

# Engenharia Elétrica

## Pesquisa Científica no Contexto Acadêmico

Organizadoras

Alexandra Amaro de Lima  
Livia da Silva Oliveira



Editora Poisson

VOLUME

6

Alexandra Amaro de Lima  
Livia da Silva Oliveira  
Organizadoras

Engenharia Elétrica  
Pesquisa científica no contexto acadêmico  
Volume 6

1ª Edição

Belo Horizonte  
Editora Poisson  
2024

**Editor Chefe:** Dr. Darly Fernando Andrade

**Conselho Editorial**

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais  
Ms. Davilson Eduardo Andrade  
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas  
Msc. Fabiane dos Santos  
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia  
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais  
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC  
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy  
Dra. - Suelânia Cristina Gonzaga de Figueiredo - (Centro Universitário FAMETRO)  
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

**Comitê Científico**

Profa. Dra. Francimeire Gomes Pinheiro (Centro Universitário FAMETRO)  
Profa. Dra. Alexandra Priscilla Tregue (Centro Universitário FAMETRO)  
Prof. Esp. Marcus Tulio Alves (Marinha do Brasil)  
Prof. Me. Fabrício de Amorim Rodrigues (Centro Universitário FAMETRO)  
Prof. Esp. Aristeu Souza da Fonseca (Centro Universitário FAMETRO)  
Prof. Me. Mauro Cezar Aparício de Souza (Centro Universitário FAMETRO)  
Prof. Esp. Patrick Hozannah de Albuquerque (Centro Universitário FAMETRO)  
Prof Me. Glaucivan Barroso da Cunha (Centro Universitário FAMETRO)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E57
Engenharia elétrica: Pesquisa científica no contexto acadêmico - Volume 6/ Organização: Alexandra Amaro de Lima, Livia da Silva Oliveira - Belo Horizonte MG: Editora Poisson, 2024
Formato: PDF ISBN: 978-65-5866-396-6 DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6
Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia
1. Engenharia Elétrica 2. Pesquisa científica 3. Tecnologia II. LIMA, Alexandra Amaro de II. OLIVEIRA, Livia da Silva III. Título
CDD-620
Sônia Márcia Soares de Moura - CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em [www.poisson.com.br](http://www.poisson.com.br)

Entre em contato pelo [contato@poisson.com.br](mailto:contato@poisson.com.br)



# *Organizadoras*

## **Profa. Dra. Alexandra Amaro de Lima**

Bacharel em Meteorologia pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Mestre em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Doutora em Clima e Ambiente pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – (INPA/UEA). Atua no ensino superior desde 2013, como docente nos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica e Engenharia Civil no Centro Universitário FAMETRO. É pesquisadora e professora permanente do Programa de Mestrado Profissional em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental no Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – (ITEGAM).

## **Profa. Me. Livia da Silva Oliveira**

Licenciada em Física pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é coordenadora do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário FAMETRO. Atua no ensino superior desde 2011, como docente nos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Elétrica, Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica.

# *Prefácio*

Bem-vindo ao nosso quarto e-book de Engenharia Elétrica ! Este livro tem como objetivo fornecer uma visão geral abrangente dos princípios fundamentais da Engenharia Elétrica, com ênfase em sua aplicação prática. A Engenharia Elétrica é um campo vasto e em constante evolução, e esperamos que este livro possa ajudar a fornecer uma base sólida para aqueles que estão começando suas carreiras nessa área.

Ao longo do livro, exploraremos conceitos fundamentais, como circuitos elétricos, eletrônica, sistemas de controle, teoria eletromagnética e muito mais. Também discutiremos as últimas tendências e tecnologias em Engenharia Elétrica, incluindo uso de energia fotovoltaica, inteligência artificial e eficiência energética.

Este livro é destinado a estudantes de Engenharia Elétrica, engenheiros recém-formados ou profissionais experientes que buscam atualizar seus conhecimentos. Ele também pode ser útil para outros profissionais que trabalham em campos relacionados, como Engenharia Civil e Segurança do Trabalho.

Esperamos que este e-book seja informativo e útil para você. Se você tiver alguma dúvida ou comentário, não hesite em entrar em contato conosco. Boa leitura!

*Prof<sup>ª</sup> Me. Livia da Silva Oliveira  
Coordenadora de Engenharia Elétrica  
Centro Universitário FAMETRO*

# SUMÁRIO

**Capítulo 1:** Construção de um carregador de baterias tracionarias veiculares..... 09

Albert Messias Pitaluga Neto, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.01

**Capítulo 2:** Domótica aliada à eficiência energética: sistema para gerenciar o consumo de energia residencial..... 23

André Souza da Silva, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.02

**Capítulo 3:** Projeto de atualização e melhorias da instalação em um galpão conforme a norma NBR5410 ..... 36

Andreza Gomes Batista, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.03

**Capítulo 4:** Potencial de geração de energia elétrica em estações de tratamento de água e reservatórios..... 49

Artemus Dantas Cavalcante, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.04

**Capítulo 5:** Implementação de um sistema de automatização de baixo custo na pintura de tanques de motos no Polo Duas Rodas de Manaus/AM ..... 62

Beatriz Garcia Bento, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.05

**Capítulo 6:** Biodigestores para geração de energia em residências..... 71

Bruno Portela Ferreira, Leonara dos Santos Cordeiro, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.06

**Capítulo 7:** Utilização de águas cinzas para fins não potáveis em edificações residenciais ..... 81

David Gabriel Pereira da Silva, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.07

**Capítulo 8:** Projeto de implementação da NBR5410 em uma unidade consumidora de baixa tensão (BT)..... 92

Everton Oliveira da Fonseca, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.08

**Capítulo 9:** Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial ..... 105

Fabio Macedo Tuesta, Alexandra Amaro de Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.09

# SUMÁRIO

<b>Capítulo 10:</b> Automação elétrica: integração de sistema inteligente na “Loja Iluminari Elétrica” .....	116
Helder Carvalho da Silva, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.10	
<b>Capítulo 11:</b> Módulo didático para uso em práticas em automação .....	127
Jean Oliveira Ribeiro, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.11	
<b>Capítulo 12:</b> Redução de harmônicas em redes elétricas residenciais para a preservação de aparelhos eletrônicos.....	134
Jessé Macena de Paula, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.12	
<b>Capítulo 13:</b> Projeto de uma fazenda solar na comunidade bela vista no município de Manacapuru.....	145
Joelson de Andrade dos Santos, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.13	
<b>Capítulo 14:</b> Instrumento móvel para regulação de aferidores energéticos .....	158
Kleber Silva Ribeiro, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.14	
<b>Capítulo 15:</b> Desenvolvimento de um alinhador calibrador de motocicletas .....	170
Leandro Costa dos Santos, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.15	
<b>Capítulo 16:</b> Dimensionamento elétrico em um edifício comercial: uma comparação entre o método manual e software.....	178
Lhana Gustavo Brasil, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.16	
<b>Capítulo 17:</b> Sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar.....	193
Márcio Cláudio Marques Lopes Filho, Alexandra Amaro de Lima	
DOI: 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.17	

# SUMÁRIO

**Capítulo 18:** Solução para a manutenção preventiva utilizando redes neurais convolucionais ..... 199

Mateus de Paula da Silva, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.18

**Capítulo 19:** Viabilidade de redução do consumo de energia elétrica em máquinas de fundição LPDC..... 209

Natanael Farias Rocha, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.19

**Capítulo 20:** Implementação de um sistema automatizado para a contagem de peças em uma indústria de componentes de duas rodas ..... 217

Robson Ribeiro de Lima, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.20

**Capítulo 21:** Protótipo de sistema automatizado para controle de vagas de estacionamento ..... 227

Ronaldo Dantas Monteiro, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.21

**Capítulo 22:** Desenvolvimento de envasadora de sucos naturais de baixo custo ..... 237

Saulo dos Santos Lima, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.22

**Capítulo 23:** Protótipo de um sistema de supervisão de temperatura no processo de fabricação de chapas de papelão ondulado..... 246

Welison Viana de Sousa, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.23

**Capítulo 24:** Utilização de braços robóticos para automação de testes em aplicativos móveis..... 256

Wendell Pinheiro Abreu Marques, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.24

**Capítulo 25:** Análise da velocidade em função do tempo para motores de corrente alternada..... 267

Williame Repolho da Silva, Alexandra Amaro de Lima

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-396-6.CAP.25

# Capítulo 1

## *Construção de um carregador de baterias tracionarias veiculares*

*Albert Messias Pitaluga Neto*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Com a chegada dos Veículos Elétricos, nasceu a necessidade de se redesenhar esse modelo. Buscar soluções inovadoras para tornar viável a recarga das baterias, tal qual o abastecimento dos veículos à combustão. Talvez o maior desafio para se produzir EVs em escala e popularizar essa tecnologia, seja a busca por um modelo ideal para a referida recarga. Este artigo apresenta uma análise de projeção e investimentos dessas marcas para um futuro próximo, de onde se pôde obter segurança na continuidade de produção em massa. Durante os trabalhos foram confeccionados diversos circuitos elétricos e testados modelos de inversores de frequência com configurações e potências diferentes até se obter o modelo ideal. Através de análises matemáticas foram e das referências bibliográficas, foram obtidas as equações de dimensionamento dos componentes eletrônicos, indutância das bobinas e com ajuda computacional, se desenvolveu os diagramas elétricos que inclusive contribuíram para testes de simulação, evitando desperdícios de tempo e materiais. Para os cálculos mais complexos, utilizou-se transformadas de Laplace e séries de Fourier. Dadas as proporções das baterias empregadas, a eficiência na transferência de corrente elétrica por meio indutivo, se deu acima dos 90% de aproveitamento.

**Palavras-Chave:** Indução Magnética; Eletromagnetismo; Transmissão de Potência sem Fio.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com os relatórios do Painel Internacional de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006; 2014) o uso dos combustíveis fósseis, principalmente pelos veículos movidos a gasolina e diesel, tem contribuído para o aumento os gases do efeito estufa (GEE) e por consequência, para o aumento da temperatura do planeta. Além disso, os veículos motorizados são uma fonte de poluição atmosférica que causa danos a saúde humana (DRUMM et al., 2014). Uma possível alternativa para esse problema ambiental e social, são as propostas de mudança das frotas por carros elétricos e/ou híbridos (RACZ et al., 2015; MORGANTI e BROWNE, 2018).

Vários países no mundo estão tomando medidas para conter as emissões automotivas. No Brasil, o governo elaborou nova legislação para as políticas industrial e automotiva, denominado de Rota 2030, onde ele estimula a indústria a desenvolver frotas de carros elétricos e híbridos (SHIBAO e SANTOS, 2021; MARIN e FAESARELLA, 2021). Os veículos elétricos podem ser os puros que só usam energia elétrica, os híbridos que utilizam motor elétrico e mecânico (FGV Energia, 2017). Apesar incentivo da legislação brasileira para produção dos carros elétricos, hoje, o seu alto custo de fabricação é um privilégio apenas das classes A e B (SILVA 2020).

Atualmente, no Brasil circulam veículos puramente elétricos, os quais são aqueles que não têm um motor a combustão (SOUZA e HEROI, 2021). Estes são integralmente movidos por energia elétrica, seja provida por baterias, por células de combustível, por placas fotovoltaicas (energia solar) ou ligados à rede elétrica, como os *trólebus*. Percebe-se uma clara distinção entre os veículos elétricos puros e os híbridos em relação a dois aspectos: a autonomia, que atualmente é maior nos híbridos justamente pela utilização acessória de um motor a combustão, e o peso do conjunto de baterias (BEZERRA, 2021). Os demais parâmetros são similares para os modelos estudados.

Os carros elétricos têm se tornado cada vez mais populares devido aos benefícios ambientais e econômicos que oferecem. Uma das principais tecnologias que impulsionam esses veículos elétricos são as baterias recarregáveis de íon de lítio. No entanto, existem outros tipos de baterias que também são utilizadas em carros elétricos (CASTRO et al., 2020).

Existem diversos tipos de baterias utilizadas em carros elétricos, cada uma com suas próprias características e benefícios: as baterias de *íon* de lítio são as mais usadas, pois são leves e possuem boa capacidade de armazenamento de energia, tornando-as ideais para veículos elétricos que precisam de uma fonte de energia compacta e durável (QUINTEIRO, 2021). Por outro lado, as baterias de íon de sódio são uma alternativa às baterias de íon de lítio, pois o sódio é mais abundante e barato que o lítio. Embora ainda estejam em fase de desenvolvimento e não sejam tão comuns quanto as baterias de íon de lítio, as baterias de íon de sódio apresentam potencial para oferecer uma alternativa mais econômica e sustentável para os veículos elétricos (SANTAMARIA et al., 2022).

Ainda, baterias de fluxo são outra opção para armazenar energia em carros elétricos. Essas baterias utilizam eletrólitos líquidos armazenados em tanques separados, o que as torna escaláveis e mais fáceis de reciclar. Apesar de ainda estarem em estágio inicial de desenvolvimento para aplicação em veículos elétricos, as baterias de fluxo mostram potencial para aumentar a autonomia e a eficiência dos carros elétricos no futuro (SOARES e LIMA, 2022).

Contudo, a evolução contínua da tecnologia das baterias contribui para tornar os veículos elétricos mais acessíveis, eficientes e sustentáveis, promovendo uma transição para um transporte mais limpo e ecologicamente responsável. Os problemas de carregamento dos carros elétricos podem incluir questões relacionadas à infraestrutura de recarga, tempos de carregamento, autonomia das baterias e disponibilidade de pontos de recarga (BARBOSA NETO, 2021).

Estes problemas são ainda maiores no Brasil, onde o mercado dos carros elétricos ainda não está consolidado, e com isso não possuem estrutura e nem a quantidade de locais adequados para o carregamento delas. Com isso podemos destacar a falta de estações de carregamento públicas e privadas pode limitar a conveniência e a acessibilidade dos carros elétricos para os usuários, causando preocupações quanto à autonomia (GALVÃO, 2021).

O tempo de carregamento ainda é muito longo, levando em média de 1 hora a mais do que o abastecimento por combustíveis. Além disso, a autonomia das baterias, as quais influenciam diretamente o rendimento do carro, o que pode ser inconveniente para os proprietários, especialmente em longas viagens, além é claro dos conectores.

Este artigo tem por objetivo de abrir caminhos para uma nova tecnologia, viabilizando recargas de baterias automotivas de forma simples e segura, viabilizando a ampliação de estações de recarga em postos de abastecimentos, estacionamentos públicos e privados e em qualquer estabelecimento comercial que se queira. Podendo ainda, a tecnologia ser ampliado para praças de pedágios e/ou acostamentos em rodovias para facilitar a viagem e evitar possíveis transtornos por falta de locais de recarga em um perímetro e até acidentes de trânsito por insuficiência autônoma das baterias.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O artigo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo para o abastecimento de carros elétricos. O dispositivo apresentado poderá ser implementado nos postos de abastecimento convencionais, estacionamentos comerciais, locais de estacionamento sob administração municipal conhecidos como zonas azuis na cidade de Manaus/AM e em todo território nacional. Assim, no Quadro 1 mostraremos os principais materiais que foram utilizados na construção do protótipo do carregador de bateria.

**Quadro 1:** Lista sucinta de materiais

Lista de Material		
Identificação	Valor / Código	Descrição
Q1 a Q4	2N7269	Mos-Fet chaveadores de potência
S1	Chave liga / desliga	Interruptor do circuito elétrico
V1	Fonte de tensão	Fonte de 220 VAC
F1	Fusível 10 <sup>a</sup>	Proteção contra sobrecorrente
D1 a D4	1N3192	Diodos da poret retificadora do gerador
C1	220uF x 400V	Capacitor eletrolítico para filtrar a corrente de entrada
R1	500K	Trimpote de ajuste de intensidade do sinal PWM
R2	1Mohm	Limitador de corrente na alimentação dos Cis
C2	20 uF x 400 VAC	Capacitor de acoplamento da bobina geradora
C3	820 hF x 400 V	Capacitor eletrolítico para filtrar a corrente no secundário
C4	470 uF x 60 V	Capacitor eletrolítico para filtrar a corrente de alimentação dos Cis
U1	TPS40174	CI oscilador PWM
U2a e U3b	CD4011	CI programável de 2 bits
C4	100 nF	Capacitor cerâmico Filtro LC com R1
R3 e R4	10 Kohm	Casamento d eimpedância da fonte de sinal para etapa de potência.
L1 e L2	1 mH	Indutores de acoplamento via ressonância
D5	1B4B42	Ponte retificadora da corrente do secundário

Fonte: Autores (2022).

### 3. MÉTODOS

Para concepção deste artigo, buscou-se inicialmente, informações do mercado automobilístico e suas tendências. Onde foi possível constatar que as políticas globais de preservação do meio ambiente propõem redução de emissão de poluentes com diminuição ou extinção de queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2006; 2014). Por se tratar de uma tecnologia promissora e de baixo investimento, pode ser possível construir carregadores portáteis para baterias tracionarias de veículos automotores elétricos, substituindo os modelos iniciais com fios que demandam de manutenção e alto custo com materiais.

Utilizando ferramentas computacionais e instrumentação eletrônica, foram desenvolvidos alguns circuitos baseados na topologia SS conforme apresentados mais a frente, permitindo construir a partir de componentes eletrônicos de potência e indutores , um inversor de frequência da ordem de 100 KHz, capaz de transferir energia elétrica por meio de acoplamento indutivo.

Os materiais empregados estão listados e os resultados obtidos estão compilados de forma minuciosa e bem didática. Empregando-se os materiais aqui elencados, foi construído um protótipo com capacidade para carregar um banco de baterias similar às baterias utilizadas nos EVs. Embora as tensões nominais das baterias da ordem de 360 V, este projeto atende, mesmo tendo gerado uma tensão de 306, em decorrência da hipossuficiência na aquisição das baterias para testes.

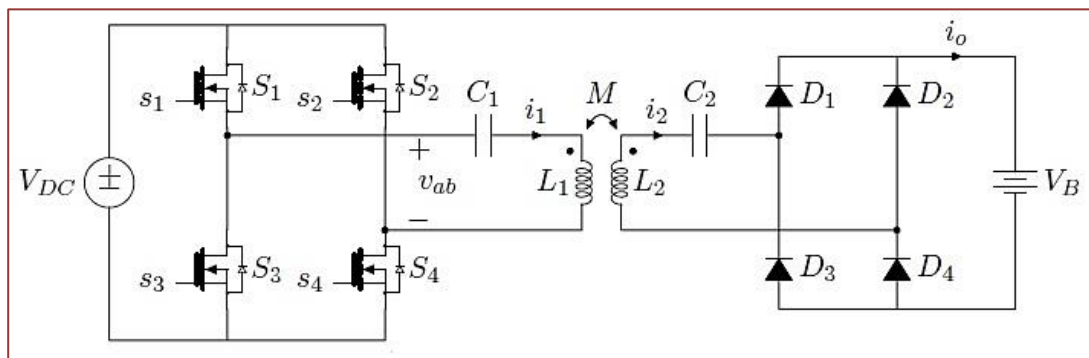
Para o exemplo deste artigo, foram considerados dois tipos de baterias. As convencionais de chumbo-ácido na tensão de 12V que nos veículos híbridos, desempenham as mesmas funções do veículo convencional. Essa alimenta o circuito de ignição e acessórios como já dito. E as baterias principais de tração que fornecem alimentação para o motor em alta tensão, de 360V, fabricadas de lítio-ion ou Chumbo-Ácido.

A potência do motor no veículo híbrido varia de acordo com a marca e o modelo, mas atualmente ela está entre 10 e 20 KW e nos EV, entre 50 e 90 KW. Por tanto, para se conseguir uma carga rápida da ordem de 30 minutos, é necessário um carregador com potência elevada para fornecer os níveis de corrente necessários.

O carregamento proposto neste artigo, é específico para a bateria primária. A carga da bateria secundária é feita através de um conversor DC/DC que converte a tensão da bateria primária em 12V para este fim. Este dispositivo vem equipado de fábrica nos veículos, por tanto, não é objeto deste estudo.

A Figura 1 mostra o esquema elétrico básico apresentado, é a estrutura formada pelo inversor de alta frequência em topologia SS, devido à transferência de energia por meio de um acoplamento ressonante, está sendo feito de uma fonte de corrente contínua para outra e será tratada como conversor DC/DC.

**Figura 1:** Esquema elétrico básico do protótipo



Fonte: Autores (2022).

O inversor de alta frequência foi projetado para gerar uma tensão alternada, cuja frequência é igual à frequência de ressonância da topologia SS, conforme a figura. O intervalo de tempo morto entre o acionamento dos interruptores é representado por  $\theta dt$ . Os indutores foram projetados para garantir uma baixa variação de corrente na saída durante a carga das baterias, enquanto a indutância dos mesmos foi obtida através da Equação 1.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, L é dado pela indutância das bobinas, e C é o valor do capacitor de acoplamento na saída do inversor.

### 3.1. ANÁLISE ESTÁTICA DO INVERSOR

Alguns aspectos relevantes devem ser analisados para o carregador, como rendimento, compensação por perdas no acoplamento, tempo de carga e perdas por temperatura, por tanto a necessidade de compensação de reativos.

O esquema proposto, representado na Figura 1, é a etapa de potência, que consiste em um inversor de alta frequência. O fator de correção, que também de acoplamento magnético entre os indutores pode ser representado matematicamente pela equação

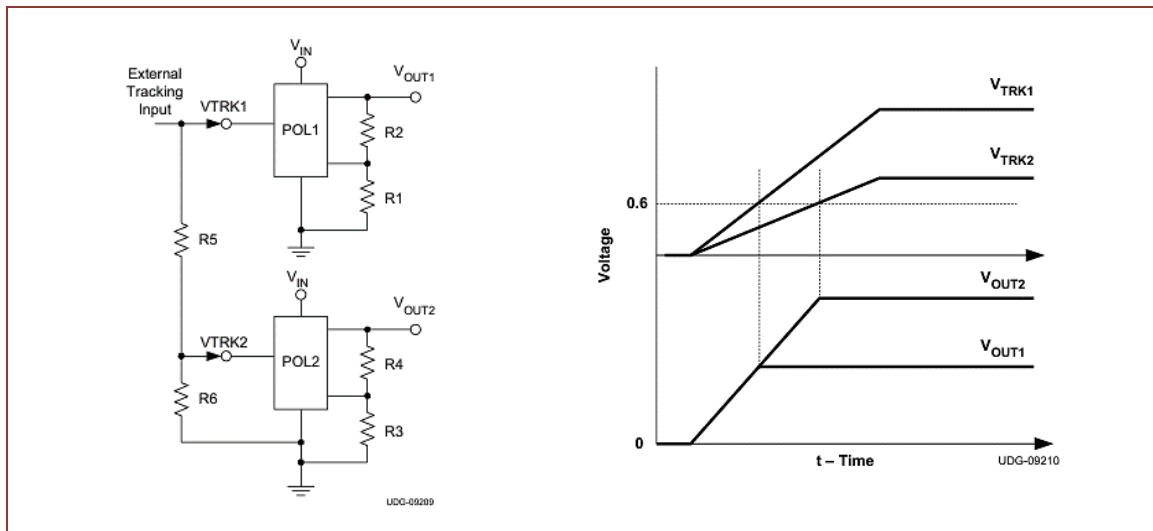
abaixo, onde podemos obter o coeficiente de conversão da tensão contínua em alternada para induzir o circuito secundário, representado pela Equação 2.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo  $M$ , a indutância mútua entre as bobinas, a qual é uma função da distância entre elas. As bobinas para carregadores de bateria tracionarias operam com baixos valores de  $k$ , tipicamente da ordem de 0,2 a 0,3.

Este circuito é dotado de um CI TPS40174 da *Texas Instrument*, Controlador Síncrono de Pulso PWM que opera na faixa de 100 KHz a 600KHz. Este componente é largamente utilizado na fabricação de equipamentos como inversores de frequência, fontes chaveadas e controles de motores entre outros tipos de indutores. A Figura 2 mostra os sinais síncronos das saídas do nosso oscilador e a forma de onda da tensão conforme gráfico.

**Figura 2:** a) diagrama do Oscilador PWM; b) amplitude dos sinais de saída.



Fonte: Adaptado (CI -TPS40174).

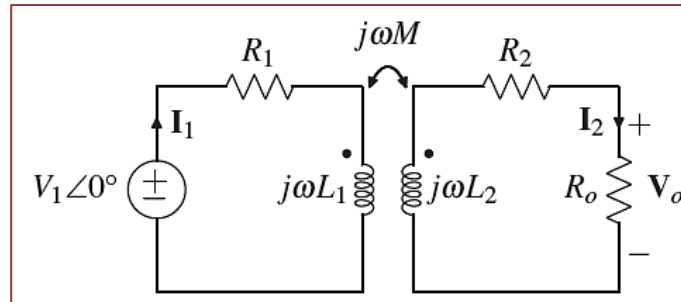
O sinal gerado pelo oscilador controla o chaveamento dos transistores de potência conforme em configuração de dois pares complementares do tipo *Phase-Shift*. Nessa configuração, os dois pares inversores são controlados independentemente. Os interruptores *Mos-Fets* atuam como chaves comutando, de forma que um conduz no semi-ciclo positivo, enquanto que o outro no semi-ciclo negativo da onda quadrada.

A potência de saída é controlada por um sistema em malha fechada, que utiliza um compensador proporcional-integral (PIV) para regular a tensão de saída. O sinal de saída do compensador PIV é limitado ao valor máximo de 10 A. Ao iniciar o processo de carga, quando a tensão na bateria está abaixo da mínima definida, a carga é feita com corrente constante de 10 A até atingir o valor de 308V. Nesse ponto o PIV irá manter a tensão de saída constante, atenuando o valor da amostragem da corrente de saída. Para o funcionamento da malha interna é obtido o valor médio da corrente de saída do retificador pelo filtro passa-baixa.

No circuito apresentado na Figura 3, mostra a fonte de entrada sendo definida no domínio do tempo por  $v1 = \sqrt{2}V1sen(\omega t)$  e representa o primeiro harmônico da tensão de

saída do inversor de alta frequência. Os resistores  $R_1$  e  $R_2$  no diagrama (Figura 3) representam respectivamente, as resistências série equivalentes dos indutores  $L_1$  e  $L_2$ , respectivamente, e  $R_o$  é a carga.

**Figura 3:** Diagrama simplificado do acoplamento



Fonte: Autores (2022)

Como observado na Figura 3, os dois pares de transistores operam alternando a fase entre si. A fase  $\phi$  entre os sinais dos chaveadores define a largura de pulso da tensão. Ao mesmo tempo, os sinais modulados nas saídas do CI TPS40174, excitam os gates dos transistores de potência (IGBT) e  $\phi dt$  é o intervalo de tempo nulo, no instante em que ocorre a inversão da fase no sistema ss (Série-Série). A topologia SS é demonstrada pela representação fasorial conforme a equação abaixo. Nesse circuito a fonte  $V_1$  representa o primeiro harmônico da tensão de entrada do retificador,  $v_{ret}$ , calculada por  $V_1$ , representado pelo Equação 3.

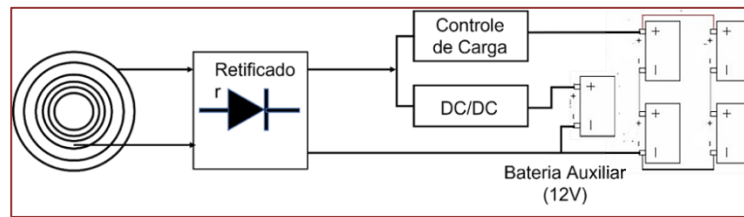
$$v_1 = \frac{4V_{DC} \cdot \text{sen}\left(\frac{\phi}{2}\right)}{\pi} \cos(\omega t) \quad \text{Eq. 3}$$

Esta equação demonstra a modulação Phase-Shift, permite o controle da potência, achando-se o ângulo de defasagem  $\phi$ . Por esse processo se dá a indução da corrente na bobina receptora instalada no veículo. (CARNEIRO, 2020). A frequência de chaveamento é dada pela equação  $f_s = 80.9 \cdot 10^3$

### 3.2. MÉTODOS / FILTROS HARMÔNICOS

Embora o sistema seja *standalone* e operar em frequências elevadas, é importante observar as perdas e filtros de harmônicos. Os fatores que poderão afetar o bom funcionamento do sistema são: variações nos níveis de tensão na saída do conversor, perda de corrente por acoplamento ineficiente decorrente de mau posicionamento do veículo no local indicado e temperaturas elevadas. Para correção de harmônicos, será aplicado um filtro PFC do tipo *buck buster* após a etapa retificadora do circuito receptor conforme ilustrado na Figura 4.

**Figura 4:** Diagrama em blocos do circuito secundário



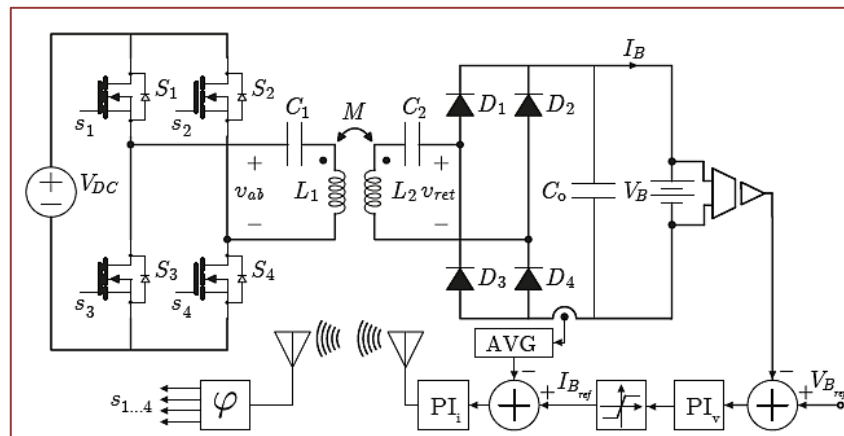
Fonte: Autores (2022)

O secundário consiste em um circuito sintonizador em uma frequência, e na sequência ligado a um retificador, que provê uma tensão ligeiramente superior a da bateria a ser carregada. Esse circuito estabelece uma comunicação sem fios com o microprocessador do carregador, que aperfeiçoa a sintonização e a transferência de potência, em função da potência demonstrado na equação.

$$I_1 = \frac{P_0 R 2V^2}{\omega M V} \quad \text{Eq. 4}$$

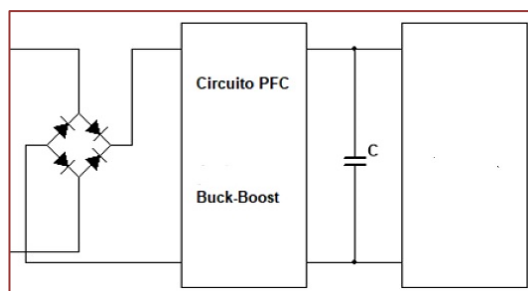
$$I_2 = \frac{P}{V} \quad \text{Eq.5}$$

**Figura 5:** Esquema elétrico simplificado do sistema com controle



Fonte: Autores (2022).

O circuito secundário foi construído apenas com o propósito de se testar os resultados obtidos do protótipo, uma vez que ele deverá ser item de série nos EVs, porém será apresentado abaixo, um modelo de filtro utilizado durante os testes deste artigo.

**Figura 6:** Diagrama bloco do filtro Passa Faixa Buck Booster

Fonte: Autores (2022).

Os conversores PFC são utilizados em uma vasta área de aplicações, daí a necessidade de estudar várias topologias de conversores dc-dc (*buck, boost, buck-boost, flyback, etc...*) e várias tipologias de controle para obter melhores resultados que satisfaçam os equipamentos em particular. No entanto a topologia de conversor dc-dc mais comum é a topologia *buck boost*

Neste tipo de filtro, a relação de correção de tensão é dada pela expressão. Esse processo assegura que o máximo de potência produzida seja transferida para a bobina receptora com o mínimo de perdas. Por meio desse modelo é fornecido tensões superiores à tensão de entrada para circuitos de controles de indutores. A corrente de entrada é semelhante à senoide, especialmente em neste caso. Analisando o PFC *boost*, a corrente na bobina L é controlada pelo *mosfet* S. Este *mosfet* oscila entre Hi e Low como chaves ON e OFF, a uma frequência muito mais elevada do que a frequência da rede. A relação de conversão de tensão é dada pela Equação 6.

$$V_L \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} V_L(t) dt = 0 \frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{1-D} \quad \text{Eq. 6}$$

Por outro lado, para que seja possível calcular as perdas totais do carregador proposto, foi utilizada a expressão apresentada na Equação 7.

$$\eta_{SS} = \frac{P_0 + P_{C0} + P_{\text{Retificador}}}{P_{C0} + P_{\text{Retificador}} + P_{SS}} = 0,968 \quad \text{Eq. 7}$$

Onde,  $\eta_{SS}$  é o rendimento dos chaveadores em topologia SS,  $P_0$  a potência do circuito em Watts e  $P_C$  a potência da carga.

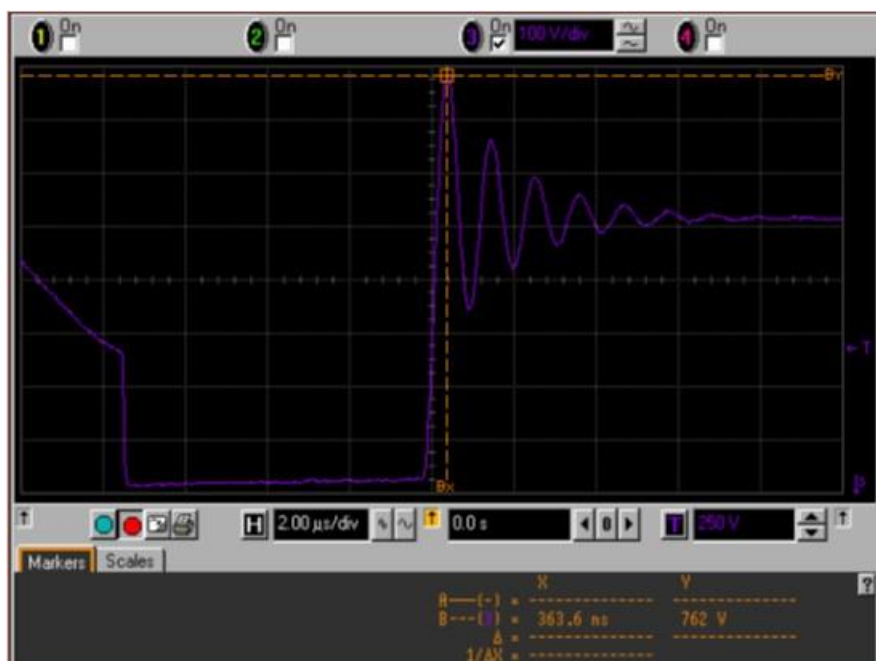
#### 4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentadas a montagem e testes realizados durante a construção do protótipo de carregador portátil de baterias de carros elétricos.

Para isso, primeiramente foram realizadas várias etapas e o protótipo passou por testes até que seja possível obter o modelo ideal. Inicialmente foram realizados testes de corrente de curto-circuito nos transistores *Mos-Fet* para definição da melhor faixa de potência a se obter com esses componentes. Após o dimensionamento de todas as cargas e resistências necessárias na construção do protótipo

Assim, a Figura 7, apresenta os gráficos gerados durante as análises realizadas para a variável corrente de curto-circuito dos Mos-FET, por meio de ferramenta computacional *Scilab*.

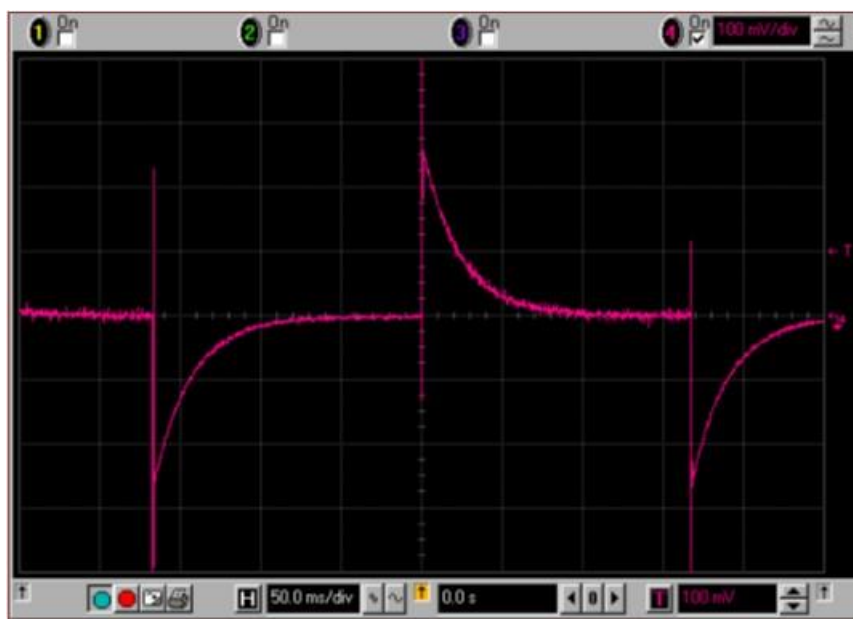
**Figura 7:** Teste de corrente de curto-circuito dos Mos-FET



Fonte: Autores (2022).

Aplicando-se o teste de corrente de curto-circuito verificou-se que os picos de tensão apresentaram valores em torno de 680V, a comutação dos *Mos-Fet* ocorreram abaixo da linha de saturação, mostrando segurança para se comportarem de forma confiável mesmo em situações de sobrecarga ou sobrecorrente e eventuais flutuações da rede elétrica. A tensão gerada pelo circuito se manteve estável de 250V (Figura 8).

**Figura 8:** Teste de estresse dos componentes com resultado estável



Fonte: Autores (2022).

Neste segundo teste, foi provocado um curto-circuito proposital com o Mos-Fet em pleno funcionamento. A tensão caiu de 250 para 100 mV enquanto a corrente tendeu para

infinito. Com o osciloscópio ajustado para 50.0 ms por divisão, podemos observar que o componente não sofreu nenhum dano e manteve sua forma de onda característica sem reações que pudessem comprometer o funcionamento ou danos ao sistema. Essa característica garantirá a segurança do carregador por eventuais avarias ou danos súbitos à baterias durante a carga.

Considerando um veículo de suspensão baixa, foram utilizados espaçadores de PVC para manter afastamento das bobinas de cobre por meio de uma prancha de vidro. Oportunamente, foram realizados testes de deslocamento para se observar as perdas por erro de acoplamento incorreto como se pode observar na figura abaixo.

Após diversos testes com modelos diferentes de componentes osciladores e chaveadores de circuitos indutivos, os melhores resultados obtidos foram com a configuração representada abaixo pelo esquema elétrico desenvolvido pelo autor.

Como as baterias dos EVs operam em tensões nominais de 360V e o custo é muito elevado, foram utilizadas 10 baterias de 24V em série, obtendo uma tensão de 240V que foram carregadas com tranquilidade pelo circuito, pelo qual se obteve uma tensão nominal de 306 VDC.

**Figura 9:** Baterias em pleno carregamento



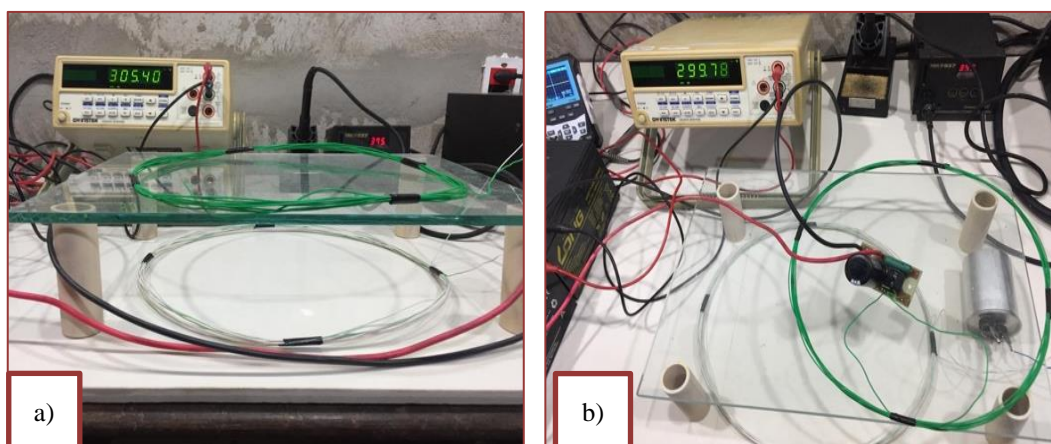
Fonte: Autores (2022)

Nesta etapa de testes, foram utilizados, um multímetro digital Minipa, modelo ET-2082E, um osciloscópio digital de 120 MHz *Tootop*, modelo ET120M, um multímetro digital de bancada Instek, modelo GDM8246, uma estação de solda digital *Hakko*, modelo 937 e uma estação de retrabalho Caoyue, modelo 850+.

Para obter as tensões correspondentes às baterias tracionárias atualmente em uso (360V), será necessário recalcular as bobinas de acoplamento da ressonância conforme a equação mostrada anteriormente.

Devido ao alto custo para se obter uma bateria veicular e também um veículo à disposição para todas as fases do projeto, foi utilizada uma chapa de vidro de 6 x 250 x 300 mm, suspensa por tubos de PVC com altura de 12 cm, conseguindo uma transferência maior que 97% da potência produzida pelo gerador, conforme as Imagens 10a e 10b.

**Figura 10:** a) Acoplamento dos indutores com distância de 12 cm; b) Queda de tensão por erro de acoplamento.



Fonte: Autores (2022)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tudo que é elétrico pode ser alimentado por baterias e toda bateria pode ser carregada remotamente. Os EVs chegaram para ficar e a sua crescente popularização a busca por novas estratégias de mercado e viabilidade técnica para tais inovações. Nesse contexto, os carregadores de bateria por acoplamento indutivo a melhor alternativa, pois além de suas vantagens em aplicações de carregadores estáticos, é uma tecnologia que possibilita a carga dinâmica de veículos em movimento e evita nos casos estáticos, os riscos de choque elétrico entre outros danos à vida e atenua custos com fabricação e manutenção dos sistemas. Ademais, contribui exponencialmente com a preservação do meio ambiente.

Para a elaboração deste artigo, o modelo de protótipo escolhido para ser usada no transmissor e no receptor, foi a configuração de topologia SS. Foram feitas análises dessa topologia em pleno funcionamento com carga resistiva, utilizando-se lâmpadas incandescentes em série-paralelo.

A modulação PWM e circuito Buck Booster como etapa de sinal e potência formadas pelo CI da Texas Instrument TPS40174 e Os IGBTs, formaram um casamento perfeito e totalmente confiável. As etapas de funcionamento do circuito chaveador primário foram analisadas com osciloscópio de 100MHz obtendo as formas de onda apresentadas nos gráficos.

Para simular as cargas mais próximas de um veículo elétrico, foi utilizado um motor trifásico DC de 2,5CV e um inversor de frequência da *Omron*, onde se realizaram ensaios obtendo resultados satisfatórios. Para se considerar o rendimento do sistema, foi calculada a potência ativa do sistema e considerado o fator de potência igual a 0,92.

Conclui-se por tanto, que através dos resultados obtidos, os métodos utilizados na elaboração deste protótipo, demonstra que o carregador estudado é uma alternativa técnica e economicamente viável para um carregador de baterias sem fio para veículos automotores elétricos. Da análise dos resultados, entende-se ter alcançado os objetivos propostos, conseguindo transferir potência elétrica por meio de acoplamento de ressonância entre bobinas.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABV, "As Principais Tendências na Indústria Automotiva Brasileira Até 2025," 2018.
- [2] BEZERRA, L. B. **Carros Elétricos: Princípios, Tendências e Efeitos da Popularização no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/555ea247-9a6a-4f0f-8061-55783f26f66e/content>>
- [3] BRODD, R. J. **Comments on the History of Lithium-Ion Batteries**, Broddarp of Nevada, Inc, nº Henderson NV 89074.
- [4] CASTRO, H.; BARBOSA, J. C.; GONÇALVES, R. F.; LANCEROS-MÉNDEZ, S.; COSTA, C. M. S. Quantificando as vantagens dos carros elétricos: caso de estudo. 2020. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/69449/1/D1.pdf>>
- [5] DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S. S.; KEMERICH, P. D. C. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. *Revista Eletrônica de Getsão e Educação e Tecnologia Ambiental*. v. 18 n. 1, p. 66-78, 2014.
- [6] ENOSHITA, E. G. Itaipu E-400: o primeiro carro elétrico produzido em série no Brasil. 2018.
- [7] FGV Energia, Carros Elétricos, Cadernos FGV, ano 4, n. 7, 2017.
- [8] GALVÃO, Marta Filipa Ferreira. **Adequabilidade dos carros elétricos para fornecimento de serviços de sistema à rede elétrica**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa (Portugal).
- [9] ICCT. *Power Play: How Governments Are Spurring The Electric Vehicle Industry*. 2018.
- [10] IPCC., 2006. N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea IPCC., 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri RK and Meyer LA (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp.151.
- [11] LI, S. J.; Wang, C. Fernandez, N. Wang, and H. Xie, "The battery management system construction method study for the power," *2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE)*, pp. 285-289, 2017.
- [12] LINDEN, D.; REDDY, T. B. *Handbook of Batteries*, 4ª Edição, 2011.
- [13] MARIN, E. C.; FAESARELLA, A. S. **Brasil e e Corrida Tecnológica: O Desafio dos Carros Elétricos e a Distribuição dos Eletropostos**. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218*, 2(7), e27558. Disponível em: <<https://doi.org/10.47820/recima21.v2i7.558>>
- [14] MORGANTI, E.; BROWNE, M. **Technical and operational obstacles to the adoption of electric vans in France and the UK: An operator perspective**. *Transport Policy*, v. 63, p. 90-97, 2018.
- [15] BARBOSA NETO, F. R. **Motivações e constrangimentos dos condutores de carros elétricos em Portugal: uma análise de usabilidade**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa (Portugal).
- [16] QUINTERO, V. **Baterías de Ion Litio: características y aplicaciones**. *I+ D Tecnológico*, v. 17, n. 1, p. 14-22, 2021. VI Jornada de Promoción de la Investigación Básica para estudiantes de Ciencias e Ingenierías. Disponível em: <<https://doi.org/10.33412/idt.v17.1.2907>>
- [17] RACZ, A. A.; MUNTEAN, I.; STAN, S. D. **A look into electric/hybrid cars from an ecological perspective**. *Procedia Technology*, v. 19, p. 438- 443, 2015.
- [18] SANTAMARIA, C.; GARCÍA, B. H.; MORALES, E.; AMARILLA, J. M. **Baterías de Ion Sodio: Algunos Resultados Científicos e Impacto en la Sociedad**. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10261/350060>>
- [19] SCROSATI, B. "History of lithium batteries," *Journal Solid State Electrochem*, vol. 15, pp. 1623-1630, 2011.
- [20] SILVA, J. V. **Comportamento do consumidor para uso de automóveis elétricos: uma evolução histórica**. Trabalho de Conclusão de Curso em Administração na Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/1022>>

- [21] SOARES, A. B., ANDRADE LIMA, L. R. P. **Bateria de fluxo redox de vanádio: produção de eletrólitos com V2O5 comercial e avaliação do desempenho**, XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa Rio de Janeiro-RJ, 26 a 29 de Junho de 2022. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Rogério-De-Andrade-Lima/publication/372570697\\_BATERIA\\_DE\\_FLUXO\\_REDOX\\_DE\\_VANADIO\\_PRODUCAO\\_DE\\_ELETROLITOS\\_COM\\_V\\_2\\_O\\_5\\_COMERCIAL\\_E\\_AVALIACAO\\_DO\\_DESEMPENHO/links/64bec92f95bbbe0c6e5c07b2/BATERIA-DE-FLUXO-REDOX-DE-VANADIO-PRODUCAO-DE-ELETROLITOS-COM-V-2-O-5-COMERCIAL-E-AVALIACAO-DO-DESEMPENHO.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Rogério-De-Andrade-Lima/publication/372570697_BATERIA_DE_FLUXO_REDOX_DE_VANADIO_PRODUCAO_DE_ELETROLITOS_COM_V_2_O_5_COMERCIAL_E_AVALIACAO_DO_DESEMPENHO/links/64bec92f95bbbe0c6e5c07b2/BATERIA-DE-FLUXO-REDOX-DE-VANADIO-PRODUCAO-DE-ELETROLITOS-COM-V-2-O-5-COMERCIAL-E-AVALIACAO-DO-DESEMPENHO.pdf)>
- [22] SOUZA, C. R.; HIROI, J. **O Mercado de carros elétricos no Brasil: análise de entraves e sugestões para expansão**. Práticas Em Contabilidade E Gestão, v. 9, n. 1, p. 1–19, 2021. Disponível em:<<https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/pcg/article/view/14150>>
- [23] SHIBAO, F. Y.; SANTO, M. R. Veículos sustentáveis na última milha: transporte de carga urbana Brazilian Journals of Business, v. 3, n. 1, p. 606-623, 2021.
- [24] THEOTONIO, S. B. Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI. Rio de Janeiro, Brasil, 2018.
- [25] UBS. UBS evidence lab electric car teardown: Disruption ahead? 2017.
- [26] KITTNER, F. L. N.; KAMMEN, D. Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition. 2017.
- [27] M. d. M. e. Energia, *Balço Energético Nacional ano base 2016*, Empresa de Pesquisa Energética, 2017. 9 - EIA, *Monthly Energy Review*, February 2017.

# Capítulo 2

## *Domótica aliada à eficiência energética: sistema para gerenciar o consumo de energia residencial*

*André Souza da Silva*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Este artigo apresenta um estudo perante questões conflitantes quando se fala de energia elétrica, relacionando a automação residencial e a economia, em seus diversos aspectos. Objetiva-se aqui citar os conceitos mais comuns quando se fala sobre o tema, além de mostrar formas de cálculos usadas em projetos reais de eficiência energética. Numa demonstração de fácil entendimento buscou-se mostrar que a domótica não é uma tecnologia de alto custo e distante da realidade dos brasileiros. Para isso, foram usados dados reais, coletados na cidade de Manaus - AM, em um bairro de classe média. Essa comparativa torna-se ainda mais interessante quando utilizada a tarifa energética para efeito de cálculo e comparação aos valores estimados. Usando a plataforma de hardware Arduino Uno, junto aos seus dispositivos compatíveis, foi possível simular um sistema que poderá simular perfeitamente o consumo de cada equipamento e que possa ser implementado em qualquer residência unifamiliar.

**Palavras-chave:** Automação Residencial; Arduino; Eficiência energética.

## 1. INTRODUÇÃO

A interação homem-máquina é uma ação considerada ultrapassada, visto que a automatização de processos vem substituindo as ações manuais, que muitas vezes são trabalhosas e suscetíveis à falha (VANDRAMETO, 2018). De acordo com Ribeiro (2018), assim como as demais tecnologias, a automação é uma modernidade que a cada dia esta mais presente, sendo que as soluções tecnológicas disponíveis no mercado deixaram de ser vistas como um luxo para poucos e se tornaram sinônimo de conforto e segurança acessível a todos os usuários interessados.

Na década de 70 nos EUA, surgiram as primeiras redes elétricas residências inteligentes, como por exemplo, acionar luzes remotamente, mas somente com o desenvolvimento da computação surgiram os primeiros sistemas domóticos e ou automação residencial (MURATORI & DAL BÓ, 2011). A automação residencial oferece inúmeras possibilidades de serviço, como a interação de áudio e vídeo, controle de entrada e saída dos condomínios e residências, monitoramento e automatização de cortinas e muitas outras opções que privilegiam o conforto das residências.

Para Zamberlan (2016), a automação residencial abrange alguns setores do ambiente interno e externo como: a Instalação elétrica, através da iluminação, cortinas, gestão de energia entre outros; o Sistemas de segurança, abrangendo os alarmes técnicos contra incêndios ou vazamentos e alarmes contra intrusão; os Sistemas de multimídia, como áudio e vídeo, jogos eletrônicos, som ambiente, entre outros; e finalmente, os Sistemas de comunicação: telefonia, redes, TV por assinatura. Utilidades em geral: controle de temperatura, aquecimento da água, irrigação, controle de portas ou portões, entre outros.

Contudo a domótica é um conjunto de serviços tecnológicos integrados com o objetivo de satisfazer as necessidades de segurança, comunicação, gerenciamento de energia elétrica e água e o conforto de uma habitação (MURATORI e HENRIQUE, 2015). Mas, para que uma casa seja totalmente automatizada é necessário que o sistema esteja totalmente integrado à todo sistema da casa. Considera-se automação todo processo que ajude o homem na realização de tarefas, seja no âmbito residencial, industrial ou comercial. Especificamente, a automação residencial tem o objetivo de proporcionar maior conforto com menos esforço possível vindo do usuário (RIBEIRO, 2018).

Pensando nisso, a ideia de automatizar uma residência simplifica e facilita diversas ações realizadas no dia a dia, e principalmente visa a economia e eficiência de energia, visto que, de acordo com dados da ANEEL (2017), o estado do Amazonas tem um dos mais altos valores de KW por hora do Brasil. O crescente consumo de energia elétrica também é uma peça importante para se observar, visto que, grande parte da energia consumida ainda é proveniente de fontes não renováveis.

Para Nowaczyki (2018) para contornar esta situação devem ser priorizados o uso das fontes de energias limpas e renováveis, bem como optar por métodos que possibilitam a eficiência energética do sistema, diminuindo assim, o desperdício de energia e consequentemente garantindo um melhor aproveitamento do sistema. Em Eletrobrás (2020), pode ser observado o conceito de energia elétrica, como o trabalho realizado pela carga elétrica medida em Wh, KWh, MWh ou GWh, além disso, são apresentados resultados referentes a interação de partículas subatômicas com essa força.

A capacidade dos seres humanos para gerar, transmitir e armazenar eletricidade é crucial para a indústria moderna, tecnologia e, na maioria dos países, a vida doméstica.

Outro fator importante nesse contexto é conforto térmico, determinado por meio da climatização que é um fator de grande relevância e preocupação, principalmente em locais próximos a região equatorial. Contudo, as altas temperaturas presentes praticamente o ano todo na cidade de Manaus, gera níveis elevados de consumo de energia elétrica ocasionado pela necessidade de utilização dos condicionadores de ar.

Por outro lado, com a implementação de um sistema de automatização o usuário pode, por exemplo, ativar remotamente o sistema de climatização da residência em momentos de temperaturas externas intensas, além de desligar o aparelho em horários ou temperatura predeterminados, evitando o alto custo de várias horas ligado. Para que isso ocorra são necessários alguns equipamentos, de preferência de baixo custo, como placas de Arduino, que são interligadas aos dispositivos automatizados da residência através de um servidor web (MURATORI & HENRIQUE, 2015).

Este estudo objetiva fazer uma análise comparativa entre os elementos Conforto x Economia. Tendo como objeto de estudo um apartamento em um condomínio de classe média na cidade de Manaus. Será realizado um levantamento de carga, comparando com a tarifa referente, simulando um sistema de automação na plataforma de prototipagem do Arduino. O simulador utilizado não deixa a desejar por ser completo, comparado ao projeto físico propriamente idealizado. Outros dados levantados aqui serão mensurados de acordo com tempo de consumo e valores disponibilizados pela concessionária que atende a região, logo serão valores estimados. Adicionalmente, serão analisadas as diferenças do consumo, e caso este seja favorável, poderá ser implementado.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Esse artigo visa explorar a automação residencial simulada por meio do software *Tinkercad*. Para a realização da simulação do consumo de energia da residência, alguns componentes são fundamentais no cálculo de consumo de energia, mostrados na seção seguinte.

### **2.1. ÁREA DE ESTUDO**

O objeto de estudo foi um apartamento de 60 m<sup>2</sup> localizado em um condomínio de classe média, situado no bairro Colônia Terra nova, zona norte da cidade de Manaus. A Figura 1 mostra a estrutura do apartamento por meio de sua planta baixa. O apartamento citado possuía um histórico de altas tarifas de energia em praticamente todos os meses do ano, mostrando um consumo médio anual em torno de 702 Kwh. Para efeito de estudo temos em mãos a tarifa referente ao mês de outubro de 2020.

**Figura 1:** Planta do apartamento.

Fonte: Autores (2022).

## 2.2. MATERIAIS

### 2.2.1. ELEMENTOS ELÉTRICOS

A potência elétrica pode ser calculada através da energia consumida, ou transformada, pelo intervalo de tempo, onde a unidade de medida de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), é o Watt (W). A potência foi calculada por meio da equação 1, onde apresentam grandezas como tensão elétrica (U), corrente elétrica (i) e resistência elétrica.

$$P = U \times i \quad \text{Eq. (1)}$$

Essa medida foi fundamental para o cálculo de consumo de energia mensal, pois o produto da tensão e corrente fornecida gera uma potência instantânea no local, conforme mostrado na equação 2. Por fim, para saber o valor do KWh em reais, basta multiplicar a potência encontrada pelo preço do KWh fornecido pela concessionária, sendo essa variante dependendo da região

$$\text{Consumo mês} = \frac{\text{Potência do aparelho (W)} \times \text{horas de funcionamento}}{1000} \quad \text{Eq. (2)}$$

### 2.2.2. TINKERCAD

O *Tinkercad* é uma ferramenta *online de design* de modelos 3D em CAD, além de um simulador de circuitos elétricos analógicos e digitais, desenvolvido pela *Autodesk*, gratuito e de fácil utilização. O simulador é uma oportunidade de ensino de Programação embarcada, não necessitando dos componentes e microcontrolador em mãos. A plataforma possui uma biblioteca de armazenamento de componentes eletrônicos, onde, com um simples toque, o usuário consegue arrastar alguns componentes para montar um circuito e fazer uma simulação (LEITE *et al.*, 2019).

