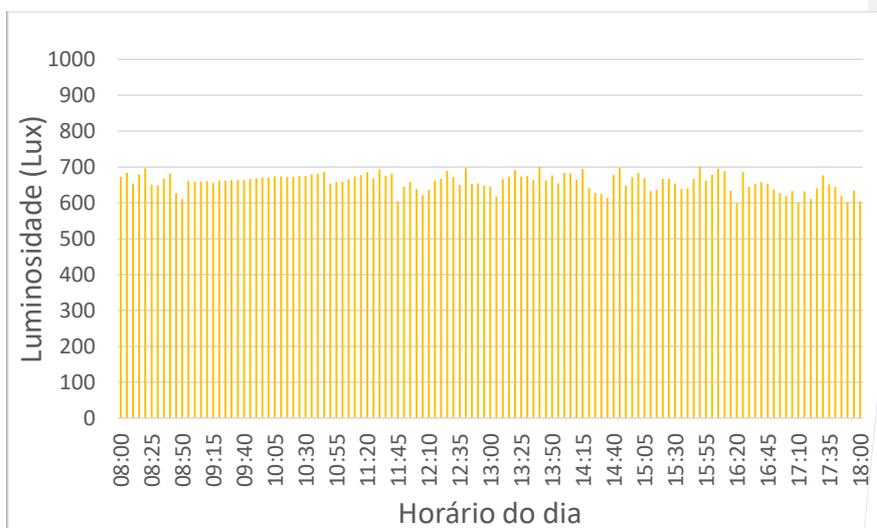


Gráfico 2: Luminosidade durante o dia.

Fonte: O autor (2021).

Se tratando de um sistema “on/off”, a variação de 30 lux acima e abaixo do *setpoint* foi aceita, e o sistema obteve êxito em manter a luminosidade dentro nessa faixa, como pode ser observado no Gráfico 2. Essa variação é interpretada como uma forma de reduzir a frequência em que a potência da lâmpada é alterada, para conforto do usuário.

Comentado [CEODMDL55]: Acho que aqui da pra melhorar o texto, dizer que foram realizados testes em um ambiente que simulava um escritório, pois utilizar um sistema de controle de luminosidade em um ambiente comercial traria resultados mais satisfatórios do que em um ambiente residencial, devido a demanda de um escritório ser maior do que de uma residência.

Comentado [CEODMDL56]: Inserir o número da NR

Comentado [CEODMDL57]: Acho interessante explicar porque a norma define uma faixa de valores, e não um, valor fixo, por exemplo, 500 é pra um escritório com determinada configuração e que realiza determinada atividade, dependendo do tipo de atividade, ocorre a necessidade de uma luminosidade maior, por isso, ela pode ser de 500 a 1000, pois depende do tipo de atividade exercida no local.

Comentado [CEODMDL58]: Precisa explicar melhor o resultado que foi obtido, além disso, deve ser mencionado a faixa de valores que consideramos com aceitável para o controlador. Aqui nesta seção é onde você vai “vender” seu peixe, ou seja, esta é a seção que você mais precisa se atentar em explicar o que foi feito em detalhes, além de explicar todas as considerações que foram feitas.

Comentado [CEODMDL59]: Precisa falar que isso é referente ao gráfico 1.

Com as mesmas amostras, o Gráfico 3 demonstra a redução do consumo ao decorrer do dia, trabalhando em vários períodos com a potência muito abaixo da máxima, evidenciando a capacidade do sistema em economizar energia, visto que com a ausência do controle ficaria todo o período consumindo 8W.

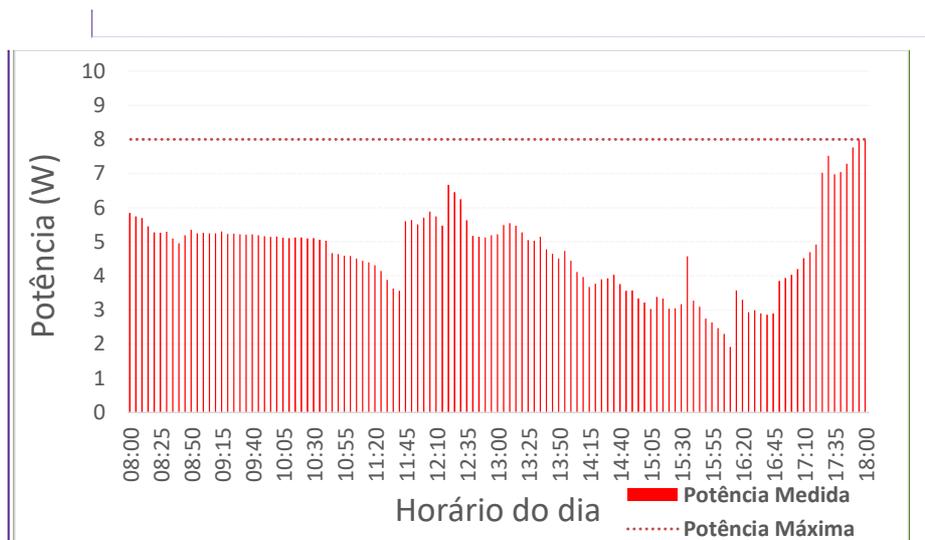


Gráfico 3: Consumo durante o dia.

Fonte: O autor (2021).