### 2.2.3. ARDUINO

O Arduino foi utilizado nesse trabalho para prototipagem do circuito, sendo este uma *interface* simples projetada para fornecer comunicação com o microcontrolador ATmel AVR (SILVA *et al.*, 2019). O Arduino possui código livre que utiliza a linguagem de programação em C/C++. Ele é composto pelos seguintes componentes: Microcontrolador,

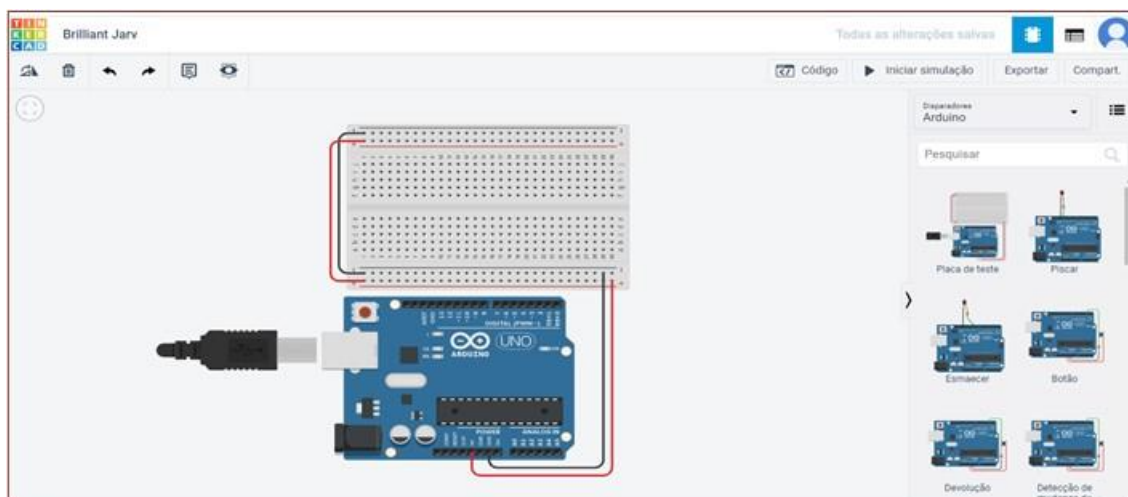
Conector USB, Pinos de entrada e saída, Pinos de alimentação, Conversor Serial-USB e LEDs TX/RX, LED de Alimentação e, LED Interno: LED conectado ao pino digital 13.

### 2.3. MÉTODOS

A proposta de melhoria proposta neste estudo baseou-se no circuito de iluminação, que consiste basicamente em usar sensores de luminosidade (pensando no melhor aproveitamento da luz natural) e sensores de movimento (para acionar as lâmpadas quando identificar que há uma pessoa no local e apagar quando não detectar nada na área de cobertura).

Assim, foi usado o *Tinkercard* para criar de circuitos eletrônicos para leigo. A plataforma possui uma biblioteca de armazenamento de componentes eletrônicos, onde, com um simples toque, o usuário consegue arrastar alguns componentes para montar um circuito e fazer uma simulação (LEITE et al., 2019). Uma de suas maiores vantagens é em ser um simulador online, de muito fácil acesso. A figura 2, mostra a interface na plataforma, bem como algumas de suas funções:

**Figura 2:** Interface Software.



Fonte: Autores (2022).

Tendo o Arduino simulado no Tinkercard usaremos o seu microcontrolador que é o cérebro do Arduino. Que será um dispositivo programável que roda o código que enviamos à placa. Após, conectamos o USB que tem a função de conexão da placa ao computador. É por onde o computador e o Arduino se comunicam com o auxílio de um cabo USB, além de ser uma opção de alimentação da placa.

Depois dessa conexão inicial conectaremos os pinos de entrada e saída, que serão programados para agirem como entradas ou saídas fazendo com que o Arduino interaja com o meio externo. Ligaremos então os pinos de alimentação para que forneça determinado valor de tensão que podem ser utilizados para transmitir energia elétrica aos componentes do seu projeto.

Os conversores Serial-USB e LEDs TX/RX serão acionados para que o computador e o microcontrolador conversem, é necessário que exista um chip que traduza as

informações vindas de um para o outro. Os LEDs TX e RX acendem quando o Arduino está transmitindo e recebendo dados pela porta serial respectivamente.

Por fim o conector de Alimentação irá permitir com que uma fonte alimente a placa. Caso o Arduino esteja sendo alimentado pela porta USB e por uma fonte o hardware seletor escolherá automaticamente a melhor fonte, nesse caso como é um ambiente simulado, poderemos escolher. Por fim, ligaremos o LED de Alimentação que vai indicar se a placa está energizada, sendo esse o LED conectado ao pino digital 13.

Para que todos os sensores se comuniquem foi usado um script na linguagem C++ para o controle das luzes e dos equipamentos, como mostra o Quadro 1.

**Quadro 1:** Scripts para o controle do sensor de luminosidade e presença.

Script : Programa sensor luminosidade	Script: Sensor de presença PIR
<pre>//Luz ambiente const int LDR = 0; const int Led = 11; int valorLido = 0; int Pwm = 200;  void setup() {   pinMode (Led, OUTPUT);   Serial.begin(9600); } void loop() {   valorLido = analogRead(LDR);   Serial.println(valorLido);   if(valorLido &lt;400) {     analogWrite(Led, Pwm);   }   else {     digitalWrite(Led, LOW);   } }</pre>	<pre>#define acionarele 7 #define LesensorPIR 8  int Leiturasensor; void setup() {   pinMode(acionarele, OUTPUT);   pinMode(LesensorPIR, INPUT);   Serial.begin(9600); } void loop() {   //Le o sensor de presença   Leiturasensor = digitalRead(LesensorPIR);    //Nao ha deteccao de movimento   if (Leiturasensor == LOW)   {     digitalWrite(acionarele, LOW);   }   //Ha movimento detectado - acende lampada   else   {     digitalWrite(acionarele, HIGH);   }   delay(2000); }</pre>

Fonte: Autores (2022).

### 3. RESULTADOS

Primeiramente, foi necessário fazer um levantamento das informações de consumo de energia elétrica, a fim de identificar os possíveis problemas na rede elétrica do objeto de estudo, sendo este uma residência unifamiliar. Além disso, foram analisados os valores tarifários de energia do local durante o mês de outubro, apresentado na Tabela 1. É necessário ressaltar que a tarifa visa assegurar aos prestadores dos serviços, receita suficiente para cobrir os custos operacionais e remunerar investimentos necessários para expandir a capacidade e garantir o atendimento com qualidade (ANEEL, 2017).

Tendo conhecimento de que o local de estudo conta apenas com 1 (um) morador as informações apresentadas na Tabela 1, é possível considerar que a tarifa do mês de outubro foi consideravelmente alta. Considerando as informações do ano mais recente fornecidos pela ANEEL (2017), a agência informou que em 2018, o valor médio tarifário considerado era de R\$ 524,22 por cada MWh. Aprofundando-se mais na problemática, foi realizada uma análise nos aparelhos e circuitos que poderiam elevar a tarifa (aparelhos de maior potência e/ou que permanecem ligados por muitas horas) e foi identificado o sistema iluminação e os condicionadores de ar, como as maiores fontes de consumo. Um fato talvez determinante para o alto consumo nessa residência, tenha sido pelo fato do morador trabalhar em *home office*.

**Tabela 1:** Tarifa mês de outubro.

KWh (MÊS OUTUBRO)	VALOR	TOTAL
496	R\$ 702 x 0,886453	R\$ 624,78
Contribuição de Iluminação	R\$ 25,05	R\$ 464,73
Correção monetária	R\$ 15,68	R\$ 480,41
Juros de Mora de importe/serviço	R\$ 4,94	<b>R\$ 670,45</b>

Fonte: Autores (2022).

Após a análise da residência e análise das informações coletadas, foram determinados valores para cada ponto chave dos problemas identificados, em reais e utilizando os conceitos citados no decorrer do estudo. Na Tabela 2 é apresentado o número de pontos de cada ambiente do local em estudo e suas respectivas potências dadas em VA. A NBR 5410 tem regras para o cálculo quanto à previsão de carga, porém os valores citados aqui foram levantados de acordo com o estado real do apartamento.

**Tabela 2:** Levantamento de carga iluminação

Dependência	Número de pontos	Potência total
Sala	2	200VA
Cozinha	2	200VA
Quarto 1	1	100VA
Banheiro	2	160VA
Quarto 2	1	100VA
Corredor	1	100VA
		<b>Total: 860VA</b>
		Pt* Fp (0,8) = <b>688W</b>

Fonte: Autores (2022).

Estipulando um total de 10 horas de uso/dia devido ao tempo que o usuário passa em casa, temos,  $(688 \times 10 \times 30)/1000 = 206,4\text{kWh}$ . Considerando o valor do kWh à R\$: 0,89 como visto na fatura, resulta em R\$: 183,7 por mês.

Os ar-condicionados, também são parte dessa problemática sendo aparelhos de alto consumo ligados por longos períodos. A residência conta com o total de 3 aparelhos, porém, apenas dois são de uso diário. O aparelho 1 é um ar-condicionado de janela Electrolux, de 10000 BTU de potência. Transformando para Watts temos 970,19 W. O aparelho 2 é um ar-condicionado de janela *Gree* de 7500 BTU, transformando em Watts tem-se 699,84 W. Sabendo os valores da potência, na Tabela 3 é possível estipular quantos kWh é utilizado e assim saber o valor em reais, aproximado, de acordo com as horas de uso e considerando o mesmo valor do kWh citado acima.

**Tabela 3:** Potência dos ar-condicionados.

Aparelho	Potência (W)	Consumo horas dia	Total (R\$)
1	970,19	9h	233,13
2	670	8h	141,5
			382.63

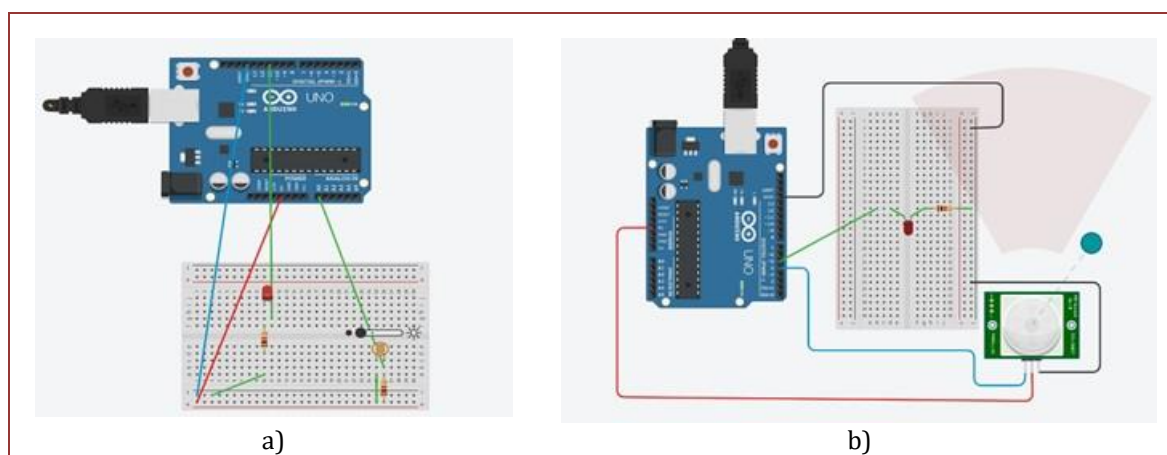
Fonte: Autores (2022).

### 3.1. IMPLEMENTAÇÃO

Identificados os problemas foi possível implementar as melhorias do sistema utilizando os conceitos de automação residencial. Como dito, neste estudo foi utilizado a plataforma *Arduino* UNO, sensores de luminosidade e movimento, e *shields* como o *Ethernet*.

### 3.2. CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO

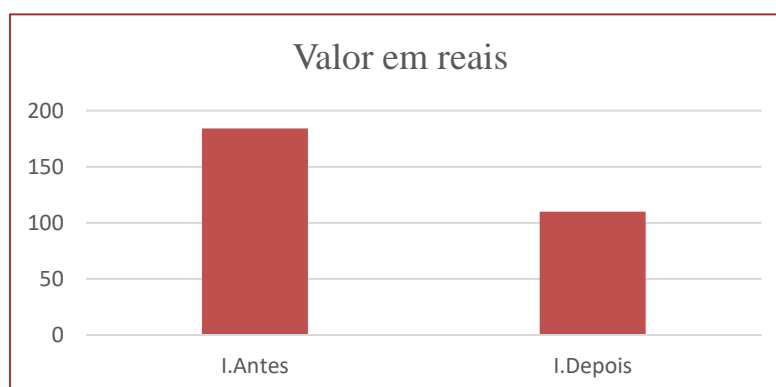
Os sensores LDR (ou fotos sensores) são indispensáveis em residências, condomínios e indústrias que utiliza algum tipo de tecnologia inteligente para economizar energia. O esquema apresentado nas Figuras 3a e 3b mostra a placa *Arduino* e o esquema dos sensores LDR. Onde o *led* vermelho representa a lâmpada interligada ao sistema mostrando a detecção de movimento (Figura 3a), enquanto a 3b, mostra o padrão do circuito quando não é detectado movimento no raio de alcance, e a luz, representada pelo *led* permanecerá desligada.

**Figura 3:** a) Led ligado, iluminação baixa; b) Sensor PIR - fora de alcance, led desligado.

Fonte: Autores (2022).

Assim, foi levado em consideração que, durante o dia haverá aproveitamento da luz natural reduzindo a necessidade de luz artificial e, em cômodos onde não se tem movimento, as luzes ficarão inativas no período que o usuário estiver fora da residência. Foi possível estipular uma diminuição de consumo nesse circuito de aproximada 4 horas. E utilizando à mesma equação, substituindo a variável tempo, temos,  $(688 \times 6 \times 30) / 1000 = 123,84\text{kWh}$ .

Se consideramos o valor de cada kWh à R\$: 0,89 e multiplicarmos pela quantidade gasta no mês o usuário gatará em torno de R\$: 110,21 por mês. Se compararmos esse valor ao consumo anterior as modificações, nota-se que houve uma economia em torno a R\$ 75,49, como mostra o Gráfico 1.

**Gráfico 1:** Iluminação

Fonte: Autores (2022).

### 3.3. AR-CONDICIONADO

Em Ribeiro (2018), o autor salienta que aliado aos sensores e atuadores, um programa gerenciador de energia pode otimizar a utilização de equipamentos de alta potência, permitindo um uso mais racional e inteligente da energia. Assim, o esquema apresentado nas Figuras 3<sup>a</sup> e 3b, permite igualmente que o usuário programe pequenos

intervalos de tempo para desligar o ar-condicionado a qualquer hora do dia. Mas no caso deste estudo, ele foi programado apenas durante as horas de sono e em curtos intervalos de tempo, para que o usuário não sinta nenhum tipo de desconforto.

Foi programado para que os sensores para faça paradas no sistema do ar-condicionado em intervalos de 15 minutos a cada hora. Para isso, o contador em anexo a placa espera até o horário para ativar o relé, começa a contagem dos 15 minutos, sendo ele desativado o relé após a contagem. Supondo que o sistema faça isso das 22 horas até as 6 horas, totalizando 8 intervalos de 15 minutos igual a 2 horas no ar-condicionado do dormitório. A Tabela 4 reescreve o novo intervalo de tempo proposto pós implementação do sistema apenas no ar-condicionado do dormitório, onde a ideia de programar intervalos de tempo seja melhor aceita.

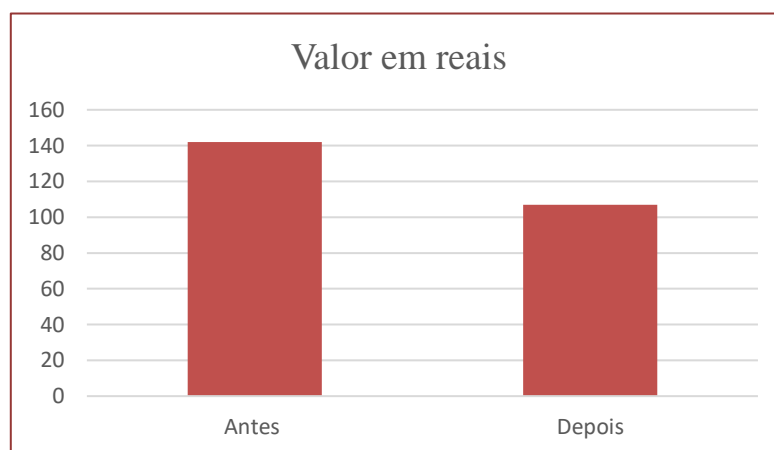
**Tabela 4:** Novo dado de ar-condicionado

Aparelho	Potência (W)	Consumo horas dia	Total (R\$)
1	970,19	9h	233,13
2	670	6h	107,33
			330,46

Fonte: Autores (2022).

No Gráfico 2 é possível verificar que os desligamentos sistemáticos dos ar-condicionados mostraram um ganho em reais de em torno de R\$ 40,00, antes e depois da simulação. Na tela do sistema de ar-condicionado, o usuário pode desligar o ar-condicionado ou acionar de acordo com algumas funções pré-estabelecidas, tais como: função frio à 18°C ou à 22°C, função quente à 20°C ou à 25°C, além de ligar somente a ventilação. Além disso o usuário pôde fazer um agendamento para ligar e/ou desligar o ar-condicionado, definindo dia, hora e a função desejada.

**Gráfico 2:** Gráfico comparação ar-condicionado.

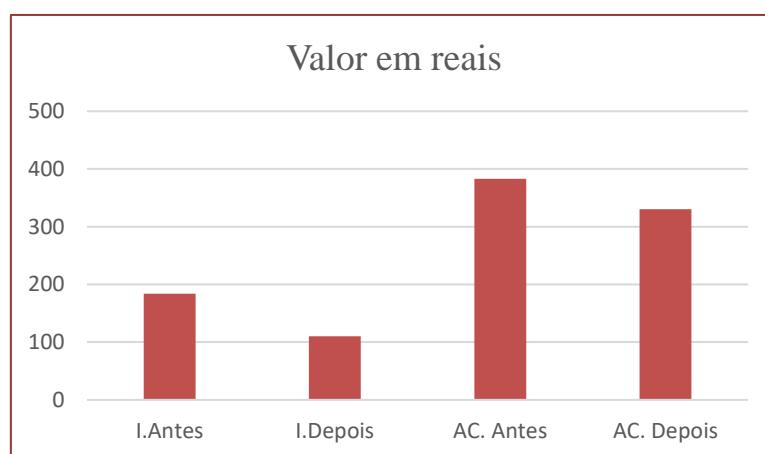


Fonte: Autores (2022).

### 3.4. ANÁLISE COMPARATIVA

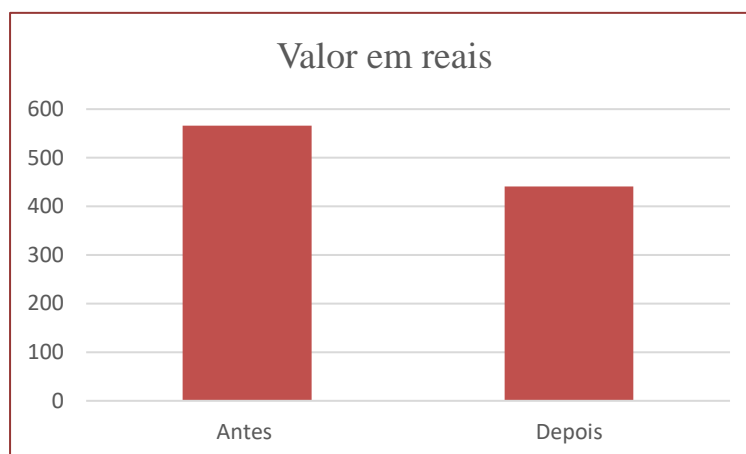
A análise econômica da simulação do sistema de automação residencial, manipulando apenas as variáveis citadas acima, em reais fica em uma diferença de R\$ 125,66 a menos, como mostrado no Gráfico 4. Por outro lado, o Gráfico 3 mostra uma comparação de valores dos referentes aos circuitos estudados. Vale lembrar que apenas dois exemplos foram dados aqui, desconsiderando outros aparelhos que formam o consumo total energia de uma residência.

**Gráfico 3:** Dados comparativos



Fonte: Autores (2022).

Ao analisarmos o Gráfico 4 é possível verificar uma redução significativa em reais após a simulação baseada em análises de dados reais postos em equações que realmente são utilizadas na elétrica. Obviamente também que, por se tratar de uma simulação estipulada de dados, abre espaço para margens de erro, mas que mesmo assim, pode-se associar a automação residencial como uma tecnologia que vai além do conforto, ela também gira em torno da economia de energia. Contrariando a ideia defendida aqui, Ribeiro (2018) fala que em relação às possibilidades que a automação residencial pode trazer aos moradores com algum tipo de limitação, em especial em relação a sua segurança física no imóvel e principalmente na sua independência para as tarefas cotidianas, as mesmas extrapolam a esfera do conforto para atingir um aspecto muito mais elevado, a independência do usuário.

**Gráfico 4:** Comparação geral

Fonte: Autores (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi apresentado uma análise de uma situação real que constantemente se torna foco das discussões no âmbito da eficiência energética, bem como na área de automação. O estudo mostrou uma simulação de automação em uma residência na cidade de Manaus/AM. Para isso, foram usados sensores de movimento e luminosidade e estes associados a uma placa Arduino UNO.

Anteriormente ao desenvolvimento da simulação do sistema de automação foi realizado um estudo da rede elétrica da residência e do consumo de energia no mês anterior (outubro) para que fosse possível identificar a eficácia do sistema de automação residencial. Os resultados mostraram que o consumo de energia da residência era muito alto, pois o morador trabalhava em regime *home officer* mantendo assim, equipamentos eletrônicos (ar-condicionados, computador, monitores e outros) em operação durante todo o dia. Apesar disso, a implementação do sistema na residência diminuiria a conta de energia em torno de 30%. Essa economia foi possível devido a implementação de sensores de movimento que seriam responsáveis por desligar as luzes em um cômodo em caso de ausência de movimento, ou até, na utilização de sensores para desligamento temporário de 15 minutos dos ar-condicionados a cada uma hora.

Do ponto de vista do usuário, a automação residencial poderá tornar a vida doméstica mais confortável e dinâmica, e com as aplicações certas, mais segura também. Já do ponto de vista econômico, viu-se bastante favorável, oferecendo economia significativa manipulando poucas variáveis. Para esse estudo foi levado em consideração apenas os pontos mais problemáticos apontados pelo próprio usuário, porém com tamanha vastidão dessa área, seria possível atentar para outros pontos ou integrar toda a residência. É importante salientar que foi um estudo muito característico, já que se trata de um objeto real, com dados reais.

#### REFERÊNCIAS

[1] ABREU, E. R. **Domótica: Controle de Automação Residencial Utilizando Celulares com Bluetooth**. Univali - VIII Simpósio de excelência em gestão e tecnologia. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos11/16014124.pdf> Acesso em 04 mar. 2022.

- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL: **Tarifa energética brasileira**. 2017. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/infografico>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- [3] ARDUINO. **ARDUINO**. Disponível em <https://www.arduino.cc/>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- [4] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- [5] LEITE, J.; ANTUNES, J.; SANTOS, T.; OLIVEIRA, O.; SOUZA, T.; SOUSA, J. **Proposta de inclusão do Programa Meninas Digitais no Movimento Maker através da plataforma digital Autodesk Tinkercad**. In: ESCOLA REGIONAL DE INFORMÁTICA DE MATO GROSSO, 10., 2019. Anais [...] SBC, 2019. p. 157-159. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/eri-mt/article/view/8619/8520>. Acesso em: 03 abr. 2022.
- [6] MURATORI, J. R.; DAL BÓ, P. H. Capítulo I Automação residencial: histórico, definições e conceitos. **O Setor elétrico**, p. 70-77, 2011.
- [7] MURATORI, J. R.; DAL BÓ, P. H. **Automação Residencial - Conceitos e Aplicações**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Educere, 2014. Disponível em: [https://www.academia.edu/22071576/Automa%C3%A7%C3%A3o\\_Residencial\\_2\\_Edicao\\_OK](https://www.academia.edu/22071576/Automa%C3%A7%C3%A3o_Residencial_2_Edicao_OK) Acesso em: 23 mar. 2022.
- [8] NOWACZYKI, A. P. P.; SANTOS, L. P.; FERNANDES, L. P.; SILVA, G. S. **Domótica aplicada à sala de aula: Medição de tensão**. 2020. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/100598>. Acesso: 03 mar. 2022.
- [9] RIBEIRO, C. E. **DOMÓTICA: viabilidade da Automação Residencial**. 2018. Centro Universitário Sul de Minas. Disponível em: [http://192.100.247.84/bitstream/prefix/651/1/TCC%20-%20Viabilidade%20da%20Automa%C3%A7%C3%A3o%20Residencial\\_FINAL.pdf](http://192.100.247.84/bitstream/prefix/651/1/TCC%20-%20Viabilidade%20da%20Automa%C3%A7%C3%A3o%20Residencial_FINAL.pdf) Acesso em 23 abr. 2022.
- [10] SILVA, R. O.; ARAÚJO, W. M.; CAVALCANTE, M. M. **Visão geral sobre microcontroladores e prototipagem com arduino**. Revista Tecnologias em Projeção, v10, n°1. 2019. Disponível em: <http://revista.faculdadeprojecao.edu.br/index.php/Projecao4/article/view/1357>. Acesso em: 17 mar. 2022
- [11] ZAMBERLAN, B. **Automação residencial por comando de voz com Arduino** - Antonio Meneghetti Faculdade - AMF. 2016. Disponível em: <http://repositorio.faculdadeam.edu.br/xmlui/handle/123456789/81>. Acesso em: 30 mar. 2022.

# Capítulo 3

## *Projeto de atualização e melhorias da instalação em um galpão conforme a norma NBR5410*

*Andreza Gomes Batista*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** O grande número de acidentes gerados em 2021, equivale a 1.579 casos envolvendo acidentes elétricos somente os choques foram responsáveis por 674 óbitos, seguidos pela perda de 46 mortes em incêndios por sobrecarga de energia e 40 óbitos por descargas atmosféricas no Brasil. Assim como os choques elétricos os incêndios em áreas urbanas são gerados em grande parte pelas irregularidades com as Normas Reguladoras que são comuns em todo Brasil. Qualquer edificação deve incluir medidas de prevenção de acidentes elétricos, em especial as especificadas na norma regulamentadora NR 10 dedicada à segurança das instalações e serviços elétricos, e na norma técnica NBR 5410, dedicada à instalação de baixa tensão. Nesse contexto o presente trabalho possui como objetivo geral adequar à necessidade de atualização e conformidade segundo a NBR 5410 em um galpão. Para tal utilizou a metodologia do tipo estudo de caso. O presente trabalho busca realizar adequações conforme à necessidade de atualização e conformidade segundo a NBR 5410 em um galpão. O artigo espera ainda demonstrar a importância da observação da NBR 5410 para a prevenção de acidentes e danos materiais. Encontrar as principais necessidades de adequação das instalações elétricas do galpão e identificar os principais riscos de choques elétricos e sobrecarga do galpão.

**Palavras-chave:** NBR 5410, prevenção de acidentes, Instalação elétrica.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização da eletricidade tem seu início em 1875 por meio de um gerador elétrico a vapor utilizado para acender lâmpadas de arco elétrico em uma estação rodoviária localizada em Paris. Com os primeiros sistemas elétricos de baixa tensão, ocorreram os primeiros acidentes por choques elétricos e incêndios. Por esses motivos, as instalações elétricas são consideradas perigosas, e normas são necessárias para controlar o perigo de instalações elétricas. As quais a população depende pelos inúmeros benefícios e facilidades proporcionada pela energia elétrica sendo vital também para o comércio e indústria (NUNES, 2016).

A eletricidade é utilizada na maioria das atividades profissionais, culturais, sociais e educacionais. Essa forma de energia mudou a civilização, pois possibilitou a unificação da revolução industrial e das descobertas científicas que sustentaram as telecomunicações, computadores, medicina, educação e inúmeras atividades comuns para o estilo de vida das pessoas civilizadas (JARDIM & PIMENTEL, 2018). Entretanto seu uso ou instalação sem a observação podem gerar diversos riscos a saúde podendo levar ao óbito ou danos permanentes tanto em leigos quanto de profissionais, a fim de mitigar os riscos gerados pelo uso da eletricidade, normas e dispositivos foram criados para promover a segurança na instalação elétrica e no seu uso (SILVA, 2016).

Contudo, a eletricidade tornou-se hoje uma necessidade básica, em termos de conforto, ferramentas de trabalho e segurança, para garantir o uso correto e seguro de projetos onde um projeto mal elaborado vai de encontro a riscos integridade física de seus usuários (LIMA, 2017).

O grande número de acidentes gerados em 2021, equivale a 1.579 casos envolvendo acidentes elétricos somente os choques foram responsáveis por 674 óbitos, seguidos pela perda de 46 mortes em incêndios por sobrecarga de energia e 40 óbitos por descargas atmosféricas no Brasil.

Assim como os choques elétricos os incêndios em áreas urbanas são gerados em grande parte pelas irregularidades com as Normas Reguladoras que são comuns em todo Brasil (GRAMVILLE, 2021). Qualquer edificação deve incluir medidas de prevenção de acidentes elétricos, em especial as especificadas na norma regulamentadora NR 10 dedicada à segurança das instalações e serviços elétricos, e na norma técnica NBR 5410, dedicada à instalação de baixa tensão (LIMA, 2018).

Promulgada pela primeira vez em 1941 sob a nomenclatura de Norma Brasileira para Execução de Instalações Elétricas a norma tomou como base o Código de Instalações Elétricas em vigor desde 1914, após a sua criação a norma passou por cinco importantes alterações de 1960 a 2004 e a correção mais recente em 2008 (NUNES, 2016).

Ao longo de suas alterações a NBR 5410 a mais importante ocorreu em 1980 quando a base de estudo e alterações foi adequada conforme a norma britânica IEC 60364 de Instalações Elétricas para Construções. Essas alterações tiveram como resultado exigir a correta instalação elétrica e uso correto dos equipamentos, para os quais todas as instalações devem atender aos requisitos da Norma Técnica Brasileira, com o intuito primordial de estabelecer instalações seguras e funcionais (COMIN, 2013).

A NBR 5410 determina ainda o dimensionamento de condutores, proteção, aterramento, dispositivos terminais. Os quais devem ser observados com um cuidado especial uma vez que sua instalação correta está diretamente relacionada como a

prevenção de acidentes diminuindo os riscos de acidentes envolvendo instalações elétricas envolvendo baixa tensão (LIMA & LAGE, 2019).

A norma para instalações elétricas se concretiza em forma de projeto obrigatório e indispensável em todos os tipos de edificações garantindo a segurança do projeto e mitigando o risco de sinistros. Os dispositivos exigidos na norma são indispensáveis para o dimensionamento correto a fim de atender as necessidades do projeto (OLIVEIRA, 2017).

Para buscar possíveis inadequações com NBR 5410 a inspeção visual é um importante instrumento que visa verificar se os componentes e configurações estão livres de qualquer dano que afete a operação e a segurança, com base na Portaria INMETRO 51/201 (Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), que descreve uma série de etapas a serem seguidas na implementação de verificações de conformidade (LIMA; LAGE, 2019).

Empresas que não investem em um gerenciamento para reduzir os números de acidentes causados por choques elétricos ou sobrecargas estão além de promover risco a seus funcionários pode acarretar em processo judicial que podem levar ao fechamento da empresa. A aplicação da NBR 5410 tem por intuito exigir a segurança de instalações elétricas, podendo em alguns casos condená-los a substituição de componentes elétricos ou readequação da instalação uma vez que pode gerar riscos à saúde de seus usuários. A NBR 5410 busca ainda evitar incêndios, buscando também a presença de dispositivos de segurança para mitigar os riscos ocupacionais. Logo, é vital realizar o estudo acerca dos riscos da utilização de instalações elétricas que oferecem riscos a seus usuários (ROCHA, 2021).

Conforme Pinto e Campos (2020), inúmeros casos de acidentes podem ser evitados no ambiente laboral, a cultura de que os acidentes de trabalho fazem parte de determinada função tem se perpetuado no Brasil ao longo dos anos, o que torna a prevenção de acidentes um desafio.

Nesse contexto, este presente trabalho possui como objetivo geral adequar à necessidade de atualização e conformidade segundo a NBR 5410 em um galpão. Como objetivos específicos: Demonstrar a importância da observação da NBR 5410 para a prevenção de acidentes e danos materiais; analisar as principais necessidades de adequação das instalações elétricas do galpão; identificar os principais riscos de choques elétricos e sobrecarga do galpão. Além disso, ele se justifica pela sua importância a saúde das pessoas e na prevenção de acidentes através da adequação da Instalação Elétrica de baixa tensão.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O presente estudo de caso foi desenvolvido no galpão de uma Oficina Mecânica Industrial situada no bairro Parque 10 de Novembro, em Manaus/AM. Onde foram realizadas adequações as normas de segurança para que o mesmo possa operar comercialmente como uma Micro indústria, que atuará na área de equipamentos industriais agrícolas e aquáticos. A Figura 1 mostra a área do galpão anteriormente as adequações. O estudo foi realizado e desenvolvido dentro dos critérios da NBR 5410. Por meio de inspeções visuais foi possível identificar as necessidades de redimensionamento dos condutores, adequação de iluminação, tomadas de uso geral (TUG), tomadas de uso específico (TUE), dispositivos de proteção, e ainda realizar o cálculo de demanda.

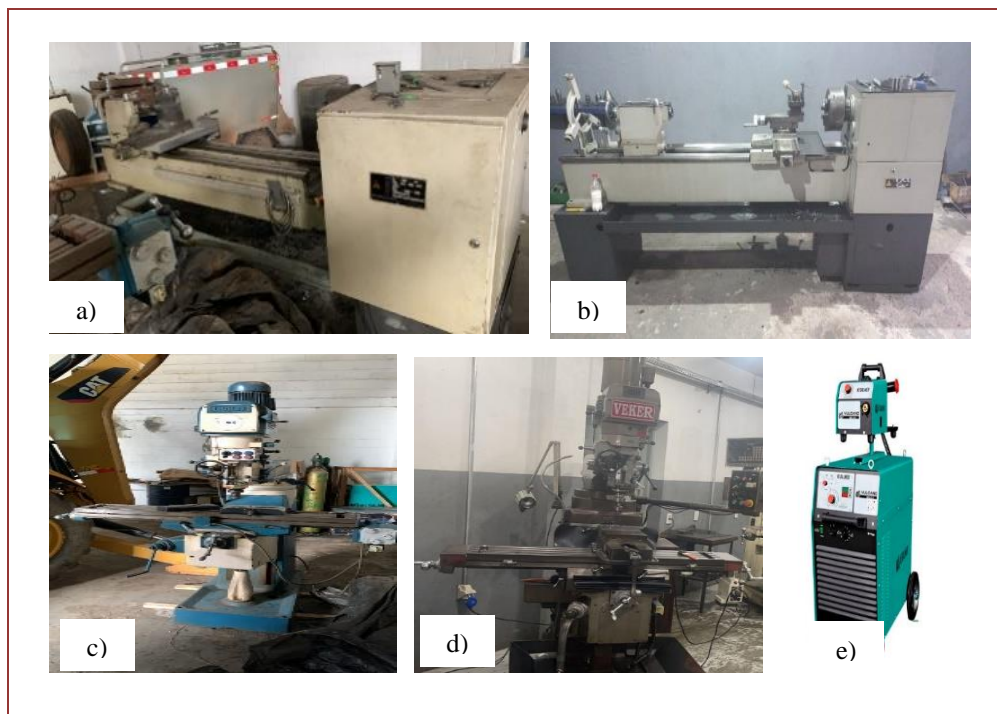
**Figura 1:** Galpão antes da adequação com NBR 5410



Fonte; Autor (2022)

Anteriormente as adequações a norma, o galpão possuía duas máquinas fresadoras de 2,8 kW e 3 kW, respectivamente, dois tornos de potência 6,3 kW e 5,8 kW e uma máquina de solda com potência de 14,4 kW. O detalhes dos equipamentos podem ser verificados na Figura 2.

**Figura 2:** Tipos de maquinários usados no galpão após a adequação: a) torno manual 1; b) torno manual 2; c) Fresadora 1 (fresadora lagun ftv 2); d) Fresadora 2; e) máquina de solda.



Fonte: Autores (2022).

De acordo com Gil (2010), a escolha do estudo de caso deve estar ligada a literatura para atender os objetivos propostos, e contribuir para a construção dos resultados. Caracteriza-se, como uma pesquisa de abordagem qualitativa. Qualitativa, pois os dados

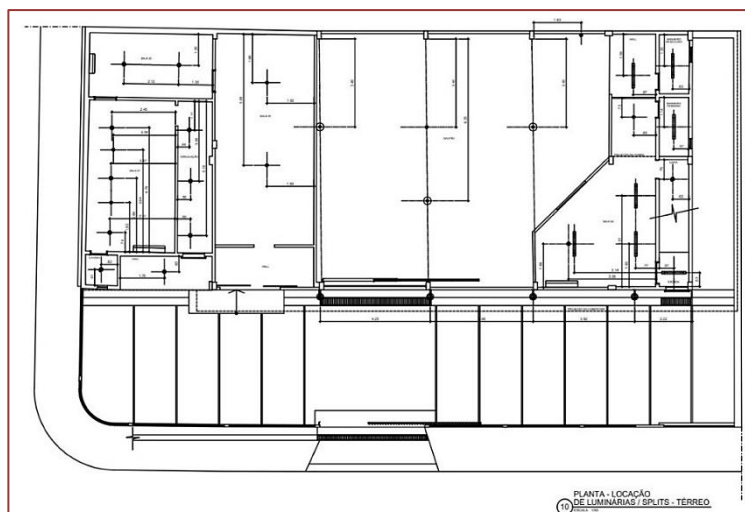
obtidos são, em sua maioria, descritivos com análise indutivos, fornecendo informações sobre as características investigadas no presente estudo.

Para desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados relatórios técnicos, imagens digitais, dados coletados *in loco*, pelos autores mediante do que foi levantado na problemática das ocorrências.

## 2.1. PROJETO INICIAL EXISTENTE

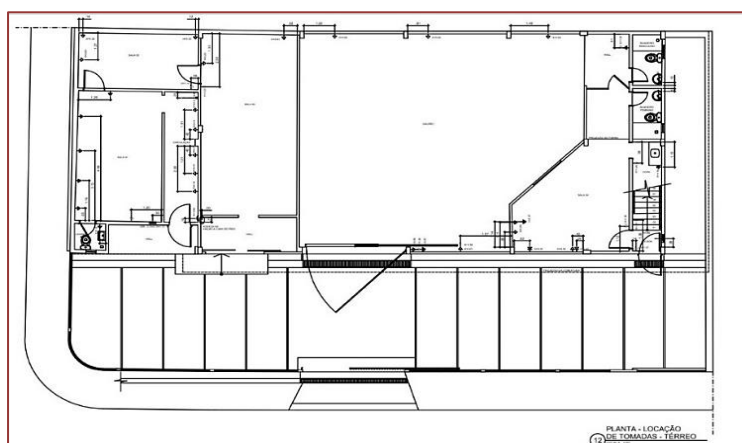
Para compreender as mudanças no processo de adequação elétrica e ter um melhor embasamento, foi analisado o projeto antigo, para que fosse possível comparar as mudanças relacionadas a locações de tomadas e de luminárias desenvolvidas, verificados. nas plantas apresentadas nas figuras abaixo, onde a Figura 2 mostra as locações das luminárias, e a Figura 3 representa as locações de tomadas.

**Figura 2:** Planta existente, locação de luminárias



Fonte: Autores (2022)

**Figura 3 -** Planta existente, locação de tomadas



Fonte: Autores (2022)

## 2.2. MARCAÇÃO PARA O NOVO PROJETO

Durante as visitas no local, foi analisada a viabilidade de mudanças no *layout* dos maquinários e redefinição do quadro de distribuição, luminárias para o conforto do trabalhador e inclusão de tomadas que suportem os novos equipamentos.

## 2.3. QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO

De acordo com a NBR 5410, o quadro de distribuição, deverá ser instalado na área de circulação para que os trabalhadores possam acessá-lo facilmente em caso de problemas. De acordo com a norma, foi necessário deixar espaço no quadro para que novos circuitos e novos maquinários possam ser adicionados futuramente, caso em que os painéis devem ser embutidos na parede.

A NBR 5410 também prevê a separação dos circuitos de iluminação das tomadas de uso geral (TUGs), e se aplica aos circuitos separados para conexão de equipamentos com corrente nominal superior a 10A, classificados como tomadas de uso específico (TUE).

## 2.4. ILUMINAÇÃO

Conforme a norma, em cada dependência, deve ser previsto no teto ao menos um ponto de luz fixo, controlado por interruptor. Em cada ponto de iluminação que instalamos a fonte de alimentação, onde a área é igual ou inferior a  $6\text{m}^2$ , temos que alocar no mínimo 100 VA, para a área maior que  $6\text{m}^2$ , alocamos 100VA para os primeiros  $6\text{m}^2$ , somando 60 VA para cada  $4\text{m}^2$ .

## 2.5. TUG'S (TOMADAS DE USO GERAL)

Os interruptores de tomadas TUG não eram adequados para conectar equipamentos específicos, sendo sempre recomendável utilizar uma quantidade maior que o valor mínimo para evitar o uso de extensões que possam comprometer a segurança da instalação.

Em conformidade com a NBR 5410, não há um número máximo de tomadas, fica a critério de escolha dos projetistas para melhor aproveitamento da área, no entanto temos um número mínimo de tomadas para locais com área igual ou menor.  $6\text{m}^2$  requer pelo menos um plugue de alimentação. Para salas maiores que  $6\text{m}^2$ , devemos ter pelo menos uma tomada de 5 m ou uma fração do perímetro.

## 2.6. TUE'S (TOMADAS DE ESPECÍFICO)

As tomadas TUE's, são tomadas destinadas ao uso de aparelhos de alta potência que necessitem de uma corrente superior a 10A, tais como: chuveiros ou torneiras elétricas, ar-condicionado, dentre outros.

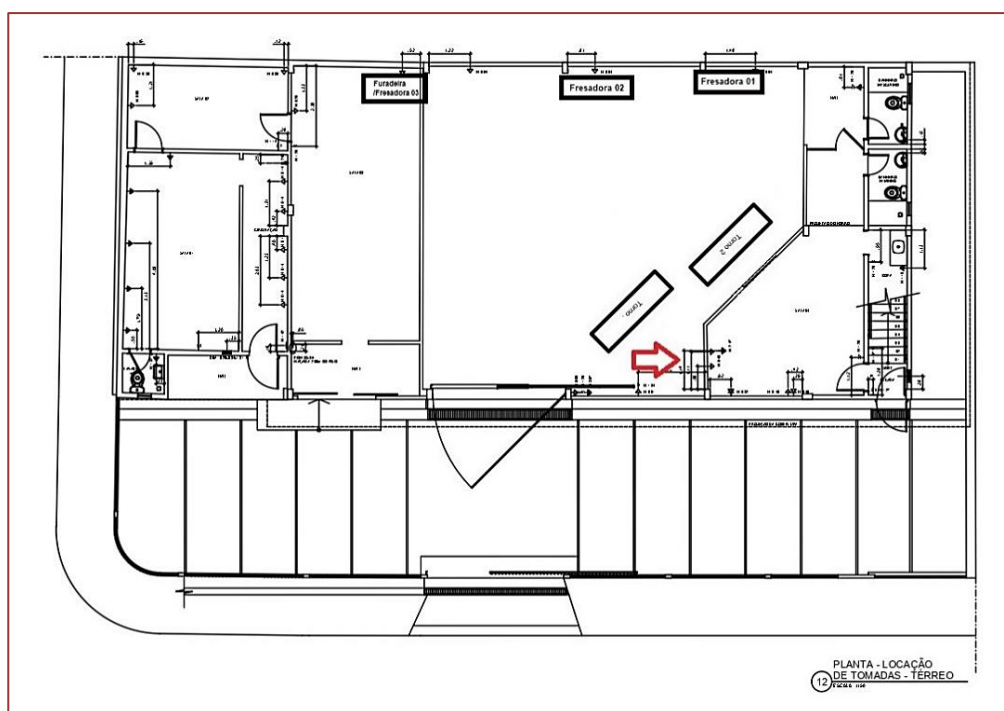
### 3. RESULTADOS

#### 3.1. MUDANÇAS E READEQUAÇÃO DO PROJETO

No desenvolvimento do trabalho, foi necessário confirmar o estado atual da instalação elétrica no galpão, pesquisando toda a infraestrutura elétrica e cargas disponíveis. Foi realizada uma análise criteriosa constatou a necessidade de adequação do local para o recebimento de novos maquinários a serem instalados pela empresa. Além disso, essa verificação facilitou a especificação do projeto elétrico com todos os detalhes relacionados à instalação elétrica.

Primeiramente, foi criada uma nova planta com todas as adequações previstas, que pode ser verificada na Figura 4. Às principais mudanças que podem ser evidenciadas na Figura 4 foram, o quadro de cargas, ou seja, mudança da medição, de monofásica para trifásica, entretanto, esta mudança foi uma consequência do aumento de equipamentos, e com isso houve um balanceamento de carga por fase, e a redistribuição das tomadas.

**Figura 4:** Planta com marcação do maquinário e novo quadro



Fonte: Autores (2022)

A partir do levantamento, verificou-se que somente o QD-1 (Quadro 1), não suportaria toda a infraestrutura elétrica, e com isso os cabos poderiam ser sobrecarregados, e para a adequação foi dimensionado um novo quadro de distribuição. Com a necessidade de mudanças no quadro de cargas notou-se que a medição precisaria ser aumentada segundo norma. Segundo a NBR 5410 o fornecimento de energia elétrica em tensão secundária de distribuição N3210001, adotando a alimentação trifásica 4 fios, sendo fases ABC e Neutro.

Para o novo quadro, foi analisada a devida recomendação de identificação de todos os disjuntores e condutores, fornecer sinalização de segurança adequada, fornecer ainda placas com características internas; dispor os condutores elétricos de forma que os condutores fase sejam pretos, branco e vermelho, e neutro sendo azul. E com as evidências apresentadas, identificou-se que a discrepância entre os valores de carga atuais e a potência de entrada estimada são fatores que podem contribuir para condições adversas das instalações.

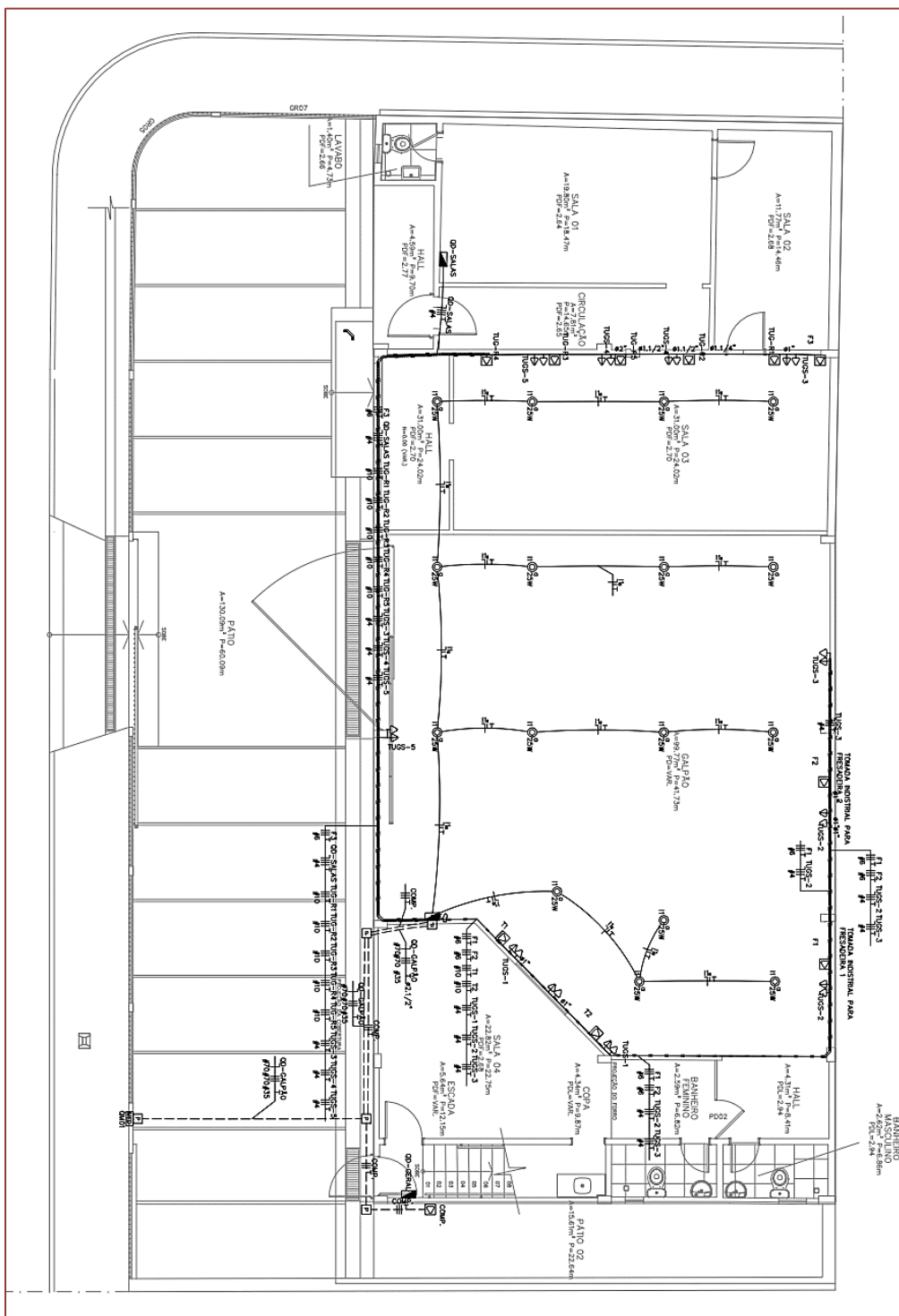
Por meio do novo projeto elétrico, foram solucionados os problemas associados ao aumento de carga, permitindo a inclusão dos maquinários. No novo projeto foi elaborado circuitos reservas, para inclusão de maquinários futuros, ou qualquer outra aplicação que possa surgir.

Um das importantes melhorias feitas no novo projeto apresentados na Figura 5, foram as eletrocalhas, pois são amplamente utilizadas em instalações industriais e comerciais, onde há necessidade de alocação de um grande número de cabos. São fáceis de manutenção e aplicação e muito flexíveis em termos de valorização ambiental, sua principal função é regular a passagem dos fios, além de servir como proteção contra agentes externos.

Para eletrocalhas, os cabos devem ser fornecidos, preferencialmente, em camada única. No entanto, a disposição de poucas camadas é permitida desde que o conteúdo do material não ultrapasse a faixa de cabos conforme ABNT NBR NM IE 60332-3-24:2005.

E ainda com a elaboração da nova planta elétrica, adotando as determinações de acordo com as simbologias da NBR5444, com a finalidade de atender todos os requisitos da norma, proporcionando assim segurança, bem como, maior eficiência, conforme pode ser verificado na Figura 5.

Figura 5: Planta Baixa modificada



Fonte: Autores (2022)

Como resultado do novo projeto elétrico, foram criados os novos quadros de carga geral e dos maquinários, apresentado no Quadro 1, que mostra as potências das tomadas que será utilizado para cada maquinário, pois a real necessidade de mudanças do projeto elétrico anterior foram os maquinários, para assim a empresa inicializar suas atividades.

**Quadro 1 - Quadro de distribuição modificado**

QUADRO DE CARGAS MAQUINÁRIOS													
MAQUINÁRIOS	Descrição	Tomadas			Pot.	Pot.	Fat. Pot.	Fat.	Corr.	Prot.	Cond.	Fases	Tensão
		2000 W	4HP	6300 W	W	V.A	(%)	Pot.	A	A	mm2	ABC	V
	Compressor	1			2000,0	2500,0	70%	0,8	6,58	10A	2,5	ABC	220
	Fresadora 01		1		2982,8	3728,5	70%	0,8	9,81	16A	6,0	ABC	220
	Fresadora 02		1		2982,8	3728,5	70%	0,8	9,81	16A	6,0	ABC	220
	Fresadora 03		1		2982,8	3728,5	70%	0,8	9,81	16A	6,0	ABC	220
	Torno 01			1	6300,0	7875,0	70%	0,8	20,72	25A	10,0	ABC	220
	Torno 02			1	6300,0	7250,0	70%	0,8	19,08	25A	10,0	ABC	220
	Total	1	3	2	23548,4	28810,5							
	<b>Potência Total (23948,4 W) (28810,5 V.A)</b>												

Fonte: Autores (2022)

As dimensões e cálculos desenvolvidos no galpão são apresentados no quadro 2, os quais foram realizados de acordo com as recomendações da norma, utilizando o parágrafo 9.5.2.1.2 da NBR5410 com auxílio da norma para iluminação NBR5413.

**Quadro 2: Novo quadro de distribuição**

Novo Quadro de Cargas																
QD-GALPÃO																
Descrição circuito	Iluminação	Tomadas						Pot.	Pot.	Fat. Pot.	Fat.	Corr.	Prot.	Cond.	Fases	Tensão
		25 W	200 W	300 W	2000 W	4HP	5000 W	6300 W	W	V.A	(%)	Pot.	A	A	mm2	ABC
Compressor				1				2000,0	2500,0	70%	0,8	6,58	10A	2,5	ABC	220
Fresadora 01					1			2982,8	3728,5	70%	0,8	9,81	16A	6,0	ABC	220
Fresadora 02					1			2982,8	3728,5	70%	0,8	9,81	16A	6,0	ABC	220
Fresadora 03					1			2982,8	3728,5	70%	0,8	9,81	16A	6,0	ABC	220
Ilum. Galpão	16							400,0	400,0	100%	1,0	3,15	10A	2,5	B	127
Qd-Salas								1000,0	1052,6	70%	1,0	2,77	10A	4,0	ABC	220
Torno 01							1	6300,0	7875,0	70%	0,8	20,72	25A	10,0	ABC	220
Torno 02							1	6300,0	7250,0	70%	0,8	19,08	25A	10,0	ABC	220
Tug Indust, Res, 01						1		5000,0	6250,0	70%	0,8	16,45	20A	10,0	ABC	220
Tug Indust, Res, 02						1		5000,0	6250,0	70%	0,8	16,45	20A	10,0	ABC	220
Tug Indust, Res, 04						1		5000,0	6250,0	70%	0,8	16,45	20A	10,0	ABC	220
Tug Indust, Res, 05						1		5000,0	6250,0	100%	0,8	16,45	20A	10,0	ABC	220
Tug Indust, Res, 03						1		5000,0	6250,0	70%	0,8	16,45	20A	10,0	ABC	220
Tugs 1		3	3					1500,0	1875,0	100%	0,8	8,52	10A	4,0	BC	220
Tugs 2		2	2					1000,0	1250,0	100%	0,8	5,68	10A	4,0	CA	220
Tugs 3		2	2					1000,0	1250,0	100%	0,8	5,68	10A	4,0	AB	220
Tugs 4		2	2					1000,0	1250,0	100%	0,8	5,68	10A	4,0	CA	220
Tugs 5		2	2					1000,0	1250,0	100%	0,8	5,68	10A	4,0	AB	220
<b>Total</b>	16	11	11	1	3	5	2	55448,4	68388,1							
<b>Potência Total (54948,4 W) (68388,1 V.A) Potência Demandada: 75,93% (41733,9 W) (51929,2 V.A)</b>																
<b>Corrente nas Fases: A=140,2A B=140,5A C=137,4A</b>																

Fonte: Autores (2022)

Adicionalmente, para as tomadas, foram instaladas as tomadas no padrão brasileiro com 3 pinos, todas conectadas em um segmento, neutro e terra do sistema. As tomadas devem suportar uma tensão de 220V. Todas as respectivas tomadas devem estar de acordo com as normas brasileiras. Os eletrodutos foram usados de PVC rígido para o melhor encaixamento. Já os eletrodutos de parede podem ser do tipo flexível. As seções padrão do projeto deve ser seguidas.

Os condutores atenderam às categorias de especificação do projeto, sendo estes flexíveis facilitando a instalação. Aqueles que não possuíam especificação de projeto deveriam ser de cobre com cobertura de PVC. As luzes, possuem uma finalidade muito importante em uma oficina, pois asseguram conforto aos funcionários. Assim, as luminárias usadas foram as de tipo seguro para evitar fugas de corrente, as luzes não devem exceder a potência máxima do projeto. Os circuitos que serão acionados por fotocélulas devem ter suas fotocélulas colocadas em áreas que possam receber altos níveis de luz solar durante o dia.

Adquirir os materiais da melhor qualidade com o menor custo possível, evitando o desperdício de obras-primas e despesas desnecessários. Após toda a verificação do novo quadro, e de todos os materiais necessários foi realizado o levantamento dos custos em duas empresas especializadas em materiais elétricos, onde a “Empresa A” entregou um orçamento dos materiais em R\$ 31.091,45, enquanto a “Empresa B” orçou em R\$ 33.821,17. Devido a diferença entre elas de aproximadamente R\$ 2.729,72, optou por adquirir o material na empresa A, ambas localizadas na cidade de Manaus.

Para obter uma melhor transparência nas cotações de preços, foi definido uma negociação mais criteriosa. A qual a formulação do orçamento implica a definição de como deve ser realizada cada etapa do processo produtivo, ou seja, para alcançar os melhores resultados é necessário conhecer as melhor cada produto, isso se fez necessário para uma melhor execução, tendo em vista que utilizar materiais adequados e mão de obra qualificada e preparada, é requisito básico para melhorar a eficiência da execução. Sendo este um grande desafio quando se considera sempre a melhor relação custo-benefício no processo.

Além disso, a utilização de materiais corretos e de alta qualidade pode impactar diretamente na eficiência energética das instalações elétricas, ou seja, evitar contas de eletricidade de alto valor.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo principal deste artigo foi desenvolver um projeto de adequação para a instalação elétrica de um galpão de uma Oficina Mecânica Industrial, que após as visitas técnicas iniciais verificou-se que, o local não possuía as especificações adequadas exigidas pela norma NBR5410.

Após a identificação dos elementos a serem adequadas foi desenvolvido um novo *layout* o qual se adequaria as novas máquinas que deveriam ser adquiridas, e assim, montando um novo projeto seguindo a norma NBR5410, e demais mudanças como um novo quadro, novos materiais.

O desenvolvimento deste trabalho foi importante para a empresa, pois, além de atualizar a infraestrutura elétrica, levou à constatação de que a instalação elétrica apresentava um alto nível de insegurança aos usuários e equipamentos. Todas as modificações e matérias estavam dentro da norma, sendo estes orçados em duas empresas especializadas, sendo escolhida a “Empresa A”, a qual mostrou um orçamento 8,8 % mais baixo que a “Empresa B”. Finalmente, vale ressaltar que o acompanhamento da especificação dos projetos de energia e a execução das instalações elétricas de acordo com as normas vigentes é uma importante estratégia para melhorias das instalações elétricas em geral.

## REFERÊNCIAS

- [1] COMIN, A. F. **ABNT NBR 5410/2004, Choque elétrico e Condutores**. 2013.
- [2] GRAMVILLE, Ana Júlia Martins. **Acidentes em Instalações Elétricas: Contato com partes vivas ou Energizadas**. Salão do Conhecimento, v. 7, n. 7, 2021. Disponível em: <<https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/20842>>
- [3] JARDIM, G. C.; PIMENTEL, F. **Projeto de Adequação da Instalação conforme a Norma NBR5410**. Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIR, n. 1, maio, 2018. Disponível em: <[http://fait.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/Zy76ailecqyXjUM\\_2021-8-30-15-30-6.pdf](http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/Zy76ailecqyXjUM_2021-8-30-15-30-6.pdf)>
- [4] LIMA, K. E. N.; LAGE, E. G. S. Importância e aplicabilidade da Norma ABNT NBR 5410/2004 no quesito verificação final: segurança e confiabilidade do serviço. Technology Sciences, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2019.001.0001>>
- [5] LIMA, L. S. **Revisão da Norma ABNT NBR 5410: 2004 Instalações elétricas de baixa tensão**. Projeto Técnico (Bacharelado em Engenharia Elétrica) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10026821.pdf>>
- [6] NUNES, E. G. S. **Prevenção contrachoque elétrico em edificações prediais do Distrito Federal: estudo exploratório das Normas NR 10, NBR 5410 e NBR 5419**. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/prefix/12756>>
- [7] OLIVEIRA, A. **Estudo das normas NR 10 e NBR 5410 aplicado a instalações elétricas hospitalares**. 2017. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/20234/2/LD\\_CEEEST\\_VI\\_2018\\_01.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/20234/2/LD_CEEEST_VI_2018_01.pdf)>
- [8] PINTO, J. B. B.; CAMPOS, A. **NR 12-Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos: gerenciando riscos**. Editora Senac São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>>
- [9] ROCHA, J. M. L. **Análise das instalações elétricas de uma casa de farinha em Santana de Piauí e adequação à NBR 5410: 2004**. 2021. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/21023>>
- [10] SILVA, L. D. **Análise de eficiência energética de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LEDs considerando as normas NBR 5410 e ISO 8995-1**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <[https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15010/1/PB\\_COELT\\_2016\\_1\\_09.pdf](https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15010/1/PB_COELT_2016_1_09.pdf)>

# Capítulo 4

## *Potencial de geração de energia elétrica em estações de tratamento de água e reservatórios*

*Artemus Dantas Cavalcante*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** As Estações de Tratamento de Água (ETA), são usinas purificadoras de água com elevados gastos de energia. Entretanto, existem dentro dessas plantas, grande potencial hidroelétrico para geração de energia elétrica, através da transformação da energia cinética (movimento). Em sua grande maioria os projetos das ETAs (Estação de tratamento de águas), contam com uma adutora e uma bomba bombeando água do Rio para dentro de um reservatório proporcionando uma queda d'água com grande potencial em energia mecânica que pode ser convertido em energia elétrica, utilizando o conceito da roda de alcatruzes de baixo (moinho), porém com emprego de uma turbina Pelton acoplada a um eixo de gerador de energia. Assim, o presente trabalho apresenta uma simulação da geração de energia hidroelétrica para suprimento de parte da demanda da própria planta (ETA). Para isso, foram anexadas a uma placa Protoboard diversos componentes como os sensores Arduínos. Verificou-se que a aplicação do sistema de aproveitamento da água apresenta uma economia no consumo de energia em torno de 10,41% para a concessionária, proporcionando economia em seu contrato de energia ou suprindo parte da demanda energética de alguma comunidade onde se encontram os reservatórios ou estações obtendo em troca melhores vantagens em sua concessão contratual por parte do governo local, além de contribuir com a concessionária de energia sendo um produtor de energia limpa.

**Palavras-chave:** Geração de energia, energia cinética, potencial hidroelétrico.

## 1. INTRODUÇÃO

No cenário atual de crescente demanda por energia elétrica e a busca incessante por fontes renováveis e sustentáveis, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) dispõem como pontos estratégicos para a exploração potencial de energia, ainda muito negligenciado (SANT'ANA, 1987; CUNHA e WOHLGEMUTH, 2016). As ETAs são tradicionalmente conhecidas por seus serviços, vital de purificar a água para o consumo humano, revelam um potencial adicional ao se tornarem não apenas consumidoras de energia, mas também produtoras (DE LIMA et al., 2021; CRUZ e MIERZWA, 2020)

Este artigo busca explorar e analisar o potencial de geração de energia elétrica em ETAs, destacando não apenas os benefícios ambientais, mas também os aspectos econômicos e tecnológicos que sustentam essa transformação inovadora. Ao compreender o papel fundamental que as ETAs podem desempenhar na matriz energética, evidencia uma nova perspectiva para a sustentabilidade e eficiência no setor de água e saneamento, contribuindo para a construção de um futuro mais resiliente e ambientalmente responsável (LAURINDO et al., 2020).

Problemas como o aumento da população e por consequência hidrelétrica é o nome que se dá à eletricidade obtida por meio da força da água, as usinas geradoras desse tipo de energia são chamadas de hidrelétricas, atualmente a energia hidrelétrica representa 16% da energia gerada em todo o planeta, conforme indicam os dados da Agência Internacional de Energia (IEA, sigla em inglês), representando a terceira fonte mais utilizada para a produção energética no mundo. Ela fica atrás somente do carvão e do gás natural, já no Brasil a hidrelétrica consiste na principal forma de energia que abastece as residências, indústrias e estabelecimentos, e responde por 67% da eletricidade gerada no país. Os dados atualizados são da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL 2022).

A utilização e a necessidade da energia elétrica têm aumentado de forma surpreendente, e tem tendência exponencial nos próximos anos. Com isto, a busca por alternativas de geração de energia elétrica com alta eficiência, confiabilidade e baixo impacto ao meio ambiente é um desafio para os engenheiros e pesquisadores dessa geração (GOLDEMERG, 2012).

No período de 2011 a 2020 o país passou por crises de abastecimento de água e por consequência veio a crise energética, mostrando nesse período uma redução importante na participação da fonte hidráulica na matriz elétrica (SOARES e COSTA, 2022). Associado a diminuição física das fontes hídricas esta o crescimento das outras fontes como gás natural, biomassa e eólica, a matriz energética em nosso país, apesar da significativa redução da fonte hidráulica de 81,8% para 65,2% pode-se considerar que há pouca participação das outras fontes na matriz (OLIVEIRA et al., 2021). A segurança elétrica vem com a diversificação e também com o incremento e balanceamento entre as fontes, quando se tem o equilíbrio entre as fontes na matriz elétrica, mesmo que ocorra uma situação como a atual, as outras podem conseguir suprir a demanda por energia.

No Brasil aproximadamente 65% do abastecimento elétrico é derivado de uma única fonte, e a escassez desta fonte, água, provoca um forte impacto na vida da sociedade e na economia do país (SAMPAIO et al., 2020). Como consequência o governo já sinaliza a contratação de mais geração de energia elétrica de termoeletricas, tornando a fatura de energia mais onerosa ao consumidor.

O potencial cinético e propriedades da água tem sido utilizada como uma fonte alternativa confiável, barata e de grande rendimento em geração de energia elétrica, sendo utilizadas em usinas nuclear, termelétrica, hidrelétrica e PCHs (Pequenas Centrais Hidroelétricas). Em termos de potência já instalada, as PCHs (Pequenas Centrais Hidroelétricas) estão situadas em 5º lugar entre as fontes de energia do país com um pouco mais de 7.138.988,54 kW gerados, entretanto essas fontes causam um impacto significativo na natureza (ABRAPCH, 2022).

As fontes de energia renováveis, como solar e eólica, estão crescendo devido a facilidade de as pessoas instalarem suas próprias fontes geradoras em sistemas residenciais e comerciais, porém, a confiabilidade desses sistemas ainda é baixa pois dependem de boas condições climáticas, o que não pode ser gerenciado de acordo com a demanda (WWF BRASIL 2022).

O sistema de distribuição de água é um alvo a ser estudado para geração de energia elétrica, tendo em vista que há muito potencial ainda não aproveitado, devido a energia cinética da água que corre pelos dutos de distribuição e abastece os reservatórios nos bairros e estações de tratamento de água. Na cidade de Portland, no estado norte-americano do Oregon, a empresa Lucid Energy desenvolveu um sistema de geração de energia elétrica, utilizando a força da água que passa pelas adutoras de distribuição, chamado "*Conduit 3 Hydroelectric Project*". Esse sistema é livre de emissor de gases poluentes, não devasta áreas com alagamentos, não interfere na rota de animais aquáticos, não tem componentes tóxicos e não necessita de condições climáticas favoráveis (OSTI 2016)

Com grande atenção a cogeração nos sistemas fechados é um modelo visado por pesquisadores da área de energia elétrica, tendo em vista energias que podem ter melhor aproveitamento. Utilizar o sistema de distribuição de águas da Rede de abastecimento, para gerar energia elétrica é um estudo recente que vem demonstrando eficácia em suas instalações, A Implantação do sistema de geração alternativa utilizando as tubulações de distribuição de água, aproveitando a pressão e a força das vazões e quedas d'água dentro dos reservatórios, sem afetar a entrega de água aos consumidores.

O objetivo do estudo é mostrar em dois modelos diferentes a possível geração alternativa sobre os reservatórios de água existentes nos bairros de uma cidade, ambos configuram o fluxograma abaixo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados os principais materiais e métodos utilizados na elaboração de um protótipo de um sistema de geração de energia elétrica, que poderá ser implementado em uma Estação de Tratamento de Águas e Reservatórios. Para isso, foi criada uma estrutura em pequena escala a fim de simular o potencial de geração de energia desses locais de armazenamento de águas.

Primeiramente, no Quadro 1 serão apresentados os principais materiais utilizados na construção do protótipo, demonstrando os componentes que nos possibilitam criar o experimento em pequena escala para estudo da geração de energia elétrica, por meio da movimentação e vazão de águas em redes de distribuição e reservatórios, esses componentes coletarão informações para compor uma fórmula que mostrará o quanto de energia se pode gerar dispendo de uma vazão de água, uma altura de queda de água com fator da gravidade.

**Quadro 1: Principais componentes usados na construção do modelo.**

	<p><b>Sensor de fluxo de água:</b> Sensor que mede o fluxo de água passando pelo duto, em litros por segundo (l/s), aplicado em duto transparente de meia polegada no projeto de pequena escala para medir a vazão "Q", de água dentro do duto o medidor será ligado eletricamente e enviará valores da vazão a um microcontrolador arduino que através de uma lógica matemática irá compor o cálculo da potência gerada.</p>
	<p><b>Tubo transparente de 1/2" polegada:</b> Tubo de Poliuretano transparente de meia polegada aplicado em tubulação condutora de água em projeto de pequena escala para transferir água de um reservatório para o outro no experimento, através de uma pequena bomba, possibilitando conectar o medidor de vazão entre um reservatório e outro.</p>
	<p><b>Micromotor de impressora</b> (usado como mini gerador) aplicado no projeto de pequena escala em um suporte sobre um dos reservatórios, terá acoplado no seu eixo uma pequena turbina com pás tipo concha para girar com o peso da água gerando uma pequena tensão (V) que alimentará leds que representam uma carga, fazendo surgir uma pequena corrente elétrica ( I ) para compor o cálculo da potência (<math>P=V \times I</math>).</p>
	<p><b>Leds de alto brilho luz branca:</b> aplicados como simuladores da carga do sistema alternativo, representando os consumidores que usufruirão da energia gerada.</p>
	<p><b>Microcontrolador Arduino UNO:</b> aplicado para processar toda informação do sistema como a vazão, corrente elétrica e tensão através do código para mostrar o resultado da potência gerada no display.</p>
	<p><b>Palheta mini turbina Pelton,</b> utilizada para acoplar no eixo do mini gerador e fazer o giro no eixo para funcionamento do mesmo.</p>
	<p><b>Minibomba d'água 12Vcc,</b> utilizada para fazer a sucção da água de um reservatório para o outro no projeto de pequena escala.</p>
	<p><b>Display 16x2 Arduino,</b> utilizado para mostrar as informações de potência gerada pelo sistema</p>

Fonte: Autores (2022)

**Quadro 2:** Principais componentes usados na construção do modelo.(continuação)

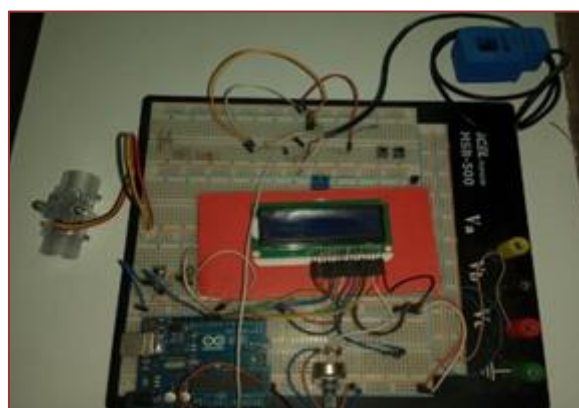
	<p><b>Sensor de corrente SCT013 Arduino</b>, aplicado para ler a corrente do minigerador alimentando os LEDs e compor o cálculo da potência gerada pelo sistema.</p>
	<p><b>IIC/I2C/TWI I2C LCD1602 DISPLAY MODULO UTILIZADO PARA SIMPLIFICAR E MINIMIZAR A QUANTIDADE DE PORTAS DO LCD.</b></p>
	<p>Reservatórios de água para simulação de tanque de transferência de água.</p>

Fonte: Autores (2022)

Após a seleção dos materiais, os mesmos foram montados em uma placa *Protoboar*, definida como uma matriz de contato, ou placa de ensaio com furos de conexões condutoras usada na montagem de conexões condutoras utilizadas na montagem de circuitos elétricos para fins experimentais. Apesar da estrutura estar toda em pequena escala, para o protótipo foi dimensionado igualmente a potência obtida em mW, por meio da geração de obtenção dos resultados do estudo.

Através dessa montagem com microcontrolador Arduino, foi possível coletar informações de corrente elétrica utilizando o sensor de corrente tipo acoplamento SCT013 e medidor de vazão, que estão igualmente conectados ao *Protoboar*. As outras variáveis importantes na composição do cálculo da potência, como tensão e altura estarão internamente na lógica do Arduino que são apresentados por meio do *display* 16 x 2, apresentando os valores da potência gerada pela geração alternativa.

**Figura 2:** *Protoboar* com componentes do experimento em pequena escala



Fonte: Autores (2022).

## 2.1. O MÉTODO APLICADO AO ESTUDO

Os principais parâmetros necessários para a composição dos cálculos do experimento foram obtidos por meio de leituras dos sensores de vazão e corrente, assim, é possível obter o potencial de uma hidrelétrica. Para isso, foi necessário que as duas condições abaixo fossem satisfeitas:

Primeira Condição: **queda (desnível), determinada pela** diferença de altitude em metros (m) (nível) entre os pontos onde a água é captada e onde é liberada de volta ao leito. Segunda Condição: **vazão:** quantidade de água captada que flui em um determinado tempo; medida aqui em litros por segundo (l/s).

A hidráulica em nosso estudo pode ser estimada pela equação (1), desconsiderando a densidade da água e outros fatores de eficiência por se tratar de queda a baixa e média altura, levando em consideração apenas o efeito da gravidade:

$$Ph = h * Q * g \quad \text{Eq. 1}$$

**Onde:** **Ph**, é a Potência hidráulica em kW; **h**, é o desnível hidráulico em metros (m); **Q**, é a vazão disponível em m<sup>3</sup>/s ou l/s; e **g**, aceleração da Gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>. Para estimarmos a potência hidrelétrica da CGH (central geradora hidrelétrica) a ser instalada, devemos calcular as perdas inerentes aos sistemas de adução, turbinas, geradores, etc. Estas perdas são estimadas em 15% para efeito de cálculo inicial. Sendo assim temos, para potência elétrica "P" em KW igual a essa equação **P = Ph \* 85%**, onde teremos uma geração efetiva de apenas 85% para o projeto.

## 2.2. ENERGIA GERADA MENSALMENTE, FATOR DE CAPACIDADE E POTÊNCIA INSTALADA

A energia gerada mensalmente  $E_M$ , supondo uma geração **ininterrupta**, 24 horas em todos os dias (considerando uma média de 730 horas por mês) e sob potência máxima, pode ser estimada então como a Equação 2.

$$E_M \approx 730 pH(kWh) \quad \text{Eq. 2}$$

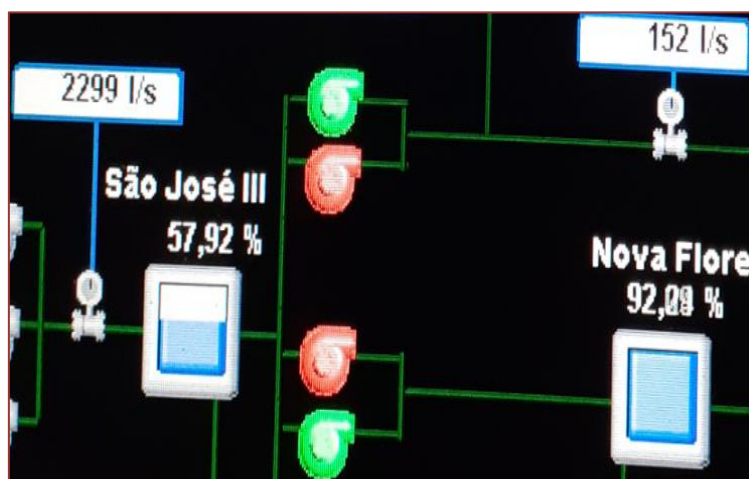
O **Fator de capacidade** ( $F_C$ ), correspondente à porcentagem de tempo equivalente em que a usina estaria gerando a plena capacidade. Caso a geração seja afetada por fatores como seca, manutenção, redução ou interrupção intencional, aplica-se um desconto à energia potencialmente gerada, o **chamado fator de capacidade** ( $F_C$ ), no caso do estudo em questão será aplicado ao fator a taxa típica de 15%. Considerando  $Ph$  como a **potência instalada**, que é a potência máxima que o sistema é capaz de gerar e o  $F_C$  como fator de capacidade, pode-se assumir que a energia mensal média efetivamente gerada será obtida pela Equação 3.

$$E_{ME} = E_M F_C \approx 730 Ph F_C(kWh) \quad \text{Eq. 3}$$

**A maioria dos reservatórios possuem queda** de 2m a 8m de altura em seu interior, em média a vazão das maiores adutoras está entre 600 e 2000 l/s. Para a equação foi utilizado o valor da aceleração da gravidade de 9,81 m/s<sup>2</sup>. Como exemplo de uma previsão de potência próxima da situação real, foi usada a leitura de vazão obtida pelo

supervisório de uma companhia de abastecimento e saneamento da cidade de Manaus (Figura 3), considerando a altura da queda da água no interior do reservatório de 2m e 15% de perdas, aplicamos na equação abaixo para obter a potência prevista para geração de energia alternativa.

**Figura 3:** Tela do supervisório com leitura de vazão e nível



Fonte: Adaptado de Águas de Manaus

Com a equação da potência e usando parâmetros do supervisório da imagem acima teremos a potência gerada em um sistema com uma vazão de 2299 l/s a 2m de altura, utilizando a Equação 1, apresentada anteriormente.

$$Ph = 2m * 2299L/S * 9,81m/s^2$$

$$Ph = 45,106KW$$

Aplicando as Perdas:  $P = 45,106 * 0,85 = 38,340$  KW. Para termos uma noção do potencial de geração aproximado, a partir da queda e vazão disponíveis segue a planilha abaixo, contendo vazões possíveis até 1000 L/s e quedas dentro de reservatórios com altura até 20 metros, não considerando o fator da aceleração da gravidade através da Quadro 2.

**Quadro 2:** Potência de geração (KW) a partir da relação de vazão (l/s) e queda (m).

QUEDA (m)	1	2	5	10	20
VAZÃO (L/S)	POTENCIAL DE GERAÇÃO APROXIMADO (KW)				
5	0,025	0,05	0,13	0,25	0,5
10	0,05	0,1	0,25	0,5	1
20	0,1	0,2	0,5	1	2
50	0,25	0,5	1,3	2,8	6
100	0,5	1	2,8	6	12
200	1	2	6	12	26
500	2,8	6	16	35	70
1000	6	12	35	70	150

Fonte: Adaptado Hidro GD

### 2.3. PARÂMETROS E DISPOSIÇÃO

A melhor disposição para o sistema é onde a distribuição de água funciona pela força gravitacional. Sistemas onde se utiliza bombas de motor elétrico para bombeamento, a geração do sistema seria menor que o consumo do motor elétrico da bomba. Os parâmetros necessários para o desenvolvimento de um projeto com um bom rendimento é primeiramente a vazão que corre na tubulação.

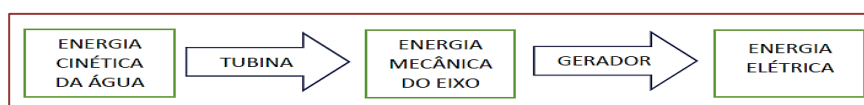
A potência cresce proporcionalmente ao tamanho do diâmetro e fluxo da vazão. Estes parâmetros são de suma importância para determinar a potência do sistema. A relação entre o diâmetro da tubulação e a vazão é o que vai definir a velocidade angular da turbina, que é um dos fatores que definem a potência de saída do sistema.

A altura do sistema também é de suma importância. O potencial gravitacional armazenado deve ser considerado para o funcionamento efetivo do sistema, visto que a pressão dentro das tubulações se dá devido a essa diferença de potencial. Quanto maior a altura do reservatório e queda d'água, maior será o potencial gravitacional. Isso permite que possa ser instalado mais de uma turbina em série no duto de entrada do reservatório, aumentando a capacidade de geração de um sistema. Tipicamente, as turbinas precisam de um fluxo de alta velocidade para funcionar de forma eficaz. Como mencionado anteriormente, a tensão do gerador é dependente da velocidade de rotação do eixo.

Na aplicação de turbina Pelton o fluxo da água entra na turbina passando pelas pás, rotacionando o eixo que está ligado ao rotor do gerador. As turbinas são classificadas em dois segmentos, as turbinas de ação e as de reação. Ambos os tipos de turbinas são instalados no local mais baixo do duto para aproveitar a máxima velocidade de escoamento.

Nas turbinas de ação, a água não sofre variação de pressão ao atravessar a roda, e toda a energia nas pás da turbina está sob forma cinética, que é transformada toda ela em energia mecânica.

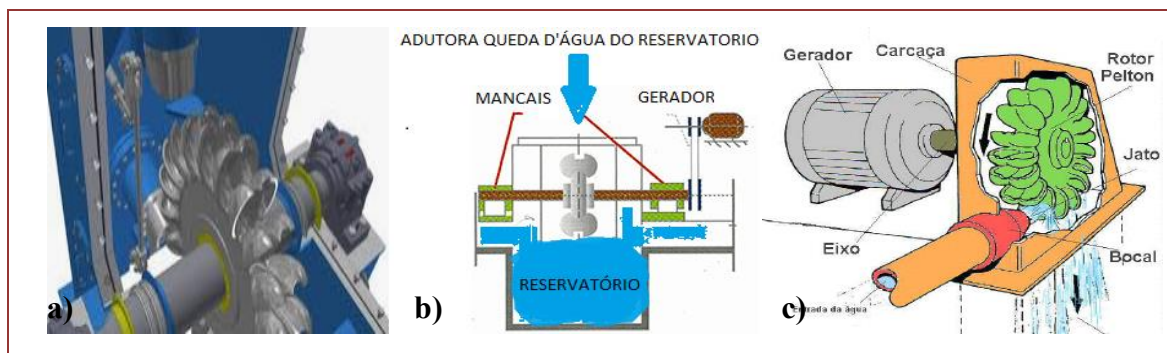
**Imagem 1:** Passos da transformação de energia



Fonte: Autores (2022).

A Figura 3 apresenta os modelos de turbina, onde o modelo 1 utiliza turbina tipo *Pelton* aproveitando a força da queda d'água para surgimento da energia cinética girando a turbina acoplada a um eixo de um gerador, ilustrado pela Figura 3. A Figura 3b mostra a vista da turbina com as conchas recebendo um jato da parte superior e frontal do modelo apontando a direção do jato na turbina. Enquanto a Figura 3c mostra cada componente de uma turbina *Pelton* como jato, carcaça, gerador, rotor eixo e bocal, todas as ilustrações nos mostram a disposição e os componentes que irão compor o sistema de geração alternativa na parte superior do reservatório.

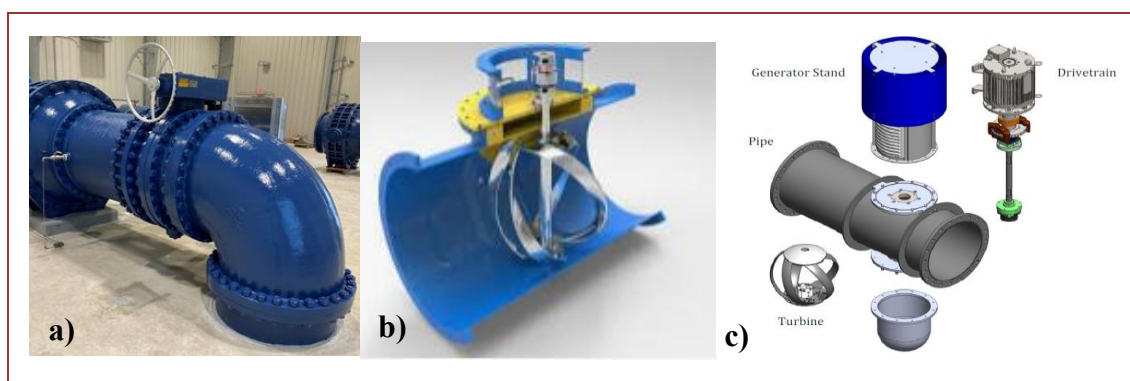
**Figura 3:** a) vista turbina Pelton; b) vista frontal do modelo 1; c) componentes de uma turbina Pelton



Fonte: Adaptada unicamp turbinas hidro (2016).

O Modelo 2 seria a aplicação de LPPS para geração alternativa sobre o reservatório com a tecnologia da *Lucid energy piper*. A Figura 4a é possível verificar a curva sobre o reservatório onde devem ser instaladas as válvulas de controle de fluxo e o ponto onde a turbina do tipo Lucid poderá ser instalada. A Figura 4b temos vista interna da turbina *lucidEnergy* que ficaria instalada na curva mostrada na Figura 4a, enquanto a Figura 4c apresenta a turbina *LucidEnergy* de forma explodida demonstrando o tubo, o gerador, a turbina, a capa do gerador e o eixo de acoplamento da turbina, esse equipamento é o responsável pela geração no sistema alternativo de energia elétrica.

**Figura 4:** a) curva sobre tanque ; b) turbina LucidEnergy; c) LucidEnergy explodida



Fonte: Adaptada de LucidEnergy

A turbina *Lucid energy* deve ser instalada antes da última curva na parte superior do reservatório, esse tipo de turbina foi projetada para funcionar dentro de adutoras, onde, por meio do eixo de acoplamento estaria conectada ao gerador instalado sobre o duto. A Tabela 1, mostra os tipos de modelos de turbinas *Lucid energy* por diâmetro, vazão e potência.

**Tabela 2:** Parametros dos modelos de LPPS

	LPS24A	LPS42	LPS60
Potência (kw)	18	50	100
Diâmetro (mm)	600	1000	1500
Vazão (l/s)	1000	2800	5600

Fonte: Adaptado LucidEnergy

### 3. RESULTADOS

Assim, nesta seção serão apresentados os resultados da simulação para geração de energia elétrica em reservatórios e/ou estações de tratamento de águas. A vazão retirada do supervisorio foi de 2299 l/s e a queda de 2m de altura. Usando as equações apresentadas na seção 2 os cálculos da potência gerada pelo sistema alternativo. Dado este muito significativo em termos de potência gerada.

Desta forma, serão demonstradas os valores de consumo e recursos planilhas a grande importância da geração alternativa dentro das ETAS, seguimos com os cálculos da potência hidroelétrica tomando como base os dados coletados da ETA supervisionada pelo supervisorio mostrado na figura 2.

$$Ph = h * Q * g$$

$$Ph = 2m * 2299L/S * 9,81m/s^2$$

$$Ph = 45,106KW$$

Aplicando as Perdas

$$P = 45,106 * 0,85 = 38,340KW$$

Para uma aplicação de geração alternativa, segundo informações da planta a bomba que está originando essa vazão de 2299 l/s tem potência nominal de 500cv, aplicando os cálculos abaixo vamos descobrir quanto em CV pode ser suprido com a vazão de 2299 l/s a uma queda de 2m.

$$P = 45,106 \times 0,85 = 38,340KW$$

Onde, 1CV = 736W; Potência em CV = 38340W/736W = 52,09CV

Mais uma vez, uma regra de três simples foi utilizada para que fosse possível obter o o percentual de energia que o sistema poderia suprir para a planta, sendo 500CV os 100% de energia, calculando a quantidade de energia para 52,09CV.

$$X = 5209/500 = 10,41\%$$

A bomba que abastece o reservatório é de 500CV, logo concluímos que esse tipo de sistema de geração alternativo somente consegue suprir 10,41% (52,09 CV) do total necessário para rodar a bomba de 500CV, porém essa energia gerada igual a 38,340 KW pode ser usada para suprir a demanda energética de 10 residências com demanda média monofásica de 3,810 KW conforme os cálculos abaixo ou suprir demandas menores da própria planta, tais como iluminação e outras como pequenas bombas da planta. A Potência instalada de uma residência =  $V \times I = 127V \times 30A = 3810w = 3,810KW$ , e posteriormente para essa potência instaladas será possível atender 10,06 residências.

Os Quadros 3 e 4 apresentam o consumo de energia nas sete estações de tratamento de água, sendo o primeiro relacionado ao consumo sem a geração alternativa, enquanto o segundo esta avaliada a geração alternativa. Nota-se que as condições analisadas foram as mesmas, ou seja, quantidade de consumo, potência, número de horas de operação das estações e consumo mensal (KWh). Nota-se que todas as estações operam com a apenas 1 bomba e que a potência média varia de 50 KW na Estação 1, chegando a 500 KW até a Estação 7.

**Quadro 3:** Consumo de Energia sem a geração alternativa

CONSUMO DE ENERGIA SEM A GERAÇÃO ALTERNATIVA						
ETA	QUANTIDADE DE BOMBA	POTÊNCIA MÉDIA(KW)	DIAS/MÊS	HORAS/DIA	CONSUMO MENSAL(KWH)	CUSTO R\$
ESTAÇÃO 1	1	50	30	24	36000	R\$ 23.400,00
ESTAÇÃO 2	1	100	30	24	72000	R\$ 46.800,00
ESTAÇÃO 3	1	200	30	24	144000	R\$ 93.600,00
ESTAÇÃO 4	1	250	30	24	180000	R\$ 117.000,00
ESTAÇÃO 5	1	300	30	24	216000	R\$ 140.400,00
ESTAÇÃO 6	1	400	30	24	288000	R\$ 187.200,00
ESTAÇÃO 7	1	500	30	24	360000	R\$ 234.000,00
<b>TOTAL DO CUSTO DA ENERGIA DAS SETE ESTAÇÕES SEM O SISTEMA DE REDUÇÃO</b>						<b>R\$ 842.400,00</b>

Fonte: Autores (2022).

Observa-se que o consumo de energia e os custos (R\$) para sete Estações de abastecimento de águas, onde foi considerada a tarifa de consumo industrial de R\$ 0,65 por KWh e o percentual de produção de geração de energia de 10,41% obtido nos cálculos para uma vazão existente de 2299 l/s com uma Bomba de 500CV.

**Quadro 3:** Consumo de Energia com a geração alternativa.

CONSUMO DE ENERGIA COM AJUDA DA GERAÇÃO ALTERNATIVA								
ETA	QUANTIDADE DE BOMBA	POTÊNCIA MÉDIA(KW)	DIAS/MÊS	HORAS/DIA	CONSUMO MENSAL(KWH)	CONSUMO REDUZIDO 10,41% (KWH)	REDUÇÃO DE 10,41%	CUSTO R\$
ESTAÇÃO 1	1	50	30	24	36000	32252,4	0,1041	R\$ 20.964,06
ESTAÇÃO 2	1	100	30	24	72000	64504,8	0,1041	R\$ 41.928,12
ESTAÇÃO 3	1	200	30	24	144000	129009,6	0,1041	R\$ 83.856,24
ESTAÇÃO 4	1	250	30	24	180000	161262	0,1041	R\$ 104.820,30
ESTAÇÃO 5	1	300	30	24	216000	193514,4	0,1041	R\$ 125.784,36
ESTAÇÃO 6	1	400	30	24	288000	258019,2	0,1041	R\$ 167.712,48
ESTAÇÃO 7	1	500	30	24	360000	322524	0,1041	R\$ 209.640,60
<b>TOTAL DO CUSTO DA ENERGIA DAS SETE ESTAÇÕES SEM O SISTEMA DE REDUÇÃO</b>								<b>R\$ 754.706,16</b>

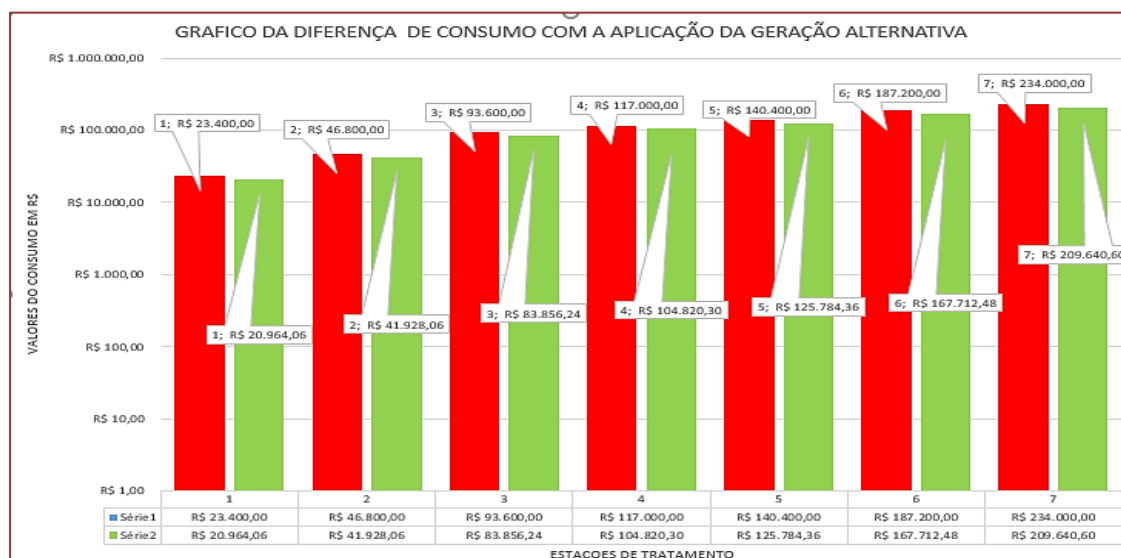
Fonte: Autores (2022).

Nota-se que apesar das condições semelhantes dos textos nos Quadros 3 e 4, os resultados da geração alternativa energia nas estações de tratamento de água, apresentou uma redução na energia consumida em torno de 10,41% em todas as estações analisadas.

O Gráfico 1 mostra os valores em R\$ de cada Estação na presença ou não da fonte alternativa de energia. Nota-se que na Estação 1 a redução foi de R\$ 2.435,94, enquanto nas Estações 4 e 7 esta redução foi em torno de R\$ 12.179,70 e R\$ 87.693,84,

respectivamente. Esse resultados mostram que, a implementação deste tipo de sistema, o qual aproveita a estrutura da própria rede de abastecimento para gerar energia e assim, diminuir os custos das distribuidoras de água.

**Gráfico 1:** Custo gerado pelo consumo de energia nas redes de abastecimento (coluna vermelha representa a não aplicação do sistema alternativo, enquanto a cor verde, indica a aplicação da geração alternativa).



Fonte: Autores (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou uma importante alternativa de novas formas de geração de energia elétrica alternativa em estações de tratamento de águas. O desenvolvimento de uma geração hidroelétrica a partir do aproveitamento de um recurso energético já existente, porém não é muito explorado, apesar de não causar impactos ao meio ambiente ou sociedade.

Além disso, esta geração pode beneficiar a empresa provedora como também prover recursos energéticos a comunidade em geral existente em volta do reservatório, contribuindo também com a comunidade acadêmica e profissionais da área de engenharia para o desenvolvimento de energias alternativas.

Foram realizadas simulações e cálculos mais aprofundados e foi possível observar pelas planilhas de consumo com e sem utilização da fonte alternativa de energia que o benefício da cogeração pode ser ampliado proporcionalmente a quantidade de estações que recebem o sistema, possibilitando assim o crescimento da oferta dessa energia para benefício da própria empresa como também para o da comunidade onde existem as ETAs (Estações de tratamento de águas).

Os resultados mostraram que independente do consumo, a utilização da água nas estações de tratamento de água podem reduzir em até 10,41 % da energia elétrica consumida no tratamento da água. Além disso, existe a possibilidade dos subsídios e comum acordo entre as concessionárias que se dispõem a investir nesse tipo de geração,

logo este trabalho visa e estimula os avanços rumo a pesquisa e desenvolvimento de formas de geração alternativa através da cogeração.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANNEL 2012, Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>, Acesso em 12 de abril de 2022.
- [2] BRUNO A. O. **Conhecendo os componentes de uma usina hidroelétrica**, Publicação: 2017 Edição: 1.
- [3] CUNHA, R. P.; WOHLGEMUTH, J. M. **Instalação de uma microcentral hidroelétrica na estação de tratamento de água Niterói em Canoas/RS**. Revista de Administração de Empresas Eletrônicas, n. 5, p. 1-16, 2016. Disponível em: < <http://seer.faccat.br/index.php/administracao/article/view/419>>
- [4] CRUZ, N.; MIERZWA, J. C. **Saúde pública e inovações tecnológicas para abastecimento público**. Saúde e Sociedade, v. 29, p. e180824, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0104-12902020180824>>
- [5] DE LIMA, D. T. S.; BARBADO, N.; MORITZ, J. **Educação Ambiental a partir do conhecimento dos estudantes sobre Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes**. Research, Society and Development, v. 10, n. 7, p. e15710716261-e15710716261, 2021. Disponível em: < <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/16261>>
- [6] GOLDENBERG, J. **Energia e Desenvolvimento Sustentável (Volume 4)**, editora BLUCHER. 2012.
- [7] HIDRO.GD 2022, Hidro geração distribuída. Disponível em: <http://hidro.gd/calculando-a-energia-gerada/>, Acesso em 12 de Abril de 2022.
- [8] JORNAL DA USP. **Escassez de Água Afeta Geração de Energia**. 2021. Disponível em: <https://jornal.usp.br/artigos/escassez-de-agua-pode-afetar-geracao-de-energia-eletrica/> Acessado em 18 de maio de 2022.
- [9] LAURINDO, S. S.; ANTUNES, E. G. P.; SAVI, A. E.; SPECK, J. A.; PIVA, J. H. **Estudo da adição do lodo de ETA-Estação de Tratamento de Água em argamassas de revestimento**. MIX Sustentável, v. 6, n. 4, p. 19-28, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n4.19-28>>
- [10] OLIVEIRA, A. M.; MARIO, M. C.; PACHECO, M. T. T. **Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050 / Renewable electric energy sources: evolution of the supply of photovoltaic energy in Brazil until 2050**. Brazilian Applied Science Review, v. 5, n. 1, 257-272, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.34115/basrv5n1-016>>
- [11] SANT'ANA, R. F. **Aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte: avaliação de custos e benefícios**. Brasília: DNAEE, 1987. Disponível em: < <https://biblioteca.aneel.gov.br/Resultado/Listar?guid=1708387206544>>
- [12] SAMPAIO, G. A.; FERREIRA, W. R.; BAHIA, E. T.; HENKES, J. A. **Fontes renováveis: análise dinâmica de sistemas aplicada à matriz energética do Brasil**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, n. 3, p. 438-459, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e32020438-459>>
- [13] SIARAM, ENERGIA HÍDRICA 2022. Disponível em: <http://siaram.azores.gov.pt/energia/energia-hidrica/texto1.html>, Acesso em 12 de Abril de 2022.
- [14] SOARES, M.; COSTA, H. K. M. **O segmento de distribuição de energia elétrica no Brasil: uma avaliação das crises hídricas enfrentadas em 2001 e 2021**. Conjecturas, v. 22, n. 2, 307-321, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.53660/CONJ-676-719>>
- [15] WWF BRASIL 2022, IMPACTOS DA AÇÃO DO HOMEM NA NATUREZA, Disponível em: <https://www.wwf.org.br/naturezabrasileira/reducaodeimpactos2>, Acesso em 18 de maio de 2022.

# Capítulo 5

## *Implementação de um sistema de automatização de baixo custo na pintura de tanques de motos no Polo Duas Rodas de Manaus/AM*

*Beatriz Garcia Bento*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Atualmente, o mundo está passando por uma revolução tecnológica, a qual está influenciando diretamente o nosso estilo de vida, trabalho e forma de nos relacionarmos. Graças aos recentes avanços na eletrônica, web e inteligência artificial são altamente promissores, ao ponto de terem a capacidade de proporcionar mudanças nunca experimentadas pelo ser humano. Devido a isso, percebe-se a enorme relevância dos conceitos de controle e automatização. Visando o citado contexto, o presente trabalho apresentou como foco principal o estudo e elaboração de um protótipo de sistema de automatização e controle para uma linha de produção no polo duas rodas de Manaus. O trabalho passou pelas fases de desenvolvimento do projeto do sistema, programação fazendo uso de software livre, montagem do sistema, testes e medição de capacidade de controle estatístico de processo. Como resultado, obteve-se uma ferramenta que pode ser utilizado como modelo a seguir nos quesitos de automação industrial, atingindo os objetivos estipulados para o projeto elaborado.

**Palavras-Chave:** Automação, polo duas rodas, linha de produção, pintura automotiva.

## 1. INTRODUÇÃO

A capacidade dos humanos de usar o poder das máquinas para substituir o esforço humano ou animal pode ser vista como a primeira revolução na indústria. Da perspectiva acima, a máquina a vapor pode ser tratada dessa maneira devido à sua capacidade de criar grande quantidade de trabalho com a menor mão de obra. A segunda revolução industrial pode ser considerada como a descoberta e utilização em grande escala da eletricidade. A eletricidade e sua capacidade de levar energia de um canto a outro transformaram o cenário industrial e criaram enorme crescimento e novas perspectivas para a indústria (MEHTA, 2017).

Ainda, Mehta (2017) considera como a terceira revolução industrial a criação da internet e dos micro controladores. Atualmente, o mundo está experimentando a revolução provocada pela Internet e como ela conseguiu o alcance das indústrias e pessoas mundialmente. A riqueza de informações e a capacidade de conectar várias coisas e informações e ainda, transformar a forma como a indústria trabalha e produz.

A automação industrial é de uma certa forma responsável por criar tecnologias que possam melhorar o processo de produção diminuindo dos custos da produção e as perdas, melhorando a qualidade do produto final (OLIVEIRA *et al.*, 2014). A convergência da tecnologia de automação (AT) e tecnologia da informação (TI) facilitou a criação de novas soluções que proporcionam mais flexibilidade e facilitam a interação de sistemas composto por vários fabricantes (FABRICIO & SOUZA, 2015).

Todavia, a automação industrial tem mudado o perfil das industriais sendo inserida na indústria por meio de dispositivos como robôs, controladores lógicos programáveis (CLPs). Esse avanço nos processos de fabricação industrial acontece devido a busca pelo controle do processo de fabricação e melhoria das funcionalidades melhorando o desempenho e a eficiência geral (STAMATIS, 2017). Além disso, ela possui um papel importante no aumento da eficiência da produção, além de diminuir o consumo de energia e otimizar os padrões de produção, levando em consideração os novos modelos de negócios (MARANGONI, 2015). Na última década, impulsionados por demandas sociais e pelo rápido desenvolvimento de tecnologias como *big data*, autoaprendizagem, computação em nuvem e Internet das Coisas (IC), os sistemas de automação industrial estão se modificando de sistemas centralizados em sistemas *ciber* físicos. Essa onda mundial de inovação tecnológica é atualmente conhecida como a Quarta Revolução Industrial (SUN, 2017).

De acordo com Gamer (2019), a maior parte das plantas de processo pode ser automatizada para aumentar a confiança e diminuir a necessidade de mão de obra operaria, e que posteriormente, melhora a autonomia do processo produtivo, o que fará crescer ainda mais a flexibilidade e a eficiência da planta de processamento. Além disso, a autonomia pode permitir uma mudança completa dos processos produtivos e até mesmo a implementação de novos modelos de negócios ainda não considerados hoje.

Uma ferramenta importante nessa etapa da terceira revolução industrial são os micro controladores, dispositivos pequenos, versáteis e baratos que podem ser implementados e programados com sucesso não apenas por engenheiros elétricos experientes, mas também por amadores e estudantes (STAMATIS, 2017). A lista de possíveis aplicações dos micro controladores é tão longa, como por exemplo, *Wearables* de baixo custo, equipamentos médicos, eletrônicos de consumo de última geração, dispositivos industriais robustos, sistemas militares e aeroespaciais de última geração

esses componentes adaptáveis, acessíveis e fáceis de usar são uma adição bem-vinda a praticamente qualquer produto eletrônico.

Usado para dar suporte ao micro controlador o Arduino Uno é uma placa micro controladora baseada no ATmega328P. O uso do Arduino com hardware e software acessíveis é um componente fácil de ser utilizados tanto por profissionais da área de automação, como leigos (OLIVEIRA, 2015). É um dispositivo de baixo custo e flexibilidade de uso, e é utilizado principalmente quando não se tem acesso a controladores complexos e ferramentas mais complexas.

Devido ao aumento da competitividade no mercado de indústrias nos últimos anos, a automação de diversos procedimentos industriais passou a ser comumente utilizado (BARROS, 2017). Com a automação destes processos industriais consegue-se atingir um maior nível de eficiência operacional das unidades de manufatura e uma considerável redução de gastos, graças a diminuição das tarefas realizadas a base de mão-de-obra humana, convertendo-se num conjunto de elementos tecnológicos. Esta metodologia de otimização é estabelecida normalmente em setores de produção onde a presença humana apresenta riscos, e também visando, evidentemente, o aumento de produtividade e qualidade.

No campo da automação industrial, as tecnologias utilizadas na linha de pintura têm sido melhoradas cada vez mais nos procedimentos de pintura, especialmente nos projetos de tinta robotizada (SILVA, 2016). Aproveitando esse âmbito do mercado, surgiu o Nova Paint, criado pelo Nova Tecnologia, que é uma abstração com células de tinta robotizada ajustada, com a inclusão de robôs de tinta, cabines, painéis de automatização e suas devidas ferramentas. Nomeados em homenagem aos artistas Picasso, da Vinci e Michelangelo, tratam-se de unidades robóticas que se adequam em relação da ferramenta de tinta usada e o porte do robô. A Célula Picasso, foi desenvolvida nos laboratórios da Nova Tecnologia, localizada no estado de São Paulo, com o fim de exibir ensaios aos clientes para demonstrar a utilidade e eficácia destes mecanismos de pintura automatizados.

Segundo Jurgetz (2018), o resultado de um processo de tinta automatizada engloba um aglomerado de exigências complexo. Como a cor, durabilidade, brilho, resistência e adesão da camada de pintura. Praticamente, quaisquer camadas de revestimento, possui intensidade de casca de uma laranja, independente se ela for mínima (ADAMSONS, 2019). Em caso de que o limite desta intensidade seja ultrapassado, as exigências de diversas peças se veem afetadas. As superfícies, características funcionais e propriedades são fortemente influenciadas pela intensidade de casca de laranja, o que se considera uma das grandes preocupações da indústria, que está à procura da caracterização do problema (NAJJAR *et al.*, 2018).

O maior obstáculo de uma linha de pintura é preservar a aplicação com o objetivo de assegurar a aparência das peças e as exigências dos usuários em características específicas no quesito de qualidade. Sem embargo, inúmeros desafios de aplicação são identificados nas linhas de revestimento das indústrias. Certas destas problemáticas de tinta podem ser apreciados no momento da aplicação do revestimento, alguns outros após a cura da camada. Falhas de composição, preparação e aplicação de revestimentos são significativamente regulares (CARVALHO, 2018).

Pensando nos benefícios incorporados pela automação na indústria que esse projeto se justifica, o qual tem como objetivo principal desenvolver de um sistema de

baixo custo para o análise da automatização e o correto procedimento de esteira em que ocorre a circulação dos tinteiros ,de uma indústria do Polo industrial de Manaus.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção será descrito os métodos usados para a implementação em uma linha de pintura de tanques de motocicletas em empresa do segmento duas rodas do Polo Industrial de Manaus/AM, um sistema de automação de baixo custo foi implementado. A implementação desse sistema teve o intuito de monitorar gerenciar os processos paralelos que de alguma forma podem atrapalhar ou impactar negativamente no processo. Para o desenvolvimento do sistema, foi utilizado um conjunto de sensores, componentes elétricos e mecânicos que são apresentados com suas especificações na Tabela 1.

Além dos materiais apresentados na Tabela 1, existe a possibilidade de reutilização das peças mecânicas e ferramentas usadas em aparelhos como impressoras, micro-ondas, entre outros. O sistema é integrado através de quatro circuitos que atuam simultaneamente nas seguintes voltagens: um primeiro de 5V usado para alimentar o sensor, servo motor, display, módulo *bluetooth*, *buzzer* e módulo de relé; um segundo de 9V usado pela placa Arduino; um terceiro de 12V, destinado ao motor DC da esteira; e por fim, um circuito de 110V AC para a bomba do aquário que passa pelos terminais comuns e normalmente abertos do módulo de relé.

**Tabela 1:** Lista os componentes básicos da construção do projeto.

Componentes	Valor Unitário	Componentes	Valor Unitário
Arduino	R\$ 47,00	Servo Motor	R\$ 40,30
Protetor do Arduino	R\$ 8,40	Motor DC	R\$ 8,80
Módulo Bluetooth	R\$ 60,00	Caixa de Redução	R\$ 17,30
Display	R\$ 15,30	Bomba de Aquário	R\$ 40,00
Controle Remoto	R\$ 8,43	Trafo	R\$ 42,00
Módulo Relé	R\$ 6,50	Madeira	R\$ 60,00
Buzzer	R\$ 1,70	Alumínio	R\$ 25,00
Sensores de Obstáculo (X unidades)	R\$ 18,45	Dispensador de Copos	R\$ 43,00
Sensor de Vazão	R\$ 32,50	Caixa de Projeto	R\$ 30,00
Outros	R\$ 37,00		
<b>Total</b>			<b>R\$ 410,98</b>

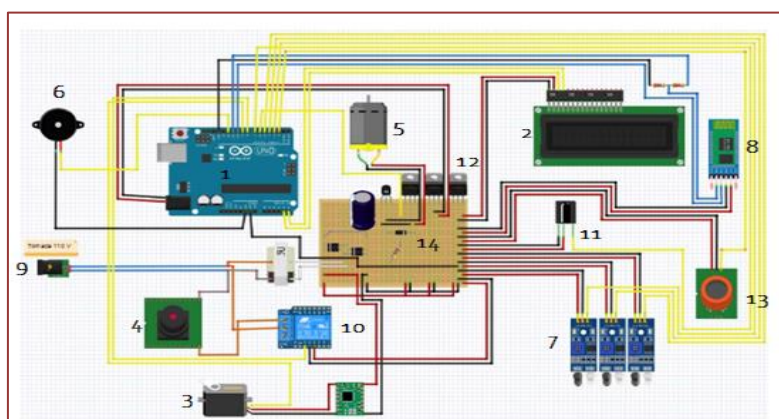
Fonte: Autores (2022).

Para o fornecimento de energia foi utilizada uma tomada de 110 V, assim, a energia seria direcionada em paralelo para um circuito de 110 V AC e um transformador 29 diminuindo a tensão para 12 V AC. Após foi possível contar com uma ponte retificadora e capacitor para converter a energia de CA para corrente contínua. A partir desta fonte de alimentação, usamos reguladores de tensão para fornecer de forma confiável 5V, 9V e 12V para seus respectivos componentes.

Os requisitos para o uso de cada componente mecânico e eletrônico foram devidamente analisados, levando em consideração os custos e sua viabilidade. O circuito utilizado pôde ser identificado como uma fonte de alimentação que fornece a cada componente as diferentes tensões que ele precisa para operar. Os fios de comunicação e sinal interligam os sensores e atuadores ao microcontrolador, alguns auxiliados pelos

relés e transistores. O sistema foi desenvolvido em uma plataforma *on-line* denominada *Fritzing*, que possibilita a configuração dos componentes eletrônicos, ajudando no dimensionamento deles, possui uma IDE desenvolvimento incorporado ao protótipo eletrônico onde é possível testar o projeto desenvolvido de forma simples e clara. Um diagrama esquemático da descrição detalhada no programa *Fritzing* exibe-se na Figura 1.

**Figura 1:** Circuito eletrônico do projeto



Fonte: Autores (2022).

O microcontrolador Arduino UNO (1), foi responsável pelo processamento do sistema e ponto de conexão central do circuito, enquanto o Display (2), é um componente responsável pela exibição das informações visualmente, e o Servo Motor (3) foi a peça usada para movimentar, com alta precisão, algum elemento, permitindo-o girar em ângulos e distancias específicas. Ao mesmo tempo, o Controle Remoto (4) opera remotamente um instrumento eletrônico, o Motor DC (5) possui a funcionalidade no sistema de converter a energia elétrica de corrente contínua em enérgica mecânica. O *Buzzer* (6) é o elemento no sistema que realiza a geração de sinais sonoros, através de um oscilador definida por uma frequência a qual emite um som particular. O elemento 7 no circuito é o Sensor de Obstáculo, que tem como finalidade identificar a proximidade de algum elemento, enquanto o Módulo de Bluetooth (8) possibilitará a transmissão e recepção de dados entre os componentes por meio de conexão sem fio.

Os demais componentes apresentados na Figura 1, são ainda, o Cabo de Alimentação da Fonte (9) que fornece a corrente elétrica à fonte, o Módulo Relé (10) que permitiu a abertura e fechamento da corrente elétrica, permitindo ou impedindo o fluxo de energia elétrica, ainda os Capacitores (11 e 13), responsáveis pelo armazenamento das cargas elétricas. O Conector sem fio (12) e finalmente a Placa de Circuito Principal (14) responsável pela interligação e comunicação entre os componentes presentes no circuito.

## 2.1. CÓDIGOS DE ERROS APRESENTADOS PELO MONITOR DISPLAY

Os atrasos constantes na linha de produção de pintura de tanques de motos de 125 cilindradas, devido problemas contínuos e paradas não programadas era uma rotina constante. Tentar amenizar esse problema ou até mesmo zerá-lo foi o principal objetivo

desse projeto. Após, será analisado o quantitativo da produção antes/depois da implementação do sistema. Além disso, as informações sobre o processo será captado por sensores e enviado para um monitor visual indicando o código do possível defeito detectado, possíveis erros que são representados pelos códigos que serão registrados pelo sistema enviados a base de monitoramento e visualizada no display, apresentados na Tabela 2. A Tabela 2, mostra na coluna da esquerda o código atribuído pelo sistema e na coluna da direita, o tipo de erro correspondente.

**Tabela 2:** Códigos de erros na linha de Produção

Código	Erro
200	Sistema avisa a base que foi resetada.
201	Sistema avisa a base que bandeja está abaixo do dispensador e produção será retomada
202	Sistema avisa que bandeja não está abaixo do dispensador
203	Bandeja não foi dispensada
204	Erro de alinhamento
205	Produção foi cancelada
206	Bandeja no fim da linha
207	Bandeja fora da linha
208	Término da produção
209	Início da Produção

Fonte: Autores (2022).

### 3. RESULTADOS

O sistema foi desenvolvido para ser composto por vários sensores que monitoram o processo continuamente, para que os atuadores trabalhem continuamente na produção. O dispositivo foi capaz de monitorar o trabalho paralelo, analisar os tanques na linha de produção, verificar se estão estacionados corretamente, monitorar a produção para garantir que tudo está em ordem, relatar o andamento da produção em tempo real através da aplicação microcontrolada, display LCD e sinal sonoro, em caso de erro no processo, tentará resolvê-los sempre que possível e notificá-los para intervenção externa.

#### 3.1. ESTUDO DE PRODUÇÃO

Ao término da construção do sistema foram realizados testes e coletados informações sobre o processo. Antes de qualquer coisa foi avaliada a normalidade das atividades sem a automação e a quantidade de paradas por problemas paralelos a produção ocasionando muitas vezes a suspensão das atividades em até 2 horas. No funcionamento já com automatização, os problemas paralelos foram apontados pelo sistema e com isso intervir através dos erros numerados no painel, tornando assim o diagnóstico e a resolução do problema maior, antes que se torne incontrolável.