O sistema mostrou-se eficaz na redução do consumo e melhora na eficiência energética na iluminação. Para o ambiente simulado e nas condições expostas, a economia foi de aproximadamente 30% com o auxílio do sistema. Porém esse percentual varia de acordo com o ambiente instalado e as condições climáticas na oferta de luz solar. O desempenho medido teve relação a uma única lâmpada, podendo aumentar a eficiência do sistema em circuitos com mais pontos de iluminação. Fazendo uma simulação de consumo de iluminação em um ambiente de escritório de 30 m², de acordo com a norma NBR 5410, seria necessária a potência de iluminação de no mínimo 400 VA, podendo ser distribuída em 8 pontos de 50 W. Considerando somente o horário comercial, das 8 às 18h, em 21 dias mensais trabalhados, esse ambiente teria consumo anual de aproximadamente 1.008 kWh de iluminação. Ao utilizar o sistema, considerando a economia média de 30%, a redução seria para 706 kWh de consumo anual.

Comentado [CEODMDL60]: Precisa citar esse gráfico, e explicar o que ele representa.

Comentado [CEODMDL61]: Coloca a potência máxima como uma linha em 8 W, e em outra cor que não seja a mesma da potencia medida.

Comentado [CEODMDL62]: A mesma coisa para este gráfico Diecson, precisa explorar estes resultados, falando sobre eles, como foram obtidos, o que eles significam e tudo que você puder colocar para valorizá-los.

Comentado [D063R62]: Ok?

Comentado [CEODMDL64]: Precisa falar que foi uma economia de 30% no consumo de energia elétrica referente a iluminação do ambiente. Você poderia ainda, utilizar um ambiente como exemplo para mostrar a diferença disso em kWh. Por exemplo, considerando um escritório de tantos metros quadrados que possui x lâmpadas, as quais ficam ligadas durante tantas horas por dia, e tantos dias por ano, faz a conta e mostra a redução de consumo em kWh.

Comentado [CEODMDL65R64]: Isto la na seção de resultados.

Comentado [D066R64]: ok?

Comentado [D067]: Isso deve ser incluso no final de resultados, ou em considerações finais mesmo?

Comentado [CEODMDL68R67]: Isto pode ser colocado nos resultados. Aqui na seção de considerações finais, você precisa fazer uma espécie de conclusão.

Comentado [CEODMDL69]: Precisa rever estas contas aqui, pra mim que o consumo seria menor do que este calculado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de controle se aplica a ambientes específicos, onde ocorre o desperdício de energia pela iluminação, atuando em potência máxima em horários desnecessários, onde a economia é possível sem reduzir a qualidade da iluminação.

Neste trabalho, a intenção foi tornar viável um sistema de controle de iluminação automatizado para um ambiente de pequeno porte, como um escritório, por exemplo. Porém, instalações maiores também podem ser consideradas, como quadras esportivas, shoppings e academias.

O cenário atual aponta que alternativas de economia de energia devem ser consideradas, e aplicadas em conjunto com a eficiência energética, a fim de contribuir com a redução da demanda nacional de energia, impactando na produção de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ABNT, **Associação de Normas técnicas. NBR 5461. Iluminação (terminologia).** 1992

CORRÊA J.; ROCHA R, SILVA L.; OJEDA T; SILVEIRA R; ORTIZ H. **Energias Renováveis: Uma Realidade Possível.** Revista da Pró-Reitoria de Extensão do IFRS.Porto Alegre 2020.

ELETRORBRAS. **Relatório de resultados do Procel 2020: ano base 2019.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2020.

ELETRORBRAS. **Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial 2019.** Disponível em <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/PPH-2019.aspx>>. Acesso em: 19 de jan. 2021.

INMETRO. **Selos de eficiência Energética.** Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeSelo.asp>> Acesso em: 12 de dez. de 2020

Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), **Crise hídrica, termelétricas e renováveis.** São Paulo,2021.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco Energético Nacional 2020: Ano Base 2019.** Rio de Janeiro, 2020.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e Ministério de Minas e Energia (MME). **Balanco Energético Nacional 2021 - Ano Base 2020.** Rio de Janeiro 2021.

SEIXAS, Paulo S. da Silva, **Eficiência energética.** Contentus, 2020.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais.** 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

Marques, M. C. S., Haddad, J., & Martins, A. R. S. (Coord.). (2006). **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações** (3. ed.). Itajubá: Eletronbras, Procel Educação, Unifei, Fupai.

MOREIRA, S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.** [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2017.

NASCIMENTO, A. **Análise do uso da tecnologia LED na iluminação pública: Estudo das perspectivas de aplicação na cidade de São Paulo.** 2012. 206 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do ABC. São Paulo, 2012.

RODRIGUES, **Contribuições ao Uso de Diodos Emissores De Luz em Iluminação Pública.** Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Juiz de Fora – MG. 2012.

OLIVEIRA C.; ZANETTI H.; NABARRO C.; **Raspberry PI descomplicado.** Saraiva Educação SA, 2018.

Comentado [CEODMDL70]: Essa referência foi citata no texto??

Comentado [CEODMDL71]: Não achei essa citação no texto, favor inclui-la.

Comentado [D072R71]: Tinha citado Fupai em vez de Marques, arrumei.

SOUZA, D. **Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A**. Saraiva Educação SA, 2005.

CAMPOS, A. **Arduino e dimmer com Triac: criando um amanhecer artificial**, 2016. Disponível em: <<https://br-arduino.org/2016/03/arduino-triac-dimmer.html>>. Acesso em: 18 Outubro. 2021

|KWS-AC300, KAWEISI 2021.|

Comentado [T73]: Isso?

Comentado [CEODMDL74R73]: Acredito que sim.