#### 3.2. PRINCIPAIS CUIDADOS

No decorrer do projeto, podem ser listados dois principais cuidados tomados durante o funcionamento do sistema de automação desenvolvido, são eles:

- ✓ Luz natural direta, os sensores de obstáculos funcionam com base na emissão de radiação infravermelha, essas ondas são refletidas e detectadas por um receptor

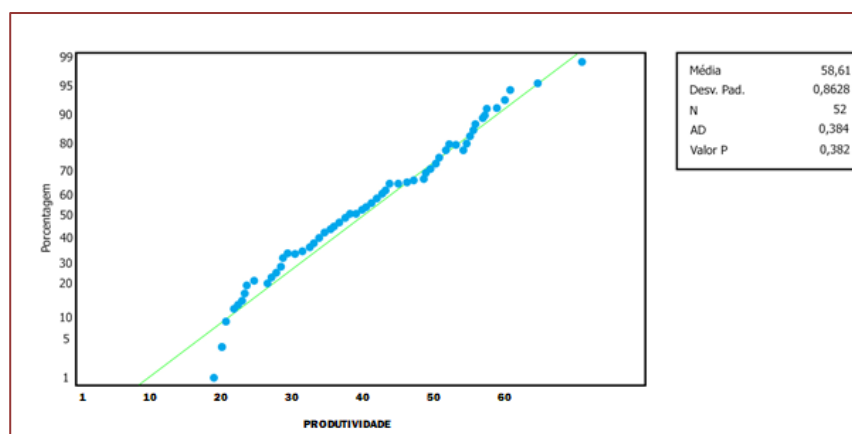
adequado caso haja um objeto próximo ao sensor. Se a máquina estiver em um ambiente com muita luz natural, o receptor sempre detectará a presença de um objeto devido à luz infravermelha contida no espectro solar.

- ✓ Calibre dos sensores de obstáculos antes de cada uso. Sempre que a máquina for usada, ela pode ficar exposta a diferentes condições de iluminação. Diferenças de tempo e local podem levar a novas concentrações de radiação infravermelha no ambiente, o que pode fazer com que o sensor dê falsos negativos. e falsos positivos, por isso é importante calibrar rapidamente o sensor antes do uso.

### 3.3. TESTE DE NORMALIDADE DE FUNCIONAMENTO PRODUTIVO

Uma das tarefas mais importantes para os responsáveis pela gestão de uma empresa é medir a eficiência dos processos. A partir disso, é possível dimensionar o nível de produtividade, principalmente para que a organização atinja os indicadores previstos. O Gráfico 1 mostra que a existe um forte crescimento na produtividade da linha de produção em teste. Esses valores são referentes ao meses de abril e maio de 2022, sendo observado um o crescimento gradativo a cada 10 dias.

**Gráfico 1:** Crescimento de produtividade



Fonte: Autores (2022).

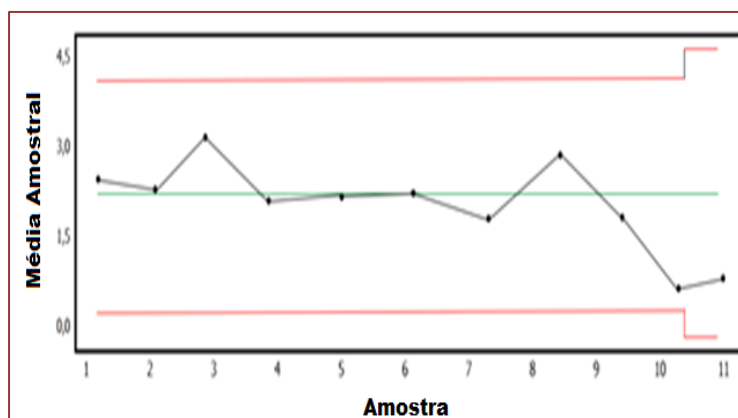
Ao mesmo tempo, o crescimento apresentado prova que a meta de produtividade foi atingida com sucesso na linha de produção aplicada a automação de monitoramento paralelo de problemas que possam ocorrer na linha de produção. A linha em diagonal apresenta o crescimento desejado a cada 10 dias, os pontos em azuis próximo a diagonal representa o crescimento real. Foi possível observar que o crescimento real se iguala ao crescimento desejado.

### 3.4. FREQUÊNCIA DE FUNCIONAMENTO

O sistema mostra o processo com uma boa e constante frequência de funcionamento durante todo o dia, sem paradas de produção não agendada ocasionada pelo um problema oriundo de um processo paralelo. O Gráfico 2 apresenta uma normalidade de processo como já mencionado. A linha preta representada por pontos

mostra distorções na parte inicial do processo e na parte final do processo, sendo que a linha verde na horizontal é o desejado. Porém, como é possível observar os valores reais são os valores mais próximos que podemos chegar na automação desenvolvida, porém sabe-se que a calibração do equipamento diariamente poderá alcançar resultados melhores chegando muito próximos do desejado.

**Gráfico 2:** Frequência de produção diária



Fonte: Autores (2022).

O Gráfico 2 apresenta o desempenho de funcionamento do projeto chegando até mesmo a ultrapassar a agilidade da linha em alguns pontos. O decréscimo da média de detecção amostral cai entre o valor 9 e 10, pois esses valores se encontram já no final do dia da linha de produção. A linha verde apresenta a média amostral desejada de funcionamento o sistema apresentou em boa parte do dia um excelente desempenho de funcionamento conseguindo manter a media amostral durante todo o processo de trabalho.

O valor inicial de detecção começa um pouco alto onde é necessário fazer um ajuste de calibração até se chegar ao desejado para o bom funcionamento da linha de produção de forma que a análise do processo paralelo não impacte no processo principal. Logo após se ver que o sistema se mantém constante em quase todo o percurso. Os pontos de elevação se dá devido uma subtenção energética proposital que aconece fazendo as esteiras trabalharem mais rápido devido o final do expediente até chegar em um valor lento devido o desligamento gradativo da linha de produção com isso o sistema de detecção cai o seu rendimento.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou a melhoria da produção após a implementação de um sistema de automação em uma linha de produção de pintura de carenagens de motocicletas, em uma indústria do Polo Industrial de Manaus. O foco principal do projeto foi atingido, como é mostrado nos resultados de produtividade e a boa frequência de detecção sensorial da linha de produção. Ele visou a construção de um protótipo de sistema automatizado de pintura para linhas de produção, onde o mesmo é responsável em monitorar os processos paralelos a produção com o intuito de tais processos não

interferir no processo principal que é a pintura de tanques de motos em uma empresa do polo duas rodas.

O projeto teve como idealização inicial o estudo e desenvolvimento de um protótipo de linha de produção de trabalhos paralelos autônoma que será usado em linha de pintura. O trabalho consistiu nem um sistema que usa software e hardware livres, e montagem do protótipo, testes e mensuração de capacidade de controle estatístico de processos. O produto desenvolvido está apto e operacional para realizar os seus respectivos processos industriais. As funções que se julgaram relevantes e foram implementadas para fazer parte do sistema, encontram-se em estado totalmente operacional.

Os resultados foram excelentes quando comparados aos valores desejados, lembrando que esse sistema foi um investimento de baixo custo e pode ser melhorado em uma industrialização do mesmo. Melhorando o microcontrolador e os demais elementos eletrônicos.

## REFERÊNCIAS

- [1] ADAMSONS, K. **A modern analytical toolbox: defect. (W&D) studies of automotive coating systems, including depth profiling studies.** J. Coat Technol. Res. v. 2019.
- [2] BARROS, C. **Instrumentação, controle e automação industrial.** p27. 2017.
- [3] CARVALHO, P. **The autonomous industrial plant – Future of Process Engineering, Operations and Maintenance.** 2018.
- [4] FABRÍCIO, T. M.; SOUSA, V. J. **Automação e padronização dos processos produtivos como ferramentas de melhoria de produtividade: um estudo de caso.** Simpep, Bauru –SP 2015.
- [5] GAMER, Thomas. **The autonomous industrial plant – Future of Process Engineering, Operations and Maintenance.** Elseiver. **IFAC- PapersOnLine**, Ladenburg, v. 52, p.454-460, junho 2019.
- [6] JURGETZ, A. **Automotive paint performance. metal finishing** Alemanha: Dingolfing. 2018.
- [7] MARANGONI, F.; OLIVEIRA, C. A. B.; RUPPENTHAL, K. J.; FERREIRA, S. O.; KONOPATZKI, E. A.; **Melhoria da qualidade de vida com a adequação e automação de um elevador de cargas.** Conbrep, Ponta Grossa- Pr 2015.
- [8] MEHTA, B. R, REDDY, J. **Industrial process automation systems design and implementation**, Oxford: Elseiver, p. 1-36, novembro 2017.
- [9] NAJJAR, D.; BIGERELLE, M.; HENNEBELLE, F.; IOST, A. **Contribution of statistical methods to the study of worn paint coatings surface topography.** 2018.
- [10] OLIVEIRA, C. L.; ZANETTI, H. A. P. **ARDUINO DESCOMPLICADO** Como Elaborar Projetos de Eletrônica. 1. ed. São Paulo: Editora Érica, 2015.
- [11] OLIVEIRA, W. B.; BITTENCOUT, F. R.; BARBOSA, R. D.; BELMONTE, V.; MOURA, S. A. **Automação do gerenciamento de energia elétrica em uma planta industrial.** Simpep, Bauru –SP, 2014.
- [12] SILVA, D. S.; SOUZA, R. S.; ROSA, E.; PACHECO, D. A. J.; **Análise do Impacto da Automação da Movimentação Interna na Produtividade Industrial.** Espacios. v. 35, n. 4, 2016.
- [13] STAMATIS, D.H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution.** 2. ed. ASQ Quality Press, Milwaukee: 2017.
- [14] SUN, B; JOUNELA, S.; TODOROV, Y. **Perspective for equipment automation in process industries.** Elseiver. **IFAC-PapersOnLine**, China, v. 50, p. 65-70, dezembro 2017.

# Capítulo 6

## *Biodigestores para geração de energia em residências*

*Bruno Portela Ferreira*

*Leonara dos Santos Cordeiro*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Visto que a eletricidade é uma necessidade tanto urbana como rural, porém ainda há zonas no qual não tem acesso, ou quando tem o valor do consumo chega a ser alto. Pensando no consumo de energia, e visando as melhorias ao meio ambiente. O biodigestor vem como alternativa de energia limpa renovável e de baixo consumo. Ideal para se aplicar na zona rural, na agricultura e pecuária no qual a produção de resíduos orgânicos providos de dejetos animais e resíduos vegetais. Capazes de gerar energia por meio do biogás suficiente para abastecer uma residência e além de servir como fertilizantes. O biodigestor vem como um tratamento adequado aos resíduos orgânicos, uma vantagem ao meio ambiente, evitando contaminação do solo, água e atmosfera. O objetivo deste trabalho é criar alternativa de tratamento de resíduo orgânico e geração de energia a pequenos produtores rurais, de forma acessível financeiramente e que podem ser encontrados em qualquer loja de material de construção na cidade de Manaus/AM. A construção do equipamento foi bem simples, permitindo ser produzida por qualquer pessoa e a energia gerada por ele é capaz de abastecer um televisor ou notebook.

**Palavras-chave:** Biodigestores; Zona Rural; Geração de energia

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dois últimos séculos a eletricidade transformou-se essencial para a vida urbana e rural, já que esta é utilizada em praticamente todos os seguimentos do cotidiano como trabalho, estudo, conforto térmico e lazer se adequando a demanda regional e global (GEDDES, 2021). A disponibilidade deste recurso é essencial para comércios, indústrias e áreas urbanas, recentemente, porém, a preservação do meio ambiente levaram as diversas regiões do planeta a optar na composição por diferentes tipos de matrizes energéticas, renováveis e não renováveis. Assim, com o aumento do consumo nas últimas décadas e com os problemas nas hidrelétricas, foi necessário diversificar a matriz energética brasileira (SILVA, 2022).

Apesar das alternativas para obtenção de eletricidade como as hidrelétricas, caldeiras, termoelétricas, reatores nucleares, placas fotovoltaicas, turbinas de vapor, turbinas eólicas, biomassa, etc, o Brasil optou pelo fornecimento de eletricidade geradas pelas hidrelétricas, sendo elas responsáveis pelo fornecendo de cerca de 65,2% da energia no país (EPE, 2021).

Em contrapartida ela nos faz depender dele para praticamente todas as atividades como trabalhos, produtos, pesquisas, etc. Atualmente, os eventos extremos de seca ocorridos no país originou uma crise hídrica e baixa produção energética, a falha no abastecimento, fazendo com que encareça e dificultando a utilização, tendo que reduzir a produtividade a fim de economizar com os custos (TOLMASQUIM, 2000). A crise hídrica no início dos anos 2000 levou a a aplicações na geração das termoelétricas e construções de turbinas eólicas além de aprimoramento das hidrelétricas (KASHIWAGI, 2021).

Com à crise hídrica de 2021, teve um aumento nos investimentos na geração de energéticas renováveis, principalmente na área de biomassa, devido a produção de fertilizantes para a agricultura, já que a uma grande demanda devido a guerra entre Rússia e Ucrânia. Atualmente nas residenciais, há um grande desperdício de geração elétrica e gás através da matéria orgânica, além de obter uma economia na conta de gás, também pode-se gerar energia (AZEVEDO et al., 2021)

No Brasil A produção de resíduos orgânicos chega a 37 milhões de toneladas ao ano. Sendo que se reutiliza cerca de 1% de todo resíduo, a utilização poderia ajudar a reduzir os custos e ou até mesmo a suprir por um tempo limitado de energia quando houver queda dela pela concessionária de energia do seu estado (ASSEMAE, 2019; BRASILEIRO e MATTOS, 2015).

A produção de biogás está em pauta nos encontros ambientais, com a intenção de substituir os combustíveis fósseis que são altamente poluentes e são providos de uma fonte não renovável. Diferente da produção do biogás que provém de dejetos de animais da biodigestão anaeróbicas. Além disso, esses resíduos orgânicos estarão contribuindo na redução dos gases do efeito estufa, uma vez que, lançam gases para atmosfera.

O biodigestor é a solução mais viável a ser aplicado no meio rural, para solucionar problemas na destinação final dos resíduos orgânicos (SILVA et al., 2015, BESTETTI, 2022). O nome biodigestor é dado a estrutura que é construída para reproduzir as condições ambientais ecológicas, no mesmo as decomposições da matéria orgânica sofrem estímulos, por meio do processo bioquímico conhecido como digestão anaeróbica. Tendo como resultado o biogás (AZEVEDO et al., 2021).

Existem três tipos de biodigestores, que são biodigestores de cúpula, um sistema tradicional, aplicado em países em desenvolvimento, esse biodigestor é conhecido como

tipo “chinês” de cúpula fixa e o tipo “indiano” de cúpula móvel. Ambos são simples, normalmente de alvenaria, escavados no solo, com uma entrada e saída para biomassa, e o compartimento onde fica o substrato, e por fim a cúpula onde acontece o acúmulo do biogás (MORAES e ABREU, 2020). Estes modelos normalmente são encontrados em pequenas propriedades e assentamentos rurais. A demanda de substratos adequados para digestores desse modelo e porte, varia de 5% e 10%, com uma variação de carga volumétrica entre 2 e 3 kgsv m<sup>-3</sup> reator d<sup>-1</sup> (AZEVEDO et al., 2021).

No modelo de cúpula flutuante “indiano”, sua estrutura é feita de metal, comumente utiliza-se um tambor invertido, no qual se movimenta para cima e para baixo de acordo com a quantidade de gás acumulado em seu interior. No Brasil foi feita uma adaptação do modelo indiano, conhecido como modelo sertanejo, por ser aplicado normalmente em comunidades rurais no interior do país. O mesmo é um modelo no qual seu material é acessível e de baixo custo, podendo ser encontrado em qualquer loja de construção (OLIVEIRA et al., 2019).

Podemos encontrar também os biodigestores de lona, no qual é diferente dos modelos anteriores, onde substitui as estruturas metálicas e de concreto, por uma membrana plástica, no qual reduz custo de mão-de-obra e custo na implementação (OBILEKE et al., 2021). E finalmente, encontramos o modelo Lagoa Coberta (BLC), no qual é escavado no solo, coberto por um material polimérico e impermeabilizado. Um modelo no qual é adequado para tratamento de efluentes de baixa concentração de sólidos, como resíduos suínos e bovinos (KUNZ et al., 2019).

Assim, o estudo consiste em criar meios pelo qual visam reduzir e mitigar os impactos da agropecuária e agricultura e além do mais beneficiar o produtor rural com o aproveitamento do biogás. Por meio da aplicação do Biodigestor, será possível observar melhorias e redução de impactos principalmente nos recursos hídricos, além da produção de energia alternativa (biogás) e biofertilizantes (DA SILVA, 2012).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo mencionado acima, a metodologia aplicada foi dividido em duas partes, uma primeira, mostrando a construção do biodigestor com os filtros necessários, já a segunda parte tem como foco demonstrar como foi realizada a coleta dos dados. Para que seja possível conhecer a produção energética de um biodigestor, foi realizado um teste para a capacidade de 100 Litros.

O cálculo da quantidade de geração biogás, foi realizada por meio da quantidade de material orgânico em (g), onde o material total usado na produção do biogás foi pesado previamente. E total de gás obtido através do manômetro de pressão. Com isso podemos estimar a quantidade de produção do biogás e produção de eletricidade, com isso podemos saber a quantidade pode-se suprir de eletricidade e por quanto tempo poderá manter com um armazém.

O tempo supressão da eletricidade depende somente do armazenamento, onde, o armazém cheio é baseado em estimativas/simulações. A construção necessitou de determinados materiais que foram listados na Tabela 1, a qual mostra a quantidade do material e seus respectivos valores.

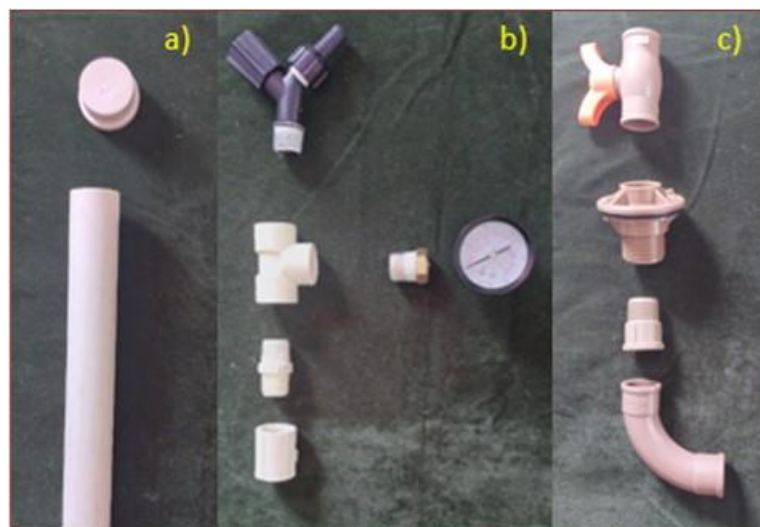
**Tabela 1:** Material usado no projeto e o custo

	Material	Custo
1	Bombona plástica de 100L	100
1,5m	Cano pvc 50mm	11,00
1	Cap. pvc Esgoto 25mm	3,66
1	Flange 25mm	11,07
1	Registro 25mm	9,33
1	Curvas 90° 25mm	6,47
1m	Cano pvc 50mm	10,71
1	Cap. 50mm	6,91
1	Cap. branco rosca 50mm	2,44
1	Adaptador cola/rosca 50mm	5,18
1	Frasco de vidro grande	24,99
2	Torneiras jardim	5,24
4	Nips 10mm	5,18
4	Luvras branca de rosca	5,08
3m	Mangueira de Jardim	17,70
1	Câmara de ar para armazenamento do gás	80,00
6	Bicos de mangueira	11,46
8	Abraçadeiras	17,68
1	tubo de veda calha	25,00
1	tubo pequeno de cola pra cano	4,81
1	Manômetro	43,00
2	T tipo rosca	4,68
5kg	Cal	11,47
1	Bucha 1	17,00
Total		440,06

Fonte: Autores (2022)

A seguir nesse primeiro passo demonstrado pela Imagem 1, foi usado um tubo de PVC, que foi usado como entrada da matéria orgânica. No entanto, este deve possuir uma entrada de 50 mm. Para este projeto foi necessário, uma válvula de saída do biogás e medidor de pressão, para que fosse possível o controle do produto interno, um manômetro, uma torneira, bucha de  $\frac{1}{2}$  3/4, um tubo T rosqueável de 25mm, um niple 25mm, uma luva 25mm.

Para a válvula de saída da matéria decomposta (fertilizante), um registro de esfera 25mm, flange 25mm, um adaptador de rosca/cola 25mm, curva de 25mm.

**Imagem1:** Material inicial do biodigestor

Fonte: autores, (2022)

Finalizada a construção do corpo do biodigestor e filtros, foi selecionado o método que foi a base para calcular a quantidade de biogás gerado foi utilizada a fórmula representada pela Equação 1.

$$\frac{\text{materia organica}}{\text{quantidade produzina}} = \text{produção de biogas} \quad \text{Eq. (1)}$$

Para estimar a energia por hora, foi realizada a pesagem de todo o material orgânico e a coleta do manômetro e será. Para fins de estudo da geração será considerado a eficiência energética igual a de gasolina, onde 1L de gasolina é igual 1L de biogás, por meio da Equação 2.

$$\text{Energia/hora} = \text{Produção por dia (L) /24} \times \text{geração/hora} \quad \text{Eq. (2)}$$

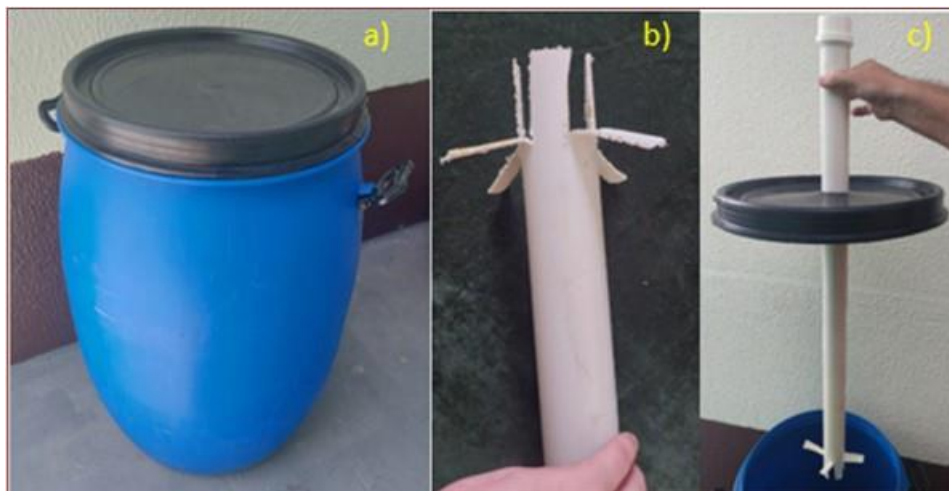
1 litro de gasolina comum gera cerca de 8.890 Wh

### 3. RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados, o processo de construção do biodigestor e os testes preliminares do desempenho por meio da energia gerada pelo equipamento construído.

Primeiramente, foi construído o corpo do biodigestor, mostra a utilização de uma bombona de 100L (Imagem 2a), a qual foi utilizada para o armazenamento da matéria orgânica, é o corpo do biodigestor. A Imagem 2b mostra os cortes executados em uma das extremidades no cano de PVC, usado para a passagem do material orgânico e auxiliando na manutenção da estabilidade do cano. Após, foi realizado um furo na tampa da bombona para que possível encaixar o cano de PVC, como mostra a Imagem 2c.

**Imagem 2:** a) Corpo do biodigestor; b) cortes no cano de PVC; e c) encaixe do cano de PVC na tampa da bambona.



Fonte: autores, (2022)

Realizado os passos apresentados nas Imagens 1 e 2, obtivemos o resultado do corpo do biodigestor finalizado. Como é possível visualizar na Imagem 3, para posterior montagem do filtro e anexado ao corpo do biodigestor.

**Imagem3:** Corpo do biodigestor montado.

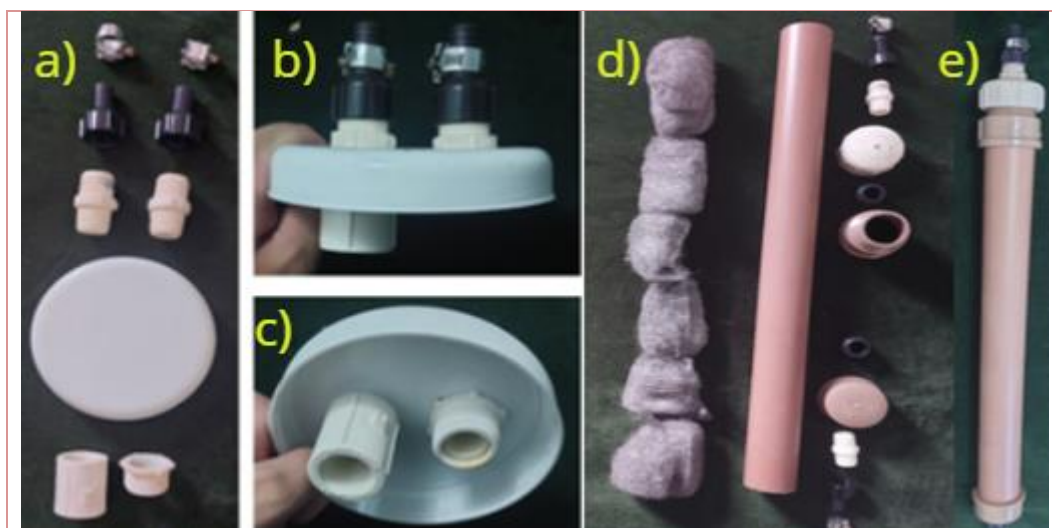


Fonte: Autores, (2022).

A Imagem 4 mostram os materiais utilizados no desenvolvimento do filtro do biodigestor. A tampa do filtro, de água com Óxido de Cálcio que serve para retirar o  $\text{CO}_2$  e assim, não ocorrer o escape do gás. Para isso, foram usadas 2 braçadeiras, 2 bicos de torneira no qual será envolvido as braçadeiras, 2 *nips*, luva e anel de junção para a vedação. O resultado dessa fase, podemos acompanhar nos itens apresentados nas Imagens 4a, 4b e 4c onde demonstra o interior da tampa.

Já no item d), no filtro contará com palha de aço, que serve para retirar o gás sulfúrico, 2 bicos de torneira, 2 nips, 2 anéis de junção, um cap 50mm, um cap de rosca 50mm, que auxiliaram na vedação do filtro e um adaptador de 50mm de cola/rosca, e um tubo de 50mm, onde será introduzido a palha de aço, e por fim seguindo o passo a passo, no item (e) a finalização e de como ficará o filtro do projeto.

**Imagem 4:** Materiais da construção do filtro do biodigestor: a, b, c) componentes em PVC para construção do filtro; d) Palha de aço; e) rosca e vedadores.



Fonte: Autores (2022)

Para alcançarmos o resultado final deste trabalho, foi necessário que lidar com alguns obstáculos durante a montagem final do biodigestor. Por ser um equipamento construído artesanalmente, e como as peças foram compradas no comércio local, muitas delas não possuíam o encaixe perfeito e houve momentos em que foi necessário usar arames para reforçar a vedação da tampa, uma vez que a tampa é de encaixe e não de rosca. Além disso, foi necessário improvisar um funil para facilitar a entrada do resíduo no biodigestor. Solucionando esses obstáculos, começaram os primeiros testes para verificar a eficiência do equipamento construído.

**Imagem 5: Montagem do biodigestor.**

Fonte: Autores, (2022).

Para verificar a capacidade energética do biodigestor construído, verificou-se a média de resíduos orgânicos produzidos, onde em média três residências possuíam um consumo médio de 970,66 g/dia de resíduos. Para calcular a produção máxima do biodigestor será necessário dividir a capacidade total pela quantidade de alimentos produzidos em média por dia.

$$\text{Produção} = \frac{\text{capacidade do biodigestor}}{\text{matéria orgânica médio}}$$

Com isso um biodigestor de 100 L terá uma produção de 0,103L por dia ou 0,0042916L por hora. Com isso a geração é de 38,152324 Wh, dividindo pelo número de residências que no caso são 3, a geração é equivalente a 12,716 wh para cada casa. A seguir o memorial de cálculo.

$$0,0042916 * 8890 \left(\frac{W}{h}\right) = 38,152324 \text{ wh}$$

38,15 wh / 3 por casa da 12,716 wh. para cada casa.

Ou seja, o biodigestor só alcançará sua eficiência após um mês, onde terá mais decompositores no qual irão acelerar o processo da matéria orgânico em fertilizante e biogás. No mais, o projeto é promissor para se fazer uso na zona rural, pelo seu baixo custo econômico.

Vale ressaltar, que este é um protótipo, para ocasiões no qual a demanda de matérias orgânica seja maior que a capacidade apresentada, recomenda-se que seja elaborado um projeto no qual atenda a necessidade. Considerando a taxa da energia atual que é de 1,071626 por KW (05/2022).

**Tabela 2:** Rendimento do biodigestor por dia, semana, mês e ano.

Tempo de geração	Geração	Economia
1 dia	$12.716 * 24 = 305.185 \text{ W}$	$0,305185 \text{ kW} * 1,071626 = 0,33 \text{ R\$}$
1 semana	$305.185 * 7 = 2136.288 \text{ W}$	$2,136 \text{ kW} * 1,071626 = 2,29 \text{ R\$}$
1 mês	$2136.288 * 4 = 8.545.152 \text{ W}$	$8,545 \text{ kW} * 1,071626 = 9,15 \text{ R\$}$
1 ano	$8545.152 * 12 = 102.541.824 \text{ W}$	$102,54 \text{ kW} * 1,071626 = 109,88 \text{ R\$}$

Fonte: Autores (2022).

A Tabela 2 mostra o rendimento do biodigestor construído. Nota-se que de acordo com os resíduos orgânicos gerados por uma residência, em um dia o usuário do equipamento teria uma geração de 305,185 W, o que resulta em uma economia diária em torno de R\$ 0,33 na conta de energia. Enquanto ao analisarmos a média de produção para um mês essa economia será R\$9,15. Aparentemente esse quantitativo parece muito pouco, mas por lado, é o necessário para abastecer um televisor durante um mês, que segundo o Portal Solar (<https://www.portalsolar.com.br/como-calculiar-o-consumo-de-energia-em-kwh>).

Finalmente, em um ano o biodigestor gerando todo dia irá gerar 102,54 KW/ano que induz a uma economia entorno de 109,88 R\$. Apesar da pouca energia gerada, o biodigestor é capaz de conduzir o usuário a uma pequena economia, mas por outro lado, a utilização do equipamento diminuiu igualmente o descarte, muitas vezes incorreto dos resíduos orgânicos, resíduos estes responsáveis por uma parcela dos gases do efeito estufa.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou a construção de um biodigestor caseiro em uma residência na cidade de Manaus/AM. Além da construção foi apresentada a eficiência energética desse equipamento na geração de energia elétrica.

A geração de biogás é baixa por falta de matéria orgânica e pela capacidade do biodigestor, além da eficiência da produção energética não foi eficientemente calculada por falta de dados sobre a injeção do biogás no gerador, foi utilizado a mesma da gasolina. Para futuros estudos deve-se ver em um certo grupo de resistências como condomínios e ou apartamentos com um sistema de coleta, onde possa abastecer áreas comuns e ou funcionamento do condomínio e prédios.

Apesar da pouca energia gerada, o equipamento pode suprir por exemplo um *nootbook* ou televisor durante o período de um mês, além disso, o uso desse tipo de equipamento pode diminuir em grande escala a quantidade de resíduos orgânicos descartados em aterros e/ou lixões e por consequência a produção do gás metano que é um gás do efeito estufa.

#### REFERÊNCIAS

- [1] AZEVEDO, H. L. S. **Biodigestores anaeróbios como alternativa tecnológica para produtores e cooperativas rurais**. 2021. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: <<http://repositorio.ifg.edu.br:8080/handle/prefix/939>>
- [2] BRASILEIRO L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e

demolição na indústria da construção civil. *Cerâmica*, v. 61, p. 178-189, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581860>>

- [3] BESTETTI, A. A. **Avaliação econômica e análise técnica da produção de biogás via digestão anaeróbia da vinhaça**. Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/15900>>
- [4] EPE [Empresa de Pesquisa Energética] Balanço Energético Nacional (BEN) 2020: Ano base 2019, 2020.
- [5] GEDDES, P. **Cidades em evolução**. Papyrus Editora, 2022. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7236405/mod\\_resource/content/2/Geddes%2C%20Parick%20-%20Excertos%20de%20Cidades%20em%20Evolucao.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7236405/mod_resource/content/2/Geddes%2C%20Parick%20-%20Excertos%20de%20Cidades%20em%20Evolucao.pdf)>
- [6] KASHIWAGI, F N. **Desenvolvimento de dispositivo para geração de energia elétrica por meio do fenômeno magneto hidrodinâmico**. Programa de Pós-Graduação: Doutorado - Engenharia Elétrica, 2021. Disponível em < <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/2587>>
- [7] KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1a ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1108617/fundamentos-da-digestao-anaerobia-purificacao-do-biogas-uso-e-tratamento-do-digestato>>
- [8] LUDKE, J. V., BERTOL, T. M., FIGUEIREDO, E. A. P., WOLOSZYN, N. & AJALA, L. C. **Avaliação de dietas para sistema orgânico de criação de suínos**. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 2, p. 369-372, 2007. Disponível em: < <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/rbagroecologia/article/view/6313>>
- [9] MORAES, M. B. F.; ABREU, Y. V. **Viabilidade econômica para produção de energia elétrica por biodigestores**. Life Editora, 2020. Disponível em: <<http://www.lifeeditora.com.br/loja/produto/producao-de-energia-eletrica-por-meio-de-biodigestores-utilizando-residuos-pecuarios-viabilidade-economica-ebook-gratuito/>>
- [10] OBILEKE, K. C.; ONYEAKA, H.; NWOKOLO, N. **Materials for the design and construction of household biogas digesters for biogas production: A review**. *International Journal of Energy Research*, v. 45, n. 3, p. 3761–80 3779, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/er.6120>>
- [11] OLIVEIRA, P. I. **Produção de biogás no âmbito da agricultura familiar no Semiárido brasileiro como proposta de convivência e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas: a experiência da ONG Diaconia**. *RedBioLAC*, v. 3, p. 29–31, 2019. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/431755673/Revista-RedBioLAC-2019>>
- [12] TOLMASQUIM, M. **As origens da crise energética brasileira**. *Pontos de Vista - Ambiente & Sociedade*, n.6/7, p. 179-183, 2000. Disponível em <<https://doi.org/10.1590/S1414-753X2000000100012>>
- [13] SILVA, A L; PONTES, M L de F C; TAVARES, M R S. **Educação Ambiental em comunidades de produtores suínolas através do uso de Biodigestores na redução de resíduos químicos e microbiológicos em corpos hídricos no Município de João Pessoa-PB**. XVI ENEQ/X EDUQUI-ISSN: 2179-5355, 2012.
- [14] SILVA, F. F. M., BERTINI, L. M., ALVES, L. A., BARBOSA, P. T., MOURA, L. F. & MACÊDO, C. S. **Implicações e possibilidades para o ensino a partir da construção de biodigestor no IFRN – Campus Apodi**. *HOLOS*, 6, 315-327, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.15628/holos.2015.3091>>
- [15] SILVA, G. M. **Estudo da confiabilidade de sistemas elétricos de potência considerando condições meteorológicas severas em cenários de alta integração de fontes de energia renováveis**. Trabalho de conclusão de curso engenharia elétrica/Araranguá. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/232869>>

# Capítulo 7

## *Utilização de águas cinzas para fins não potáveis em edificações residenciais*

*David Gabriel Pereira da Silva*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Diversos países têm mostrado forte preocupação com o aumento da população, pois esse está diretamente relacionado ao consumo de água potável, e da quantidade de efluentes e resíduos produzidos por eles. Assim, torna-se necessário buscar novos métodos para minimizar esta problemática. A pesquisa mostra a construção de um projeto para reutilização de águas cinzas provenientes do lavabo e do chuveiro de uma residência unifamiliar, as quais seriam descartadas para a rede de esgoto do município. Foi realizado um estudo bibliográfico que são discutidas definições de temas, distribuição de água nas residências, tipos de reuso e qualidade da água. Esta pesquisa foi seguida por um estudo de caso discutindo o tema do estudo bibliográfico e aplicando-o a um projeto de sistemas para uso de água cinza na descarga do vaso sanitário. Portanto, observa-se que a reutilização de águas de cinzas em uma residência tendo apenas um morador, pode ter uma economia anual de 87840 litros de água, e um impacto financeiro relativamente menor.

**Palavras-chave:** Reutilização da água,

## 1. INTRODUÇÃO

À medida que a população aumenta, maior é o consumo de água e por consequência, maior a quantidade de esgoto produzido, porém, a quantidade de água potável disponível torna-se bastante reduzida. Portanto, é necessário encontrar novas formas de utilização das águas urbanas e evitar o desgaste desse recurso. Para tanto, deve ser verificada a possibilidade de utilização de água cinza (CAVALCANTE, 2017).

A água cinza é a água produzida por meio de lavatórios e chuveiros e geralmente é descartada em redes de esgoto, porém, essa água pode ser utilizada para fins não potáveis (NOSÉ, 2008). O uso de águas cinzas pode trazer diversos benefícios ambientais e econômicos, reduzindo a produção de esgoto doméstico e protegendo melhor a fonte de abastecimento (SILVA E PEREIRA, 2021).

Ao analisarmos a situação dos recursos hídricos no Brasil, notaram-se enormes diferenças entre as regiões: cerca de 7,6% da população brasileira na região norte detém cerca de 70% dos recursos hídricos do nosso país, enquanto na região nordeste mais de 28% da população e apenas 3 % de água. A partir dessas informações, é possível perceber que a distribuição dos recursos hídricos no Brasil é heterogênea, e o abastecimento de água em regiões de alta e baixa densidade populacional são diferentes e completamente incompatíveis (CAVALCANTE, 2017).

Armazenar e tratar a água cinza para fins não potáveis pode reduzir o consumo de água potável, especialmente quando se considera o uso de água cinza para descarga do vaso sanitário. Por outro lado, mesmo que haja benefícios, é preciso conscientizar a todos, pois ainda há resistência cultural a essa prática (PARANÁ, 2015).

Diante dessas circunstâncias, apresenta-se um estudo de caso para analisar a implantação de sistemas de uso de água cinza em residências com base nos padrões de consumo da cidade de Manaus, estimando o consumo de água de 4 (quatro) habitantes.

Para garantir o abastecimento dos recursos hídricos, a utilização racional e integral dos recursos e a prevenção e defesa de grandes eventos hidrológicos, a Lei de Gestão dos Recursos Hídricos foi implantada por dispositivos constitucionais em 1988. A legislação de interesse para este trabalho é o CONAMA 430/2011, que classifica e estabelece padrões para as águas superficiais no Brasil (BRASIL, 2011).

O reaproveitamento de esgoto doméstico pode ser considerado como um método combinado de reciclagem de água e nutrientes. No entanto, sua implementação deve levar em consideração a presença de patógenos relevantes, produtos químicos e outros fatores que levem em consideração evidências científicas, como mudanças nas práticas de higiene e métodos de avaliação de risco (OMS, 2015).

Estabelecer padrões de qualidade da água de reúso para diferentes fins é um grande desafio para a promoção e reutilização da tecnologia de água de reúso. ABES (2022), apontaram que na definição padrão de qualidade e tratamento que é controversa, há uma possibilidade inquestionável de riscos à saúde.

Em geral, a qualidade da água de reúso baseia-se no princípio de que os perigos não podem exceder os valores aceitáveis. A segurança sanitária da água para reúso é frequentemente atribuída à capacidade de uma estação de tratamento de produzir águas residuais de qualidade compatível com o uso pretendido. Essa abordagem limita o projeto e a operação das instalações de tratamento a um compromisso com a saúde e a segurança. Nesse caso, o custo de processamento do sistema e o custo de reutilização do sistema serão maiores, e o nível de processamento necessário será maior.

Embora considerada uma forma de estabelecer padrões para águas residuais, é caracterizada por patógenos ou ausência de sinais de efluentes biológicos que são criticados como fragilidades por não haver risco potencial (BLUMENTHAL et al., 2000; BASTOS et al., 2008). Além disso, existem regras e procedimentos rígidos de fácil implementação não podem garantir a reutilização da água para usuários seguros, especialmente se essas recomendações não forem viáveis no ambiente local. Nesse caso, o usuário simplesmente ignora as regras e aplica técnicas de reutilização irrestrita, embora com risco.

Portanto, o desafio é estabelecer procedimentos seguros e viáveis para o reaproveitamento de água. Segundo publicação da Organização Mundial da Saúde (2006) os processos de tratamento e reúso de efluentes podem ser estabelecidos para atividades agrícolas e aquícolas. Além das recomendações para a reutilização da água tratada, também foram estabelecidos padrões de tratamento menos rigorosos. Essas recomendações são baseadas no estabelecimento de "metas de saúde", analisando as vias de contaminação (exposição direta, entradas de ar e transportadores), combinadas com medidas de proteção recomendadas (proteção de barreira múltipla). Além disso, foram estabelecidos parâmetros para análise quantitativa e medição de risco de diferentes vias de exposição.

O objetivo deste estudo é apresentar um sistema de aproveitamento de águas cinzas instalado em uma residência onde a água tratada será utilizada para descarga de vasos sanitários, demonstrando os benefícios econômicos e a viabilidade do uso de águas residuais para fornecer água mais aproveitável e reduzindo o esgoto. Para esta avaliação, foi necessário desenvolver um projeto de hidro saneamento para captação, tratamento e reuso de águas cinzas, bem como uma avaliação orçamentária do projeto proposto com vistas à viabilidade econômica, implementará o custo e preverá a economia doméstica devido à água usar.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para este trabalho, inicialmente foi realizado um estudo bibliográfico sobre o uso da água cinza para fins não potáveis. No estudo bibliográfico são discutidas definições de temas, distribuição de água nas residências, tipos de reuso e qualidade da água. Esta pesquisa foi seguida por um estudo de caso discutindo o tema do estudo bibliográfico e aplicando-o a um projeto de sistemas para uso de água cinza na descarga do vaso sanitário.

## 2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo Mello (2012), o consumo de água utilizado em uma bacia sanitária no Brasil pode ser estimado utilizando os valores médios da realidade atual. E ainda, Oliveira (2017), mostra que o consumo médio da população é fixado em 200 L / dia e sabe-se que o fluxo é acionado 3 vezes por pessoa por dia, assumindo-se finalmente uma bacia sanitária mais antiga, dependendo de 9 a 12 L / descarga. Com os valores médios observados nas pesquisas descritas neste estudo, adotou-se que a água utilizada nas bacias contribuiu com 14% do total de água da residência.

A residência usada neste trabalho possui 1 andar, 2 quartos, 1 banheiros, 1 área de serviço, 1 cozinha, 1 sala e 1 varanda. Com base nas informações acima, é possível verificar a planta baixa residencial, mostrado na Figura 1, com maior facilidade: Número total de pessoas na residência: 1 pessoa.

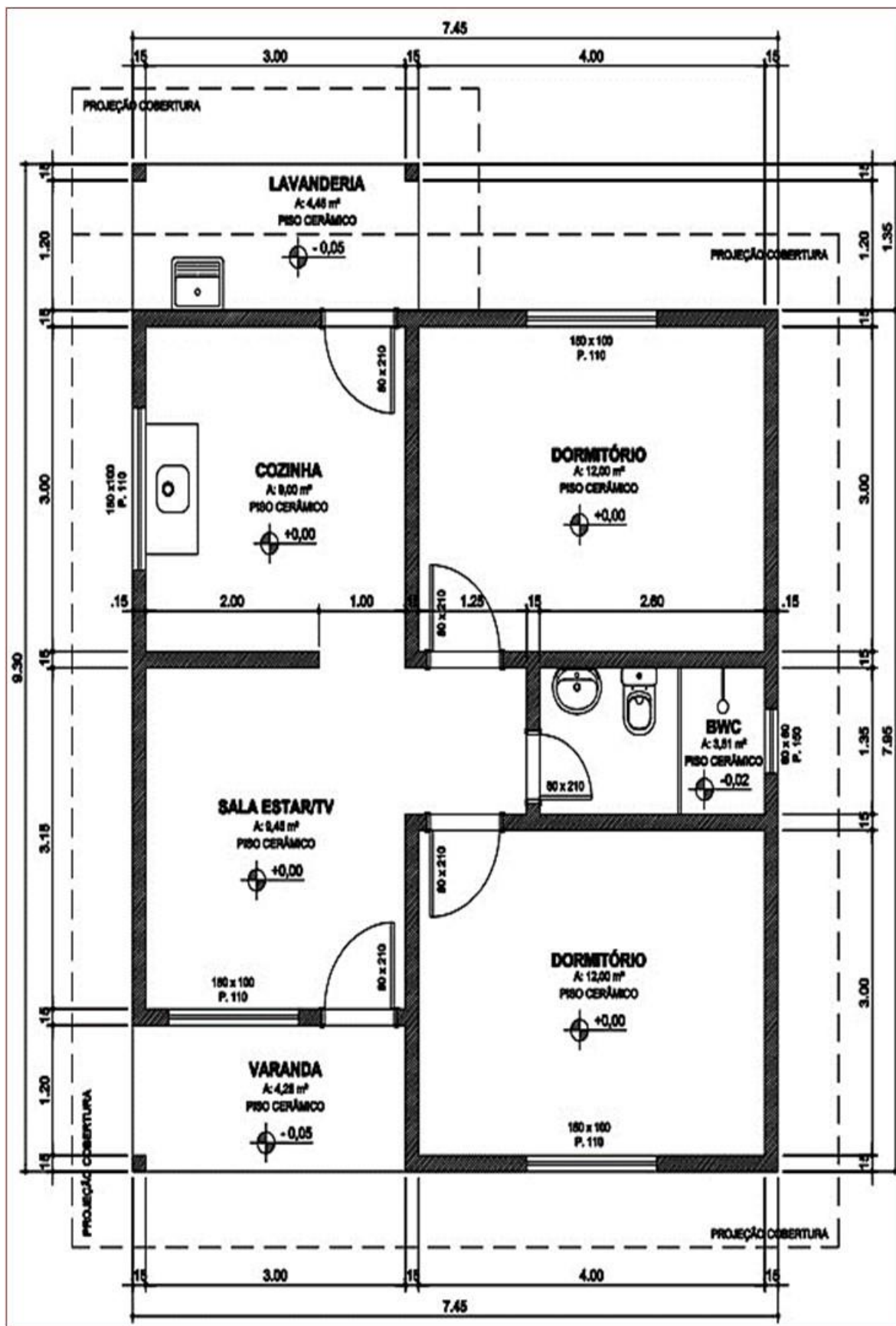
O sistema de água fria destina-se a fornecer a água tratada do tanque superior para os equipamentos sanitários fornecidos com velocidade e pressão adequadas, sem passar da água potável para a água insegura. A fim de garantir a continuidade do sistema, a taxa de transferência de cada pipeline foi estimada a partir do método de consumo máximo provável, com base no pressuposto de que o uso simultâneo de todos os dispositivos é improvável, diferente do método de consumo máximo possível considerado todos os dispositivos operando simultaneamente.

A ABNT NBR 5626: 2020 sugere o método do peso relativo para o projeto do sistema de água, consistiu em:

- a) Verificar o peso de cada dispositivo na Tabela 15 da ABNT NBR 5626: 2020;
- b) Adicione os pesos de cada equipamento conforme indicado na norma;
- c) Calcular o caudal da formulação  $Q = 0,3 \times P P (4)$ , para cada secção do tubo, para:  
Q = Fluxo estimado da secção considerada; P P = Soma dos pesos relativos de todas as partes utilizadas alimentadas pelo tubo considerado.

A fim de garantir o perfeito funcionamento do sistema de água fria, a vazão foi determinada em cada seção para dimensionar o tubo usando o método de consumo máximo provável. Para o sistema, a velocidade da água deve ser menor que 3 m/s, conforme ABNT NBR 5626: 2020, com recomendação de Oliveira (2017) de:  $V < 14 * \sqrt{D}$ .

Figura 1: Planta baixa da residência em estudo



Fonte: Autores (2022).

Dependendo da classe de uso da NBR 13.969, é necessário cumprir determinados padrões de qualidade para a água da residência. Esses parâmetros pertencem às classes 2 e 3, expressos na Tabela 01. A classe 2 dessa tabela possui uma característica de qualidade mais restritiva.

Estes parâmetros foram utilizados para atingir a água com valores de: Turvação <5 NTU; coliformes <500 NPM / 100 ml; Cloro residual > 0,5 mg / L com filtro aeróbio submerso ou tratamento LAB sugerido, seguido de filtração e desinfecção da areia. Como uma indicação da norma NBR 13969: 1997, quando foi adotado como um tratamento submersa aeróbia de filtragem, seguida por dois filtros de areia utilizadas alternadamente para permitir a digestão do material retido no final do sistema de tratamento equipada com um sistema de desinfecção por bombeamento de cloro.

De acordo com a norma ABNT NBR 13.969: 1997, a manutenção do filtro aeróbio imerso deve ser realizada periodicamente, de acordo com o manual do fabricante, para operação correta. O filtro de areia deve ser usado, mantendo a condição aeróbica em ambientes fechados. Os filtros devem funcionar em paralelo. Durante o período de descanso de um dos filtros, deve ser limpo e mantido em repouso. Depois de secar a superfície do filtro de areia, raspe e remova o material depositado na superfície com uma pequena camada de areia (0,02 m a 0,05 m). A camada de areia removida deve ser substituída imediatamente por areia limpa com características semelhantes às removidas. Qualquer vegetação na superfície do filtro deve ser removida imediatamente.

Segundo May (2008), o sistema de reutilização de uma residência consiste em coletores, armazenamento e tratamento.

- Manifolds: sistema de condutores que transporta os efluentes dos chuveiros, pias e lavadoras para o sistema de armazenamento onde os efluentes serão tratados adequadamente.
- Armazenamento: composto de tanque (s) de armazenamento para armazenar a água coletada. Para dimensionar o tanque, é extremamente importante encontrar um equilíbrio entre o volume gerado e a demanda a ser satisfeita porque a produção de águas cinzas ocorre durante um curto período, enquanto a demanda pela descarga do banheiro é distribuída durante o dia.
- Tratamento: definido após análise da quantidade de água coletada e do uso final, sua escolha é decisiva para o sucesso da empresa; sua designação deve, portanto, basear-se nas características do efluente. O sistema de tratamento de água cinza deve ser dimensionado de acordo com as instruções da NBR 13969.

Com os quatro projetos executivos desenvolvidos neste trabalho, foi possível definir seus custos através de orçamentos. Para sua elaboração, a tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) de abril de 2017 foi utilizada como ferramenta orçamentária. Com os orçamentos em mãos, só é possível fazer uma comparação.

A comparação é feita entre os custos de execução de projetos hidráulicos e sanitários tradicionais; com os custos de implementação, tratamento e manutenção do sistema de reutilização de águas cinzas; com os custos de implementação, tratamento e manutenção do sistema de águas cinzas.

Finalmente, uma análise comparativa é feita. De posse de um valor volumétrico e salvo com base nas taxas de Cagepa (Agência Nacional de Paraíba água), é possível definir no horizonte de tempo do projeto levará para investimentos em reutilização de água da chuva e sistemas de uso são rentáveis.

## 2.2. MATERIAIS DO PROJETO

A Tabela 1 mostra os materiais que serão utilizados na construção do sistema para utilização de água cinza em vasos sanitários. Esses valores são de uma média de custo para residências que ainda estão em fase de execução na cidade de Manaus.

**Tabela 1:** Média orçamento quantitativo

Materiais	Quantidade	Valor und	Valor total
Mão de obra	-	R\$ 500,00	R\$ 500,00
Tubulação/conexões	M/und	R\$400,00	R\$400,00
Filtro separador de sólidos	1 und	R\$ 35,90	R\$ 35,90
Válvula separadora	1 und	R\$ 40,75	R\$ 40,75
Caixa de polietileno 500L	3 und	R\$ 184,90	R\$ 554,70
Bomba de circulação	1 und	R\$250,50	R\$ 250,50
Decantador e filtro de Areia/carvão	1 und	R\$1200,00	R\$1200,00
Bomba de recalque	1 und	R\$528,20	R\$528,50
<b>Total</b>			<b>R\$3.510,35</b>

Fonte: Autores (2022)

## 3. RESULTADOS

### 3.1. MANUTENÇÃO E CUSTOS MENSIS DO SISTEMA DE UTILIZAÇÃO DE ÁGUA CINZA

A Tabela 2 mostra o período em que se deve fazer a manutenção do sistema de utilização de águas cinza. Dependendo do tipo de material a manutenção é feita apenas quando houver necessidade de troca ou reparo. Verifica-se na Tabela 2 que o filtro separador de sólidos e o decantador e filtros de areia/carvão/brita possui um período de manutenção de 6 meses, pois devido a fragilidade do material, este não suporta o uso contínuo. Em relação a caixa de polietileno, a limpeza, verificações de fissuras, e manutenção em geral são realizadas anualmente, pois assim evita que o projeto tenha problemas maiores.

**Tabela 2:** Frequência de Manutenção

Materiais	Tempo de manutenção
Filtro separador de sólidos	Semestral
Caixa polietileno 500L	Anual
Decantador e filtros de areia/carvão/brita	Semestral
Outros	Quando houver necessidade

Fonte: Modificado da ABNT -NBR 15527/2001

### 3.2. CONSUMOS DO SISTEMA DE UTILIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZAS

A Tabela 3 mostra as despesas geradas pelo sistema de utilização de água cinza em um mês. Dados retirados da Companhia Paranaense de Energia – Copel. Assim, verifica-se que a bomba de recalque e a bomba de circulação tem um valor de R\$ 0.6674 por cada unidade e o cloro tem um valor de R\$ 3.04. O custo de funcionamento do sistema de água cinza em um mês é de R\$ 17,80, onde esse valor será abatido dentro da margem de lucro gerado pela economia de água potável.

**Tabela 3:** Despesa mensal

Item	Quantidade	Valor und	Valor total
Bomba de recalque	2.40 kw/h	R\$ 0.6674	R\$ 1.60
Bomba de circulação	1.50 kw/h	R\$ 0.6674	R\$ 1.00
Cloro	5 litros	R\$ 3.04	R\$ 15.20
Total			R\$ 17.80

Fonte: Autores (2022)

### 3.3. CÁLCULO DO REÚSO DAS ÁGUAS CINZA

As águas cinzas que serão utilizadas são provenientes do lavabo e chuveiro do banheiro. Os aspectos quantitativos em relação à produção e demanda de água cinza, relacionam-se diretamente com o consumo de água dentro das residências, que variam de acordo com a região, com o clima e com os costumes da população.

Para o cálculo da demanda de água cinza, foram utilizadas as vazões observadas na tabela 4. Essas vazões estipuladas foram calculadas para uma residência composta por quatro pessoas, onde é possível observar que o lavabo sendo utilizado 2 min/dia tem uma vazão de 2L/min de água potável e o chuveiro elétrico convencional com 10 min/dia de consumo tem três vezes mais consumo que o lavabo.

**Tabela 4:** Vazão e demanda da água cinza

Lavabo	Chuveiro Elétrico Convencional
2 min/dia	10 min/dia
2 L/min	7 L/min

Fonte: Companhia de Saneamento de Manaus

Por meio destas vazões pode ser calculada a quantidade total de água a ser produzida para o reúso. Obteve-se o número de moradores da residência (N), vazão de contribuição do setor (q), tempo de uso (t) e frequência de utilização (f). Para isso foram utilizadas as equações observadas na Tabela 5 para podermos chegar a um consumo total por ano de água potável

**Tabela 5:** Chuveiro e vaso sanitário

Sector de contribuição	Equação
Lavabo	$Q = N \times q \times t \times f$
Chuveiro	$Q = N \times q \times t \times f$
Vaso Sanitário	$Q = F \times q \times N$

Fonte: Adaptado de Mello (2012).

### 3.4. CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA POR PESSOA

Para calcular o consumo médio de água para uma pessoa foi considerado para o lavabo a frequência de utilização de oito vezes por dia. A equação abaixo pode se estimar o consumo per capita através da Equação 1

$$Q = N \times Q \times T \times F \quad \text{Eq. (1)}$$

Sendo: N o número de pessoas (1), Q é dado como vazão de contribuição (2 L/min); T é tempo de utilização (2 min/dia) e F é a frequência (8 vezes/dia).

Substituindo as incógnitas pode-se obter uma vazão de consumo por pessoa de 32 L/d.

Para o cálculo do consumo médio por pessoa em relação ao chuveiro, pode-se utilizar a mesma equação acima, porém os valores das incógnitas são diferentes, sendo: N é o número de pessoas (1); Q é a vazão de contribuição (7 L/min); T é o tempo de utilização (10 min/dia) e F é a frequência (2 vezes/dia).

Através dos cálculos foi possível obter uma vazão média de 140 L/d.

O consumo de água que será utilizado em descargas de vasos sanitários pode ser calculado pela multiplicação da frequência de uso pela vazão de cada utilização, conforme a equação 2.

$$Q = F \times q \times N \quad \text{Equação 2}$$

Sendo: N o número de pessoas (1); Q é a vazão total de consumo; F é a frequência de utilização (6 descargas/dia); q é a vazão de utilização (12 l/descarga);

Pode-se dizer que o consumo de água utilizada nas bacias sanitárias por pessoa é de 72L/dia.

A tabela 6 irá mostrar a quantidade de água consumida, por apenas uma pessoa, em um dia, durante um mês e anual. Pode-se verificar com essa tabela que uma pessoa consome bem mais no uso do chuveiro, em segundo lugar o vaso sanitário e, por fim, o lavabo. De acordo com os resultados obtidos, com a pesquisa feita, em relação ao consumo de água em uma residência, foi possível observar que por ano uma pessoa gasta em média 87840 litro de água. Sendo assim, o consumo mensal por pessoa é de 7320 L/m<sup>3</sup> e, de acordo com o site Águas de Manaus (ae), o valor a ser pago é calculado com base no consumo mensal x tarifa de água x tarifa de esgoto que ambas tarifas são de R\$/m<sup>3</sup> 4,380 e obtém-se o valor de R\$ 64,12 por mês à concessionária Águas de Manaus (ae).

**Tabela 6:** Consumo diário, mensal e anual de água

Setor de contribuição	Consumo diário (L/d)	Consumo mensal (L/m)	Consumo anual (L/a)
Lavabo	32	960	11520
Chuveiro	140	4200	50400
Vaso Sanitário	72	2160	25920
Total:	244	7320	87840

Fonte: Adaptado de Mello (2012)

## 4. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado mostra o projeto de um sistema de tratamento de águas cinzas em uma residência unifamiliar. Para as medidas de implementação deste tipo de sistema, é necessário primeiro sensibilizar a sociedade civil para uma maior responsabilidade na gestão dos recursos hídricos. Vários relatórios de escassez de água em todo o mundo são uma solução possível para resolver problemas de crise de água.

O uso de água potável para a descarga do banheiro, irrigação e lavagem da área impregnada tem sido apresentado como um desperdício, e cabe ao público usar meios adequados para evitar o uso desta água, substituindo-a por água de qualidade inferior, atende aos padrões exigidos.

Com a reutilização de águas de cinzas, é possível observar que em uma residência tendo apenas um morador, pode ter uma economia anual de 87840 litros de água, e um impacto financeiro relativamente bom para os gastos. Contudo, algumas regras devem ser seguidas para manter um bom padrão na qualidade da água reaproveitada, como: Não urinar no banho; ao se cortar não lavar a mão na pia do banheiro; evitar jogar dejetos, sendo orgânico ou não, na pia do banheiro.

O sistema de abastecimento de água não potável, uma vez concluído antes de a construção da residência se tornar mais acessível, não requer qualquer renovação, o que facilita a reconciliação dos projetos com os engenheiros e arquitetos responsáveis. É necessário que os corpos desenvolvam um padrão para auxiliar os profissionais, pois os padrões disponíveis são antigos e diferentes assuntos em que é necessário fazer uma adaptação ao tema estudado.

Seria interessante que o governo propusesse leis sobre incentivos para residências com sistemas de reúso de água, com incentivos fiscais ou redução de contas de água. De fato, a barreira financeira garante que os investimentos não sejam feitos porque eles não analisam os benefícios, mas apenas os custos.

## REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). **Brazil Water Week**: especialistas abordam reúso de água como estratégia para aumento da resiliência hídrica nas cidades inteligentes. Revista DAE, SABESP, São Paulo, n.167, set/out 2022.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-do-espírito-santo/hidraulica/nbr-5626-2020-sistemas-prediais-agua-fria-e-agua-quente/9478034>. Acesso em: 25 mai. 2022.
- [3] BASTOS, R.K.X.; KIPERSHOF, A.; CHERNICHARO, C.A.de L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L.O.; SPERLING, M.V.; AISSE, M.M.; BEVILACQUA, P.D.; PIVELLI, R.P. Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil – utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE. SABESP**. São Paulo, Maio/2008, não paginado.
- [4] BLUMENTHAL, U.J.; PEASEY A.; RUIZ-PALACIOS G.; MARA D.D. **Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture**: recommended revisions based on new research evidence. London: WELL, 2000.
- [5] BRASIL. Ministério do Planejamento, **Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades. 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv62894.pdf>. Acesso em: 01 maio 2022.
- [6] CAVALCANTE, G. F. F. **Implantação de sistemas se uso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em residencial multifamiliar de pequeno porte**. 2017. 94 f. TCC (Graduação) – Curso de

Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

- [7] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2017. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366?ano=2017>. Acesso em: 01 maio 2022.
- [8] LEGISLAÇÃO E TARIFAS. **Águas de Manaus (ae)**. Disponível em: <https://www.aguasdemanaus.com.br/legislacao-e-tarifas/&ved=2ahUKEwi10ZuZ2rT4AhXXtpUCHTa5ATMQFnoECBgQBQ&usg=AOvVaw2Z8y6bqIEun5X2dNWXBm70>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- [9] MAY, Simone. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. São Paulo, abr. 2004
- [10] NOSÉ, Daniel. **Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinza em condomínios residenciais**. 2008. 138 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.
- [11] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Planejamento da segurança do Saneamento. **Manual para o uso e eliminação segura de águas residuais, águas cinzentas e dejetos**. 2015. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/171753/9789248549243-por.pdf;jsessionid=EDB5046BCCF16EAD53DA263EBC3899C4?sequence=5>. Acesso em: 01 maio 2022.
- [12] PARANÁ. Sanepar. **Tabelas de Tarifas de Saneamento Básico**. Contas emitidas a partir de setembro de 2015: Contas emitidas a partir de setembro de 2015. Disponível: <<http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/clientes2012/dcretotabelaset2015.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2022.
- [13] SELLA, Marcelino Blacene. **Reúso de águas cinza: avaliação da viabilidade de implantação do sistema em residências**. 2011. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- [14] SILVA, D. P. M.; PEREIRA, I. N. A. **Análise da reutilização de águas cinzas para fins não potáveis**. Brazilian Journal of Development, v.7, n.7, p.72853-72869, 2021 Disponível em: <10.34117/bjdv7n7-454>

# Capítulo 8

## *Projeto de implementação da NBR5410 em uma unidade consumidora de baixa tensão (BT)*

*Everton Oliveira da Fonseca*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** O projeto teve como objetivo implementar e adequar a unidade consumidora na NBR5410, em uma Panificadora na cidade de Manaus/AM. Para isso, primeiramente foi analisada a instalação anterior, em busca das possíveis falhas na instalação e por fim adequar a norma. Para isso foram usados todos os cálculos de tensão e corrente apresentados na NBR5410, os dimensionamentos dos circuitos, análise de planta, e entre os mesmo a correção por parte de alguns componentes. Após a adequação as normas os equipamentos da Panificadora puderam ser utilizados com segurança sem perigos de sobrecarga e incêncios.

**Palavra-chave:** NBR5410; Adequação as Normas; Instalações Elétricas.

## 1. INTRODUÇÃO

As instalações elétricas são essenciais e necessárias atualmente e para que essas sejam realizadas com conforto e segurança elas precisam seguir as normas reguladoras. As normas foram criadas por um conjunto de especialistas e tiveram sua primeira versão em 1941. Mas foi somente com a NBR5410/2004 a norma estabeleceu regulamentações para reformas e em futuras instalações com circuitos elétricos com tensão igual ou inferior 1000 Volts corrente alternada e 1500 Volts corrente contínua, permitindo instalações seguras e de funcionamento adequado (JARDIM e PIMENTEL, 2021).

Além das instalações elétricas, para que os equipamentos elétricos funcionem de forma segura e correta eles precisam igualmente adequar-se à norma. Elas por sua vez determinam os requisitos necessários para que não exista sinistros, nem ofereça riscos de acidentes às pessoas e o recinto, sendo eles irreversíveis (ROCHA, 2021). Sempre que houver uma adequação e a implementação da norma, será necessário realizar um levantamento dos procedimentos que serão adotados, para que as instalações elétricas de baixa tensão sejam dimensionadas e ao mesmo tempo, estejam de acordo a Norma Brasileira (NBR5410, 2004). Atualmente, o que ainda prevalece é a mão de obra mais acessíveis, com profissionais não capacitados, onde os mesmos na sua projeção não respeitam a maioria das vezes a norma, conjuntamente trazendo principais requisitos para então o acidente com eletricidade (ABRACOPEL, 2021).

Para a elaboração de um projeto em uma unidade consumidora devem ser levantadas, propostas de correção á inconformidades, como também, análise de todo os seus circuitos e o orçamento dos materiais que seriam necessários para á adequação, onde foi constatado diversos elementos não de acordo com a norma, precisando se ser regularizada. Na ausência de alguns dispositivos de segurança de proteção como disjuntores, haste de aterramento, DPS, quaisquer partes desempenhadas do projeto que irá ser consumado, serão comprometido por não estar em conformidade com a norma, resultando nas suas imediatas correções. Evidenciam também que o projeto estaria ainda mais comprometido e que de forma crescente o risco de incêndios se elevaria ao local, caso não reparada (NBR5410, 2004).

Indispensavelmente as irregularidades técnicas que causam maiores índices de incêndio em instalações elétricas, são emendas mal conectadas, fios expostos ou sem revestimentos, condutores antiquado, condutores com a carga não aceita para o que foi inicialmente projetado e como também perda do isolamento do condutor por fatores externos, desencadeando grandes riscos (JUNKES et al., 2014)

Segundo ROCHA (2021) existem várias formas de se produzir energia elétrica, sendo elas renováveis e não renováveis, entretanto devemos ficar em alerta sobre a forma que iremos consumir essa energia, utilizando-a de forma segura e correta. Por conta disso, a situação danificou os condutores com fatores externos, como equipamentos pontiagudos e layouts inapropriados. E foi abordada a seguinte dúvida até que momento essas anomalias seriam supridas, sendo que um futuro bem breve poderia causar um incêndio até mesmo colocado em risco a vida de colaboradores e frequentadores do local, por estes condutores estarem expostos, caso alguma pessoa viesse a receber um choque elétrico.

Como uma forma de mensurar acidentes com eletricidades, ABRACOPEL elabora a cada ano um gráfico estatístico com acidentes de origem elétrica, para então alertar e conscientizar o perigo da eletricidade, os critérios utilizados pela associação são em específicos os acidentes com choque elétrico, instalações com circuitos sobrecarregados

e dimensionamento indevido, como também acidentes com descargas atmosféricas de força maior (ABRACOPEL, 2021).

Uma das ressalvas abordada pelo consumidor, ou seja, o proprietário pelo estabelecimento, que suas lâmpadas e alguns de seus equipamentos estavam queimando apesar de poucos tempos de uso, e buscava se uma solução técnica pois estava tendo perdas. Portanto neste projeto que iremos realizar nas instalações elétricas da panificadora de pequeno porte, estarmos capacitados e autorizados e com os devidos equipamentos de proteção individual e coletivos e com ferramentas adequadas para serviços elétricos, conforme a NR10 impõe para devidos fins.

Por fim, o seguinte trabalho apresenta o desenvolvimento de um projeto de uma panificadora com fins de adequar-se a norma, tratando se uma unidade consumidora que estava irregular e com muitas anomalias a ser corrigidas, o projeto onde posteriormente implantado, trará uma segurança ao local e a pessoas que nela frequentam e indiretamente a economia ao final de cada mês decorrente.

## 2. MATERIAL E METODOS

Este projeto mostrará a implementação da NBR5410 em uma panificadora na cidade de Manaus estado do Amazonas, onde ela se encontrava fora dos parâmetros e com instalações sem seguir o padrão exigido da norma de instalações elétrica de baixa tensão. Além de fazer com que ela tivesse de acordo com a norma, certamente com o seu funcionamento adequado, conservando os bens materiais e a suas instalações.

### 2.1. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Primeiramente, foi realizada o estudo de antecipação da carga que será consumida pela Panificadora, de acordo com a norma, com os seus respectivos componentes, como a distinção de cada carga por seus respectivos circuitos, pontos de consumo da energia, seccionamento dos condutores, aterramento convergente com a distribuição, ligação dos condutores.

Embora a projeção da instalação elétrica da unidade consumidora tem fins de adequação a norma, para que seja possível os alertas de acidente que poderiam ser evitados, com os seus determinados preceitos de conduzir os consumidores a ter seus devidos equipamentos de proteção. A Tabela 1 mostra a lista dos principais equipamentos domésticos e a quantidade de acidentes ocorridos com os mesmos (ABRACOPEL, 2021).

**Tabela 1:** Principais equipamentos elétricos causadores de acidentes com choques elétricos com fatalidade em ordem decrescente.

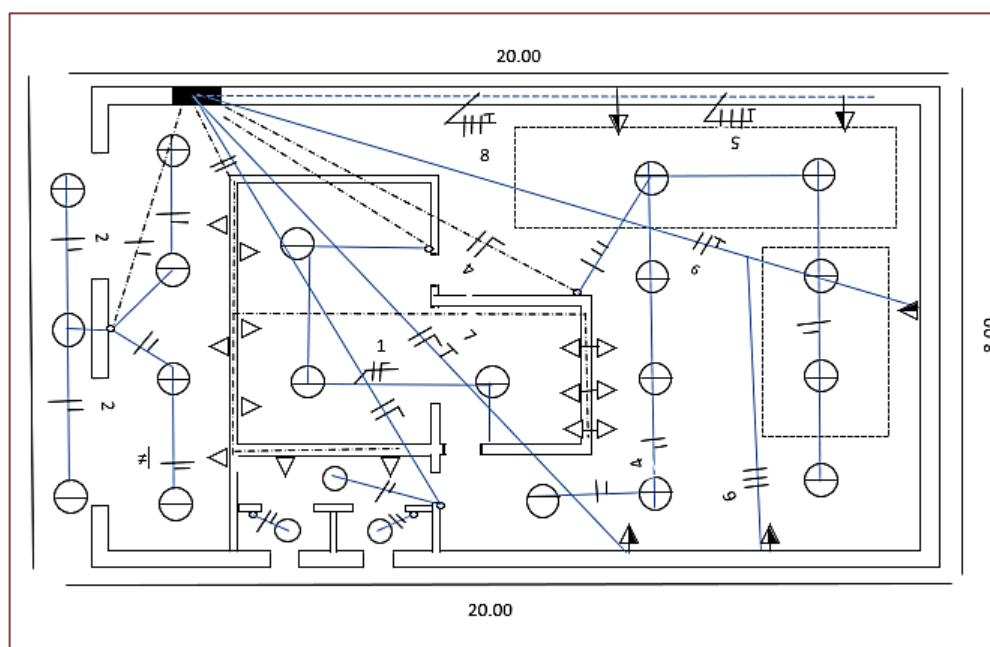
Equipamentos	Total de Acidentes	Total de Acidentes Fatais
Máquinas de lavar	19	19
Carregador de celular	21	18
Geladeira/Freezer/Frigobar	7	7
Ar-condicionado/ ventilador	8	5
Secador de cabelo/chapinha	3	3
Forno micro-ondas	2	2

Fonte: ABRACOPEL (2021)

O projeto foi dado início através de uma análise da planta baixa, apresentada na Figura 1, ou seja, com as medidas coletadas de todos os cômodos, portas, janelas, banheiros e até mesmo alguns itens da parte elétricas, para se ter exatidão no decorrer da execução e até mesmo evitando perdas de matérias e trazendo economia ao projeto.

Posteriormente, foi elaborada uma análise em todos os circuitos, constatando-se aqueles que estavam sobrecarregados, quais estavam com condutores danificados, o que precisaria ser substituído e quais precisariam ser redimensionados, para tal realização, precisou ser usado um alicate amperímetro, para se coletar a amperagem e voltagem se estavam regulares. Verificou-se que a fase estava sobrecarregada em relação as demais depois do medidor da unidade consumidora e se precisaria trocar os condutores, que então, só poderia ser substituído após a execução da parte interna, cálculo de demanda, a carga total consumida.

**Figura 1:** Planta baixa da unidade consumidora.



Fonte: Autores (2022).

Conforme visto na planta baixa, elas mostram as dimensões da unidade consumidora de energia, com a parte elétrica em simbologia, por ela se revela, quantos circuitos elétricos são existentes, tipo de conduíte, mostrando quais se encontram em solo e quais os circuitos que estão com os eletrodutos embutidos na laje da padaria, interruptores e demais componentes como mostra a Figura 2.

**Figura 2:** Legenda e simbologia da planta baixa.



Fonte: Autores (2022)

A segunda etapa compõe se em coletar as principais informações do proprietário e dos funcionários do local, capazes de proporcionar de forma compreensivos os predominantes problemas, além disso, constatar anomalias do seu padrão da concessionaria, com referências para o seu padrão de entrada e ramal de ligação.

Se tratando dos equipamentos industriais, sus respecticvas informações foram coletadas em etiquetas do equipamento e tambem ao site do fabricante. Onde foram coletada as potências individuais de cada equipamento como, a tensão em que se trabalha, o seu consumo por hora, mas que tambem foram revisado o calculo para averiguação se o equipamento estava conforme, ou se estava apresentando alguma anomalia em que podia impactar na instalação elétrica da unidade consumidora, as figuras utilizadas foram retiradas do site do fabricante pois ainda no decorrer do projeto os equipamentos ainda não tinham chegado e de acordo com a tabela abaixo foram as especificações dos equipamentos.

**Quadro 1:** Equipamentos industriais utilizados em padaria.

	<b>FORNO ELÉTRICO 10 - ASSADEIRA FTE 300;</b> Marca G. PANIZ; Voltagem: 220 V; Fase: trifásico; Potência (w): 18.700w; Consumo: 7,4 KW/H; Amperagem do plug da tomada:20A.
	<b>MASSADEIRA RAPIDA;</b> Marca: G. PANIZ; Voltagem: 220v; Fase: trifásico; Potência (w): 3680w; Potência (cv): 5 cv; Consumo: 2,1 kw/h.
	<b>CILINDRO ELETRICO CS 500</b> Marca: G. PANIZ; Voltagem: 220v; Potência (w): 2200w; Potência (cv): 3cv; Fase: trifásico; Consumo: 2,8 kw/h.
	<b>MODELADORA DE PÃO;</b> Marca: G. PANIZ; Modelo: mps-350; Voltagem: 127v; Fase: monofásico; Potência (w): 184w; Potência (cv): 1/4cv; Consumo: 0,35 kw/h; Amperagem do plug da tomada: 20ª.

Fonte: PANIZ (2021).

## 2.2. TENSÃO ELETRICA

A tensão elétrica que também é conhecida como um diferencial de potencial, é o diferencial potencial elétrico entre dois pontos, onde também é diferença em energia potencial sendo eles conformem ou inconformes. Tratando se que eles sejam iguais o seu diferencial potencial será resultante em 0V. Caso o potencial entre os dois pontos diferentes a sua resultante será diferente de zero, conseqüentemente haverá uma diferença de potencial, onde sua variável e medida em volts (CREDER, 2014).

Independentemente por quem está usando a tensão, a sua unidade de medidas é em Volts representado pelas letras V, U e a letra E, ainda que também pode ser representada pela sigla DDP (diferença de potencial). A tensão conforme a 1º lei de Ohms, poderá ser encontrada a partir da potência elétrica dividida pela corrente elétrica.

$$V = \frac{P}{I} \quad \text{Eq.(1)}$$

$$V = R * I \quad \text{Eq.(2)}$$

Onde, V é a tensão elétrica; P é a potencia elétrica; I, é a corrente elétrica; e R, resistencia elétrica

Para o cálculo da corrente elétrica que decorre pois a sua tensão na varia e não se altera, sempre de forma estável, otimos para circuitos eletronicos onde os componentes são mais delicados, designa se corrente continua de forma abreviada CC. Sendo a frequencia da localidade da padaria se estar por 60hz, por ser uma padronização nacional brasileira (Equação 3).

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Eq.(3)}$$

Onde, I, é a Corrente elétrica; V, a tensão elétrica; R, a resistencia elétrica ( $R = V * I$ ). Ainda, a potência elétrica foi determinada por,  $P = V * I$ . Durante o processo de estruturação do projeto não foi falado sobre a variação da tensão da rede da concessionaria, visto que ao redor da localidade se encontrava muitas residencias e comercios com ligação elétrica clandestina da concessionaria. Onde fazia que ocorresse esse desequilibrio da potencia do transformador, por a concessionaria local não ter conhecimento e ter em banco de dados essas residencias vizinhas o transformador estava mal dimensionado.

Visto que um transformador mal dimensionado para a rede eletrica, possa acarretar em queimas de aparelho eletronicos, equipamentos e demais componentes, causando dono ao proprietario desses equipamentos. Alguns desses equipamentos da padaria sofreram esse dano exclusivamente por causas dessas anomalias, por variações de tensão, o equipamento que foi projetado para receber essa devidas projeções eletricas, não estavam consumindo da forma que especifica o fornecedor e acabavam queimando.

## 2.3. FERRAMENTAS

Para então fazer o manuseio da parte elétrica necessariamente, se tem de fazer utilização de ferramentas adequadas para, então se ter segurança e eficiência na realização do projeto. Sendo que todas elas devem ter certificação para serviços elétricos

de até 1000 Volts. Na tabela abaixo serão descritas as principais ferramentas a serem utilizadas no projeto, apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2:** ferramentas de utilização no projeto.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chave Philips é usada para apertar ou afrouxar parafusos do tipo fenda cruzada;</li> <li>- Chave de fenda serve para apertar ou afrouxar parafusos;</li> <li>- Chave inglesa é ótima para aplicar torque girando parafusos e porcas de padrão sextavado;</li> <li>- Os alicates da figura ao lado, são de corte e universal, o alicate de corte sua principal função é cortar, já o alicate universal é o mais comum e o mais utilizado tanto em uso profissional quanto doméstico.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alicate amperímetro CAT III: serve para a medição da corrente elétrica, sua função é importante para verificar se a energia elétrica que está passando por aquele componente está de acordo com o esperado.</li> </ul>
	<p>Caneta detectora de tensão, dispositivo eletroeletrônico, responsável para realizar a detecção dos circuitos de forma não intrusiva, sem descascar os condutores.</p>
	<p>Cinto paraquedista, equipamento de segurança para serviços em altura, foi utilizado para os serviços realizados na rede da concessionária a ligação da unidade consumidora.</p>
	<p>Luvas de cobertura é um epi para os serviços elétricos, foi utilizada para o manuseio dos condutores energizados. Execução nos cortes e ligação da rede da concessionária.</p>
	<p>Botina de segurança para serviços elétricos com certificado de aprovação, auxilia na realização dos serviços com eletricidade, assim como a luva muito importante na realização das atividades com eletricidade.</p>

Fonte: Autores (2022).

Para então podermos fazer medições no quadro de distribuição, utilizamos o alicate amperímetro de categoria III, seguindo o que a norma nos orienta, para então ressaltarmos e para o melhor entendimento, o equipamento de categoria II é apropriado para somente medições em tomadas de corrente em residências e edificações, enquanto o de categoria III, poderá ser utilizado tanto para a medição de tomadas com para a eletricidade residencial quanto em quadros de distribuição, quanto maior categoria, maior a segurança em relação a execução do serviço.

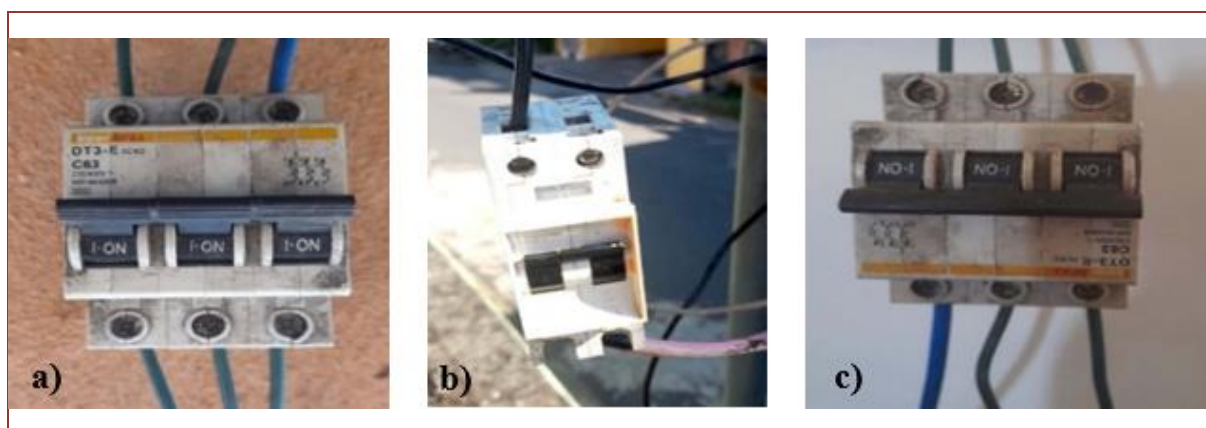
O alicate amperímetro teve por finalidade estarmos medindo em tempo real os circuitos onde se encontrava no quadro, verificarmos e ter convicção quais estavam mal dimensionados e sobrecarregados, onde poderia ter uma anomalia e fugas de corrente.

Primeiramente fizemos medição no ramal de ligação da unidade consumidora e verificamos quais fases poderia estar sobrecarregadas, e qual também estaria com pouco consumo, em seguida fizemos medições em alguns equipamentos, com finalidade de se haveria algum com fuga de corrente, condutores mal dimensionado, condutor mal seccionado com o equipamento e dispositivos de proteção, como disjuntores se estavam de acordo com a carga consumida, umas dessa análise foram registradas.

Conforme as medidas realizadas, analisamos quais condutores precisaria ser feita as devidas correções, visto que alguns desses condutores já tinham perdido a eficácia do seu isolamento por aquecimento e outros por se tratar que eram condutores antigo, mais de 10 anos, implantados ainda na minha primeira instalação elétrica e quando a panificadora se tratava de uma residência, além de observar que ao longo do tempo foram feitas as modificações de forma impropria, já que quem fazia as modificações não tinha o estudo técnico e ainda mais o conhecimento da norma NBR5410, que orienta sobre as instalações elétricas.

A edificação conforme foi especificado, se tratava de uma residência que passou a ter o seu consumo na forma industrial, equipamentos de potências maiores, foram acrescentados em seu circuitos, que os mesmos foram sendo adaptados de forma inapropriado, alguns desses circuitos, passaram a ser mal dimensionado e até mesmo sobrecarregados, visto que a bitola desses condutores não foram elevados, aumentado as suas milimetragem. Disjuntores assim como condutores, ficaram mal dimensionados, alguns disparava quando, mais de um equipamento era acionados, como mostra a Figura 2.

**Figura 2:** Registro de disjuntores irregulares



Fonte: Autores (2022).

## 2.4. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGAS E CIRCUITOS TERMINAIS

### 2.4.1. DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICOS

Embora exista dois tipos de disjuntores, seja ele europeu ou americano, os mesmos fazem as mesmas funções, e agem em caso haja uma sobrecarga no circuito, quando aumenta uma corrente maior do que ele permite, de forma termomagnética o mesmo secciona desalimentando o circuito da mesma forma ele age quando se tem um curto circuito.

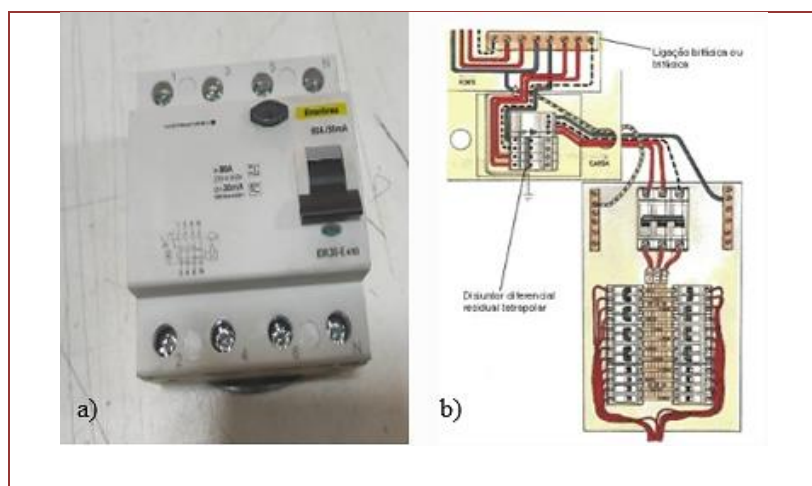
As amperagens do disjuntor foi definida conforme a carga instalada, com todos os dimensionamentos dos condutores e as suas respectivas potências de carga, e com o seu fator de demanda da concessionária local. Um dimensionamento correto além de trazer economia ao cliente em que se está realizando a adequação, Também se fez trazer segurança ao local e as pessoas que ali frequentam, pois assim que o circuito estiver em alguma possível anomalia, o disjuntor bem dimensionado irá realizar o seu trabalho de forma segura e eficiente também.

#### 2.4.2. DISPOSITIVO DIFERENCIAL RESIDUAL (DR)

É um dispositivo de proteção contra choques elétricos, o componente atua, quando houve uma diferença de potencial, ou seja quando alguma pessoa estiver recebendo um choque elétrico nos circuitos que ele estiver atuando, o dispositivo entra em execução quando estiver havendo a fuga da corrente, abrindo o circuito, deixando de alimentar componentes que neles estão conectados.

Como o projeto se trata de uma instalação elétrica, é essencial um quadro de distribuição na instalação. O quadro de distribuição, conhecido como quadro de força é componente onde toda as fiações dos circuitos irão passar, o quadro de distribuição recebe a energia da concessionária e através deles se faz a divisão dos circuitos com os seus respectivos disjuntores, nele se encontra todos os dispositivos seccionadores de proteção, condutores elétricos e de aterramento, e no mesmo que se consegue refazer o dimensionamento para que a fase não fique sobrecarregada, e também circuitos fiquem mal dimensionados vejamos um exemplo tratando de um quadro com carga trifásica (Figura 3).

**Figura 3:** a) Dispositivo diferencial residual b) Quadro de Distribuição Trifásica.



Fontes: a) Autores (2022); b) Amazonas Energia (2014)

### 3. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos e cálculos necessários para adequação da instalação elétrica de uma Panificadora a norma NBR5410. Para se ter melhor entendimento, alguns dos equipamentos, são de alimentação monofásica e outros

são de alimentação bifásica, ou seja as fórmulas apresentadas na seção anterior se alteram conforme a tensão do equipamento.

Além disso, existem equipamentos com motores indutivos que foram coletados e seus respectivos fatores de demanda para obtenção da corrente nominal. Obtendo a transformação de potência mecânica para potência elétrica por  $PW = CV * 736$ , para a transformação de btus para potência elétrica de  $PW = 0,293 * btus$ . Usando a equação foram obtidas as correntes que não estavam em conformidade a NBR5410 e a Norma Regulamentadora 10 – NR10, o Quadro 4, apresenta um grande potencial de risco para quem esteja envolvido direta ou indiretamente com essa instalação (JUNKES et al., 2014).

Realizados os cálculos de demanda, e dando prosseguimento ao estudo, foi realizado um levantamento de carga com todos os equipamentos em funcionamento para que fosse possível conhecer a amperagem que estava passando pelos condutores. Foram analisados igualmente os circuitos, os quais estavam sobrecarregados fora dos parâmetros exigidos pelas normas, e ainda, os disjuntores estavam irregulares e não estavam realizando os seus respectivos trabalhos.

Após o levantamento de carga e as análises, foram realizados desligamentos de todos os equipamentos das tomadas para que fosse e foram desligadas as lâmpadas sem o desligamento do disjuntor geral para que assim, fosse possível detectar as fugas de correntes. Em seguida, foi realizada a verificação de forma técnica, por meio de alicate amperímetro na parte externa da Panificadora. Onde a perda por fuga de corrente variava entre 7A a 13,5A uma perda razoável mas que se dava uma diferença em valor na tarifa da concessionária.

**Quadro 4:** Cálculo de Potência dos Circuitos

Circuito 1 - Iluminação e tomadas do escritório.	
3 Lâmpadas de 28W $3 * 28 = 84w$ 7 Tomadas de uso geral de 1200W $7 * 1200 = 8.400w$ Potência total do circuito 1 $Pt = 84w + 8.400w = 8484W$	Iluminação escritório. $I = \frac{84}{127} = 0,6A$ Tomadas de uso geral. $I = \frac{8.400}{127} = 66,14A$
Circuito 2 - Iluminação e tomadas da área comercial.	
7 Lâmpadas de 28W $7 * 28 = 196W$ 6 Tomadas de 1200W $6 * 1200 = 7200W$ Potência total do circuito 2 $Pt = 196 + 7.200 = 7.400W$	Iluminação área comercial. $I = \frac{196}{127} = 1,54A$ Tomadas área comercial. $I = \frac{7.200}{127} = 56,69A$
Circuito 3 - Iluminação e tomadas da confeitaria	
9 Lâmpadas de 28W $9 * 28 = 360W$ 3 Tomadas de 1200W $3 * 1200 = 3600W$ Potência total do circuito 3 $Pt = 360 + 3600 = 3960W$	Iluminação da confeitaria $I = \frac{360}{127} = 2,83A$ Tomadas da confeitaria $I = \frac{3.600}{127} = 28,34A$
Circuito 4 - Iluminação e tomadas do banheiro	
3 lâmpadas de 28W $3 * 28 = 84W$ 2 Tomadas de 1200W $2 * 1200 = 2400W$ Potência total do circuito 4 $Pt = 84 + 2400 = 2484W$	Iluminação do banheiro $I = \frac{84}{127} = 0,6A$ Tomadas do banheiro $I = \frac{2.400}{127} = 18,99A$

Fonte: Autores (2022).

**Quadro 5: Cálculo de Potência dos Circuitos (continuação)**

<b>Circuito 5 - Forno elétrico</b>	
Conforme a especificação do equipamento = 18.700W	Forno elétrico. $I = \frac{18.700}{220 * \sqrt{3}} = 47,23A$
<b>Circuito 6 - Cilindro elétrico</b>	
Conforme a especificação do fabricante. = 2.200W	Cilindro elétrico. $I = \frac{2208}{\sqrt{3} * 220 * 0,76 * 0,8} = 9,53A$
<b>Circuito 7 - Modeladora elétrica</b>	
Conforme a especificação do fabricante. = 184W	Modeladora elétrica. $I = \frac{184}{127 * 0,75 * 0,75} = 2,57A$
<b>Circuito 8 - Massadeira elétrica</b>	
Conforme a especificação do fabricante. = 3.680W	Massadeira elétrica. $I = \frac{3680}{\sqrt{3} * 220 * 0,7 * 0,85} = 15A$
<b>Circuito 9 - Ar condicionado 24.000btus</b>	
Conforme a especificação do fabricante. = 3.160W	Ar condicionado 24.000 btus $I = \frac{3.160}{127} = 14,86A$
<b>POTÊNCIA TOTAL DOS CIRCUITOS</b>	
$P_t = 8.484 + 7.400 + 3.960 + 2.484 + 18.700 + 2.200 + 184 + 3.680 + 3.160$ $P_t = 50.252W$	

Fonte: Autores (2022).

Para que o projeto tenha uma exatidão na sua adequação e com garantias nas suas condições de adequação a mesma precisa adotar os conjuntos de orientações das normas técnicas. De acordo com Nery (2012) e Araújo (2016), as normas brasileiras são indispensáveis para o desenvolvimento de um projeto e realização das devidas instalações elétricas são as que foram desenvolvidas pela ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, entre as principais são: NR10 - Norma que regulamenta a segurança em instalações elétricas e serviços com eletricidade; NBR 5410 - Norma regulamenta instalações elétricas em baixa tensão; NBR 14039 - Norma que regulamenta instalações em média tensão 1KV á 36,2KV; NBR 8995-1 - Norma que regulamenta a iluminação em ambiente de trabalho; NBR 61008-1 - Norma que regulamenta a aplicação de interruptores, disjuntores a corrente diferencial-residual; NBR 61008-2 - Norma que regulamenta a aplicação de interruptores, disjuntores a corrente diferencial-residual, aplicável RCCB; NM 60989 - Norma que regulamenta a aplicação de disjuntores para a proteção em instalações elétricas domésticas e equivalentes; N°1000/ 2021 - Norma que regulamenta as regras de prestação de serviços das distribuidoras de energia elétrica, com os direitos e deveres dos consumidores e demais usuários do serviço.

Além das normas apresentadas acima, durante as mudanças foram seguidas igualmente as normas locais, onde a mesma é de concessão da Amazonas Energia, em que a NDEE 02 estabelece diretrizes técnicas para o fornecimento de energia elétrica em baixa tensão, às edificações individuais, urbanas e rurais, bem como fixar os requisitos mínimos para as entradas de serviço destas edificações (Amazonas Energia, 2014).

As mudanças para a implementação da NBR5410 foram realizadas com sucesso e todos os procedimentos cabíveis dentro do orçamento proposto ao cliente, para a então adequação, além de trazer segurança ao local, um dos resultados após a conclusão, foi a economia da fatura da concessionária de energia, pois como vimos no projeto um circuito

dimensionado e com componentes novos sem desgastes mecânicos, umas das benfeitorias é a eficiência do trabalho realizado pelo equipamento.

Os resultados da implementação das normas mostraram que o alto consumo apresentado ao final de cada mês, em parte foram voltadas as perdas técnicas, e a não adequação do circuito elétrico provenientes do não cumprimento da norma regulamentadora que rege as instalações elétricas. Que foram observados com o decorrer da execução do projeto.

Vale ressaltar que foram evidenciadas adequação para a nulidade de quaisquer indícios de incêndios que são gerados pela não adequação as normas das instalações elétricas, como são noticiados diariamente incêndios em indústrias e residências e demais construções por sobrecargas e aquecimento de condutores elétricos e mau dimensionamento dos circuitos e das instalações elétricas.

Vale a pena destacar que, uma preocupação durante a aplicação do projeto foi que além da NBR5410 foi seguido igualmente a NR10 - Segurança em instalações elétricas e serviços em eletricidade, para obter segurança técnica ao local.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou um projeto de adequação de uma Panificadora a NBR5410. As mudanças propostas pelo projeto trouxe muitos benefícios à instalação elétrica da unidade consumidora, como segurança e bom funcionamento dos equipamentos elétricos utilizados diariamente. Inicialmente, houve muitas dificuldades, em questões econômicas e adversidade do tempo, assim como também na análise preliminar de risco, pois algumas partes da edificação se encontravam em deterioração.

Houve atrasos na execução, pois o ambiente estava imprópria para a realização da atividade como instalações inadequadas, condutores com isolamento abdicado da camada de proteção. Após as adequações as atividades realizadas no local passaram a ser executadas com mais segurança, e por fim, o ambiente ficou mais seguro, anulando os riscos de incêndios e/ou sobrecarga do sistema elétrico do local.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução normativa nº 1.000 de 7 de dezembro de 2021, estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada P-12-7, 2021.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/jeangaldino/disciplinas/2015.1/instalacoes-eletricas/nbr-5410>>
- [3] BRASIL. ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 414 de 9 de setembro de 2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada**. Acesso em: 10 de maio de 2021. P 8-23.2013.
- [4] CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. Disponível em: <[https://www.academia.edu/35120014/Instalações\\_Eletricas\\_15\\_edição\\_Helio\\_Creder](https://www.academia.edu/35120014/Instalações_Eletricas_15_edição_Helio_Creder)>
- [5] JARDIM, G. C.; PIMENTEL, F. **Projeto de Adequação da Instalação conforme a Norma NBR5410**. Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT, n. 21, 2021. Disponível em: <[http://www.fait.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/Zy76ailecqyXjUM\\_2021-8-30-15-30-6.pdf](http://www.fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/Zy76ailecqyXjUM_2021-8-30-15-30-6.pdf)>
- [6] ROCHA, J. M. L. **Análise das instalações elétricas de uma casa de farinha em Santana do Piauí**

**e adequação à NBR5410:2004.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, p. 12-22, 2021. Disponível em: < <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/21023>>

[7] JUNKES, V. H.; CAMPUS, U.; MOURÃO, D. C. **Incêndios de Origem Elétrica: Um Estudo sobre suas causas, consequências e prevenções.** XI Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. p. 1-8, 2014.

[8] BORGES, L. F. P.; GOMES, G. A. M. Instalações Elétricas: Construção de uma rede elétrica dimensionada. 11-28, 2019. Disponível em: < <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1263/1/Leandro%20Francisco%20Pereira%20Borges.pdf>>

[9] LIMA, L. S. Revisão da Norma ABNT NBR 5410:2004: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Projeto Técnico (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

[10] MARTINHO, M. B.; MARTINHO, E.; DE SOUZA, D. F. (Org.). ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA 2022 – Ano base 2021. Salto-SP: ABRACOPEL. Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade.

[11] NDEE 02, Norma técnica de fornecimento de energia elétrica em baixa tensão (edificações individuais) 11-4, 2014.

# Capítulo 9

## *Dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial*

*Fabio Macedo Tuesta*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Atualmente, os países estão buscando algumas formas de gerar eletricidade menos degradantes e sustentáveis para o meio ambiente. No Brasil, com a expansão da produção de energia fotovoltaica, devido à introdução da resolução normativa nº 687, trata da possibilidade de compensação de energia pelo usuário e a posição geográfica. Neste trabalho, foram fornecidas algumas informações técnicas e financeiras sobre o uso de energia fotovoltaica em áreas residenciais. Com base na conta de energia do consumidor, foi realizado o dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaica residencial com 4 painéis de captação, potência de 255W e um inversor de 1500 W. O sistema foi projetado para gerar cerca de 1860 MW/ano, tendo um retorno do investimento em cerca de dez anos.

**Palavras-chave:** Sistema Fotovoltaico; Energia Solar; Sustentabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o modelo energético global vem sendo questionado, pois com o constante crescimento populacional e o aumento da demanda de energia tem enormes consequência no consumo de energia (BURIN, 2017). Como resultado, os países estão procurando algumas maneiras de gerar eletricidade que seja menos degradante e sustentável para o meio ambiente. O Brasil é um país rico em recursos naturais e possui recursos humanos disponíveis para a produção de energia solar fotovoltaica (CASSA et al., 2020). A matriz energética brasileira é rica e composta por uma diversidade de fontes de energia, que vão desde a energia hidrelétrica, energia eólica, energia solar, energia térmica a partir de fontes não renováveis como o gás natural e o petróleo, entre outras fontes, como as bioenergias (SANTOS et al., 2021).

Predominante no Brasil, a energia hidrelétrica tem sido responsável por uma parte significativa da geração de eletricidade no país. As usinas hidrelétricas aproveitam o potencial dos rios brasileiros para gerar energia elétrica, o que torna o Brasil muito dependente das condições climáticas e dos níveis de chuva para garantir uma oferta de energia estável (SOUZA JUNIOR, 2021; SATO, 2022).

Porém nos últimos anos, o país tem investido cada vez mais em outras formas de energias renováveis como a energia eólica e energia solar como alternativas mais sustentáveis e renováveis para diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de fontes não renováveis, como o carvão e o petróleo. A energia eólica, proveniente dos ventos, tem se expandido rapidamente no Brasil, especialmente no Nordeste do país, onde as condições são favoráveis para a geração desse tipo de energia. Já a energia solar, proveniente da luz do sol, também tem sido incentivada por meio de políticas públicas e incentivos fiscais para a instalação de sistemas fotovoltaicos (ONO et al., 2021; RAMOS JUNIOR, 2022).

Por outro lado, a dependência do Brasil em relação ao petróleo e ao gás natural ainda é uma questão a ser considerada, principalmente devido à instabilidade dos preços no mercado internacional e aos impactos ambientais associados a essas fontes de energia não renováveis.

A energia fotovoltaica, ou energia solar, apresenta um enorme potencial de crescimento e desenvolvimento no Brasil. Com um dos maiores índices de incidência solar do mundo, o país tem condições ideais para a geração de energia a partir da luz do sol.

No Brasil, a energia solar tem sido cada vez mais incentivada e adotada, tanto em projetos de grande escala, como usinas solares, quanto em sistemas de geração distribuída, instalados em residências, estabelecimentos comerciais e indústrias (LIVRAMENTO et al., 2021; SILVA e ARAÚJO, 2022). O país conta com linhas de financiamento, incentivos fiscais e regulamentações que favorecem a expansão da energia fotovoltaica, tornando-a uma opção viável e atrativa para aqueles que buscam uma fonte de energia mais econômica e sustentável (NOGUEIRA et al., 2021; PASSINI et al., 2023).

A redução dos custos dos painéis solares e dos sistemas de geração fotovoltaica, aliada ao aumento da eficiência energética dos equipamentos, tem contribuído para popularizar ainda mais o uso da energia solar no Brasil (BUZANELO, 2020; MOSQUEIRA, 2020). Empresas, governos e consumidores têm visto na energia fotovoltaica uma oportunidade de economia de custos e de responsabilidade ambiental. É importante ressaltar que o investimento na energia solar não só traz benefícios econômicos e

ambientais, mas também gera empregos e estimula a inovação e o desenvolvimento tecnológico no campo das energias renováveis.

A confiabilidade deste sistema é uma das características mais importantes. Por não possuir partes móveis, baixa complexidade, não é degradado por influências naturais, como: ventos fortes, atmosfera e acima de tudo, possui alta taxa de disponibilidade. Para um sistema fotovoltaico utilizado como fonte de energia elétrica adicional a um sistema convencional, uma das vantagens é que, se ocorrer uma falha, ela se limita a uma instalação específica e não se estende a outras áreas (NASCIMENTO, 2015). Portanto, o potencial do uso da energia fotovoltaica no Brasil é significativo e promissor, sendo uma alternativa sustentável e estratégica para a diversificação da matriz energética do país e para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente.

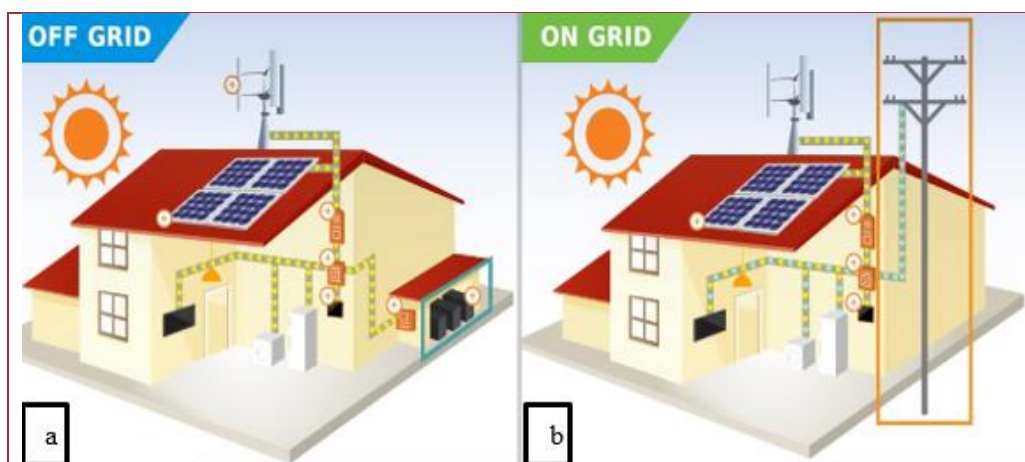
Diante desse cenário, é importante que o país continue investindo em fontes de energia limpa e renovável, como a energia eólica e solar, e adote medidas para aumentar a eficiência energética e reduzir o desperdício de energia. A diversificação da matriz energética brasileira é fundamental para garantir a segurança energética do país a longo prazo e contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa e o combate às mudanças climáticas.

Neste artigo, será apresentado um estudo de caso de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica conectado à rede de distribuição de energia elétrica da Amazonas Energia, a fim de gerar energia elétrica e suprir o excedente à rede elétrica sempre que a demanda da usina for menor que a energia gerada.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os principais métodos que podem ser usados para dimensionar um sistema fotovoltaico de uma residência unifamiliar, na cidade de Manaus/AM. Primeiramente, deve ser analisado o potencial de aproveitamento da energia solar do local onde o sistema fotovoltaico deverá ser instalado. E aliado a isso, deve ser determinada a posição do sistema de placas fotovoltaicas em relação a posição solar durante um dia, sendo este sistema de dois tipos: sistema isolado ou conectado à rede. Sistemas isolados, conforme mostrado na Figura 1a, utilizam alguma forma de armazenamento de energia, possivelmente por meio de baterias.

Este sistema é recomendado para projetos em condições especiais, como áreas rurais e projetos em locais remotos, o qual não é recomendado deste estudo de caso. Os conectados à rede são um sistema o qual a energia gerada é entregue diretamente à rede, conforme Figura 1b, por isso, o número de painéis fotovoltaicos deve ser maior e não há armazenamento de energia. Esse sistema é recomendado para instalações residenciais e empresariais, pois possui instalação simplificada e baixa manutenção.

**Figura 1:** a) Sistema isolado (off-grid); b) Sistema conectado à rede (Grid-Tie)

Fonte: Silva (2015)

Primeiramente, para que seja possível dimensionar o sistema fotovoltaico, é necessário conhecer o consumo médio de energia elétrica, o que determinou a necessidade de um estudo preliminar da residência objeto deste estudo de caso: residência de classe média de três moradores.

Assim, o Quadro 1, mostra o consumo mensal de energia elétrica da família no período de abril/2021 a abril/2022. Nota-se no Quadro 1, que o consumo máximo de energia ocorreu no mês de outubro, mês de transição entre a estação seca e chuvosa, período em que se não observadas na região altas temperaturas, aumentando o consumo de ar-condicionado. Ao contrário do mês de dezembro que foi verificado a menor média de consumo, mês de início da estação chuvosa.

**Quadro 1:** Média de consumo mensal

Mês	Consumo (kwh)
Abril (2021)	238
Maio (2021)	250
Junho (2021)	211
Julho (2021)	289
Agosto (2021)	301
Setembro (2021)	256
Outubro (2021)	290
Novembro (2021)	211
Dezembro (2021)	198
Janeiro (2022)	263
Fevereiro (2022)	285
Março (2022)	240
Abril (2022)	203
<b>Média</b>	<b>248,8</b>

Fonte: Autores (2023).

De posse dos dados do consumo e do potencial de geração de eletricidade dos painéis solares, foi possível determinar a energia gerada pelos painéis, analisar o consumo diário e compensar a energia. Portanto, foi fundamental conhecer a quantidade de energia

que será produzida, pois em um sistema conectado à rede é possível fornecer um sistema que atenda parcialmente a demanda.

Em seguida, estimou-se o melhor local para instalação dos painéis, visto que a moradia já está construída, portanto, é necessária uma análise para se chegar à localização ideal dos painéis, que terão inclinação de acordo com a latitude do local. Em seguida são utilizadas as características do painel de controle, do inversor, onde será feita a previsão da energia produzida para análise de investimento e retorno. O módulo fotovoltaico (Figura 1) é a unidade básica para o sistema de geração de energia elétrica. O módulo consiste em uma estrutura montada em um quadro, de alumínio, o qual é composto por células fotovoltaicas em paralelo e em série, coberta geralmente por vidro/ plástico, para evitar as ações do tempo e possíveis impactos. (RIBEIRO, 2016).

O módulo utilizado neste trabalho foi o de silício policristalino da marca Canadian Solar, modelo CSI CS6P- 255 P e potência nominal de 255 W, sendo a escolha do modelo/marca, devido ao custo e sua ampla disponibilidade no mercado. Determinados os módulos foi realizado os cálculos para determinar a quantidade, sendo necessária algumas informações como o consumo médio de energia e a forma de distribuição da energia, como mostra a Equação 1.

$$E_c = E_{mm} - CD \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:  $E_c$ , é a energia de compensação;  $E_{mm}$ , a energia média de consumo; e  $CD$ , o tipo de distribuição bifásico (100 kWh). A partir da energia compensatória encontrada para 30 dias, busca-se o valor desta energia diária, dividindo o valor encontrado por 30, sendo usada a Equação 2.

$$E_{cd} = E_c / 30 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:  $E_{cd}$ , é energia de compensação diária; e  $E_c$ , energia de compensação. A partir da radiação média e do valor da  $E_{cd}$  pode-se chegar a quanto de potência de cada módulo tem que ser gerada, mostrada na fórmula a seguir:

$$W_p = E_{cd} / \text{Radiação} \quad \text{Eq. 3}$$

Com o valor da potência que tem que ser gerada pelos painéis e a potência de cada painel, conclui se o número de painéis a serem usados.

$$N^{\circ} \text{ painéis} = W_p / P \quad \text{Eq. 4}$$

Onde o  $n^{\circ}$  painéis é igual a  $W_p / P_{\text{painel}}$  Eq. 4, e  $P$ , a potência de cada painel. Foi escolhido O inversor (Figura 2a) é responsável por converter a energia de corrente contínua, proveniente dos painéis, em corrente alternada, de acordo com a rede pública de distribuição. O inversor deve ter capacidade suficiente para o sistema, que pode ser igual à capacidade gerada pelo sistema ou superior.

**Figura 2:** a) Inversor PHB; b) String Box



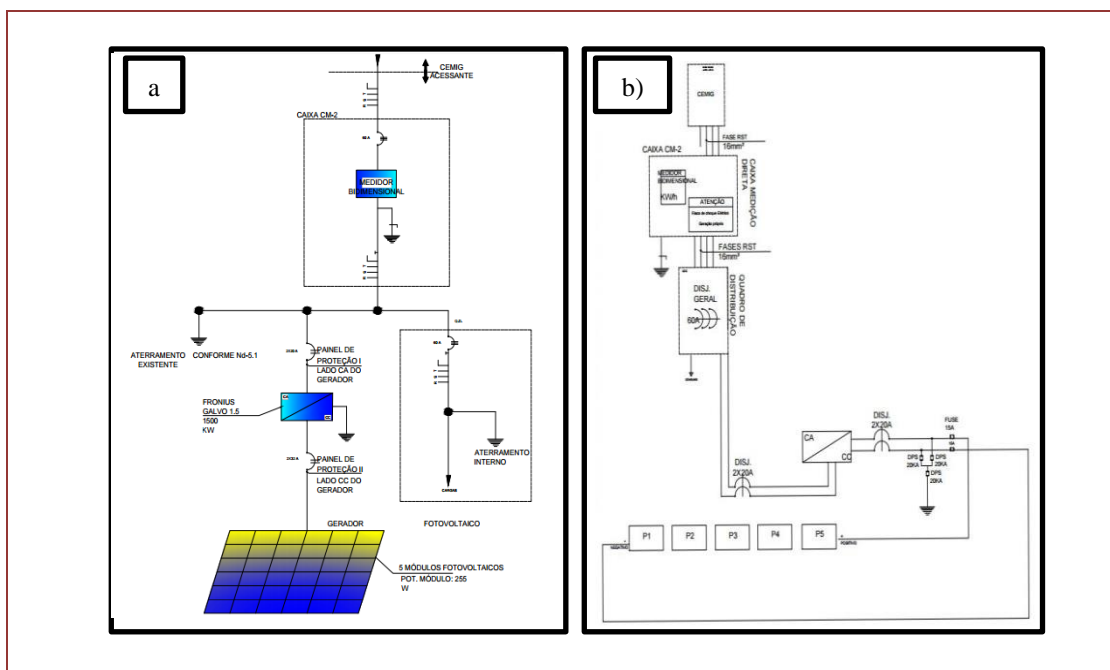
Fonte: NEOSOLAR (2022).

As placas só podem ser conectadas em série quando a soma das tensões de curto-circuito for inferior a 90% da tensão de corrente DC máxima do inversor.

Para selecionar o inversor, a potência nominal dos módulos conectados a ele não devem ser superior a 110% a potência máxima de corrente contínua do inversor, enquanto no mercado mais utilizado devido ao seu custo-benefício é o inversor PHB com potências de 1,5 kW, 3,0 kW e 4,6 kW. Para que os equipamentos que fazem parte do sistema estejam protegidos a possíveis sobrecargas por descarga de raios e falhas na instalação e incêndios, foi usado o *String Box* (Figura 2b), sendo este instalado próximo aos módulos fotovoltaicos, no exterior da casa. Após o dimensionamento da rede foi desenvolvido o circuito elétrico.

A Figura 3a mostra o diagrama unifilar mostrando as principais particularidades do circuito elétrico e os locais onde serão instalados e sua trajetória. Enquanto a Figura 3b, mostra a representação gráfica dos componentes e condutores.

**Figura 3:** a) Diagrama Unifilar; b) Diagrama Multifamiliar.



Fonte: Ribeiro (2018).

### 3. RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os principais resultados gerados dimensiona média que encontramos é de 248,8 kWh (Quadro1), medida encontrada após o levantamento do consumo mensal entre os meses de abril de 2021 e abril de 2022. Utilizando a Fórmula de Compensação, encontramos o número de painéis necessários para a construção do sistema. Este valor é encontrado através da Equação 1.

$$Ec = Emm - CD = 250 - 100 = 150kWh$$

O valor obtido é o consumo mensal em média, entretanto, o que procuramos é o valor da energia de compensação diária. Isto é obtido dividindo o valor encontrado em  $E_c$  por 30, número de dias em um mês, por convenção. Neste caso, chegamos ao valor de 5,0 kWh/dia.

Consultando o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), obtemos a informação de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>. A partir do consumo diário e da radiação média diária em Manaus, encontra-se a potência gerada pelos painéis no decorrer do dia.

$$Wp = Ecd / Radiação = 5000 / 5500 = 909Wp$$

Utilizaremos a equação 4 para definir o número de painéis a ser utilizados em nossa instalação. Nº painéis =  $Wp / P_{painel} = 909 / 255 = 3,56$ . Utilizando um valor aproximado, estabelecemos que a nossa instalação irá precisar de quatro painéis para suprir a demanda necessária ao projeto. Como a radiação solar depende das condições climáticas, o valor de quatro painéis é considerado ideal, mesmo com perdas, vai conseguir suprir a necessidade da habitação.

Com quatro módulos instalados de 255 Wp, a potência instalada é de 1020 kWp. Nisso foi estabelecido que um inversor com potência nominal de 1,5 kWp é suficiente para o sistema. potência nominal de módulos ligados ao inversor não pode ser maior que a potência máxima de corrente contínua do inversor. Sendo a potência nominal de 1760W ( $P = 1,1 \times 1600$ ).

Para os módulos serem conectados em série, é necessário soma das tensões de curto-circuito menor que 90% da tensão de corrente contínua máxima do inversor. Como a tensão máxima do inversor usado é de 420 V e cada módulo usado apresenta tensão de curto circuito igual a 37,4 V, foram utilizados 4 módulos, o que resultou em 149,6 V, o que corresponde a 35,6% da tensão do inversor.

O painel foi fixado, levando em consideração a inclinação do teto (19°). Como o Brasil está no hemisfério sul, a inclinação dos painéis solares deve estar ligeiramente inclinado para o norte. A partir da potência de cada módulo, número de módulos, nível médio de radiação solar e eficiência global, temos a geração anual de 1,8 MWh/ano (Geração anual =  $255 \times 4 \times 5,5h/dia \times 0,8 \times 365 \times 10^{-6}$ ). No quadro 2 são apresentados os valores projetados que podemos obter com instalação fotovoltaica por mês.

**Quadro 2: Consumo Mensal**

Mês	Dias	Potência Instalada (KWh)	Radiação Solar (KWh/m <sup>2</sup> )	Rendimento do Inversor (95%)	Energia Mensal Produzida (kWh)
Maio	31	1,020	5,3	0,95	159,2
Junho	30	1,020	5,5	0,95	159,8
Julho	31	1,020	5,2	0,95	156,2
Agosto	31	1,020	5,3	0,95	159,2
Setembro	30	1,020	5,6	0,95	162,7
Outubro	31	1,020	5,4	0,95	162,2
Novembro	30	1,020	5,2	0,95	151,1
Dezembro	31	1,020	5,0	0,95	150,1
Janeiro	31	1,020	5,2	0,95	156,2
Fevereiro	28	1,020	5,1	0,95	138,3
Março	31	1,020	5,1	0,95	153,19
Abril	30	1,020	5,2	0,95	151,1
<b>TOTAL</b>					<b>1859,29</b>

Fonte Autores (2022).

Além disso, o Quadro 2, mostra a produtividade anual do sistema será de aproximadamente 1,8 MWh/ano, de acordo com radiação solar do ano de 2022, lembrando que os valores da radiação estão sujeitos à variação. Utilizando 4 painéis solares da fabricante Canadian Solar, com potência de 255 W, encontramos o preço de R\$ 900,00 como mais acessível, com um custo total de R\$ 3600. Para a conversão de corrente contínua em alternada, empregou-se 1 inversor de 1500 W.

**Quadro 3: Consumo e Valor pago mensal**

Energia Mensal Produzida (kwh)	Economia (R\$)
159,2	110,00
159,8	110,70
156,2	108,24
159,2	110,32
162,7	112,75
162,2	112,40
151,1	104,75
150,1	104,01
156,2	108,24

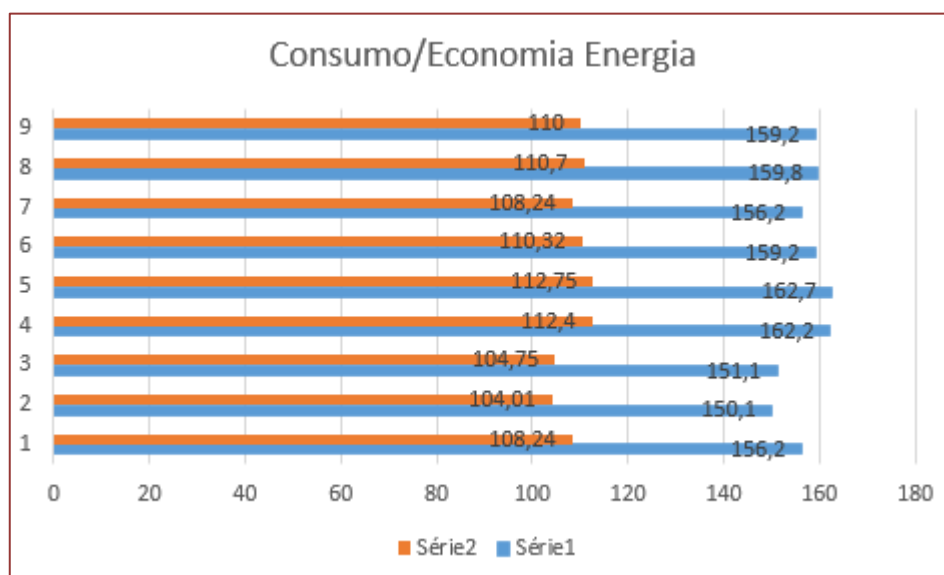
Fonte: Autores (2022).

Foram consultados também dois fornecedores e o preço mais acessível foi de aproximadamente R\$ 4.000,00, por isso o motivo da escolha do inversor *Fronius*. O *String Box* foi encontrado no valor de R\$ 2.500,00. Por meio do Gráfico 1, é possível verificar com clareza a economia de energia gerada pela família após a instalação do sistema.

O gráfico mostra no eixo da esquerda os meses analisados, enquanto o eixo horizontal mostra a barra azul o consumo de energia em kWh, enquanto a barra laranja é o valor em real (R\$) economizado. Concluiu-se, então, que o gasto total do projeto do

sistema conectado à rede é de aproximadamente (fora os gastos com estruturas, gastos menores e mão de obra) R\$ 10.100,00. No Quadro 3 temos o quanto é possível economizar em cada mês, com base na tarifa da concessionária.

**Gráfico 1:** Consumo de energia da residência e a economia gerada pelo sistema fotovoltaico



Fonte: Autores (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo em questão propôs um estudo de caso envolvendo um dimensionamento de sistema fotovoltaico residencial, com a finalidade de diminuir o consumo de energia e, conseqüentemente, diminuir o valor da conta da concessionária.

A energia solar não polui durante seu uso, sendo uma das formas mais sustentáveis e não degradantes ao meio ambiente. Em um país como o Brasil a energia solar é viável em praticamente em todo território do país, e além disso, é perfeito para lugares remotos ou de difícil acesso. Porém existe variação da quantidade produzida de acordo com a situação do clima, e os painéis ainda apresentam baixo rendimento.

Uma grande desvantagem é que o custo de instalação de sistemas fotovoltaicos é um pouco alto nos dias de hoje, mas ao dimensionar o sistema mostra um valor de R\$ 10.100,00 com retorno de investimento de cerca de 10 anos. Apesar de compensada, a conta de energia não será totalmente zerada, pois o cliente ainda terá que pagar uma tarifa mínima para a concessionária. Melhorias podem ser feitas a partir deste estudo, pois após a instalação do sistema fotovoltaico, a energia gerada na edificação pode ser comparada com a energia desenvolvida neste estudo.

A sociedade contemporânea é desafiada a alcançar o desenvolvimento por meio de técnicas eficazes. Há a necessidade de buscar tecnologias de produção de energia baseadas em fontes inesgotáveis como a solar, que reduzam os impactos das atividades humanas como o transporte aéreo. A adoção dessas tecnologias não deve ser avaliada

apenas do ponto de vista técnico e econômico, pois há vantagens financeiras inerentes e imensuráveis na implantação de sistemas fotovoltaicos.

## REFERÊNCIAS

- [1] BURIN, L. M. **A busca por Energias Renováveis em um mercado globalizado**. Revista Thêma et Scientia v. 7 n. 1, p. 385- 400, 2017. Disponível em: <<https://ojsrevistas.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/900/957>>
- [2] CASSA, C. V.; RODRIGUES, G. C.; PEIXOTO, V. D.; BERNINI, D. S. **Análise da Expansão da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**, 2019. Disponível em:< <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2021/05/revista-esfera-tecnologia-v05-n01-artigo01.pdf>>
- [3] CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em : 25 de maio. 2022.
- [4] CEPEL. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf/](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf/)>. Acesso em : 25 maio. 2022.
- [5] LIVRAMENTO, K. A. R. B. C.; CORDEIRO, L. F. A.; SOUZA, W. S.; LIMA, W. G. **Análise dos potenciais ganhos da implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica no fórum de Jaboatão, PE. v. 12 n. 6 (2021): Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - Jun 2021**. Disponível em:<<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.006.0035>>
- [6] MOSQUEIRA, G. L. A. **A Evolução da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Monografia apresentada na Escola Estadual de Economia do Rio de Janeiro, UNIRIO, 2020. Disponível em:<<https://www.unirio.br/ccjp/escola-de-administracao-publica/trabalhos-de-conclusao-de-curso-1/2020.1/TCCGloriaLeitedeAlmeidaMosqueira.pdf>>
- [7] NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Lavras- Pós-graduação em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, 2014.
- [8] NOGUEIRA, L. S.; MOURA, G. G.; MELO, C. S. TAVARES, G. B. **Energia Fotovoltaica Aplicada em áreas carentes do Brasil**. Revista Celeidoscópico, v. 13, n. 1, p. 39-43, 2021. Disponível em: <<https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/view/926/842>>
- [9] PASSINI, A. F. C.; NIZ, I. V. G.; MUNARETTO, L. F.; DE BORBA, W. F.; RODRIGUES, A. C. **Energia Solar no Brasil: Oportunidades e Desafios**. 6º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2023. Disponível em:< <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/XV-006.pdf>>
- [10] RAMOS JÚNIOR, M. J. **Perspectivas para a geração e expansão da energia eólica no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial, no Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2022.
- [11] SANTOS, R. M. DOS; RODRIGUES, M. DE S.; CARNIELLO, M. F. **Energia e Sustentabilidade: Panorama da Matriz Energética Brasileira**. Scientia: Revista Científica Multidisciplinar, v.6, n.1, p. 13-33, 2021. Disponível em:< <https://www.revistas.uneb.br/index.php/scientia/article/view/9396>>
- [12] SATO, M. H. N. **O Papel das energias renováveis no desenvolvimento econômico sustentável**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/5029>>
- [13] SILVA, H. M. F.; ARAÚJO, F. J. C. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Uma Revisão Bibliográfica**. Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022. Disponível em:<<https://doi.org/10.51891/rease.v8i3.4654>>
- [14] SOUZA JUNIOR, E G. **Mineração e pequenas centrais Hidrelétricas: Reflexões sobre o complexo Mínero-Energético no estado de Minas Gerais, Brasil**. Revista Sapiência, Saberes e Práticas Educacionais, v. 10, n. 3, p. 1-16, 2021. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Ednilson-Junior/publication/358716956\\_Mineracao\\_e\\_Pequenas\\_Centrais\\_Hidreletricas\\_Reflexoes\\_sobre\\_o\\_Complexo\\_Minero-Energetico\\_no\\_estado\\_de\\_Minas\\_Gerais\\_Brasil/links/62104630f02286737cab5787/Mineracao-e-](https://www.researchgate.net/profile/Ednilson-Junior/publication/358716956_Mineracao_e_Pequenas_Centrais_Hidreletricas_Reflexoes_sobre_o_Complexo_Minero-Energetico_no_estado_de_Minas_Gerais_Brasil/links/62104630f02286737cab5787/Mineracao-e-)>

Pequenas-Centraís-Hidrelétricas-Reflexões-sobre-o-Complexo-Minero-Energetico-no-estado-de-Minas-Gerais-Brasil.pdf>

[15] ONO, E. M.; ROSÁRIO, J. M.; FREITAS, A. P. A.; SANTOS, J. A. N. **Wind Energy: Identification and ranking of risks associated with investment projects**. Research, Society and Development, v. 10, n. 14, p. e490101422011, 2021. Disponível em: < <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22011> >

# Capítulo 10

## *Automação elétrica: integração de sistema inteligente na “Loja Iluminari Elétrica”*

*Helder Carvalho da Silva*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** O presente estudo tem como objetivo, analisar a integração de um Sistema inteligente no Sistema Elétrico na empresa Iluminari Elétrica e os ganhos econômicos de investimento na automação elétrica. E especificamente, descrever os recursos de iluminação para integração do sistema inteligente; avaliar a viabilidade técnica e econômica da inserção de um sistema inteligente de energia elétrica e analisar o custo-benefício, bem como o retorno de investimento do sistema inteligente de iluminação e consumo de ar condicionado. O estudo foi realizado através de um de uma pesquisa em uma empresa, localizado na Zona Norte da capital. O estudo consistiu na automação da empresa Iluminari Elétrica LTDA, onde visa a economia do sistema elétrico por meio da automação inteligente, tendo em vista o não desperdício de energia como lâmpadas e ar-condicionado. Um Sistema Inteligente de Controle de Iluminação foi pensado para trazer muito mais funcionalidade, praticidade e conforto à um ambiente, sejam através de modelos de gerenciamento e controle de energia remoto ou com a inserção de sensores de presença. Os sensores de presença são sensores de proximidade operam de forma a detectar a proximidade, a presença ou passagem de corpos sólidos, líquidos ou gasosos. Logo, o sistema aplicado a Loja Iluminari Elétrica, possibilita uma inovação na estrutura de iluminação e consumo consciente de energia no empreendimento. Considerando que, os resultados mostraram que é possível ter uma economia de 24% no valor da energia comparado com o valor pago anteriormente. Assim, o valor do investimento de R\$ 2.314,10 será pago em 3 meses.

**Palavras-chave:** Controle de Iluminação. Sistema Inteligente de iluminação. Sistema Elétrico.

## 1. INTRODUÇÃO

A eletricidade é um bem indispensável que desempenha um papel importante nas casas, indústrias e negócios. A cada dia o homem torna-se mais dependente de energia elétrica, energia esta que pode ser convertida em luz, mover máquinas e dispositivos, operar vários produtos elétricos e eletrônicos, acelerar as comunicações, entre outros (ROCKMANN, 2019).

Apesar disso, o setor elétrico brasileiro vem enfrentando dificuldades em planejar e garantir o fornecimento de energia para população e lidar com o atual aumento da demanda nacional (BRASIL, 2020). No entanto, a energia hidrelétrica é a principal fonte de energia do país, pois atualmente o meio ambiente ainda é severamente afetado pelos métodos tradicionais de produção de energia, que são em grande parte muito prejudiciais ao meio ambiente (BARROS E BORELLI, 2015).

Observando-se a relação entre geração e demanda, nota-se que há um grande desperdício e uso ineficiente de energia elétrica. Segundo Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (2017), só entre os anos de 2013 a 2016 houve um desperdício de energia elétrica no Brasil que custou R\$ 61,71 bilhões, equivalente a 143,6 milhões de GWh (gigawatt/hora).

Diante disso, existem várias medidas que podem ser tomadas para a redução do consumo energético, tais como, utilização de sistemas de automação, possibilitando maior produtividade, uma otimização de processos, comunicação entre equipamentos, maior precisão nos dados e controles, aumento de qualidade. Partindo desse pressuposto, o presente estudo levanta a seguinte indagação: “Como é possível integrar um Sistema Elétrico Inteligente em uma empresa?”

A utilização de medidas dessa natureza, além de trazer vantagens diretas para o usuário, como a redução de custo, assim como garante benefícios indiretos, por exemplo, redução de custos em manutenção, aumento da vida útil dos sistemas substituídos (KLAUS e SHERER, 2017). É da mesma forma traz benefícios para a sociedade, pois contribui para o desenvolvimento sustentável, utilização de menos recursos naturais e redução de gases de efeito estufa. Logo, é importante que a sociedade busque informações e as tecnologias disponíveis para reduzir o consumo de energia. Ao governo, cabe criar condições para que os regulamentos e as normas incentivem o desenvolvimento e o uso de equipamentos mais eficientes. Pois o uso sábio e as concretas mudanças trazem economia sem diminuir o conforto.

A economia de energia é necessária para qualquer ação dentro de uma empresa ou organização, e os sistemas automatizados devem fornecer elementos de tomada de decisão por meio de informações baseadas em dados e no histórico das operações realizadas. Dessa forma, grandes empresas e instituições buscam controlar as contas de energia elétrica e focar em investir em automação. Para estes, a eficiência energética é um fator decisivo na obtenção de soluções desenhadas para sustentar o negócio (MORAES, 2013).

Conforme Da Costa (2016), é sempre importante enfatizar a necessidade de questionar dois pontos fundamentais quando se trata da eficiência do uso da eletricidade. O primeiro ponto são as questões ambientais, se o uso de energia é sustentável. O segundo ponto é financeiro, e especula-se que, se aplicados corretamente, os sistemas de otimização de energia podem oferecer economias consideráveis. Portanto, nem sempre é fácil conciliar esses pontos de vista e ter um sistema que possa atender a todos os

requisitos, porém, a busca por sistemas eficazes e eficientes deve ser permanente (DA COSTA, 2016).

Os consumidores estão muito preocupados com o custo inicial associado ao investimento, não considerando os custos operacionais significativos que desempenham um papel ao longo do ciclo de vida do sistema implantados, assim, envolvendo a eficiência e eficácia da aplicabilidade da energia elétrica (CUNHA e FERNANDES, 2018).

Por isso, é necessário estar atento para que você possa eliminar os desperdícios e aumentar a produtividade. Portanto, a eficiência energética inclui melhorar o uso da energia e usá-la de forma racional. Ou seja, o menor consumo de energia é estudado para realizar o mesmo trabalho ou realizar as mesmas tarefas (RIBEIRO, 2016).

E notório que através dos anos está havendo várias mudanças tanto ela sendo como econômica e estrutural, visando um conforto em si dentro da sociedade atual onde se aplica em diversas áreas, principalmente a engenharia que é um ramo de desenvolvimento e solução. Portanto, o uso de iniciativas que buscam alcançar essa melhoria traz alguns benefícios, como, impacto positivo na economia, diminuição de emissões e impactos ao meio ambiente, melhoria em processos e equipamentos além de contribuir para a consciência contra o desperdício.

A automação da iluminação é fruto do desenvolvimento da iluminação artificial, sendo um conceito recente e inovador (CAPELLI, 2013). No entanto, hoje, consideramos esse recurso como um limitador de gastos energéticos, de modo, a otimizar o uso da energia elétrica. Uma vez que, a energia elétrica não é apenas uma questão financeira, mas também uma questão ambiental, pois, o seu consumo causa impactos ambientais, que poderão acarretar na extinção da obtenção de energia futura, sendo este, recurso fundamental as necessidades básicas da sociedade contemporânea (BRASIL, 2017). E, busca por soluções sustentáveis visando o mínimo impacto ao meio ambiente, tornou-se prioridade mundial.

Assim, uma das melhores maneiras de economizar energia, é gerenciando o seu próprio sistema de iluminação através do uso de sensores de presença e movimento. Já que o uso de sensores possibilita um melhor ganho ambiental em termos de economia de energia (CUNHA; FERNANDES, 2018). Visto que, um sistema de iluminação inteligente considera tanto a luz elétrica e quanto a natural.

Nesse sentido, os bons sistemas de iluminação devem fornecer os níveis de iluminação adequados para que as pessoas executem corretamente suas tarefas visuais. E mesmo que seja bastante difícil isolar os benefícios de produtividade dos níveis de iluminação adequados, existe uma clara ligação entre o controle de iluminação e o conforto do ambiente. Logo, Soares (2014) afirma que, um Sistema Inteligente de Controle de Iluminação foi pensado para trazer muito mais funcionalidade, praticidade e conforto à um ambiente, sejam através de modelos de gerenciamento e controle de energia remoto ou com a inserção de sensores de presença.

Os sensores de presença são sensores de proximidade operam de forma a detectar a proximidade, a presença ou passagem de corpos sólidos, líquidos ou gasosos. Sensores de presença são meios econômicos e alcançável devido à simplicidade de utilização e instalação, porém nem sempre são uma possibilidade factível quando o assunto é economia de energia. A performance de um sensor de presença é resumidamente medir a distância de um ponto ao sensor, e então ele acionará um dispositivo elétrico (AZEVEDO, 2014).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo, analisar a integração de um Sistema inteligente no Sistema Elétrico na empresa Iluminari Elétrica e os ganhos econômicos de investimento na automação elétrica. E especificamente, descrever os recursos de iluminação para integração do sistema inteligente; avaliar a viabilidade técnica e econômica da inserção de um sistema inteligente de energia elétrica e analisar o custo-benefício, bem como o retorno de investimento do sistema inteligente de iluminação e consumo de ar-condicionado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS




O estudo apresentado neste artigo foi realizado em uma empresa localizada na zona norte da capital do Amazonas. O estudo consistiu na automação da empresa Iluminari Elétrica LTDA, onde visa a economia do sistema elétrico por meio da automação inteligente, tendo em vista, o não desperdício de energia como lâmpadas e ar-condicionado.

### 2.1. MATERIAIS

A coleta de dados se deu por meio de visitas ao local de estudo, e pela observação dos colaboradores, com o intuito de buscar informações sobre o modo como é utilizado o sistema de iluminação e se tem como evitar o desperdício de energia. Primeiramente, foi observado o consumo por horários, que são das 07h às 17h, conforme o funcionamento do empreendimento.

Para o seu desenvolvimento foram usados alguns sensores e dispositivos, onde os principais são descritos no Quadro 1.

**Quadro 1:** Lista dos principais sensores e dispositivos usados durante o projeto.

MATERIAL	QTD	DESCRIÇÃO
	1	Tomada Inteligente (PLUG SMART WI-FI): são dispositivos instalados na rede elétrica comum das casas, cujo seu principal objetivo é conectar diversos aparelhos à internet, sendo possível enviar comandos básicos para eletrônicos que estejam conectados à eletricidade.
	4	Temporizador-Digital Trilho Din.: trata-se de um comando individual capaz de controlar ações de ligar e desligar cargas diversas com programações e possibilita o acionamento ou desligamento da carga manualmente. Logo, utilizou-se para controlar a iluminação nos ambientes do estacionamento, entrada de acesso, recepções, depósitos e corredores.
	2	Sensor de Presença com soquete E27 (EPS 360 S): este equipamento detecta a movimentação de fontes de calor como pessoas através de um sensor infravermelho, ligando uma lâmpada ou outro equipamento e desligando-o após a ausência de movimento, de acordo com o tempo programado. Utilizou-se no banheiro e no estoque, visto que ambos ambientes são utilizados de maneira esporádica.

Fonte: Amazon.com.br (2022).

**Quadro 2:** Lista dos principais sensores e dispositivos usados durante o projeto.  
(continuação)

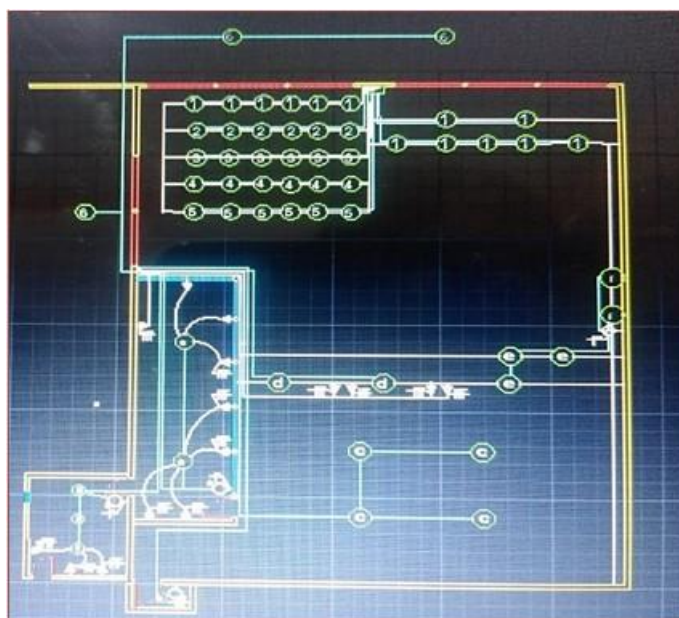
MATERIAL	QTD	DESCRIÇÃO
	1	Sensor de Presença Interno Sobrepôr (MPT-40S): acionam automaticamente a iluminação ao detectar movimento de fontes de calor, como pessoas e veículos, desligando após o tempo programado, logo, são versáteis, serão utilizados em ambientes que não necessitem de iluminação contínua, na área externa e lateral da loja.
	2	Relé Fotoelétrico: É um dispositivo utilizado para automatizar o acionamento da iluminação em locais diversos. A Fococélula monitora a iluminação ao seu redor e controla o acionamento dos Iluminadores em função dela. A iluminação é acionada ao escurecer, mantida ligada durante todo o período da noite e desligada ao amanhecer.

Fonte: Amazon.com.br (2022).

## 2.2. MÉTODOS

Considerando as instalações do empreendimento elaborou-se a planta baixa para instalação dos equipamentos (ver Figura 1), utilizou-se o sistema inteligente elétrico nos seguintes cômodos, vide Tabela 1.

**Figura 1** – Planta Baixa para instalação dos equipamentos.



Fonte: Autores (2022).

**Tabela 1:** Local, aplicação e dispositivo para aplicabilidade da automação elétrica.

Local	Aplicação	Dispositivo
Entrada de Acesso a Loja	Lâmpadas	Temporizador-digital (Timer)
Recepção	Lâmpadas	Temporizador-digital (Timer)
Depósito	Lâmpadas	Temporizador-digital (Timer)
Corredores	Lâmpadas	Temporizador-digital (Timer)
Banheiro	Lâmpadas	Sensor de presença com soquete E27
Estoque	Lâmpadas	Sensor de presença com soquete E27
Área externa/lateral da loja	Lâmpadas	Sensor de presença com Foto Relé-embutido
Administração	Ar-condicionado	Dispositivo (tomada inteligente) ligado de forma direta

Fonte: Autores (2022).

Para o ar-condicionado foi introduzido um dispositivo (tomada inteligente) ligado de forma direta, maximizando o seu uso através do sistema *wireless*, tendo seu acesso remoto. Com funções liga e desliga, proteção contra de sobrecarga, gerenciamento de energia e assistência da ALEXA, equipamento muito utilizado como um assistente virtual.

Para as lâmpadas foi implantado um Temporizador-digital (Timer) com o objetivo de automatizar o controle de iluminação na parte do estacionamento, entrada de acesso, recepções, depósitos e corredores. A carga adicionada controla cargas ligando e desligando conforme a programação de (horas, minutos e segundos). No banheiro foi instalado um sensor de presença com soquete E27 que acende e apaga as luzes ao detectar movimento, variando entre 5 segundos a 5 minutos.

Já na parte do estoque será instalado um sensor de presença sobrepor, fixado ele no teto a uma altura de 4 metros e pegando um ângulo de 360° graus, ajustando a temporização dele de 3 a 5 minutos. E por fim, para iluminação externa lateral da loja será utilizado um sensor de presença com Foto Rele-embutido funcionando somente ao anoitecer ajustado a cada 90 segundos.

Posteriormente, a análise do contexto de melhorias, custos e afins, será realizada uma análise comparativa entre a utilização ou não de sensores para o acionamento das lâmpadas e o controle do ar-condicionado. A comparação foi feita com base em uma simulação financeira do preço gasto para cada um desses dois sistemas e na viabilidade econômica da implantação dos sensores e o tempo de retorno do seu investimento.

Para cálculo do consumo atual, considera-se o valor monetário cobrado pelo consumo de energia é geralmente baseado no consumo em kWh (Quilowatt-hora), para cada kWh é multiplicado pela tarifa de serviço, como mostra a Equação 1:

$$Valor(R\$) = quantidade (kWh) \times tarifa \left( \frac{R\$}{kWh} \right) \quad \text{Eq. 1}$$

No que tange os cálculos para análise de decisão e avaliação de investimento aplicou-se o cálculo de PayBack simples - que consiste em saber o tempo de recuperação de um investimento, representado abaixo.

$$Payback \text{ simples} = \text{invesimento inicial} / \text{ganhos no período} \quad (2)$$

### 3. RESULTADOS

O tempo de consumo compreende entre o período que é ligado as luzes e o aparelho de ar-condicionado, tem início às 7 horas e conclui às 17h, tendo oscilações nos horários de 30 min para mais ou para menos. Tendo um período de funcionamento de 220 horas, ou seja, 13.200 minutos ao mês. Levando em consideração um mês com 30 dias, sendo 22 dias úteis, temos a quantidade de horas de utilização por mês (ver Tabela 2).

**Tabela 2:** Horas de utilização no empreendimento.

Horas de utilização mensais					
Consumo	Início	Término	Horas diárias	Dias úteis	Hora/mês
	07:00	17:00	10:00	22	220

Fonte: Autores (2022).

Nesse sentido, considerou-se os meses anteriores a instalação do sistema elétrico inteligente, sendo, portanto, o consumo conforme a Tabela 3.

**Tabela 3:** Conta de energia do empreendimento nos meses de fevereiro a abril de 2022.

Mês de consumo	Consumo kWh	Valor
Fevereiro	2008	R\$ 2.590,32
Março	1980	R\$ 2.554,20
Abril	2028	R\$ 2.616,12
<b>Consumo médio</b>	<b>2005</b>	<b>R\$ 2.586,88</b>

Fonte: Autores (2022).

Portanto, a tarifa aplicada para o consumo  $tarifa \times = Valor (R\$) / quantidade (KWh)$ .

$$tarifa \times = 2.590,32(R\$) / 2008(KWh)$$

$$tarifa \times = 1,29 / KWh$$

Logo, considerando que várias medidas que podem ser tomadas para a redução do consumo energético, tais como, utilização de sistemas de automação, possibilitando maior produtividade, uma otimização de processos, comunicação entre equipamentos, maior precisão nos dados e controles, e, aumento de qualidade, aplicou-se os sensores e dispositivos de automação.

Dessa forma, a o procedimento de gerenciamento de estado da iluminação por sensor de presença esse processo ocorre da seguinte forma: o usuário da iluminação aproximasse do ambiente e logo é percebido pelos sensores que imediatamente enviam a informação para que as lâmpadas possam ligar, como demonstrado na Figura 2, foram aplicados nos locais informados.

**Figura 2:** Aplicação dos sensores e da tomada inteligente.



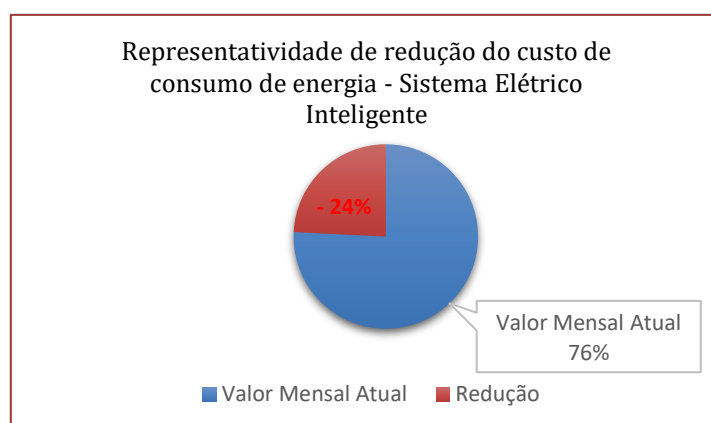
Fonte: Autores (2022).

A aplicação dos sensores, permitiram não somente a redução dos custos com o consumo de energia, mas evita aos colaboradores que mantenham o funcionamento do aparelho de ar-condicionado sem a devida necessidade e das lâmpadas ligadas.

Visto que, quando se fala da iluminação a partir dos sensores de presença, a utilização de medidas dessa natureza, além de trazer vantagens diretas para o usuário, como a redução de custo, assim como garante benefícios indiretos, por exemplo, redução de custos em manutenção, aumento da vida útil dos sistemas substituídos. E da mesma forma traz benefícios para a sociedade, pois contribui para o desenvolvimento sustentável, utilização de menos recursos naturais e redução de gases de efeito estufa.

Diferente da complexidade de alguns outros mecanismos para otimização do consumo de energia elétrico, a utilização de sensores de presença gera um menor consumo de horas, e assim, alcançará uma economia notória de consumo energético, onde somente no mês de maio teve um consumo de 1520 kWh, sendo este consumo apresentando um valor monetário de R\$ 1.960,80.

Comparando os valores médios, a consumação a partir da inserção do sistema inteligente tem uma redução visível ao valor da energia mensal. Tendo como resultado a redução de aproximadamente, R\$ 626,08, isto é, uma redução de 24% em relação ao valor anterior (como mostra o Gráfico 1).

**Gráfico 1:** Representatividade de redução do custo de consumo de energia - Sistema Elétrico Inteligente.

Fonte: Autores (2022).

Tendo em vista, os gastos obtidos neste projeto, a automação da iluminação funciona como um limitador de gastos energéticos, de modo, a otimizar o uso da energia elétrica. Os custos foram:

**Tabela 4:** Custo de implantação do projeto.

Material	Quantidade	Custo
Temporizador-digital (Timer)	4	R\$ 519,60
Dispositivo (tomada inteligente) ligado de forma direta	1	R\$ 89,90
Sensor de presença com Foto Relé-embutido	1	R\$ 54,90
Sensor de presença com soquete E27	2	R\$ 89,80
Relé Fotoelétrico	2	R\$ 59,80
Mão de Obra		R\$ 1.500,00
<b>Custo total de implantação</b>		<b>R\$ 2.314,10</b>

Fonte: Autores (2022).

Logo, os custos de investimento são de R\$ 2.314,10. Uma vez que, a energia elétrica não é apenas uma questão financeira, mas também uma questão ambiental, buscar por soluções sustentáveis visando o mínimo impacto ao meio ambiente, tornou-se prioridade para qualquer indivíduo (RIBEIRO, 2016).

Conforme a tabela 4, o levantamento do investimento na instalação do sistema inteligente via sensor de presença e tomada inteligente correspondente a R\$ 2.314,10. Com o valor do investimento, calcula-se o Payback Simples.

$$\text{Payback simples} = 2.314,10 / 626,08 = 3,7 \text{ meses}$$

Isto é, o valor do investimento possui retorno em 3 meses para a empresa. Logo, podemos considerar que o investimento em sensores e tomada inteligente paga-se, o que resulta em um custo-benefício viável e eficiente para a empresa.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das finalidades da automação é a realização da economia de energia, em que torna o processo eficiente através dos sensores de presença, sem a real necessidade de manuseio manual tanto para ligar ou desligar as luzes.

Nesse contexto, a construção de uma inovação no que compete a otimização de recursos energéticos e a possibilidade de uma nova maneira de se reduzir custos para instituições públicas são perspectivas potencialmente eficientes. Que visam não somente a melhoria de uma situação econômica atual, mas a forma de estimular as pessoas a modificarem suas atitudes e comportamentos com relação ao consumismo exacerbado dos recursos naturais.

O sistema de controle por sensores de presença aplicado a loja Iluminari Elétrica, possibilita uma inovação na estrutura de iluminação e consumo consciente de energia no empreendimento. Considerando que, os resultados mostraram que é possível ter uma economia de 24% no valor da energia comparado com o valor pago anteriormente. Logo, o valor do investimento que custa R\$ 2.314,10 será pago em 3 meses.

Portanto, conclui-se que, propor a inserção de controles de disparos automáticos baseados nos horários comerciais em que a loja está em funcionamento é uma ótima alternativa para economia de luz e redução de custos.

## REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Desperdício de energia atinge R\$ 61,7 bi em três anos**. ABESCO, 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/novidade/desperdicio-de-energia-atinge-r-617-bi-em-tres-anos/>>. Acesso em: 15 jun 2022.
- [2] BARROS, B. F.; BORELLI, R. **Eficiência energética: técnicas de aproveitamento, gestão de recursos e fundamentos**. Érica. 152p. São Paulo, 2015.
- [3] BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.
- [4] BRASIL. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://bitly.com/DAqRNT>>. Acesso em 15 jun 2022.
- [5] CAPELLI, A. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 3. ed. 236 p. Érica. São Paulo, 2013.
- [6] CUNHA, S. M.; FERNANDES, A. P. **Análise econômica de um circuito automático com sensor de presença para a iluminação do bloco de engenharia II UFRSA Campus Mossoró-RN em uma perspectiva sustentável**. Universidade Federal Rural do Semi-árido – UFRSA. Mossoró, 2018.
- [7] DA COSTA, G. J.C. **Iluminação Econômica: cálculo e Avaliação**. EDIPUCRS. 4ª edição. Porto Alegre. 2016.
- [8] KLAUS, C. B.; SHERER, O. L. S. **Redução de Custo Através do uso Eficiente da Energia Elétrica: Estudo de Caso em uma Empresa do ramo alimentício do Vale do Paranhana/RS**. Revista Eletrônica de Ciências Contábeis, v. 6, n. 1, p. 167-193, 2017. Disponível em: <<https://seer.faccat.br/index.php/contabeis/article/view/536>>
- [9] MORAES, C. S. **Análise de medidas para efficientização e uso racional da energia elétrica em condicionadores de ar**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT. Mato Grosso, 2013. Disponível em: <<http://ri.ufmt.br/handle/1/1571>>
- [10] RIBEIRO, P. S. **Eficiência energética aplicada à instituição de ensino público**. Universidade Federal do Pará – UFPA. Campus Universitário de Tucuruí. Tucuruí, 2016.

[11] ROCKMANN, R. **20 anos de mercado brasileiro de energia elétrica** / Roberto Rockmann (organizador). – 1 ED. São Paulo: CCEE, 2019.

[12] SOARES, G. M. **Sistema Inteligente de Iluminação de estado sólido com controle Remoto e Análise de Parâmetros da Rede Elétrica** / Guilherme Márcio Soares. -- 2014. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de PósGraduação em Engenharia Elétrica, 2014. Disponível em: < <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/696> >

# Capítulo 11

## *Módulo didático para uso em práticas em automação*

*Jean Oliveira Ribeiro*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** O trabalho teve como objetivo de desenvolver um Protótipo de Módulo Didático para Práticas em Automação. A proposta é verificar os dispositivos e componentes necessários para montagem do protótipo, para construir um protótipo que execute acionamentos através da linguagem ladder e comandos elétricos e fazer simulações e experimentos em circuitos elétricos utilizando comandos para acionamento de máquinas e programação através do Controlador Lógico Programável. O método foi através de desenvolvimento de um prototipo através de um estudo de caso para demonstrar seu funcionamento através da simulação e coletar dados para argumentar resultados do funcionamento do prototipo. Após a montagem dos equipamentos e conexões elétricas, foram realizados testes, no primeiro momento um contratempo com relação a programação, entretanto foi solucionado, e o módulo didático funcionou de acordo com o objetivo proposto, dessa o protótipo funcionou adequadamente com os equipamentos propostos.

**Palavras – Chaves:** Dispositivo didático; Práticas de Automação; Linguagem Ladder.

## 1. INTRODUÇÃO

A educação desempenha um papel vital na formação de profissionais em todas as áreas, além dos desafios do complexo mundo industrial moderno a educação amplia e recicla o conhecimento dos profissionais (MARTINS et al., 2021).

A Bancada de Educação é amplamente utilizada com os manuais de operação e formação e é um sistema de ensino eficaz capaz de proporcionar aos trabalhadores, alunos e professores acesso a diferentes tipos de experiências, permitindo situações reais de trabalho nas mais diversas áreas de atividade (WEG, 2020).

As tecnologias e equipamentos didáticos são todo e qualquer recurso utilizado em um procedimento de ensino, visando à estimulação do aluno e à sua aproximação do conteúdo tecnológico. O conhecimento mais aprofundado sobre equipamentos e materiais didáticos torna-se tão indispensável para os cursos técnicos (BRASIL, 2013).

Diante da crescente demanda por habilidades especializadas em automação, é imperativo explorar metodologias educacionais que transcendam as fronteiras convencionais, proporcionando uma experiência de aprendizado dinâmica e eficaz (CAMARGOS et al., 2022). Este artigo científico busca examinar o uso estratégico de módulos didáticos como uma ferramenta indispensável no ensino de automação, visando aprimorar a compreensão teórica e promover uma integração mais eficiente entre teoria e prática.

Ao explorar os benefícios e desafios ao uso de módulos didáticos no contexto da automação, busca-se não apenas enriquecer a pedagogia, mas também preparar os estudantes para se tornarem protagonistas na revolução industrial automatizada (TRIZÓLIO, 2022). Analisando a importância do conhecimento tecnológico didático, questiona-se a seguinte problemática: Como proporcionar aos alunos do curso técnico um módulo didático para aprendizado de acionamento em equipamentos?

Portanto, para responder a problemática do estudo, o trabalho tem o objetivo de Desenvolver um Protótipo de Módulo Didático para Práticas em Automação. Os objetivos Específicos são: verificar os dispositivos e componentes necessários para montagem do protótipo, construir um protótipo para que execute acionamentos através da linguagem ladder e comandos elétricos e fazer simulações e experimentos em circuitos elétricos utilizando comandos para acionamento de máquinas e programação através do Controlador Lógico Programável.

O Controlador Lógico Programável (CLP) é muito utilizado porque oferece vantagens como: baixo consumo de energia, maior flexibilidade e confiabilidade, facilidade no desenvolvimento de projetos, robustez em ambientes sujeitos a vibrações do motor. Cientificamente, com variações de temperatura e umidade, possui excelente capacidade de execução de diversas tarefas e a capacidade de se comunicar com um computador ou dispositivo digital (variáveis IHM, conversor de frequência, sensor) (MEHTA e REDDY, 2014).

Como definição, o CLP é um dispositivo eletrônico digital capaz de armazenar instruções em uma memória programável para controle, através de módulos de entrada e saída próprios, de diferentes tipos de máquinas ou processos. Ele é projetado para fácil integração em sistemas de controle industrial. Permite a implementação de funções de lógica, temporização, contagem, aritmética, entre outras (MARQUES, 2014).

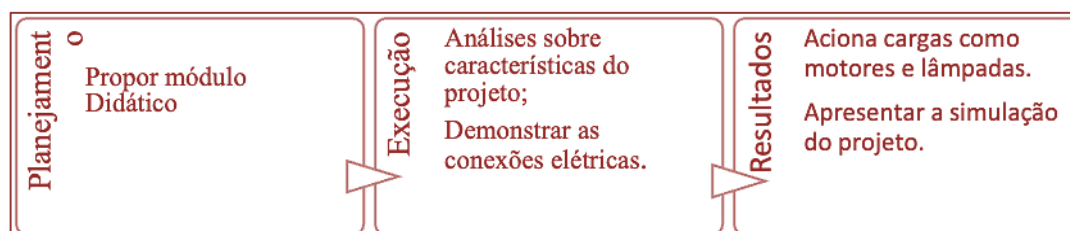
A relevância do estudo se dá em relação à prática o aprendizado teórico em sala de aula durante o período do curso em Engenharia Elétrica, além de buscar estudos que proporcionem a sociedade maior facilidade de aprendizagem utilizando a tecnologia e seus recursos para melhorar a qualidade de no módulo didático em Práticas em Automação Industrial.

Este estudo visa contribuir para a discussão e implementação efetiva dessas ferramentas inovadoras, delineando um caminho promissor para a formação de profissionais competentes e adaptáveis em um cenário industrial em constante evolução.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os principais procedimentos no desenvolvimento de um módulo didático de baixo custo para o auxílio em aulas práticas em automação industrial. O procedimento metodológico utilizado para a coleta de informações a respeito do projeto, onde o procedimento e a sequência metodológica é apresentado na Figura 1.

**Figura 1:** Esquema gráfico que descreve os passos a serem adotados na metodologia



Fonte: Autores (2022).

**Planejamento:** O modelo usa o Controlador Lógico Programável (CLP) marca Siemens LOGO a fim de realizar a supervisão do sistema, que será constituído por um Inversor de frequência. O inversor é utilizado em sistemas de acionamentos eletromecânicos, e no caso do presente projeto sua principal função foi controlar a velocidade e o torque de motores de corrente alternada e os sinaleiros de *Led*, para fazer simulações aplicando o conhecimento em comandos elétricos para acionar cargas como motores e lâmpadas. A simulação realizada a partir do programa do próprio CLP e linguagem *ladder*.

**Execução:** Essa etapa consiste nas análises sobre características do projeto e demonstrar as conexões elétricas listados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Equipamentos para conexões elétricas

Materiais	Quant.	Preço
Botoeiras liga/desliga	3	R\$ 30,00
Sinaleiros de Led	2	R\$ 24,00
Disjuntor bipolar Steck 10 <sup>a</sup>	1	R\$ 26,00
Disjuntor tripolar 10A Steck	1	R\$ 38,00
Contadoras Chint NC1-1201	2	R\$ 110,00
Relé térmico Schneider Tesys K	2	R\$ 240,00
Temporizadores Altronic	2	R\$ 166,00
CLP Siemens LOGO!	1	R\$ 706,00
Inversor de frequência Siemens Sinamics mono/ 220- 1/3cv	1	R\$ 702,00
Motor trifásico WEG - 1 cv	1	R\$ 1.550,00
Trilhos Din perfurados	3	R\$ 27,00
Pannel de MDF Branco	1	R\$ 80,00
Parafusos para madeira	12	R\$ 16,00
Cabos 1,5 mm	5 m	R\$ 10,00
Conectores macho de pino banana de 2mm	12	R\$ 24,00
Conectores fêmea de pino banana de 2mm	12	R\$ 30,00
Terminais pino	20	R\$ 5,00
Terminais garfo	20	R\$ 5,00
Custo de construção do módulo didático.		R\$ 3789,00

Fonte: Autores (2022).

O projeto módulo didático apresenta componentes como: CLP SIEMENS LOGO para realizar as simulações a serem executadas no módulo didático. Além disso, o CLP disponibiliza 8 funções lógicas básicas e 31 funções especiais, o módulo lógico LOGO pode substituir muitos comutadores e dispositivos de controle. Saídas de relé com corrente de saída máx. de 5 A.

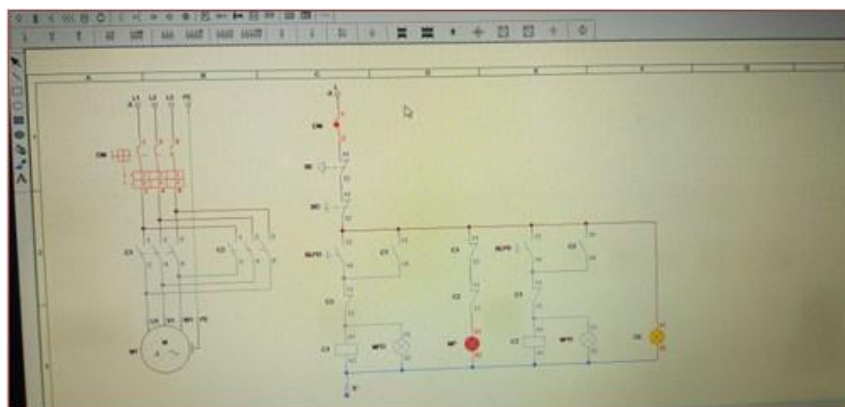
Os módulos diferentes com 4 entradas digitais, a interface para conexão aos módulos lógicos, modulares LOGO, além de disjuntor para proteção de sobre corrente ou curto-circuitos; Inversor de Frequência para permitir uma partida suave e controlar a velocidade do motor; Relé térmico utilizado para a proteção contra sobrecarga e falta de fase; Contadoras para comutar seus contatos de carga através de um acionamento de pulso externo.

Os materiais utilizados têm a finalidade de permitir que o aluno tenha acesso a aula prática através de uma bancada, onde possibilitará realizar acionamentos de equipamentos, tais como: Características do Projeto Proposto: Fabricada em MDF branco; Dimensões: 800x1000x50mm(a x l x p); Trilhos Din perfurados para a fixação dos componentes; Conexões Elétricas: Bornes de pinos bananas de 2mm (para acessar os sinais do módulo); Terminais garfo e Terminais pino; Conectores em barra; Cabos de 1,5 mm.

### 3. RESULTADOS

A fim de que fosse possível verificar se os resultados do protótipo, foi realizada a Simulação no aplicativo *CadeSimu*, o diagrama que demonstra parte de força a esquerda e o comando de uma partida direta com reversão como mostra a Figura 2. A lâmpada vermelha na Figura 2, indica que o motor está parado, já a lâmpada amarela indica circuito energizado Responder/Encaminhar.

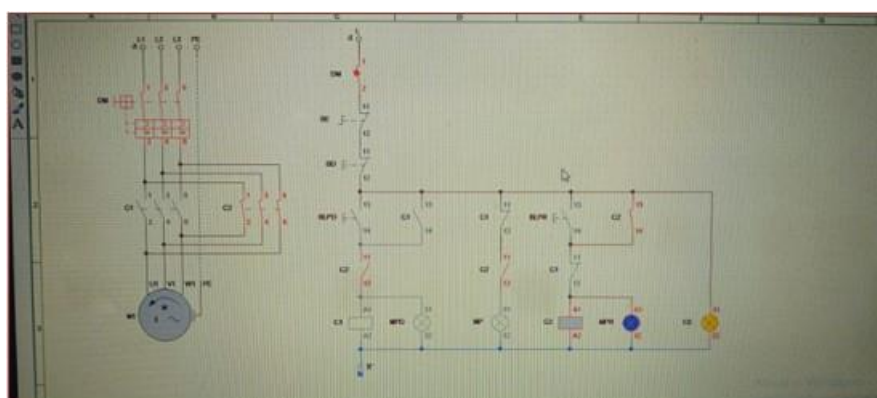
**Figura 2:** Simulação do Protótipo



Fonte: Autores (2022).

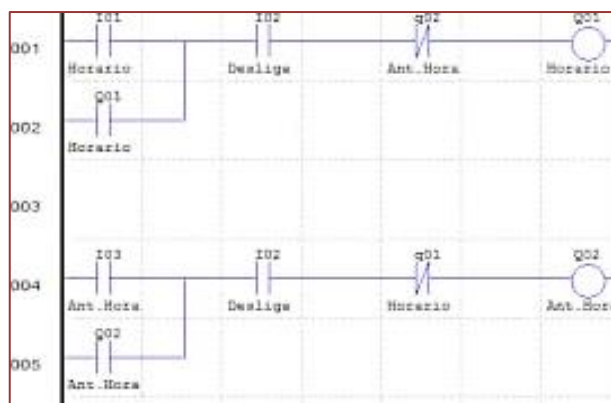
A Figura 3 apresenta o motor rotacionando no sentido inverso, é o mesmo processo do anterior, onde a bobina da Contatora 2 (C2) é energizada e assim, comutando os seus contatos, fechando o contato de selo (contato NA) para continuar alimentando a bobina de C2 e abrindo o contato NF, assim, fazendo o intertravamento, para não curto-circuitar o motor.

**Figura 3:** Diagrama do motor rotacionando no sentido inverso



Fonte: Autores (2022).

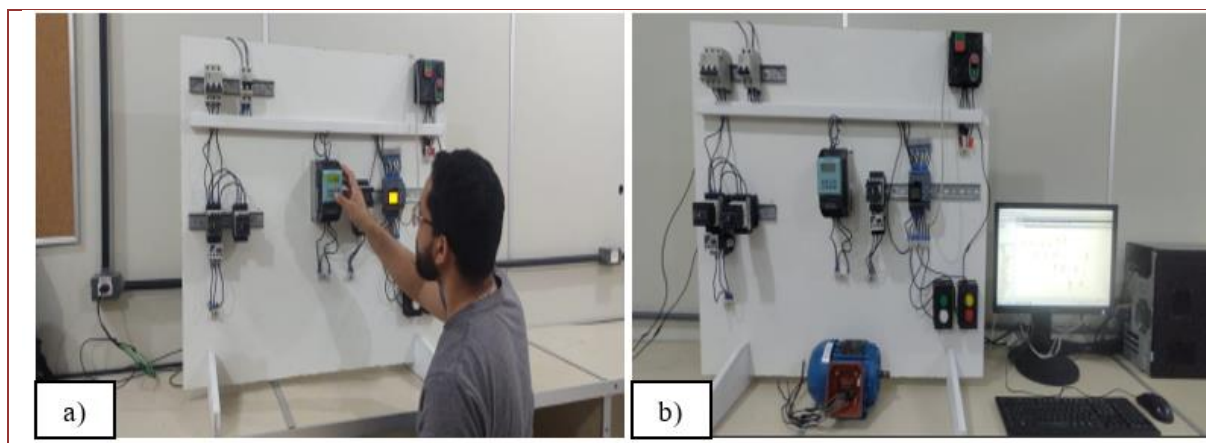
4. A programação foi realizada no CLP com linguagem Ladder como mostra a Figura

**Figura 4:** Linguagem Ladder

Fonte: Autores (2022).

Após a simulação do *Cadesimu*, foi realizada a montagem dos equipamentos e suas conexões elétricas, como mostra a Figura 4. Nesta etapa conecta-se os componentes do módulo didático, em seguida realizada os testes usando as mesmas condições simuladas, conforme mostra a Figura 4.

Após a montagem dos equipamentos e conexões elétricas, foram realizados testes, houve no primeiro momento um contratempo com relação a programação, entretanto foi solucionado, e o módulo didático funcionou de acordo com o objetivo proposto, dessa o protótipo funcionou adequadamente com os equipamentos propostos.

**Figura 4:** a) e b) Bancada de montagem dos equipamentos

Fonte: Autores (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou os componentes necessários para construção de um protótipo de módulo didático para aulas práticas de curso técnico em Automação Industrial de baixo custo. Após os testes verificou-se que o módulo se apresentou bom desempenho. Essa afirmação só foi possível pela eficácia do desempenho da bancada ser capaz de ajudar no aperfeiçoamento do protótipo além de aprimorar os conhecimentos práticos e teóricos para as práticas do curso em Automação Industrial. Nesses dois

aspectos houve grande crescimento onde se podem executar conceitos que foram aprendidos durante todo o curso e realizar atividades práticas que até então não se havia feito.

A funcionalidade dos equipamentos, montagem, e simulação do módulo didático, foi realizado um teste que no primeiro momento não foi satisfatório, mas em seguida o objetivo foi alcançado.

Os equipamentos utilizados foram essenciais para o funcionamento do protótipo, o CLP com suas características e facilidade de uso contribuiu para um excelente resultado. Dessa forma, conclui-se que esse trabalho foi de grande importância para a graduação em engenharia elétrica. Para trabalhos futuros, a sugestão fica em utilizar outros métodos e equipamentos para análise de funcionamento em comparação com o que foi proposto nesse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Ministério da Educação. Material Didático. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/omponent/tags/tag/material-didatico>. Acesso em: 18 de junho de 2022.
- [2] CAMARGOS, A. F. P. de; SANTOS, C. R. B. dos; SILVA, F. D. da; KAI, B. H. D.; SILVA, V. V. e. Educational product: residential automation with Arduino and IoT. Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 6, p. e8311628882, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28882>
- [3] MARQUES. C. A. M. Montagem de protótipo para transporte de carga utilizando o kit lego mindstorms nxt e técnicas de programação em tempo real. XIII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2014.
- [4] MARTINS, A. L. F.; MARTINELLI, A. R.; DOBIES, L. S. P.; BUENO, L. C. Desempenho em Recursos Humanos: Soufer Industrial Ltda. Desempenho em Recursos Humanos: Soufer Industrial Ltda, 2021. DISPONÍVEL EM: < <http://localhost:8080/handle/prefix/3422>>
- [5] MEHTA, B. R.; REDDY, Y. J. Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation. Editora Butterworth-Heinemann. 2014. Citado na página 21.
- [6] TRIZÓLIO, A. B. C. Módulo didático IOT para automação residencial baseado no ESP8266 ESP-12. Trabalho de Conclusão da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Ilha Solteira, 2022.
- [7] WEG. Sensores Industriais. Disponível em: <https://www.weg.net/ccatalog/weg/BR/pt/Seguranca-de-Maquinas%2C-Sensores-Industriais-e-Fontes-de-Alimentacao/Seguranca-de-Maquinas/Sensores-de-Seguranca/Sensores-Magneticos-com-Funcao-de-Seguranca/Sensores-Magneticos-com-Funcao>. Acesso em: 18 de maio de 2022.

# Capítulo 12

## *Redução de harmônicas em redes elétricas residenciais para a preservação de aparelhos eletrônicos*

*Jessé Macena de Paula*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** A energia elétrica é fundamental para o desenvolvimento e andamento de qualquer país. Um dos fatores que mais prejudica a qualidade do sistema elétrico é a presença de harmônicos nas redes elétricas. Desse modo, buscou identificar a ocorrência da corrente harmônica nas redes; quais são as perdas no sistema de potência causadas nas instalações e como elas podem prejudicar os equipamentos conectados à rede, quais são as perdas no sistema de potência, avaliando as perdas causadas no sistema de potência devido às harmônicas. Está pesquisa bibliográfica acerca da incidência de harmônicas no sistema elétrico, utilizando-se dos materiais já elaborados e publicados. As agências regulamentadoras, como ANEEL, estão sempre em busca de novas técnicas para melhorar a qualidade da energia elétrica. Para isso, é definido quais os critérios mínimos aceitáveis em relação a distribuição de energia.

**Palavra-chaves:** Harmônicos, qualidade da energia, circuito retificador de onda.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia elétrica é utilizada de forma incessante pela sociedade moderna e em muitas vezes tende a esgotar a energia disponibilizada para seu uso (TORRES, 2012). Por outro lado, a carga energética utilizado hoje é superior à que era usada a tempos atrás, causando um desenvolvimento gigantesco em nossa sociedade nos meios tecnológicos e econômicos. Por sua vez o sistema elétrico brasileiro, tem que acompanhar esse desenvolvimento aumentando a capacidade de geração, transmissão e distribuição de energia para prover as necessidades da nossa geração chamada de: “Geração Digital” (BBC, 2020).

Nos últimos anos a energia elétrica tem sido fundamental para o crescimento e desenvolvimento do nosso país, através disso, as concessionárias responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica são estimuladas, tanto pela ANEEL como pelo próprio mercado consumidor, a estarem prestando serviços e informações sobre as condições e detalhes de eventos que ocorrem e que afetam os consumidores de forma geral.

Porém, foi a partir da década de 40 com a construção do primeiro transistor, os consumidores residenciais passaram a contribuir, de forma significativa com a inserção de harmônicas na rede, através de aparelhos que contam com a contínua evolução da eletrônica. Segundo Silva (2012), “Isso tudo mudou com o avanço da eletrônica e os dispositivos eletrônicos de potência. As cargas elétricas comandadas eletronicamente possuem uma característica intrínseca que é a não-linearidade delas.

A palavra harmônico embora seja mais conhecida no meio musical é muito utilizada no âmbito da engenharia elétrica, é importante destacar sua origem na área de acústica e de instrumentos musicais. Nesse âmbito, o seu significado é múltiplo inteiro ou componentes de um tom, bem como múltiplo não inteiro denominados sob e sobretons (LEÃO et al., 2014).

A simples presença de harmônicas numa instalação não representa um problema. O problema é a sua interação com o sistema de distribuição causando distorções e perdas de tensão. Sendo assim para reduzir a presença das harmônicas nas redes elétricas, existe um processo de filtragem, que evita que as tensões de barramentos sejam distorcidas pela alimentação das cargas não lineares. Esses fatores evidenciam que o estudo da qualidade de energia é de extrema importância, para assim chegar a soluções para tais distúrbios (LOPEZ,2013).

Alguns tipos de problemas são evidenciados quando há presença de componentes harmônicas, como por exemplo, o aquecimento devido à presença de correntes harmônicas em condutores, se comparados com o aquecimento provocado pelo seu funcionamento normal. Este sobreaquecimento é prejudicial ao condutor, pois trabalhando acima de sua temperatura nominal e dependendo da condução de corrente dele, pode ocasionar a redução da vida útil e até problemas com perdas e falhas no sistema (LOPEZ,2013).

As agências reguladoras de energia elétrica são as principais responsáveis por definir regras que indicam e determinam se o sistema elétrico está funcionando dentro do que é considerado normal e satisfatório em termos de qualidade da energia. A grande preocupação dos órgãos reguladores é a qualidade do produto, ou seja, da forma de onda, da sua amplitude ou distorção e, também, com a qualidade do serviço, ou seja, o número de interrupções de energia e sua duração (MAX MAY, 2010).

Estudos realizados apontam que a eletricidade gerada no sistema de geração de energia possui uma forma de onda senoidal pura, sem a presença de harmônicas. Quando as correntes harmônicas atingem uma amplitude suficiente, a forma de onda é afetada causando distúrbios na rede elétrica, com distorções e perdas de tensão. “As harmônicas são integrais múltiplas da frequência de origem, e formas de onda não lineares são constituídas de componentes de alta frequência” (LOPEZ, 2013).

A onda senoidal é o que se almeja no sistema elétrico, pois todos os aparelhos elétricos, máquinas e transformadores são criados com base em um suprimento senoidal, a partir do momento que esta onda se intensifica, o sistema elétrico fica comprometido ou até mesmo danificado (GAMA, 2017).

O sinal senoidal mantém suas características de frequência única para a tensão e correntes quando observada através de componentes passivos de circuitos, como resistores, indutores e capacitores. A forma senoidal é invariável em relação a derivação e a integração. Entretanto, uma forma de onda desse tipo é algo ideal, e na prática, não comumente encontrada (LEÃO et al., 2014).

E dita uma distorção de onda harmônica, quando a deformação é apresentada de forma similar em cada ciclo da frequência fundamental. Neste caso, o espectro contém apenas frequências múltiplas inteiras da fundamental. Esse tipo de deformação geralmente é imposto por dispositivos que apresentam relação não linear entre tensão e corrente como, por exemplo, transformadores e motores, cujos núcleos ferromagnéticos são sujeitos à saturação. Outros elementos não lineares são as cargas eletrônicas que produzem discontinuidades na corrente devido ao chaveamento dos conversores (PHIPPS et al, 1994).

Não apenas a concessionária é responsável pela qualidade da energia, o usuário também pode poluir o sistema elétrico com a injeção de harmônicos de corrente. Cargas não lineares, como conversores de frequência para acionamento de motores, computadores, entre outras cargas que geram correntes distorcidas em que podem promover a distorção da onda de tensão, expandindo ainda mais o problema da qualidade energética para toda a instalação elétrica (MAX MAY, 2010).

Dadas as características das cargas dominantes em indústrias e residências até algumas décadas atrás, a qualidade de energia não era um tema de grande relevância. Entretanto, as cargas cada vez mais incorporam dispositivos semicondutores tais como retificadores. Além de produzirem distorções, estas cargas são sensíveis as perturbações na rede elétrica, necessitando de características particulares na tensão de alimentação para seu perfeito funcionamento. Portanto, a sensibilidade dos equipamentos às variações na forma de onda recebida, o uso de equipamentos com maior eficiência energética e com maior número de componentes não lineares, e a conscientização dos clientes em relação à qualidade do serviço prestado pelas concessionárias, são alguns dos fatores que fundamentam o estudo da qualidade da energia elétrica (EPE, 2021).

O objetivo principal dessa pesquisa está no conhecimento e entendimento entre a moderna eficiência energética e seus possíveis efeitos sobre as características operacionais nos equipamentos eletroeletrônico, e os impactos que elas podem causar na qualidade de energia nas instalações consumidoras, referindo-se aos efeitos das distorções harmônicas nos principais componentes elétricos. A partir desses pontos, surgem as seguintes questões: como identificar a ocorrência da corrente harmônica em redes de instalações elétricas? quais são as perdas no sistema de potência causadas às instalações e como elas podem prejudicar os equipamentos conectados à rede.

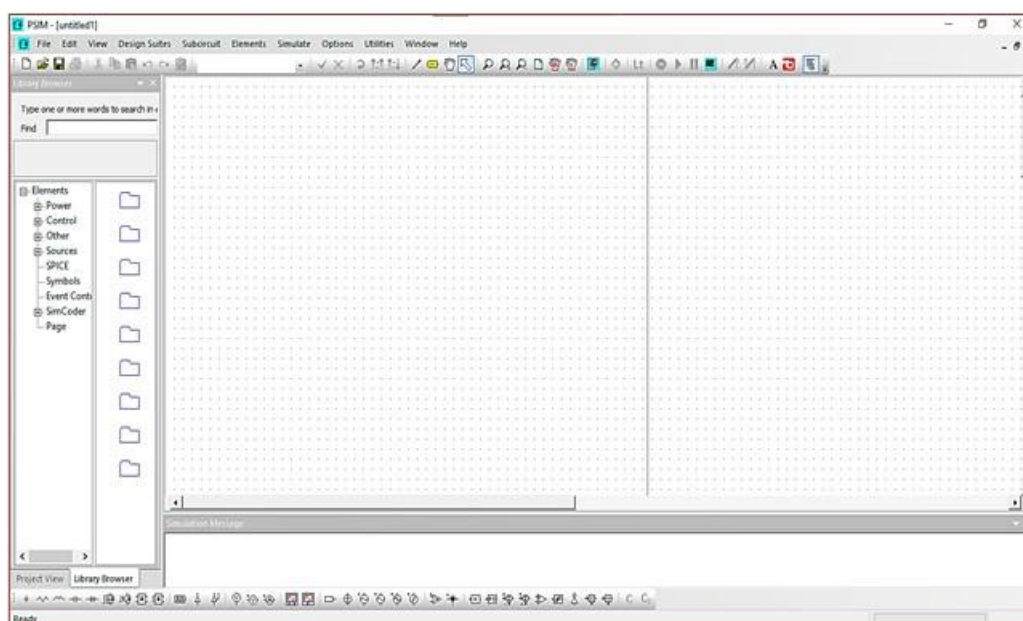
## 2. MATERIAL E MÉTODO

Esta pesquisa está relacionada acerca da incidência de harmônicas no sistema elétrico, buscando identificar o motivo das perdas de tensão no sistema de potência. Foram utilizados livros, artigos científicos relacionados a energia elétrica que já foram publicados e ferramentas computacionais como o PSIM para a demonstração de resultados das ondas senoidais. Assim, nesse artigo serão apresentadas simulações de retiradas de ruídos ocasionados na rede elétrica, denominado de harmônicos.

Para que fosse possível executar essas simulações foi usada a ferramenta PSIM. O PSIM é um simulador computacional instalado em ambiente Windows que permite simular as condições reais as quais um engenheiro eletricista poderá enfrentar. Assim, através do PSIM foi possível obter as informações da retirada de harmônicos em um prédio residencial unifamiliar.

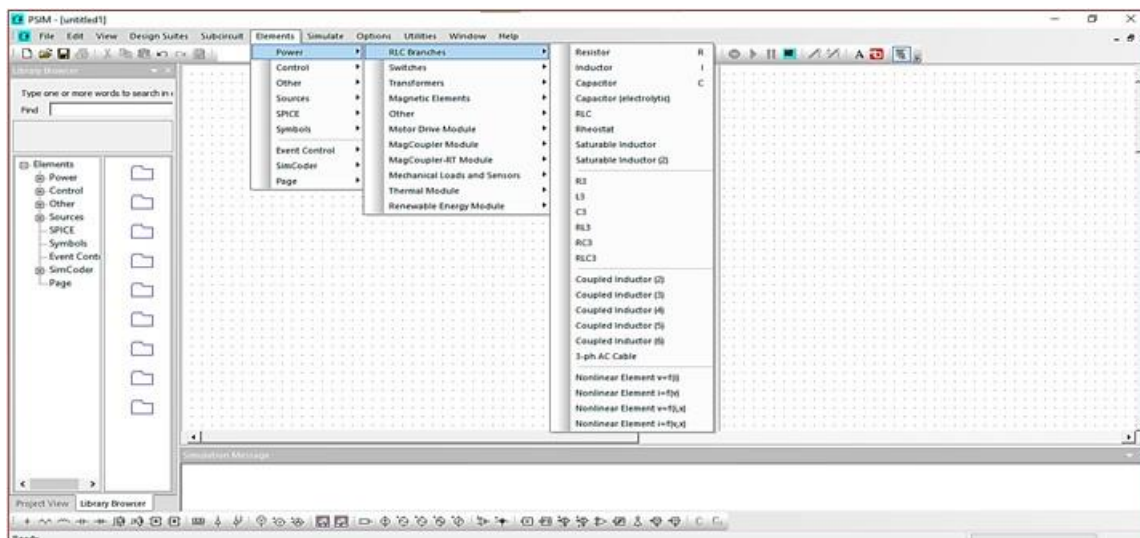
O PSIM é um software de simulação de sistemas que fornece uma série de ferramentas para revisão e análise de problemas relacionados a energia elétrica. O PSIM foi desenvolvido pela PowerSim, e atualmente o programa se encontra na versão 11.1.3 (<https://powersimtech.com/academia/for-students/>).

**Figura 1:** Janela de apresentação PSIM



Fonte: Autores (2022)

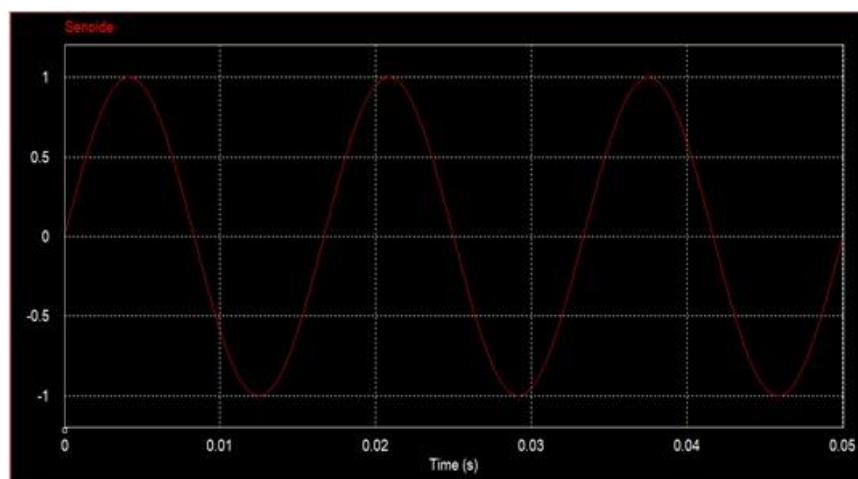
O PSIM uma vez instalado no computador, irá fornecer componentes como resistores, diodos, capacitores entre outros, que estão localizados barra de ferramentas no canto inferior esquerdo ou na opção Elements> Power> RLCBranches onde se encontra além dos componentes já citados outros para a realização de circuitos mais complexos, demonstrados na Figura 2.

**Figura 2:** Identificação dos componentes no PSIM

Fonte: Autores (2022).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os pontos mais relevantes relacionados a utilização harmônicas em redes elétricas residenciais. A distorção de tensão e a corrente é analisada matematicamente através dos estudos das ondas senoidais periódicas. Nestas condições, sabe-se que qualquer onda que possua em seu conteúdo distorções ou frequências com amplitude diferente da fundamental, pode ser decomposta de acordo com a série de Fourier, em uma componente de mesma frequência que a da onda resultante distorcida que é chamada de “Onda Fundamental”, e em outras ondas senoidais de frequências múltiplas da fundamental, que, como em acústica, receberam a denominação de “HARMÔNICAS”. As distorções harmônicas podem ser definidas com uma deformação na formação da onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental (PRODIST - MÓDULO 8, 2018).

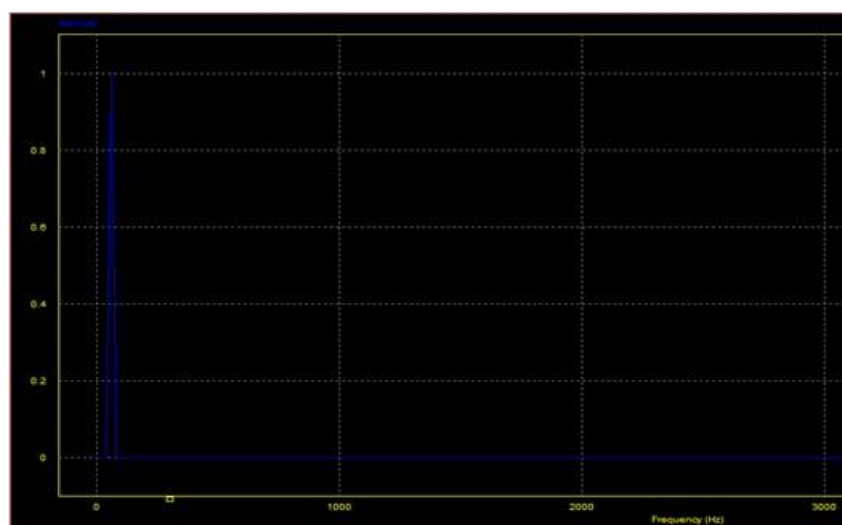
**Figura 3:** Onda Senoidal Pura

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 3 está representado a onda senoidal limpa. Os dados de simulação foram pico de amplitude, frequência que em nosso país é de 60 Hz, Tensão de pico varia de -1 a 1 que denominado de tensão de pico a pico. A tensão de pico da Figura 3 está representada na figura 3.1, onde está sendo representada a onda senoidal limpa sem qualquer tipo de interferências.

O sinal senoidal mantém suas características de frequência única como demonstrado na figura 3, para a tensão e correntes, quando observada através de componentes passivos de circuitos, como resistores, indutores e capacitores. A forma senoidal é invariável em relação a derivação e a integração. Entretanto, uma forma de onda desse tipo é algo ideal, e na prática, não comumente encontrada (LEÃO et al, 2014).

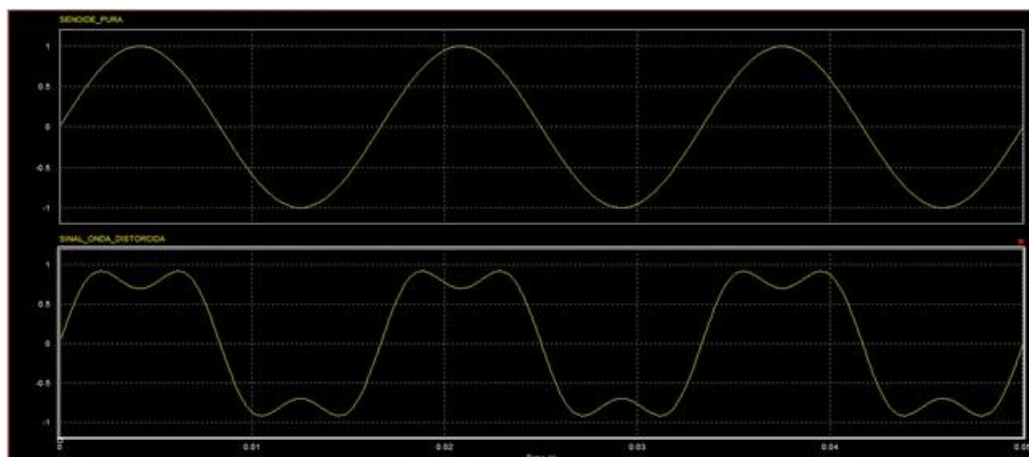
**Figura 4: Tensão de Pico**



Fonte: Autores (2022).

Como demonstrado na Figura 5, uma distorção de onda é dita harmônica quando a deformação se apresenta de forma similar em cada ciclo da frequência fundamental. Neste caso, o espectro contém apenas frequências múltiplas inteiras da fundamental. Esse tipo de deformação geralmente é imposto por dispositivos que apresentam relação não linear entre tensão e corrente como, por exemplo, transformadores e motores, cujos núcleos ferromagnéticos são sujeitos à saturação.

A presença das harmônicas nas redes elétricas tem grandes consequências negativas que foram apresentadas por (LOPEZ, 2013). Uma delas é que as ondas harmônicas geradas, prejudicam principalmente a vida útil dos aparelhos ou impossibilitam que eles usem o seu máximo desempenho. Os fusíveis ou disjuntores que fazem a proteção da rede elétrica residencial são os que mais são prejudicados, pois eles fazem a operação de proteger e manter o sistema elétrico operante. Caso os disjuntores sofram alterações alguns aparelhos sofreram interferências, máquinas que estiverem ligadas a rede podem sofrer sobreaquecimento e venham ser danificadas por conta da incidência de harmônicas.

**Figura 5:** Onda senoidal com harmônicas no 3º grau

Fonte: Autores (2022).

Engelétrica (2011) esclarece que os efeitos causados pela distorção harmônica geram um aumento de tensão na rede, onde vai ocorrer a aceleração, fadiga de motores e aparelhos eletrônicos conectados, além de fios e cabos sofrerem aquecimentos constantes. Todos estes fatores podem causar prejuízos, como a queima, falha e até mesmo o seu desligamento, tanto de aparelhos, como o da própria instalação. As harmônicas são altamente prejudiciais ao sistema elétrico como um todo, afetando a qualidade de energia, fato este que causas sérias consequências para a sociedade. Esse desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes determinadas entre as tensões de fase de um determinado sistema elétrico.

Hoje a qualidade da energia elétrica tem se tornado fundamental para o desenvolvimento da sociedade em geral, onde pesquisadores e engenheiros elétricos vêm buscando novas formas e mecanismos para melhorar e combater as ocorrências de harmônicos no sistema é um meio para garantir uma qualidade de tensão no sistema.

No sistema elétrico brasileiro o responsável por regulamentar critérios na distribuição e fiscalização de energia é a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. O técnico responsável verifica se as empresas responsáveis pela distribuição de energia estão agindo de acordo com as normas regulamentadoras que é a resolução nº 871 de 2020, que definem o fator de potência e a frequência fundamental de acordo com os valores indicados pela norma. (ANEEL,2020).

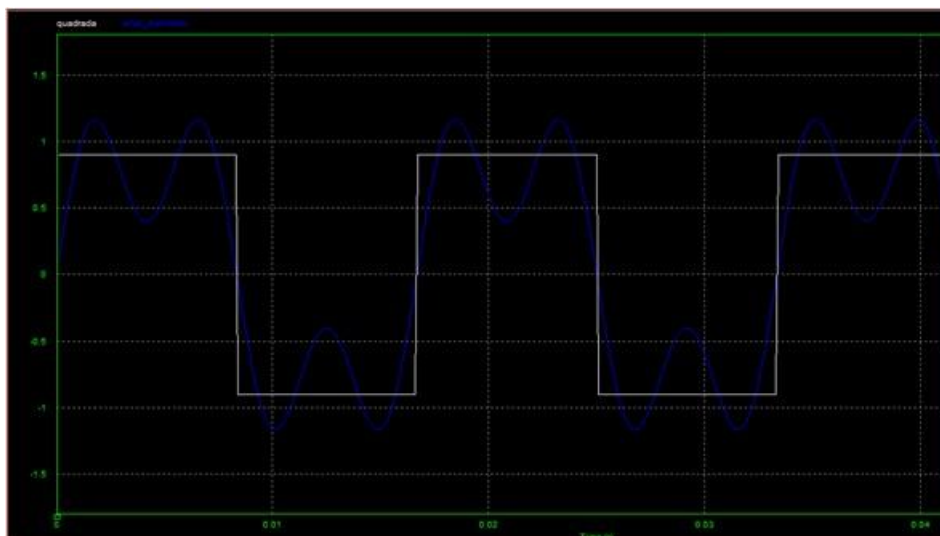
Um método para reduzir a formação ondas harmônicas nas redes elétricas é a criação de filtros ativos. Eles ajudam o sistema a manter a onda de frequência estabilizada, criando cargas não lineares que atuam sobre a corrente fundamental promovendo a compensação reativa. A constituição desses filtros é composto capacitores e resistores e indutores, que conectados em serie trabalham de forma que ajudam o sistema reduzir a formação de ondas harmônicas.

A qualidade da energia elétrica é um tema que ainda falta muito para se aprender, pois não depende apenas das distribuidoras fornecerem uma energia de qualidade, e sim também de todos os usuários, para que não venha ocorrer falhas que possam ser prejudiciais aos aparelhos eletrônicos.

A presença das harmônicas nas redes elétricas tem grandes consequências negativas que foram apresentadas por Lopez (2013). Uma delas é que as ondas

harmônicas geradas, prejudicam principalmente a vida útil dos aparelhos ou impossibilitam que eles usem o seu máximo desempenho.

**Figura 6:** Onda Quadrada com harmônicas de 3ª ordem

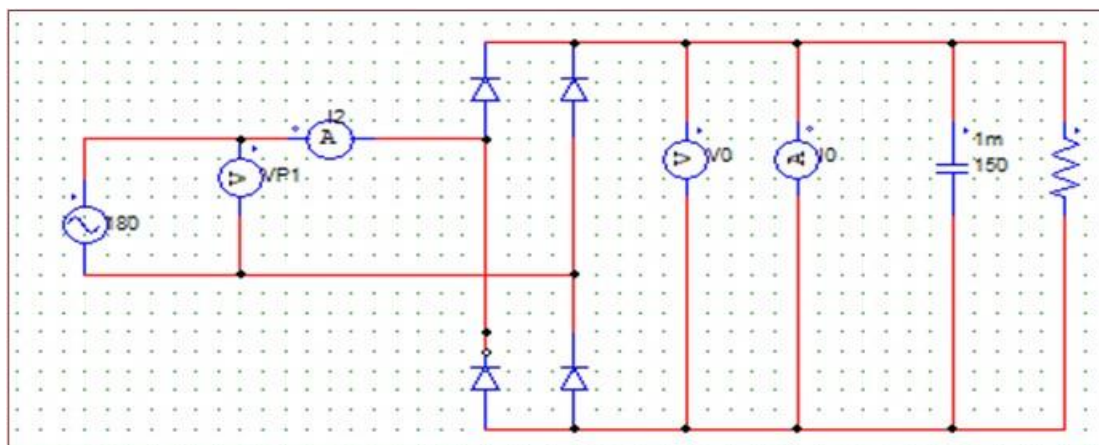


Fonte: Autores (2022).

Os fusíveis ou disjuntores que fazem a proteção da rede elétrica residencial são os que mais prejudicados, pois eles fazem a operação de proteger e manter o sistema elétrico operante. Caso os disjuntores sofram alterações alguns aparelhos sofreram interferências, máquinas que estiverem ligadas a rede podem sofrer sobreaquecimento e venham ser danificadas por conta da incidência de harmônicas.

De acordo (GAMA, 2017) as harmônicas são geradas a partir de aparelhos ou produtos cujo fator potência é baixo. Tendo como exemplo as lâmpadas fluorescentes que em praticamente existem em todas as residências. O fator de potência é baixo e somando com as que existem por exemplo em um prédio residencial, fazem com que as harmônicas sofram cada vez mais alterações. O circuito retificador apresentado na Figura 7, foi utilizado para conversão da corrente alternada para corrente de passagem.

**Figura 7:** Circuito Retificador de Onda

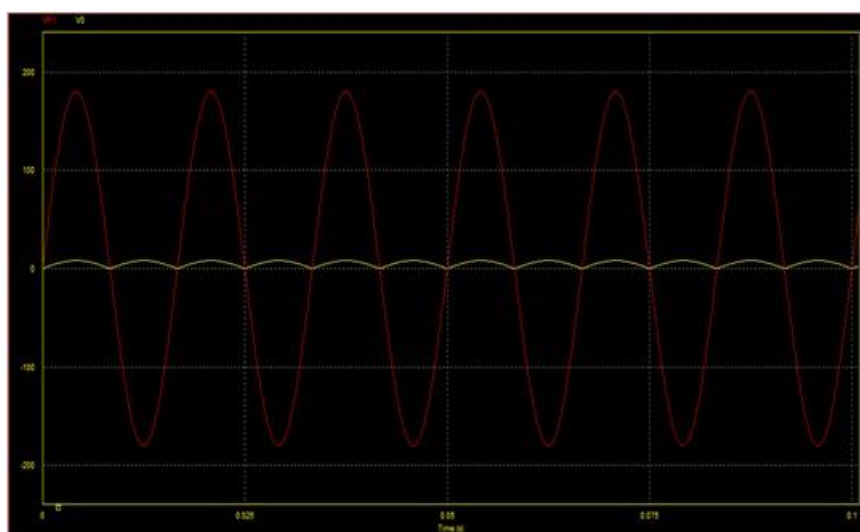


Fonte: Autores (2022).

Uma das grandes soluções para reduzir as harmônicas no sistema elétrico é por meio da criação de filtros de harmônicas como demonstrado na Figura 8, ou seja, através de diodos retificadores que fazem a filtragem das correntes excessivas, resistores e capacitores que armazenam essa corrente extra e diluem de forma que não tragam prejuízos significativos a rede.

Após aplicação do circuito retificador é possível obter uma onda retificada, filtrando assim, todos os harmônicos, como apresentado na Figura 8 é demonstrado o resultado de onda retificadora, no qual a onda faz a correção das harmônicas e trás a garantia de uma energia elétrica de qualidade. Esses filtros fazem com que o sistema tenha uma energia mais limpa e evite os sobreaquecimentos e ou até mesmo o desligamento do sistema elétrico.

**Figura 8:** Onda retificadora



Fonte: Autores (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o passar dos anos a demanda de carga elétrica em nosso país tem crescido constantemente, com isso as concessionárias tiveram que aumentar a geração e a distribuição da carga energética para acompanhar esse desenvolvimento. E assim as harmônicas foram se tornando cada vez mais prejudiciais ao sistema elétrico.

Quando se fala em distribuição de energia de baixa qualidade é possível imaginar os prejuízos econômicos causados, pois a distorção harmônica causa o aquecimento de equipamentos e a diminuição da vida útil de aparelhos eletrônicos. Transformadores terão aumento de perdas, causando redução de capacidade, e diminuição da vida útil. Os medidores de energia são prejudicados quando existe um valor muito elevado de harmônicos no sistema, um dos seus efeitos é afetar no funcionamento correto deste, o que pode elevar o valor da fatura de energia.

Com base nas pesquisas realizadas, a incidência harmônica acima do permitido pelas normas regulamentadoras e com a finalidade de evitar os prejuízos causado pela mesma, deve se fazer a correção. Atualmente, vem se buscando formas de mitigação cada vez mais eficientes, entretanto, até hoje as mais usadas são os filtros. Esses filtros são capazes de filtrar as frequências as que não vão causar prejuízos a rede elétrica.

#### REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL, **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional- PRODIST, módulo 8**, 20/05/2021 Resolução345/2008 da ANEEL. Disponível em: <[https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo8\\_Revisao\\_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19](https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19)>
- [2] GAMA, G. S. **Análise da Qualidade de Energia Residencial: um Estudo para Identificação de Distorções Harmônicas e Índices de Fator de Potência**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul – UNIJUI - 2017. Disponível em: <<https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/server/api/core/bitstreams/0a7c8c4c-a003-4e42-8c4a-d4a94c7e803b/content>>.
- [3] LEÃO, R. P. S.; SAMPAIO, R. F.; ANTUNES, F. L. M. **Harmônicos em Sistemas Elétricos** – 1. Ed. – Rio de Janeiro: Elsevier. 2014.
- [4] LOPEZ, R. A. **Qualidade na Energia Elétrica**. São Paulo: Editora Artliber, 2ª ed. 2013. PORTAL DO ELETRICISTA. Medidor Elétrico Externo.
- [5] MELLO, C. A. F., **Efeitos das Tensões e Correntes Harmônicas sobre o Sistema Elétrico e seus Componentes**. Dissertação de Mestrado nº 51, PPGEE, UFMG,1988. Disponível em: <<https://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap4/cap4.html>>
- [6] PHIPPS, J. K., NELSON, J. P., SEN, P. K. **Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems**. IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 30, no. 2, March/April 1994, pp. 476-485. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/28.287506>>
- [7] PORTELA, K. T.; ROSA, J. S. **Estudo dos Efeitos dos Harmônicos Gerados por Residências na Rede de Distribuição Secundária**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10032/2/CT\\_COELE\\_2016\\_2\\_09.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10032/2/CT_COELE_2016_2_09.pdf)>
- [8] SILVA, J.; PINHEIRO, R. A **Análise de Fourier utilizando o software Protheus Isis: Um estudo de caso sobre as harmônicas**. VII CONNEPI, TO: Palmas, 2012. Disponível em: <[https://www.academia.edu/83147070/A\\_Análise\\_de\\_Fourier\\_utilizando\\_o\\_software\\_Proteus\\_Isis\\_Um\\_estudo\\_de\\_caso\\_sobre\\_as\\_harmônicas?f\\_ri=1695466](https://www.academia.edu/83147070/A_Análise_de_Fourier_utilizando_o_software_Proteus_Isis_Um_estudo_de_caso_sobre_as_harmônicas?f_ri=1695466)>
- [9] TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia**

**elétrica em edificações residenciais.** (Dissertação). Mestre em Ciências –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade em Engenharia Mecânica. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia Mecânica. São Carlos, 2012. Disponível em: < [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao\\_final\\_rct.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao_final_rct.pdf)>

# Capítulo 13

## *Projeto de uma fazenda solar na comunidade bela vista no município de Manacapuru*

*Joelson de Andrade dos Santos*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Atualmente, o número de projetos de geração distribuída utilizando sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCCR) está aumentando por ser uma fonte de energia renovável, de fácil utilização e traz os benefícios previstos pela Resolução normativa 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica. A comunidade Bela Vista está localizada na zona rural do município de Manacapuru (a 68 km de Manaus) e vem recebendo serviços de terraplenagem e pavimentação, utilizando concreto asfáltico para garantir acessibilidade, mas também apresenta problemas com o sistema básico por falta de eletricidade regular é um grande problema que pune a comunidade há anos. Para resolver isso, foi desenvolvida uma fazenda solar com o objetivo de fornecer energia para toda a comunidade no momento mais crítico e facilitar o comércio em uma região conhecida pela presença de muitas fábricas de tijolos. Todo o processo construtivo é apresentado de acordo com suas especificações técnicas operacionais e, devido ao valor energético a ser cobrado, possui maior viabilidade de implantação do que as fontes tradicionais de energia.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica, placa solar, energia renovável.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, com o aumento da tarifa de energia elétrica em todo o país e principalmente na região norte, tem levado os consumidores à uma busca por formas alternativas para geração de energia elétrica como os sistemas fotovoltaicos para serem instalados em residências (ABSOLAR, 2016). A implantação de parques solares é diferente da residencial, em relação ao alcance de consumidores, os residenciais abastecem uma família, enquanto um parque solar abastece uma comunidade ou determinada região (EPE, 2018). No entanto, uma análise detalhada dos requisitos necessários para tal implementação é crucial. Leve em consideração algumas informações como: irradiação local, disponibilidade regional e sistema tarifário inserido na unidade de consumo. Por fim, com base na consistência dos dados obtidos na análise do desempenho do sistema de geração de energia fotovoltaica, é feita uma avaliação do retorno financeiro da energia fornecida pela concessionária como justificativa para o investimento neste sistema específico (IEA, 2016).

A energia, em si, é tipicamente armazenada na forma de portadores como o carvão, o gás, a madeira, entre outros. Assim, esta energia dos portadores é normalmente chamada de energia primária. Todavia, para fins práticos, tal energia precisa ser convertida, como, por exemplo, em energia elétrica (MERTENS, 2016). Desse modo, quando a eletricidade é desejada, por exemplo, pode-se queimar o carvão em uma usina elétrica a carvão para gerar vapor quente, cuja pressão é utilizada para acionar um gerador que disponibiliza energia elétrica na saída da estação de força. Já o processo de transporte dessa energia secundária para as casas, representando os consumidores finais, está sujeito a perdas de conversão relativamente altas, principalmente a partir dos cabos e estações de transformadores, sendo, também, somados às perdas de distribuição.

A energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis, tais como a biomassa, hídrica e eólica, é muito mais acessível do que a energia produzida por meio de combustíveis fósseis em diversos lugares do mundo, estando ligado ao tamanho (MW) e a localização do trabalho. A geração de energia fotovoltaica e geotérmica, também possuem custos semelhantes, e são fontes de geração energética alternativas e duradouras, devido que as mesmas apresentam as características de serem favoráveis ao ambiente, poluindo menos e, conseqüentemente, apresentando mesmos riscos para a saúde da humanidade (NAYYAR et al., 2016).

O uso da tecnologia de geração distribuída, principalmente a fotovoltaica, é considerada por muitos como um dos métodos mais viáveis de geração energética limpa, por meio de uma fonte ilimitada e ao carbono neutro (não contem características poluentes na geração), fornecendo vantagens no quesito ambiental e maior eficiência energética na matriz de energia do Brasil (MARINOSKI et al., 2017).

Segundo Pereira e Echer (2017), o Brasil apresenta uma grande força no que tange a energia solar anual por possuir seu território maioritariamente localizado na zona intertropical, que é a zona mais quente do planeta terra. Os benefícios da utilização solar poderiam ser sentidos a longo prazo no país com a utilização de tecnologias que viabilizem o desenvolvimento de regiões de difícil acesso tecnológico e estrutural e com custos de distribuição elétrica convencional muito elevados. Uma maior adesão da tecnologia solar no Brasil representa uma considerável redução na emissão de gases poluentes na atmosfera terrestre.

Valores de irradiação solar nas regiões do Brasil são muito maiores aos de grande parte dos países da Europa, onde esta tecnologia encontra-se mais avançada. Pode-se

tomar como exemplo uma comparação da irradiação incidente do Brasil, apresentando valores entre 4200 à 6700, com a Alemanha, que varia de 900 até 1250 (ENTREPRENEURS TOOL KIT, 2017). A consequência disto, o país pode ser muito beneficiado ao realizar o aproveitamento desse método de geração energética, visto que dispõe abundantemente esta fonte de energia no seu território, especialmente nas regiões Norte e Nordeste (MACEDO, 2013).

No país são identificados desde climas super húmidos, como no caso da Amazônia, à climas semiáridos, como os do sertão do Nordeste (VIANA, 2013). Como resultado da proximidade destas regiões à Linha do equador tem-se o calor constante do clima local, sendo esse o aspecto essencial para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, comprovando assim o alto potencial do método de geração de energia elétrica através de fonte solar.

A procura de novas soluções tecnológicas de energias renováveis, o sistema fotovoltaico apresenta um significativo aumento no seu uso. Visto isso, tem-se estudado novos materiais, fazendo pesquisas para desenvolver ainda mais dita tecnologia (CEMIG, 2016). Como principal material utilizado nos sistemas de fabricação de células fotovoltaicas (FV), temos o silício (Si), o qual é constituído como o segundo elemento químico com maior abundância no nosso planeta. Dito material tem sido estudado e testado de três diferentes modos: cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2016).

Atualmente, há três tecnologias utilizadas para a geração de células fotovoltaicas, que se classificam em três gerações em relação ao seu material e especificações. O primeiro modo de geração é constituído por silício cristalino (c-Si), que se fraciona em silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si), o qual representa 85% do mercado, devido que esta é uma tecnologia que apresenta maior eficiência, confiabilidade e consolidação (CEPEL, 2015).

Os painéis ou módulos solares, são os principais elementos dos sistemas de geração de energia fotovoltaica. São formados por um aglomerado de células fotovoltaicas interligadas eletricamente em série ou em paralelo, em relação a tensão e corrente determinada no trabalho. Os conjuntos desses módulos são conhecidos como geradores fotovoltaicos, e compõem a primeira parte do sistema, processo pelo qual são encarregados de captar a radiação solar e convertê-la em eletricidade (PEREIRA, 2016).

Este projeto tem como objetivo fundamental projetar uma fazenda solar com a função de gerar energia a ser distribuída para a comunidade Bela Vista, possibilitando que consumidores economizem energia sem precisar investir em um sistema próprio, pagando pelo o aluguel de celulares ou pagando um valor taxado de fornecimento energético durante o dia e noite.

## 2. MATERIAL E METODOS

Nesta seção serão apresentados os métodos usados no processo de construção de uma usina fotovoltaica, o qual fica a cargo da ANEEL e do órgão gestor para o estudo da devida localização e homologação. Além disso, foram tomadas medidas antes mesmo da conclusão do projeto, incluindo a negociação de prazos para o lançamento e o lançamento do parque solar.

Como etapa final tem-se a documentação, que inclui a aprovação da construção, um contrato de uso do solo para a fábrica e um contrato de compra da energia produzida

pela usina fotovoltaica. Quando a emissão da homologação nos termos das resoluções normativas da Aneel 482/12 e 687/15 é emitida e documentada, a infraestrutura elétrica está pronta para adquirir a usina.

## 2.1. ESCOLHA DO LOCAL DA CONSTRUÇÃO DA FAZENDA SOLAR

O terreno escolhido para a implantação da fazenda solar em uma estrada secundária (ramal Bela Vista) próximo a comunidade Colônia Agrícola Bela Vista, a área é plana excelente para a implantação do projeto. Preferencialmente, a fazenda solar deve ficar perto da rede elétrica. E a menos de 10 quilômetros da subestação à qual será enviada a energia produzida. A Figura 1 apresenta uma imagem aérea da área de construção da fazenda solar.

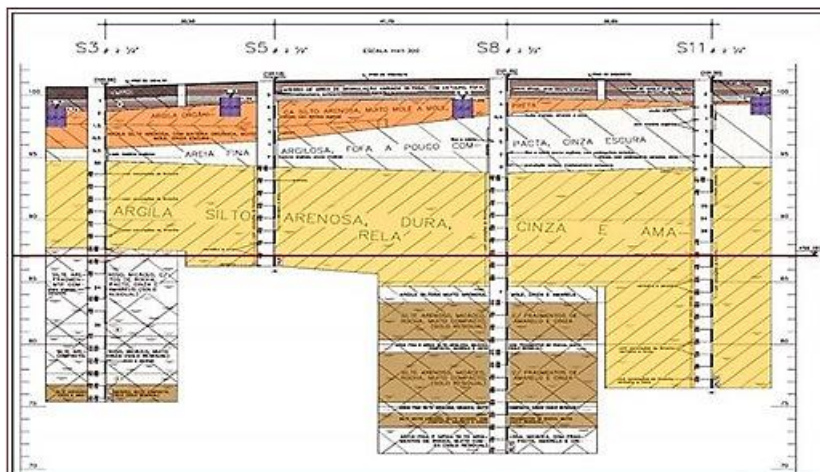
**Figura 1:** Imagem da demarcação da fazenda solar da comunidade de Bela Vista



Fonte: Google Maps (2022).

A área que aparece em destaque de vermelho na Figura 1, corresponde ao local exato da construção da fazenda solar na comunidade de Bela Vista. É possível observar que próximo ao local da fazenda nota-se duas igrejas que estavam fechadas temporariamente devido à falta energia elétrica na região.

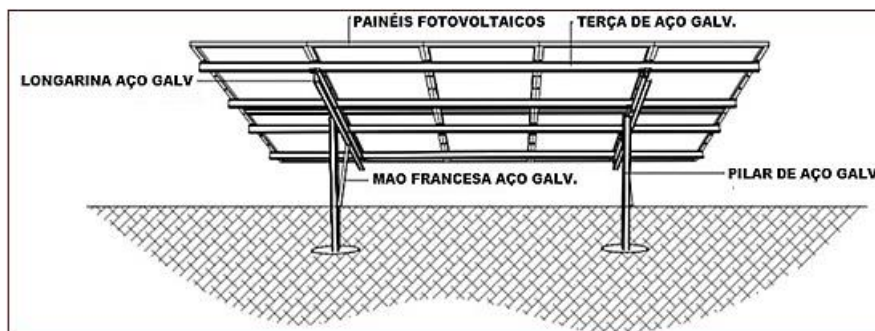
A sondagem do solo foi um elemento muito importante pois determinou a composição do solo, localização do lençol freático ou nível de rocha. Por meio da sondagem foi possível analisar a viabilidade técnica do projeto, e assim, os cálculos para o seu custo da implementação da fazenda podem ser realizado. A Figura 2 mostra uma planta baixa para a construção de um parque solar e suas características básicas, a amostragem dos tipos diferentes de solos argilosos, siltosos e arenosos e a espessura das suas camadas a cada nível de profundidade.

**Figura 2:** Análise do solo da área de construção da fazenda solar

Fonte: Autores (2022).

## 2.2. FIXAÇÃO DAS PLACAS SOLARES NA ÁREA ESCOLHIDA

A maioria dos serviços de construção de usinas solares fotovoltaicas estão relacionadas aos componentes eletromecânicos e elétricos, porém, no caso de grandes projetos como componentes de terra, uma engenharia civil eficiente evitará ocorrências durante a construção que possam dificultar a obra ou até mesmo inviabilizar o projeto. A Figura 3 mostra o sistema de metal usado para segurar o painel solar.

**Figura 3:** Estrutura de fixação da Placa solar

Fonte: Autores (2022).

A Figura 3 mostra o esquema gráfico da estrutura que comportará duas placas solares totalizando 600 unidades de estruturas, onde foi instalado 1200 painéis solares ocupando uma área de 3.500m<sup>2</sup>. As ferramentas necessárias para instalação de cada módulo metálico é simples, necessitando de apenas, chave de boca para os parafusos sextavados de 1/2<sup>o</sup>, chave de boca sextavado de 3/8<sup>o</sup>, chave de boca para parafusos sextavado 5/16<sup>o</sup>, parafusadeira com bocal para parafuso, nível plumo e trena.

### 2.3. ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES

No Hemisfério Sul, a direção ideal para o sistema fotovoltaico é o norte geográfico, e não o norte magnético mostrado pela bússola. De fato, a diferença entre o norte geográfico e o norte magnético oscila entre 20° e 30°. Em primeiro momento precisamos da latitude e longitude da região onde serão instalados as placas solares, em no caso os dados são: *Latitude: 3° 17' 39" Sul, Longitude: 60° 38' 4" Oeste*. Em segundo lugar precisamos descobrir o ângulo de inclinação das placas. Usaremos o sistema do Sundata Cresesb, onde iremos inserir os dados de latitude e longitude, como é apresentado na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta todos os valores necessários para encontra o ângulo correto das placas solares, como o sistema projetado não é conectado à rede usaremos a inclinação de 7° N indicada no ângulo maior mínimo mensal.

**Tabela 1:** Ângulo de inclinação para as placas solares

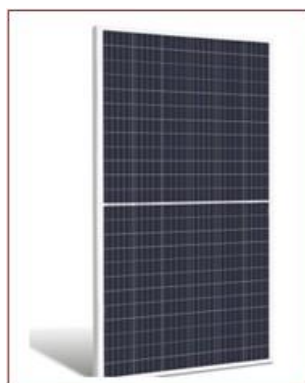
Cálculo no Plano Inclinado																
Município: Manacapuru																
Latitude: 3,001° S																
Longitude: 60,049° O																
Distância do ponto de ref. (3° S; 60° O): 5,4 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,00	4,03	4,01	3,79	3,79	4,25	4,29	4,89	4,93	4,80	4,62	4,21	4,30	1,14
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	3° N	3,93	3,99	4,00	3,82	3,85	4,35	4,38	4,95	4,94	4,77	4,54	4,14	4,31	1,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	4° N	3,91	3,98	4,00	3,83	3,87	4,38	4,40	4,97	4,95	4,75	4,52	4,11	4,31	1,15
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	7° N	3,84	3,93	3,99	3,85	3,92	4,46	4,48	5,03	4,95	4,70	4,44	4,02	4,30	1,18

Fonte: Sundata Cresesb (2022).

### 2.4. PLACA SOLAR E ESPECIFICAÇÕES

A partir das informações referentes a área de instalação e ângulo de inclinação para que fosse possível obter um melhor desempenho do sistema implementado, a placa solar escolhida para o projeto foi, o modelo BYD 340PIK-36; de classe de eficiência A; com uma Eficiência energética (%): 16,90; área externa do Módulo (m<sup>2</sup>): 2,10; produção média mensal de energia (kWh/mês): 42,50; potência nas condições padrão (W): 340. A placa solar escolhida pode ser verificada na Figura 4.

**Figura 4:** Placa solar da marca BYD



Fonte: Neosolar (2022).

Após o dimensionamento e escolha das placas foi iniciada a preparação do solo onde as estruturas iriam ser fixadas. Primeiramente, foi realizado o nivelamento do solo,

porém este não pode ser realizado na sua totalidade, pois devido a região Amazônia possuir uma precipitação anual elevada (FISCH, 1983) e esta uma causadora de erosão no solo, é necessário que durante o processo de preparação sejam feitas fendas para a drenagem da água da chuva (como mostra a Figura 5a). Além da preparação e nivelamento do solo, a Figura 5a mostra a demarcação no solo do local exato de instalação das estruturas que servirão de fixação dos dos painéis solares.

Enquanto, a Figuras 5a mostra a região escolhida, a Figura 5a apresenta somente a fixação das hastes já com sua inclinação ajustada e para uma melhor performance de recepção solar. A Figura 5b apresenta as placas solares encimas das hastes de encaixe das placas. A montagem foi realizada em três momentos. O primeiro momento foi a preparação do solo com a terraplanagem. O segundo momento foi a marcação no solo do posicionamento de cada modulo metálica. Terceiro e último a fixação dos painéis e a posição deles de forma adequada.

**Figura 5:** a) Preparação e nivelamento do solo; b) colocação das estruturas de fixação das placas; c) fixação das placas aos módulos.



Fonte: Autores (2022).

### 3. RESULTADOS

Com o objetivo de atingir uma melhor estimativa de custo real da implementação da usina fotovoltaica, foi feita um arranjo de informações fornecidas por entidades, informações obtidas através de especificações da equipe do trabalho, até alcançar o melhor custo-benefício e ser realizada a compra dos recursos.

Após a concepção e montagem da estrutura da fazenda fotovoltaica foram analisados os principais parâmetros, considerados como uma das grandes vantagens do projeto.

### 3.1. CUSTO TOTAL DA IMPLANTAÇÃO DA FAZENDA SOLAR

A importância de conhecer o valor total do projeto é suma importância para futuros novos trabalhos acerca de fazenda solar, sendo também um elemento fundamental para a documentação do projeto de infraestrutura do sistema fotovoltaico implantado. Os valores se apresentam descrito de forma individual ao lado do componente utilizado na implantação do sistema, assim foi possível estimar o custo do projeto. Na Tabela 2 são apresentados na coluna da direita os componentes utilizados para a instalação de 1200 placas solares, enquanto na coluna da esquerda seus respectivos valores, necessários até o valor da mão de obra do projeto. Vale a pena destacar, que os valores apresentados na Tabela 2 foram aqueles necessários para a implementação de toda a fazenda projetada.

**Tabela 2:** Custo total do projeto

COMPONENTES	VALORES
Módulo Fotovoltaico	R\$ 1.560.408,90
Inversor Solar	R\$ 158.352,00
String Box	R\$ 60.665,00
Estrutura	R\$ 120.834,00
Acessórios	R\$ 40.021,39
Mão de obra	R\$ 1.466.204,04
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 3.406.485,33</b>

Fonte: Autores (2022).

### 3.2. IMAGEM AÉREA DA FAZENDA

A Figura 6 mostra a vista aérea da fazenda fotovoltaica obtida por meio de *drone* da mostrando o resultado após a instalação do sistema das placas solares na comunidade de Bela Vista no município de Manacapuru. Onde apresenta a estrutura concluída tanto em termos de fixação como de conexão e transmissão. A importância da imagem aérea para o projeto foi fundamental também para mencionar suas dimensões e registros documentais como e exigido por qualquer projeto de infraestrutura elétrica. Essas imagens também são exigidas pelos órgãos governamentais para servir como elemento de fiscalização dos mesmos para se calcular se existiu algum impactado ambiental na área de construção da fazenda solar.

**Figura 6:** Vista aérea da fazenda solar.

Fonte: Autores (2022).

### 3.3. POTENCIAL GERADOR

A quantidade de placas instaladas foi 1200 módulos fotovoltaicos gerando 660KW, onde o objetivo é alugar placas de energia solar para a prefeitura com o objetivo de levar energia a essas residências e comércios na comunidade de Bela Vista que mais sofrem no período noturno com a falta de abastecimento convencional da companhia energética, levando a prejuízos comerciais e até mesmo o aumento da criminalidade na comunidade com a falta de iluminação em alguns trechos da comunidade que ficam em uma escuridão profunda. A Tabela 3 apresenta os valores do potencial gerador e a quantidade de placas.

**Tabela 3:** Valores referente a potência de funcionamento do sistema

Tamanho Do Sistema	660 Kwp
Número De Módulos	1200 Painéis
Produção Média Mensal Estimada	67200 Kwh
Área Necessária	3.108 M2

Fonte: Autores (2022).

### 3.4. TEMPERATURA DE OPERAÇÃO POR CÉLULA

O ambiente térmico que determina o valor instantâneo da temperatura de operação do módulo é muito complexo. Um procedimento que leva à estimativa de  $T_c$  é o balanço de energia associado do módulo, que deve levar em conta dois processos internos que ocorrem em materiais semicondutores durante o bombardeio de fótons (que resulta na geração de eletricidade, mas também na liberação de energia não-condutora) energia condutora em calor como mecanismos padrão de transferência de calor, como convecção e radiação. O valor operacional determinado é um valor de  $56,7^{\circ}\text{C}$  com margem de mais ou menos 4%. A fórmula 1 mostra como calcular a temperatura da célula (Painel CS250P)

$$TC = Ta + \frac{GT}{800} [TNOC - 20]0,9 \text{ Eq. (1)}$$

Onde,  $TC$  é a temperatura da célula ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{amax}}$ , a temperatura ambiente média anual (máxima =  $28,9^{\circ}\text{C}$ );  $TNOC$ , é a temperatura nominal de operação da célula ( $45^{\circ}\text{C}$ ); enquanto, a  $GT$ , é a radiação solar média no plano de célula ( $1000 \text{ W/m}$ ). Após especificar

a fórmula vamos atribuir os valores coletados e verificar se a temperatura de operação está dentro dos valores padrões pré-estabelecidos de funcionamento.

$$TC = 28,9 + \left(\frac{1000}{800}\right) \times (45 - 20) \times 0,9 = 28,9 + 28,1 = 57,0^\circ\text{C} \text{ Eq. (2)}$$

$$TC = 57,0^\circ\text{C} < T_{max} = 85^\circ\text{C}$$

$$TC = 57,0^\circ\text{C}$$

O valor de temperatura de operação calculado para cada célula foi satisfatório, pois está dentro do limite estabelecido foi de 56,7°C, com uma tolerância de 4% encontrando-se também dentro dos valores do fornecedor da placa.

### 3.5. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

Este quesito avaliativo, será baseado no método VPL (Valor Presente Líquido), que é muito utilizado no âmbito da engenharia econômica, devido que a mesma é um recurso para o aferimento de investimentos, tendo como objetivo o fornecimento do valor do retorno monetário de um investimento a uma taxa de juros fixa (PINHO, 2018).

Um estudo de viabilidade econômica fornece uma visão do comportamento do projeto em relação ao mercado. Assim, cria previsões financeiras, evita possíveis problemas e proporciona maior segurança na hora de realizar investimentos. Pode ser aplicado a empresas que buscam ativamente se expandir no mercado, bem como empresas que pretendem iniciar. O sistema é comprovadamente viável e pode ser pago em um curto período de tempo, mas o usuário final terá um rendimento menor em torno de 40% em relação às transferências tradicionais. Segundo Carreira e Santos (2018), ele é referido de forma matemática é dada equação (Equação 3).

$$VPL = \sum_{T=1}^n \frac{FCt}{(1+i)^T} \text{ Eq.(3)}$$

Onde: VPL, é o valor presente líquido; FCt, é o fluxo de caixa do intervalo, i taxa de desconto, t período de tempo, o fluxo de caixa no período zero; e finalmente, I, a TMA (Taxa de Juros). Se o resultante VPL for maior que zero, o projeto é considerado economicamente viável, fornecendo maior retorno em relação ao valor investido. Caso o VPL for igual a zero, o investimento considera-se nulo, devido a inexistência de ganhos. E, em caso de que o valor resultante seja menor que zero, o projeto é inviável e, consequentemente descartado, pois os retornos serão inferiores ao valor previamente investido (MORAES FILHO, 2017).

### 3.6. ESPECIFICAÇÕES CABOS CC

Cabo para tensões nominais de 0,6/1 kV (CA) e até 1,8 kV (CC) formado por fios de cobre eletrolítico e estanhado com encordoamento Classe 5 (flexível) com isolamento e cobertura em composto poliolefinico termo fixo de alta estabilidade térmica com temperatura de serviço de -15 °C a 90 °C com a máxima temperatura de operação para 120 °C por 20.000h.

$L = 7m \times 4 = 28m \rightarrow 14m \text{ vermelho}, 14m \text{ preto (Seção nominal: } 25mm^2)$

Cores: **Vermelha**: Cabo positivo; **Preta**: Negativo; **Verde**: Condutor proteção (PE)

### 3.7. DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO Cc E Ca

Um sistema fotovoltaico conectado à rede é composto por um conjunto de módulos fotovoltaicos, cabos CC, caixas de *strings* com proteção CC, inversores, cabos CA e proteção CA de forma simplificada. As normas NBR 5410, 5419, 16612 e 16690 definem os padrões de proteção que os sistemas fotovoltaicos devem ter em suas partes CA e CC. Este conjunto de normas estipula que os equipamentos devem ter proteção contrachoque elétrico ao usuário, proteção contra efeitos térmicos e incêndio, proteção contra sobre corrente, proteção contra sobre tensão e capacidade de desligamento como características essenciais.

$$1,5 * I_{sc} < I_n < 2,4 * I_{sc} \rightarrow I_{sc} = 9,39A \text{ Logo } \rightarrow 14,09 < I_n < 22,54$$

De acordo com o datasheet do módulo a maior corrente nominal do dispositivo de proteção da série possível é de 15 A  $\rightarrow 14,09 < I_n < 15$ .

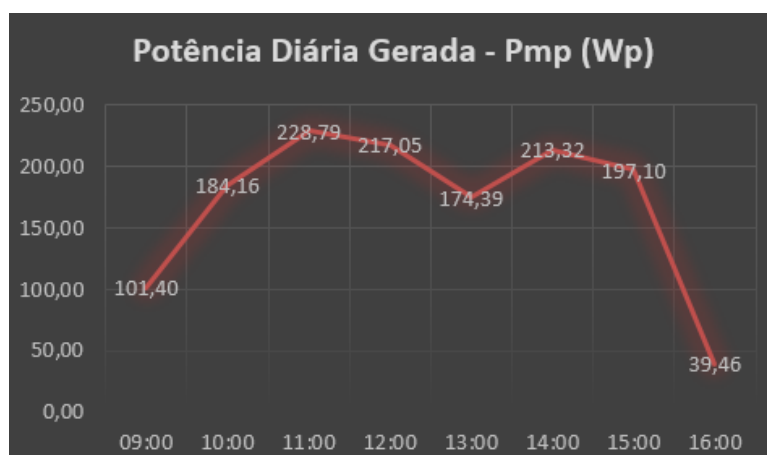
Logo, serão selecionados fusíveis de 15 A para proteção CC, com chaves seccionadoras. O modelo de inversor possui corrente de saída de 21,7 A; foi definido um disjuntor de **25 A** para a saída do inversor. A Tabela 3 apresenta o cálculo TC e a potência pmp gerada:

**Tabela 3:** Valores das de TC e pmp.

Hora	Irradiância (W/m <sup>2</sup> )	Temp. Ambiente - Ta (°C)	Tc (°C)	Pmp (Wp)
09:00	321,11	33,2	39,72	101,40
10:00	605,83	36,75	48,75	184,16
11:00	736,94	30,38	43,78	228,79
12:00	707,78	33,38	46,69	217,05
13:00	560,28	32,56	43,17	174,39
14:00	692,5	32,69	45,64	213,32
15:00	635,83	32,25	44,14	197,10
16:00	120,11	27,7	29,93	39,46

Fonte: Autores (2022).

A Tabela 3 apresenta valores distintos para cada momento do dia. Quanto maior a radiação e a temperatura maior a potência máxima potência (pmp) absorvida pelo sistema fotovoltaico. Observa-se que horário entre as 11:00 e 15:00 é o período de maior aproveitamento energético captado pelo sistema fotovoltaico. Através dos dados da tabela 3 podemos obter os valores no gráfico de potência diária gerada para cada horário. Esses valores serão apresentados no Gráfico 1.

**Gráfico 1: Potência diária gerada**

Fonte: Autores (2022).

O Gráfico 1 é uma representação da Tabela 3 de forma que se torne mais visível os valores mencionados na tabela anterior, e podemos observar os maiores valores de amplitude alcançado durante o dia e o horário pertinente desses picos de melhor poder de absorção da energia solar captada. O valor de energia economizado com o sistema solar chega a 40% do valor de um sistema convencional. Se o consumo energético de um residência é de aproximadamente R\$ 200,00 reais com o sistema esse valor cai para o valor de R\$ 120,00, chegando a uma economia de R\$ 960,00 reais ano.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de viabilidade econômico-financeira do trabalho, o ajuste sistemático foi baseado no uso de ferramentas de alta qualidade, levando em consideração os melhores custo-benefício presentes no mercado atual. Um investimento de suma importância, devido que as ferramentas apresentam uma implicação considerável em termos de eficiência, visando a vida útil, a qualidade não deve ser ignorada.

A compra de produtos produzidos no país, resulta em um melhor valor para a instalação, o que torna o investimento atrativo, aceitando perdas consideráveis de eficiência e vida útil do mecanismo. Os resultados apresentam uma economia de até R\$960,00 reais ano de economia comparado a outro sistema como o tradicional, é algo real que aponta um ganho aos moradores de médio e longo prazo. A análise de risco empregada expõe que investir na fazenda de energia fotovoltaica é uma alternativa factível para a comunidade de Bela Vista. Para a elaboração do projeto foram levados em consideração aspectos como análise financeira e topográfica do terreno, radiação solar, análise ambiental, assim como o respectivo licenciamento ambiental, subestações e linhas de transmissão. Também foi submetido a fases de viabilidade de acesso, como informações, solicitações e comentários de acesso.

Para este trabalho foi estudada a otimização das ferramentas, tais como módulos e inversores, para que a usina pudesse alcançar maior nível de eficiência com o menor custo possível. Desta forma, irradiando em posição inclinada na latitude de 4,56 kWh/kWp.dia, a potência média calculada chega a 5,84 MWp. A energia solar deve ser utilizada porque contribui para a preservação do meio ambiente, é uma fonte de energia

limpa e renovável, poupando energia elétrica. Além das muitas vantagens que oferece visível em nossa conta de energia.

## REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). **Geração Distribuída Solar Fotovoltaica**. Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE. Rio de Janeiro, 2016.
- [2] CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Alternativas Energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: CEMIG, 2016.
- [3] CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **As energias solar e eólica no Brasil**. 2015.
- [4] ENTREPRENEURS TOOL KIT. **“Energia solar fotovoltaica no Brasil!”**, 2017.
- [5] EPE (2018). Empresa de Pesquisa Energética. **Projetos Fotovoltaicos nos leilões de Energia: Características dos empreendimentos participantes nos leilões de 2013 a 2018**. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-nt-sobre-projetos-fotovoltaicos-nos-leiloes-de-energia>>
- [6] FUZARO, A. M. **Viabilidade financeira do pivô central no cultivo da cana-deaçúcar no sudoeste goiano**. 2017. 31 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2017. Disponível em: < <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/484>>
- [7] International Energy Agency (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets**. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2016. Disponível em: < [https://www.jvg-thoma.de/?utm\\_source=google&utm\\_medium=search-A-&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAuNGuBhAkEiwAGId4asOS8\\_U1iE1QODhrKKRmVcd3N-gW41gCP\\_iDpzF1c4ye0wDcwTKqGBoC2B0QAvD\\_BwE](https://www.jvg-thoma.de/?utm_source=google&utm_medium=search-A-&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAuNGuBhAkEiwAGId4asOS8_U1iE1QODhrKKRmVcd3N-gW41gCP_iDpzF1c4ye0wDcwTKqGBoC2B0QAvD_BwE)>
- [8] MACÊDO, W.; GALHARDO, M.; ALMEIDA, M.; PINTO, A. C.; PINHO, J.; MODESTO, J.; PENHA, J.; BRITO, O. **Revitalization and analysis of operation of the autonomous photovoltaic system of the Uacari Floating Lodging House, Amazon-Brazil**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 21.4 (2013): 765-778. Disponível em: < <https://doi.org/10.1002/pip.1217>>
- [9] MARINOSKI, L.D.; SALAMONI, I.T.; RUTHER, R. **Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC**. In: Anais 1º Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, E 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo: ENTAC, 2017. Disponível em: < [https://lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2004/Entac04/marinoski\\_salamoni.pdf](https://lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2004/Entac04/marinoski_salamoni.pdf)>
- [10] MORAES FILHO, J. R. S. **Análise de viabilidade econômica do mercado de microgeração fotovoltaica on grid no Estado do Maranhão**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017. Disponível em: < <http://tede.ufma.br:8080/jspui/handle/tede/1913>>
- [11] NAYYAR, Z.A; ZAIGHAM, N.A; QADEER, A. **Assessment of present conventional and non-conventional energy scenario of Pakistan**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 31, n. 1, p. 543-553, 2016. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.049>>
- [12] PINHO, J. T. **Sistemas Híbridos: soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2018. 396 p. Disponível em: < [https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes\\_Energeticas\\_para\\_a\\_Amazonia\\_Hibrido.pdf](https://www.mme.gov.br/luzparatodos/downloads/Solucoes_Energeticas_para_a_Amazonia_Hibrido.pdf)>

# Capítulo 14

## *Instrumento móvel para regulação de aferidores energéticos*

*Kleber Silva Ribeiro*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Recentemente uma série de mudanças ocorreram no setor elétrico brasileiro como um todo afetada por vários fatores. Entre eles, o uso de cargas potencialmente destrutivas está aumentando. Em todas as categorias de consumo e o desejo dos consumidores por melhor energia qualidade e sem interrupção. Notavelmente, o aumento do uso dessas cargas potencialmente destrutivas causa um aumento significativo na distorção harmônica das formas de onda de tensão e corrente ao longo do alimentador, não só no fornecimento energia elétrica com qualidade e padrões padronizados, mas também para operação reguladores de tensão e outros equipamentos. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo o objetivo principal é avaliar o funcionamento de reguladores de tensão em redes de distribuição de alta tensão. Nível de distorção harmônica de corrente, avaliando as implicações da penetração harmônica em seus módulos de controle, que, eventualmente, estão associadas a falhas de operação na comutação de tap's e conseqüentemente na ação de regulação de tensão corrente, avaliando o efeito da penetração harmônica em seus módulos controle, que em última análise está relacionado a falhas operacionais no comutador, e daí o papel na regulação de tensão.

**Palavras-chave:** Normatização, harmônica, redes, correntes, tensões.

## 1. INTRODUÇÃO

A estabilidade da tensão elétrica é um fator de extrema importância para os equipamentos de alta e baixa tensão, para isso, dispositivos como o estabilizador de tensão, compostos por semicondutores, diodos e circuitos integrados, conseguem manter a tensão de entrada e saída de um circuito, evitando que os equipamentos elétricos desliguem (ERICKSON, 2010; MIRANDA, 2014). Contudo, os reguladores de tensão são utilizados em equipamentos com diversas fontes de alimentação, alternadores automotivos e centrais de usinas, neste último caso são utilizados para distribuir uma tensão constante a todos os clientes (KRON, 2015).

Sobretudo, o nível de tensão é responsável por expressar a qualidade da tensão da maneira mais simples possível, a energia de um circuito ou a fonte de energia em uma área, controlando e garantindo os níveis adequados de tensão de alimentação, sendo o uso dos reguladores de tensão (RTs), uma prática eficaz que tem sido usada há muitos anos.

A medição e avaliação do nível de tensão é um serviço que os consumidores podem solicitar às distribuidoras de energia e as empresas precisam identificar e solucionar problemas nos prazos estabelecidos pelo órgão, o que às vezes não é possível devido à intervenção quando necessário (ANEEL, 2016).

A mudança na tensão de alimentação do consumidor dependerá do estado do sistema operacional do sistema de distribuição de energia, bem como a localização geográfica consumidores dentro do sistema (MENKES, 2004; ROSA et al., 2019). Desta forma, o controle de tensão é projetado para garantir que a tensão do consumidor esteja dentro dos níveis especificados na Resolução 676, 19 de dezembro de 2003 pela ANEEL.

Vale ressaltar o caráter inovador deste tipo de dispositivo, pois pode ser desenvolvido em função de sua função básica ao observar as possibilidades de melhoria e otimização dos procedimentos padrão atualmente empregados pela maioria das concessionárias de energia ou empresas especializadas no processo de medição de medidores de energia, até a sua conclusão final, uma solução simples, mas completa cujos benefícios funcionais, logísticos e econômicos favorecem a sua utilização.

Este conjunto de regras e procedimentos visa regular não só a relação entre as distribuidoras de energia elétrica e outros 20 consumidores e agentes geradores ligados aos sistemas de distribuição e transmissão abaixo de 230kV, mas também regulamentar a tecnologia relacionada à operação e desempenho da atividade elétrica (IEEE, 2014).

Segundo Simone (2018), um regulador de tensão funciona como um autotransformador de energia elétrica, componente utilizado em linhas de transmissão cujo núcleo consiste em um dispositivo auxiliar de ação direta com interação magnética mútua que converte energia elétrica em força. Ímã Alimentado (FMM) AC O valor da tensão ou corrente de um sistema de corrente alternada para outro sistema. Não muda sua forma de onda porque sua frequência não muda, ou seja, inclui a detecção nos núcleos do circuito em ambos os lados, como o lado BT de baixa tensão e o lado AT de alta tensão. Sofrem variações de tensão e corrente, em alguma parte de seu enrolamento, ele usa uma "torneira", pode alterar sua relação com a finalidade de regulação, permitindo a modificação da magnitude elétrica em sua saída.

Para garantir que a regulação da tensão da linha permaneça o mais estável possível, independentemente da carga a que está exposta, é utilizado um medidor TP, um sensor de tensão que compara a tensão de alimentação com uma tensão de referência. Parâmetros do relé do controlador de função.

Por exemplo, a tensão definida como referência no parâmetro do relé do controlador de função é 127v, se essa amplitude mudar, o relé do controlador de função será detectado pelo sensor de tensão e corrigido de acordo com o tempo definido no parâmetro. O controlador atua em seu interruptor regulador.

Para garantir que a regulação da tensão da linha permaneça o mais estável possível, independentemente da carga a que está exposta, é utilizado um medidor TP, um sensor de tensão que compara a tensão de alimentação com uma tensão de referência. Parâmetros do relé do controlador de função. Assim, este trabalho mostrará os componentes e método de construção para um protótipo de regulação para aferidores energéticos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais necessários para construção de um dispositivo de regulação de aferidores de energia elétrica. Para isso, foram utilizados materiais de baixo custo e que estejam disponível em varejos especializados em materiais elétricos. A continuação, o Quadro 1 apresenta a lista dos materiais usados na montagem do dispositivo.

**Quadro 1:** Materiais Usados.

Quant.	Material	Quant.	Material
1	Adaptador CA-CA 6V	7	Resistor 10kΩ
1	Resistor 68kΩ, Resistor 33Ω, Resistor 1,5kΩ, Resistor 2,2kΩ	2	Capacitor 10 μF - 50V
1	Sensor de TC YHDC SCT-013-000	1	Arduino UNO
1	Modulo Bluetooth HC-05	1	Fonte de alimentação 6V
1	Display LCD 16x2	1	Filtro de linha
1	Placa de circuito impresso	1	Medidor de energia Landys Gys, modelo SAGA 1000
1	Carga variável	1	Multímetro
1	Aquecedor de ambiente 1000W	1	Secador de cabelo 1865W
1	Protoboard		

Fonte: Autores (2022).

### 2.1. ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO

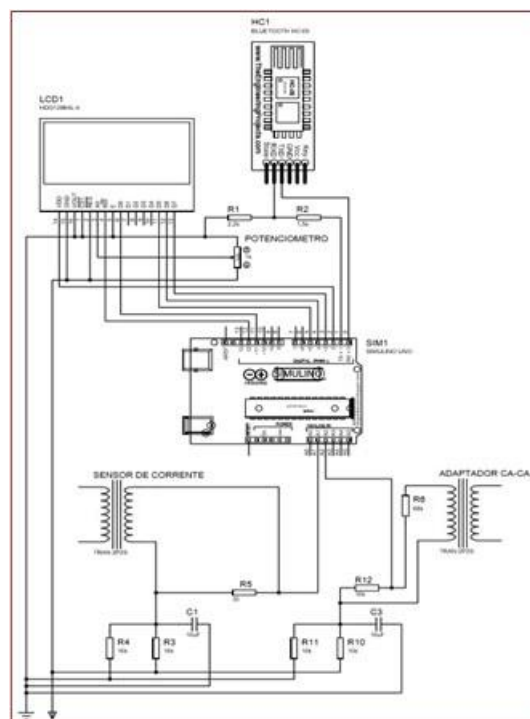
O protótipo de aferidor de eletricidade foi desenvolvido com o intuito de analisar os valores de tensão e corrente em equipamentos elétricos, para isso, foi levado em consideração um circuito monofásico, sendo possível a programação dos dados para desenvolver o cálculo da potência do dispositivo conectado ao sistema. Tomando o mencionado previamente como base, foi possível a obtenção do valor energético consumido pelo dispositivo elétrico em um tempo determinado. Neste trabalho, foi feito

o uso um amperímetro não intrusivo, ou seja, a corrente do circuito pode ser medida sem nenhuma modificação no mesmo. Ele funciona como um amperímetro, basta ligar o sensor e enrolar o fio do instrumento aferido. Para maior precisão no aferimento, apenas um fio deve estar envolvido no sensor, caso contrário pode apresentar um valor errôneo. O sensor de corrente encarregado de fornecer o nível de tensão adequado para a entrada analógica do microcontrolador, nesta situação foi de 5V.

Para coletar as informações fornecidas pelo protótipo, foram investigados sensores de corrente de efeito *Hall*, que são instrumentos semicondutores que produzem um sinal de corrente quando conectados a um campo magnético e uma tensão é aplicada. A corrente contínua (AC) e a corrente alternada (DC) que flui através de um condutor pode ser aferida, devido que a mesma gera um campo magnético (UFMG, 2016).

Visto que o sensor só obtém dados da corrente do circuito submetido a aferimento, é fundamental conhecer antecipadamente a potência do dispositivo aferido. Optou-se por medir o consumo de um secador de cabelo a 1860W e um aquecedor de 1000W. Outra quantidade que deve identificar-se, é a tensão da rede em volts, usamos um adaptador AC-AC para esta medição, então não é requerida a utilização de alta tensão. A Figura 1 apresenta o diagrama elétrico do protótipo, apresentando as entradas e as posições no circuito do visor LCD, sensores e adaptadores de corrente.

**Figura 1:** Diagrama do Protótipo Elaborado.



Fonte: Autores (2022).

Os primeiros componentes do protótipo foram conectados em uma *protoboard*, a fim de possibilitar a montagem dos periféricos e eletrônicos, utilizando cabos descarnados para as conexões dos mesmos. A alimentação do sistema é fornecida por uma bateria de 9V.

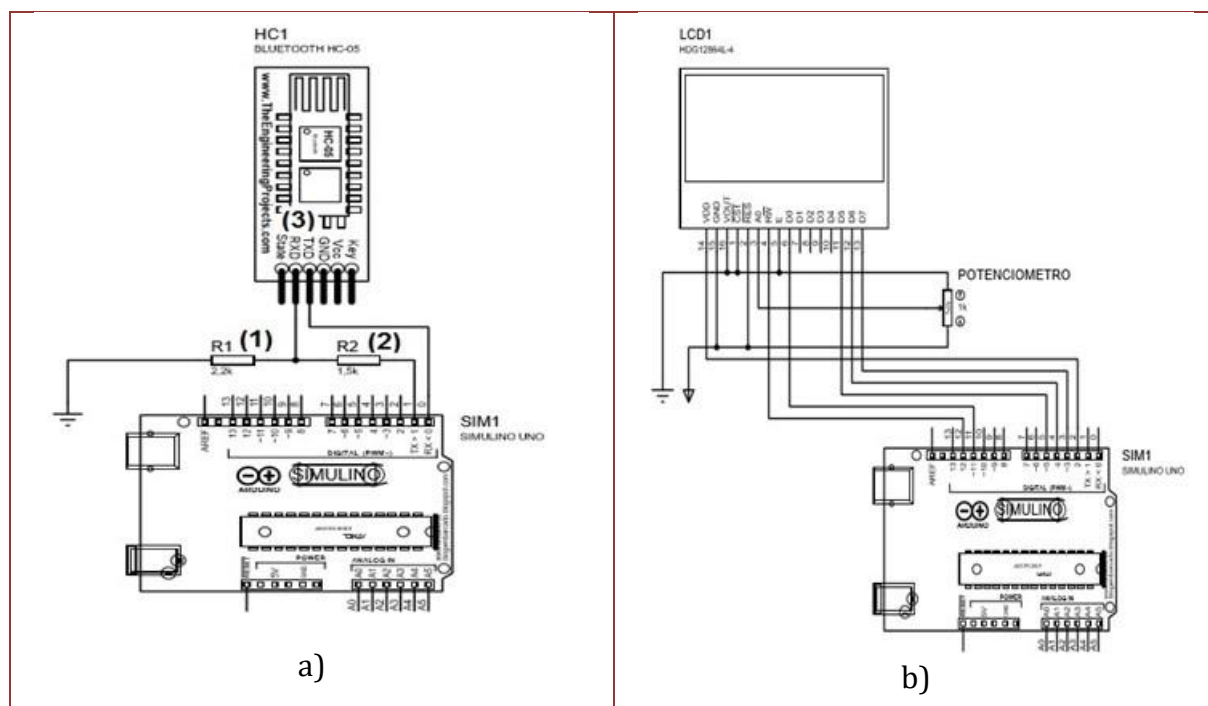
Para montar o *hardware*, usou-se um pedaço de MDF para segurar os periféricos, sendo os mesmos: filtro de linha para conectar o dispositivo aferido (1), bateria de 9V para alimentação do Arduino (2), circuito impresso (3), Arduino (4), sensor de corrente (5), adaptador AC-AC (6), que deve ser enrolado no cabo do dispositivo em aferição.

## 2.2. CONSTRUÇÃO DO SISTEMA ELETRÔNICO

O módulo *Bluetooth* utilizado funciona com tensão de 3,3V, para o qual é aplicado um divisor de tensão, devido que a alimentação do circuito é de 5V. No circuito exibido a continuação (Figura 2a), utilizamos um resistor de 2,2 k $\Omega$  (1) e outro de 1,5k $\Omega$  (2) conectado ao pino RX do módulo Bluetooth (3), resultando em um nível de sinal de aproximadamente 3,1V.

O display LCD utilizado possui 16 colunas e 2 linhas. São 16 pinos conectados, porém, quando conectados ao Arduino (Figura 2), são utilizados apenas 4 pinos de dados (pinos digitais 2, 3, 4 e 5) e 2 pinos de controle (pinos digitais 11 e 12). Além disso, um potenciômetro de 10k $\Omega$  é usado para ajustar o contraste conectado ao pino 3 do display LCD (Figura 2b).

**Figura 2:** a) Diagrama do Modulo de Bluetooth; b) Conexão do Display ao Microcontrolador



Fonte: Autores (2022).

Em seguida, descreve como o protótipo montado realiza aferimentos de tensão e corrente do dispositivo selecionado.

### 2.3. AFERIÇÃO DA TENSÃO USANDO ADAPTADOR CA-CA

A tensão CA é essencial para calcular a potência ativa, potência aparente e fator da potência. Em caso de aferição de corrente utilizando TCs (Current Transformers), a finalidade é ajustar a saída do adaptador AC para atender aos requisitos da entrada analógica do Arduino indicado previamente.

Prévio a isto, requeresse determinar a tensão nominal do adaptador CA. Nesta situação, usou-se um adaptador CA de 6V (RMS) e a tensão de pico pode ser obtida através da seguinte formula:

$$VPICO\ COM\ CARGA = VRMS * \sqrt{2} = 6 * \sqrt{2} = \pm 8.485V \quad (1)$$

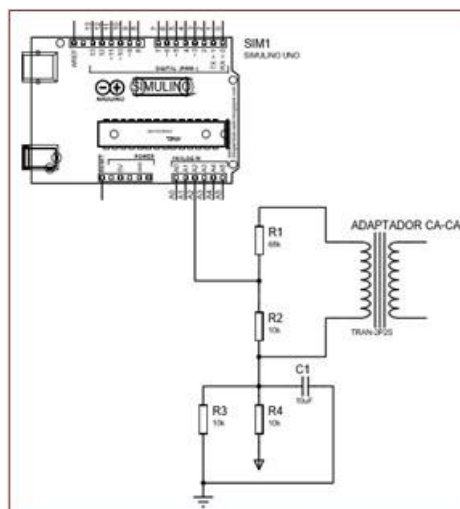
Sem embargo, a causa da baixa precisão dos adaptadores CA-CA, e quando se não forem submetidos a uma carga, a saída poderá oscilar de 7V a 9V (RMS), desta forma a tensão de pico pode atingir ao valor obtido por meio da fórmula 2:

$$VPICO\ SEM\ CARGA = VRMS * \sqrt{2} = 9 * \sqrt{2} = \pm 12.728V \quad (2)$$

A tensão de saída do transformador é equivalente à tensão de entrada CA. A eletrônica de condicionamento de sinal é necessária para converter a saída do adaptador em formas de ondas que podem ter até 5 V de tensão de pico positivo e maior que 0 V de tensão de pico negativo. Para fazer isto, é preciso diminuir a saída da forma de onda pelo adaptador AC-AC e adicionar um deslocamento.

O formato de onda do adaptador AC-AC, pode diminuir-se usando um divisor de tensão ligado aos terminais do adaptador, enquanto o deslocamento pode ser utilizado usando uma fonte de tensão produzida por outro divisor de tensão ligado à fonte de alimentação do Arduino.

**Figura 3:** Circuito de Aferição de Tensão.



Fonte: Autores (2022).

Os resistores R1 e R2, ilustrados na Figura 3, compõem um divisor de tensão que diminui a tensão no adaptador CA. Seus valores devem ser selecionados para uma tensão de pico de cerca de 1V. A fórmula 3 é usada para calcular a tensão de saída de pico:

$$V_{pico\ de\ saída} = \frac{R1}{(R1+R2)} * V_{pico\ de\ entrada} = \frac{10000}{10000+68000} * 8.485 = 1.088V \quad (3)$$

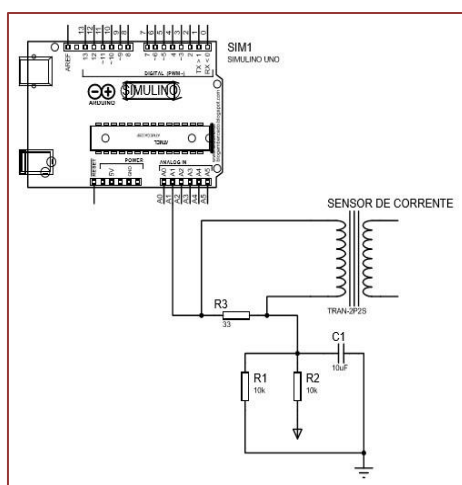
O valor de 1V é usado porque deixa uma lacuna que reduz o risco de uma possível sobre tensão. Visto que o Arduino é alimentado em 5V, o formato de onda resultante tem um valor de pico positivo de  $2,5V + 1.088V = 3.588V$  e um valor de pico negativo de  $1088V$  está em conformidade com os requisitos de tensão de entrada analógica do Arduino. Os resistores R3 e R4, são os encarregados por adicionar o deslocamento. A tensão de polarização dos resistores R3 e R4, deve ser 50% da tensão de alimentação do Arduino, além disso, seus valores devem ser proporcionais. O resistor de  $10k\Omega$  é utilizado porque com este valor, além de reduzir o consumo de energia devido ao alto valor da resistência, pode-se estabelecer um nível de tensão adequado.

O capacitor C1, é o componente encarregado de fornecer uma baixa impedância ao terra do sinal AC, seu valor não é crítico, portanto valores entre  $1\mu F$  e  $10\mu F$  são suficientes, devido que fornecem a baixa impedância necessária, além de baixo custo e fácil aquisição com essas funções.

## 2.4. AFERIÇÃO DA CORRENTE COM TRANSFORMADOR DE CORRENTE

Para fazer a interface do sensor não intrusivo com o Arduino, o sinal de saída do sensor TC deve ser condicionado para atender os requisitos de entrada da entrada analógica do Arduino, que é uma tensão positiva entre 0V e a tensão de referência do ADC. No nosso caso é 5V. A Figura 4, mostra o circuito usado

**Figura 4:** Circuito para Aferição de Corrente.



Fonte: Autores (2022).

Um resistor deve ser usado para converter o sinal de corrente em um sinal de tensão, conforme mostrado no componente R3 na Figura 4. O resistor completa ou fecha o circuito secundário do TC. O valor da carga é escolhido para fornecer uma tensão proporcional à corrente secundária. O valor deste resistor deve ser baixo o suficiente para evitar a saturação do núcleo do TC. O cálculo da resistência de carga compreende os seguintes passos: 1) maior volume de corrente medido é 100 A; 2) Converter a corrente máxima RMS em a corrente de pico do primário. Conforme a seguinte Equação 1.

$$I_{PICO\ PRIMÁRIO} = I_{RMS} * \sqrt{2} = 100A * \sqrt{2} = 141.4 A \quad \text{Eq.1}$$

O Pico secundário foi obtido por meio da Equação (2).

$$I_{PICO\ SECUNDÁRIO} = \frac{I_{PICO\ PRIMÁRIO}}{\text{Número de voltas}} = \frac{141.4}{2000} = 0.0707A \quad \text{Eq. 2}$$

Para potencializar a resolução da medição, a tensão no resistor de carga na corrente de pico deve ser igual à 50% da tensão de referência analógica do Arduino. Portanto, a resistência de carga adequada será determinada pela equação a continuação (Equação 3).

Tensão de referência do Arduino RIDEAL =

$$I_{PICO\ SECUNDÁRIO} = 0 \frac{2.5}{0.0707} = 35.4\Omega \quad \text{Eq.3}$$

Como este valor de resistor é incomum, um resistor de 33Ω é recomendado. Os resistores R1 e R2 no diagrama de circuito acima (Figura 4) são um divisor de tensão que fornece 2,5 V para a fonte de alimentação. Não existe um valor crítico para a seleção dos valores dos resistores R1 e R2, no entanto, eles requerem de valores proporcionais, e quanto maior a resistência, menor o consumo de energia em estado de repouso.

## 2.5. CÓDIGO FONTE

Esta parte do sistema, foi desenvolvida baseada na linguagem mais prática para sistemas de automação, C++, sendo aplicada em ambiente de desenvolvimento integrado do Arduino. Para fundamento do desenvolvimento do sistema, foi usada uma biblioteca oferecida pela empresa Open Energy Monitor. Esta biblioteca, fornece diversas funcionalidades relacionadas a cálculos de grandezas elétricas. O quadro 1 apresenta o código fonte desenvolvido para o projeto.

**Quadro 1:** Código fonte do sistema desenvolvido

```

#include "EmonLib.h"
#include <LiquidCrystal.h>
EnergyMonitor emon1;
//Define os pinos que serão utilizados para ligação ao display LiquidCrystal lcd(12,
11, 5, 4, 3, 2);
float x=0; float y;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Obtenção dos valores de tensão
  emon1.voltage(2, 108.2, 1.7 ); }
void loop()
{
  //Funções da Biblioteca EmonLib
  //Obtenção dos valores de tensão
  emon1.voltage(2, 108.2, 1.7 );
  //Obtenção dos valores de corrente
  emon1.current(1, 60.6 ); }
void loop()
{
  //Funções da Biblioteca EmonLib
  emon1.calcVI(20,5000); float realPower
= emon1.realPower; float apparentPower
= emon1.apparentPower; float powerFactor
= emon1.powerFactor; float
supplyVoltage = emon1.Vrms; float
Irms = emon1.Irms;
  //Print de dados no monitor serial e envio de dados ao aplicativo
  Serial.print(apparentPower/1000); delay(1000);

  Serial.print(supplyVoltage)
; delay(1000);
  Serial.print(Irms);
  delay(1000);
  //Equação para obtenção do valor a pagar
  x=((apparentPower)/1000)*0.0002778)*0.49231;
  y=y+x;
  Serial.print(y);
  delay(1000);
  //Print de dados no Display LCD 16x2

```

Fonte: Autores (2022).

### 3. RESULTADOS

A seguir serão mostrados os principais testes realizados com o dispositivo desenvolvido para regulagem instrumentos de aferição de dispositivos eletrônicos.

Tendo como objetivo principal desta etapa a obtenção de amostras de corrente e tensão a serem aferidos para, posteriormente, realizar os cálculos de consumo energético do respectivo instrumento que foi submetido a medição.

#### 3.1. CALIBRAÇÃO E ENSAIOS

Para calibrar o aparelho, usou-se um aferidor eletrônico de tripla fase (SAGA 1000) e uma carga resistiva variável. Com esta carga variável conectada a rede, foi possível variar o valor da corrente entre 0A e 50A. Por meio do aferidor energético já calibrado, coletou-se um conjunto de amostras, variando os valores de corrente entre 1 e 35 amperes, com adição de 2 amperes por amostra.

Foi montada uma banca de teste, comparando os resultados obtidos por cada um dos aparelhos (o medidor calibrado e o protótipo). Os dados obtidos armazenaram-se em uma planilha de Excel, e exibidos no Quadro 2 a apresentado na sequência, onde: Corrente (A), Tensão (V) e Potência (kW).

**Quadra 2: Resultados obtidos da Calibração.**

CARGA RESISTIVA VARIÁVEL								
CORRENTE			TENSÃO			POTÊNCIA		
Saga 1000	Protótipo	Erro	Saga 1000	Protótipo	Erro	Saga 1000	Protótipo	Erro
1,14	1,17	4,2%	122,1	122,41	-0,3%	135,83	142,25	- 4,7%
3,14	3,20	1,9%	122,82	122,91	-0,1%	383,83	391,13	- 2,0%
5,17	5,37	3,7%	122,31	122,19	0,1%	633,69	657,14	- 3,8%
7,01	7,21	2,8%	121,46	122,35	0,9%	858,40	874,92	- 1,9%
9,01	9,21	2,2%	121,68	121,35	0,3%	1.108,34	1.129,65	- 1,9%
11,05	11,42	3,1%	121,25	122,31	-0,9%	1.339,90	1.394,46	- 4,1%
13,21	13,63	3,1%	122,43	122,38	0,0%	1.616,18	1.666,99	- 3,1%
15,14	15,72	3,6%	122,01	121,25	0,6%	1.844,79	1.902,46	- 3,1%
17,13	17,86	4,2%	121,77	122,44	-0,6%	2.083,21	2.185,20	- 4,9%
19,16	19,73	2,8%	122,32	122,26	0,1%	2.335,16	2.402,37	- 2,9%
21,04	21,86	3,8%	122,30	121,94	0,3%	2.564,86	2.657,20	- 3,6%
23,10	23,69	2,5%	121,31	122,01	-0,6%	2.810,77	2.898,95	- 3,1%

Fonte: Autores (2022).

Como exibido no Quadro 02, aprecia-se que os mínimos erros das grandezas corrente, tensão e potência, foram 1,86%, 0,03 e 1,91%, respectivamente, os maiores encontrados na grandeza da corrente, sendo de 4,23%, quando o valor aferido era ínfimo, o maior da tensão 0,94%, e 4,89% na potência.

### 3.2. RESOLUÇÃO DOS RESULTADOS

Para validar se os dados fornecidos pelo protótipo estavam certos, fizeram-se um conjunto de aferimentos em outros aparelhos domésticos, a fim de comparar os valores encontrados no protótipo com medidores de energia já confiáveis e calibrados respectivamente.

Já feito o processo de calibração do protótipo, foi feito um teste para certificar a precisão das medidas fornecidas pelo instrumento desenvolvido, no qual usamos a carga resistiva de um secador de cabelo tradicional. Os dados obtidos são mostrados no Quadro 3, e esses dados referem-se aos aferimentos realizados posteriormente às correções feitas na etapa de calibração do dispositivo.

**Quadro 3:** Dados Obtidos no Aferimento do Secador de Cabelo.

CORRENTE			TENSÃO			POTÊNCIA		
Saga 1000	Protótipo	Erro	Saga 1000	Protótipo	Erro	Saga 1000	Protótipo	Erro
14,36	14	2,5%	128	128,32	-0,3%	1825	1784,224	2,2%
14,38	14,03	2,5%	128	129,98	-1,6%	1825	1807,763	0,9%
14,46	14,25	1,4%	128	128,69	-0,5%	1825	1808,576	0,9%
14,47	14,18	2,0%	128	128,79	-0,6%	1825	1798,986	1,4%
14,47	14,11	2,5%	128	129,55	-1,2%	1825	1800,751	1,3%
14,47	14,11	2,5%	128	128,03	0,0%	1825	1779,718	2,5%
14,47	14,16	2,2%	128	129,73	-1,4%	1825	1810,081	0,8%
14,47	14,26	1,5%	128	128,67	-0,5%	1825	1807,578	1,0%
14,47	14,17	2,1%	128	128,61	-0,5%	1825	1795,992	1,6%
14,47	14,2	1,9%	128	129,46	-1,2%	1825	1810,686	0,8%
14,47	14,36	1,4%	128	129,56	-1,2%	1825	1820,921	0,2%

Fonte: Autores (2022).

Com o ajuste feito no dispositivo desenvolvido, pode-se considerar os resultados obtidos dentro do previsto, devido que se aprecia uma considerável diferença nos valores coletados antes da calibração, onde a porcentagem de erro de 5%, aproximadamente.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal de desenvolvimento de um dispositivo móvel com a capacidade de aferir os níveis de tensão e corrente, foi concretizado, sendo alcançado através dos procedimentos previamente planejados. O protótipo desenvolvido possibilita a visualização dos dados de tensão e corrente, e permite um melhor consumo de energia, podendo ser utilizado para identificar anomalias destas grandezas, fazendo assim, graças a identificação destas possíveis anomalias, com que seja evitado desperdício ou qualquer outra problemática consequente.

A solução elaborada, graças ao módulo *bluetooth*, torna mais intuitiva a tarefa desenvolvida pelo aparelho, possuindo a capacidade de notificar os valores obtidos pelos aparelhos através do mesmo, facilitando assim a visualização dos dados. As funcionalidades do dispositivo produzido, encontram-se totalmente operantes, satisfazendo todos os aspectos funcionais previstos, podendo ser considerado um aparelho respectivamente confiável.

O microcontrolador Arduino, atuou como previsto, conseguindo realizar, por meio dos sensores de tensão, o aferimento das grandezas e o consumo de maneira precisa e eficiente. O módulo de aferição e obtenção dos dados foram devidamente concluídos e testados.

O trabalho visa a sustentabilidade, permitindo a usuário comum do equipamento, realizar o monitoramento dos seus gastos energéticos de forma simples.

## REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Relatório de Gestão. 2016.** Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf>>. Acesso em 22 de maio de 2022.
- [2] EPE. **Empresa de Pesquisa Energética, Balanço Energético. 2018.** Disponível em <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em abril 21 de 2022.
- [3] ERICKSON, Robert W. **Fundamentals of Power Electronics.** New York, EUA – Chapman & Hall, 2010.
- [4] IEEE Std 519 - 2014, **IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems**, New York, 2014. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=6826457>>
- [5] KRON, **Medidores de energia.** 2015. Disponível em <<http://www.kron.com.br/br/index.php>>. Acesso em 12 de junho de 2022.
- [6] MAURÍCIO, D. M. **Instalação de capacitores para redução das perdas em uma rede de distribuição de energia elétrica via algoritmos genéticos.** 2017. 56 f. Trabalho de Conclusão do Curso da Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2007/DOUGLAS%20MAURICIO.pdf>>.
- [7] MENKES, M. **Eficiência Energética, Políticas Públicas e Sustentabilidade.** Brasília, 2004.
- [8] MIRANDA, J. N. **Automação Residencial Voltada para Smart Grid,** 2014.
- [9] ROSA, M. N.; SOUSA, Y. M.; HORA, K. E. R.; KOPP, K.; DEUS JUNIOR, G. A. **Environmental Education and Energy Efficiency as Strategies for Reducing Energy Consumption in Public School Building in Goiânia.** International Journal on Alive Engineering Education, v.6, p. 13-32, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5216/ijaeedu.v6i0.54740>>
- [10] SIMONE, G. **Transformadores: Teoria e exercícios.** São Paulo: editora Érica, 2018. Disponível em: <<https://pdfcoffee.com/gilio-aluisio-simone-pdf-free.html>>
- [11] UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais. **Medidas Elétricas. Minas Gerais:** 2016. Disponível em: <<http://www.yhdc.com/en/product/320/>>. Acesso em maio de 2022.

# Capítulo 15

## *Desenvolvimento de um alinhador calibrador de motocicletas*

*Leandro Costa dos Santos*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** O presente artigo tem objetivo de compreender a utilização da automação industrial que está crescendo dentro do mercado de trabalho, para a diminuição de prejuízos no processo da fabricação do aro. Sendo assim, a empresa consequentemente está criando uma margem de lucro acima da sua meta. Com a utilização da máquina de calibragem e alinhamento do aro, que possui recursos como o controlador lógico programável que tem com intuito primordial o melhoramento do equipamento, juntamente, aos seus componentes disponibilizados para o monitoramento dos sensores e dispositivos com uma maior excelência. Diante disso, conseguindo uma melhor qualidade na fabricação da peça, gerando ampla produtividade e possibilitando uma maior facilidade e segurança para o operador do equipamento no setor. A partir, dessa máquina foi possível verificar resultados positivos para a empresa.

**Palavras-chave:** Automação industrial; CLP; Revolução industrial.

## 1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial no século VXII, o trabalho que era realizado manualmente pelas pessoas, foi assim então substituído pelas máquinas dando início à automação industrial. Para Oliveira (2017) o homem necessitar cada vez mais da tecnologia, pois ela possibilitou a realização de várias diversas tarefas simultâneas no dia a dia da produção. Anteriormente, os processos ocorriam manualmente, e o homem tinha dificuldade em gerar produtos, onde os detalhes exigiam mais complexidade ou quando o tamanho da peça era muito pequena ocasionando impasse no design do produto (SUTHERLAND, 2014).

Com os avanços tecnológicos, aumenta a necessidade de maior produtividade das máquinas. Em FRASCÁ et al., (2021) os autores mostram que as indústrias atualmente estão em busca de melhorias em seus processos de fabricação e qualidade dos produtos. Aliado a esses avanços a automação deixou de ser um simples processo, se tornando um grande sistema de informação e os equipamentos automáticos passaram a realizar tarefas mais complexas, minimizando os esforços ergonômicos (FENERICK et al., 2020), além disso, diminuiu a quantidade de lesões sofridas pelos operadores durante a execução de movimentos repetitivos (CANTON et al., 2019).

Existem três marcos históricos na revolução industrial, que está realizando grandes mudanças na produção. O primeiro que se iniciou em 1780 na Primeira Revolução Industrial, na Inglaterra, com o surgimento da máquina a vapor na indústria têxtil, que deixou de ser artesanal e passou a ser manufaturada e constando um aumento da produção em larga escala. Anos depois ocorreu a Segunda Revolução Industrial, 1850 à 1870, marcada pela expansão das indústrias e inserção da evolução da tecnologia, com novos paradigmas de produção industrial (DRATH e HORCH, 2014).

No final da década de 1960, aconteceu a Terceira Revolução, conhecida também como a Revolução informacional, pelo motivo da modernização para a indústria com o uso da eletrônica e informática, assim surgindo novos avanços tecnológicos como o primeiro controlador lógico programável-CLP. Devido aos progressos desta fase revolucionária a automação na industrial facilitou nos trabalhos braçais, melhorando a qualidade da flexibilidade das perdas materiais das peças, que usa o software para mandar os comandos para controlar os componentes elétricos, usando o CLP para seus processos que são programados no sistema digital (PASQUINI, 2020).

Atualmente está acontecendo à quarta revolução mais conhecida como a “Indústria 4.0”, que teve início em 2011 durante uma feira em Hannover, com a apresentação de um projeto de alta tecnologia pelo governo alemão, que está modificando a indústria na atualidade. Que tem como objetivo principal de abranger todos os sistemas de produção através da tecnologia, pois dessa maneira, as indústrias iram obter mais resultados com a flexibilidade na produção. Diante, desses desenvolvimentos tecnológicos vem sendo implementados dentro dos sistemas industriais, novos recursos nas máquinas que utilizam autodiagnostico, autoconfiguração e a auto-otimização, que esta ligada diretamente a reduções de custos para elevar a margem de lucro, assim não haverá desperdícios, mas um aumento na produtividade. Do mesmo modo, que a Inteligência Artificial-IA entra neste conjunto de aprimoramento tecnológico em uma fase mais complexa da automação industrial (KAGERMANN et al., 2013; SIQUEIRA e LARA, 2021).

A indústria 4.0 está interligada diretamente com a tecnologia como, por exemplo, a internet das coisas e objetos inteligentes, dessa maneira gerando e estabelecendo sistemas com uma frequência de capacidade de autogestão viabilizando modificações dos

produtos para não perder os benefícios da produtividade em massa (PINHEIRO et al., 2018).

E previsto a expansão da automação da indústria com a inteligência artificial, voltada para casos mais complexos na produtividade, com objetivo central de gerar um aumento positivo da qualidade dos processamentos das empresas. Na indústria 4.0 a IA ainda esta em fase de crescimento, por falta de comprovação que mostra o funcionamento do uso desse sistema, que acaba sendo limitado, e com a comunicação entre máquina e homem facilitando na operação do colaborador (MORAES et al., 2020).









Este artigo é um estudo de caso de uma nova máquina que pretende apresentar um calibrador e alinhador de aro de motocicleta garantindo a qualidade da produção da peça sem gerar refugos da mesma, e assim, diminuindo a margem prejuízos para empresa.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados as principais matérias e métodos utilizados no desenvolvimento de um equipamento de baixo custo para a calibração de aros de bicicletas/motocicletas. O equipamento foi desenvolvido para ser utilizado em uma empresa de Duas Rodas do Polo Industrial de Manaus, visando à melhoria na produção do aro de motocicletas. Anteriormente a implementação do projeto, a produção dos aros das motocicletas apresentava várias peças com defeito em sua, gerando um custo para empresa com peças inutilizadas.

Durante o desenvolvimento do projeto foram utilizadas uma série de componentes eletrônicos, sendo estes: relé, fotocélula, IHM, CLP e entre outros tipos de materiais que são descritos no Quadro 1.

**Quadro 1:** Principais materiais usados na construção do dispositivo

	Relés são contatos usados para abrir e fechar para passagem de corrente elétrica.
	CLP usado para monitorar e comandar máquina.
	IHM são mediadores entre o sistema e o homem.
	Relé de segurança que faz a supervisão do equipamento em causa de curto ou quando apertado o botão de emergência.
	Cortina de luz para proteção de segurança que detectam o acesso de movimento quando cortam o infravermelho.
	Filtros serve para converter a energia AC em DC.
	Fonte de alimentação reduz uma a tensão de 127V ou 220V para 24V.
	Disjuntores atuam como proteção contra sobrecargas, desarmando e interrompendo o funcionamento de toda rede.

Fonte: Autores (2022).

Primeiramente, a linha produtiva foi analisada rastreando, a fim de localizar onde estavam ocorrendo os possíveis problemas e defeitos na fabricação dos aros de motos, causando vários inutilizados, gerando um custo alto para empresa. Com isso foi estudado uma maneira de corrigir esse problema, criando um projeto de máquina, mais eficiente para o processo de fabricação do aro. Com a nova interface do novo equipamento sendo acrescentado mais um processo executado pela máquina. Além disso, foi realizada uma revitalização da parte elétrica, dando uma melhor qualidade produtiva e mantendo o operador seguro. A montagem do equipamento foi realizada passo a passo, iniciando pela demarcação dos quadros elétricos, e em seguida foi realizado furacões e montagem dos componentes.

**Figura 1:** a) Painel elétrico usado antes da implementação do sistema de automação; b) Local de processamento das peças anterior à automação.



Fonte: Autores (2022).

A Figura 1a, é observado um quadro elétrico do alinhador do aro nos números 1 e 2, que está mostrando a parte de comando da máquina onde se localiza o relé de segurança. O mesmo, que tem a função de prevenir sobrecarga no equipamento que possam ocasionar sinistros, assim protegendo de ocorrer acidentes ao operador. E os *bornes* são componentes que faz a distribuição da ligação dos contatos NF e NA. Ao mesmo tempo, na figura 1b é possível visualizar como é feito o processo para realização do alinhamento do aro da motocicleta.

### 3. RESULTADOS

Com a finalização da montagem do equipamento, foram feitos vários *setups* para que fosse possível realizar os ajustes necessários para o seu funcionamento, e igualmente, a máquina a ser instalada no setor de produtivo. Feita a implantação do equipamento foi realizado novos ajustes para garantir que o processo estivesse funcionando corretamente. Após os testes de implementação de o equipamento transcorrer perfeitamente foi dado o início à produção, sendo as primeiras peças sendo segregadas em um lote fechado para

que fosse realizado um controle de qualidade como medição, garantindo a qualidade das peças produzidas.

Assim, foram feitas comparações entre o equipamento antigo com o novo, na Figura 2 abaixo podemos conferir o *layout* da máquina nova em relação à antiga na Figura 1b.

**Figura 2:** a) mostra a montagem do quadro elétrico, b) mostra a ilustração do equipamento finalizado.



Fonte: Autores (2022).

Observando a Figura 2 é possível verificar a diferença no *design* do modelo antigo em relação ao atualizado, sendo a principal diferença entre eles, o comando elétrico. Ainda, outras diferenças são as novas peças e a configuração diferente, e na estrutura velha do painel foram substituídos os temporizadores por CLP. Diferenças ainda são verificadas através da separação da parte de comando de força de 127V para a alta tensão e para os componentes 24V baixa tensão.

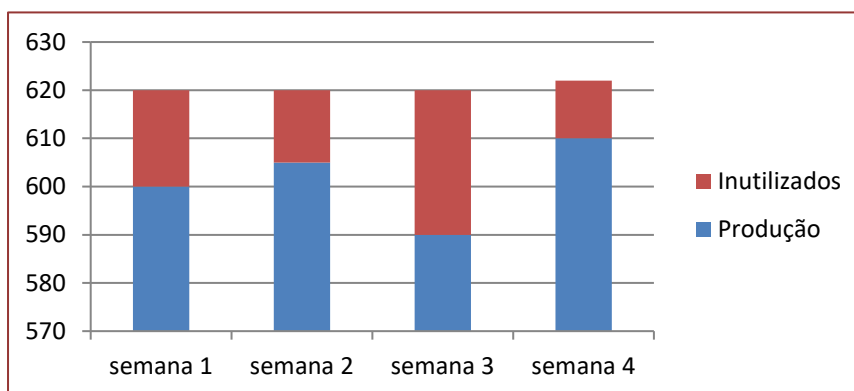
Foi ainda adicionado um dispositivo ao processo a máquina, com o intuito de melhorar o alinhamento entre as duas pontas do aro com a calibração, mantendo o máximo possível bem alinhado as partes para assim o processo seguinte não gerar retrabalho. Portanto com a calibração da roda teve uma diminuição dos inutilizados, com isso melhorando a qualidade da peça e deixou de gerar um custo a mais para empresa.

O equipamento teve sua proteção melhorada através da válvula de segurança para o comando de cilindros pneumáticos, que anteriormente eram acionadas, e atualmente é atuada por dois êmbolos permitindo a passagem do ar. Em caso de falha, um dos êmbolos não é acionado, evitando o funcionamento da válvula de segurança.

Pois, a norma regulamentadora-NR12 que visa à segurança do trabalho em máquinas, com objetivo de regulamentar sobre os padrões e qualidades definidos a serem usados nas máquinas ou equipamentos, assim permitindo a proteção da integridade física dos trabalhadores. Na NR12, descreve que os sistemas de prensas mecânicas, devem ser comandados por válvulas de segurança com fluxo cruzado, e livre de pressão residual.

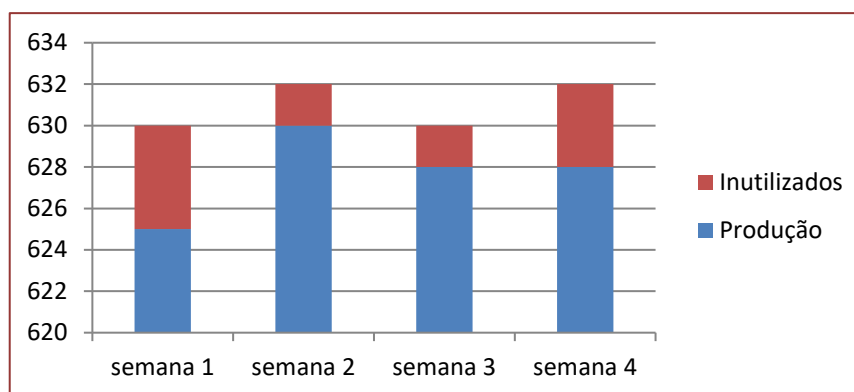
No Gráfico 1 descreve que a produção na primeira semana, alcançou uma produtividade de 600 peças, e não favorecendo um resultado positivo, devido ao alinhamento não está no padrão de qualidade, assim gerando 20 peças inutilizadas para o setor produtivo da empresa, com isso não alcançando a meta prevista de 620 peças, por outro lado na semana 2, 3 e 4 pode-se notar que foi obtido um valor de 605, 590 e 610 de produções, e as não conformidades geradas foram de 15, 30 e 12 peças para o setor, assim pode se considerar que na terceira semana teve uma perda maior na produção e um alto índice de inutilizados do que nas outras semanas.

**Gráfico 1:** Produção do aro da motocicleta e seus inutilizados com a antiga máquina.



Fonte: Autores (2022).

No Gráfico 2, ilustra como a nova máquina instalada foi possível alcançar novas metas produtivas, pois, é visível notar que na primeira semana obteve 625 peças produzidas e teve um aumento de 5 peças na quantidade produzidas e, os materiais inutilizados para 5, obtendo uma baixa para no valor, gerando resultados mais favoráveis para empresa, com isso nas semanas 2, 3 e 4 pode-se observar que a produção chegou a 630, 628 e 628 peças, e desse modo as não conformidades foram menores de 2, 2 e 4, assim alcançando grandes feitos.

**Gráfico 2:** Produção com o novo equipamento.

Fonte: Autores (2022).

Dessa forma, podemos perceber que ocorreram as seguintes alterações no primeiro gráfico que ilustrou uma perda produtiva de 77 peças não conformes, gerando grandes desperdícios de materiais, já no gráfico seguinte houve um aumento de 3,3% na produção, e a diminuição de 16,8% na não conformidade, conseqüentemente trazendo resultados de qualidade para o setor produtivo.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou a implementação de um equipamento em uma linha de produção do setor de duas Rodas no polo Industrial de Manaus/AM. Concluímos, mediante ao estudo de caso que o projeto da máquina calibrador e alinhador de aro, que vem sendo utilizado na indústria têm o propósito de manter a peça com um máximo de alinhamento, para que haja uma maior qualidade do produto. Dessa forma, esse equipamento tem trazido melhorias para a empresa, com um aumento na produtividade acima de 2% da meta a ser alcançada pelos colaboradores.

O projeto identificou as vantagens e benefícios, que foram gerados após a utilização desta máquina calibradora de alinhamento na empresa pelo operador, que vem facilitando o processo da troca de modelo do aro, pela interface do IHM. Que tem a principal função de mostrar ao colaborador, o funcionamento do equipamento e os devidos alarmes ocorridos por falha do sistema de segurança da parte de comando, ou quando houver um corte involuntário da cortina de fumaça da porta da máquina, ou até mesmo quando ocorrer à violação de algum senso das grades de segurança. Assim, proporcionando uma maior aptidão na produtividade da empresa durante o processamento das peças.

Finalizamos, que com a utilização da máquina foi possível uma maior adaptação para as condições de trabalho. Desse modo, os senso do equipamento passaram a ter uma maior segurança, permitindo um conforto no processo do ambiente de trabalho. Em vista que obtiveram melhoramento na produtividade e a diminuição de lesões causadas nos procedimentos antes realizados sem este instrumento. Com isso, a empresa tem gerado grandes resultados de qualidade de alinhamento e calibragem do aro.

## REFERÊNCIAS

- [1] CANTON, J. A.; FONTES, A. R. M.; TORRES, I.; OLIVEIRA, T. M.; MARQUES, T. L. **Discussão pós implantação das possíveis contribuições da ergonomia no projeto de automatização de linhas de produção.** Revista Produção Online, v.19, n.4, p.1327-1344, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v19i4.3425>>
- [2] DRATH, R.; HORCH, A. **Industrie 4.0: Hit or hype?** IEEE industrial electronics magazine, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6839101>>
- [3] FENERICK, J. A.; VOLANTE, C. R. **A Evolução das Indústrias, os Benefícios da Automação e as Perspectivas do Mercado da Robótica no Brasil e no Mundo.** Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 734-745, 2020. Disponível em: <<http://doi.org/10.31510/infav17i1.805>>
- [4] FIALA, L. K. **Automação de caldeira industrial por CLP.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9482>>
- [5] FRASCÁ, G. E.; BRUNO, D. R. **AUTOMAÇÃO: introdução a robótica industrial.** Revista Interface Tecnológica, v. 18, n. 2, p. 639-651, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.31510/infav18i2.1244>>
- [6] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0.** Frankfurt, 2013. Disponível em: <[https://essay.utwente.nl/70665/1/Balasingham\\_BA\\_MA.pdf](https://essay.utwente.nl/70665/1/Balasingham_BA_MA.pdf)>
- [7] OLIVEIRA, R. R. **Uso do microcontrolador ESP8266 para automação residencial.** Rio de Janeiro: UFRJ Escola Politécnica, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019583.pdf>>
- [8] PASQUINI, N. C. **Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual.** Revista Tecnológica da Fatec Americana, v. 8, n. 01, p. 29-44, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.47283/244670492020080129>>
- [9] PINHEIRO, D. T.; ALMNEIDA FILHO, J. A. S.; FARIAS, V. I. B. V. **Barreiras e Desafios para a implementação da Indústria 4.0 - Revisão da Literatura.** Gestão da Produção em Foco, v. 46. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/ErciliaStefano/publication/349389647\\_O\\_impacto\\_do\\_uso\\_da\\_tecnologia\\_da\\_industria\\_40\\_sobre\\_a\\_sociedade\\_Resultados\\_e\\_transformacoes\\_sociais/links/61fd6759b44cbe422721626a/O-impacto-do-uso-da-tecnologia-da-Industria-40-sobre-a-sociedade-Resultados-e-transformacoes-sociais.pdf#page=68](https://www.researchgate.net/profile/ErciliaStefano/publication/349389647_O_impacto_do_uso_da_tecnologia_da_industria_40_sobre_a_sociedade_Resultados_e_transformacoes_sociais/links/61fd6759b44cbe422721626a/O-impacto-do-uso-da-tecnologia-da-Industria-40-sobre-a-sociedade-Resultados-e-transformacoes-sociais.pdf#page=68)>
- [10] SIQUEIRA, D. P.; LARA, F. C. P. **Quarta revolução industrial, inteligência artificial e a proteção do homem no direito brasileiro.** Revista Meritum, Belo Horizonte, vol. 15, n. 4, p. 300-311, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.46560/>>
- [11] SUTHERLAND, J. **SCRUM: A arte de fazer o dobro de trabalho na metade do tempo.** Leya, 2014.
- [12] TELLES, E. S.; BARONE, D. A. C.; DA SILVA, A. M. **Inteligência Artificial no Contexto da Indústria 4.0.** In: Anais do I Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade. SBC, 2020. p. 130-136. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/wics.2020.11044>>

# Capítulo 16

## *Dimensionamento elétrico em um edifício comercial: uma comparação entre o método manual e software*

*Lhana Gustavo Brasil*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** A Eletricidade fez-se fundamental em todos os ramos das atividades para a construção de casas, comércios, indústrias, hospitais entre outras edificações, a energia elétrica está presente em tudo. Os projetos de instalação elétrica, essencialmente os de baixa tensão, devem seguir as recomendações normativas vigentes, como a NBR 5410:2004 (Instalações elétricas de Baixa Tensão), a NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) e as notas técnicas das Concessionárias locais. A análise comparativa de um projeto elétrico feito de forma convencional (Cálculo manual) x computacional (Software). A fim de analisar as diferenças entre os métodos, para validar se o programa realmente dimensiona de forma correta, confiável e quais são as suas limitações. O programa computacional auxilia, agiliza e minimiza os erros em trabalhos manuais e por vezes recorrentes, ele exige do projetista conhecimento técnico, normativo e executivo para analisar e desenvolver a melhor solução para o projeto em execução, pois as normas vigentes e boas práticas de mercado são uma exigência técnica profissional e resultam positivamente no desempenho operativo das instalações, garantindo-lhes segurança e durabilidade.

**Palavras-chave:** Dimensionamento Elétrico; Instalação elétrica de baixa tensão; Programa Computacional.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a eletricidade fez-se fundamental em todos os ramos das atividades para a construção de casas, comércios, indústrias, hospitais entre outras edificações, a energia elétrica está presente em tudo. O programa computacional auxilia, agiliza e minimiza os erros em trabalhos manuais e por vezes recorrentes, o mesmo exige do projetista conhecimento técnico, normativo e executivo para analisar e desenvolver a melhor solução para o projeto em execução, pois as normas vigentes e boas práticas de mercado são uma exigência técnica profissional e resultam positivamente no desempenho operativo das instalações, garantindo-lhes segurança e durabilidade (MAMEDE, 2017).

Segundo Sacerdote e Grandó (2017), existem algumas medidas simples para evitar o alto índice de acidentes, como o cumprimento das orientações previstas nas normas regulamentadoras e o setor elétrico não deve ser negligenciado pois em qualquer ocorrência os riscos são grandes há óbitos.

As atividades elaboradas por um projeto elétrico devem ser realizadas com antecipação, visto que o objetivo seja a orientação para garantir a maior segurança na sua execução e menor custo possível (SOUZA et al., 2018). Contudo a concepção e execução de projetos elétricos quando não há gestão adequada pode acarretar um efeito de atraso cascata (Oliveira, et a., 2015).

O sistema CAD foi o pioneiro quanto ao uso para representações gráficas para a engenharia e arquitetura em projetos (NUNES e LEÃO, 2018).

Os projetos de instalação elétrica, essencialmente os de baixa tensão devem seguir as recomendações normativas vigentes, como a NBR 5410:2004 (Instalações elétricas de Baixa Tensão), a NR 10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade) e as notas técnicas das Concessionárias locais. Utilizando o programa na fase inicial onde é determinada as cargas elétricas, o desenvolvimento de tabelas, diagramas e levantamento do quantitativo de materiais, até a finalização do projeto, auxilia a elaboração do orçamento da obra e do investimento para a conclusão do projeto (MENEZES et al., 2013).

A análise, mediante aos dados levantados ao final de uma instalação elétrica dimensionada sendo subdividida por circuitos gerando uma divisão correta, eficiente e segura demonstrando o correto funcionamento e atribuindo uma instalação dentro das normas vigentes (BORGES, 2019). Desta forma podemos destacar que apesar do recurso tecnológico usado em questão (software), não substitui o profissional capacitado conforme as normas vigentes, pois o mesmo necessita da interação com o usuário para obtenção dos resultados.

As informações obtidas devem mostrar todos os pontos de utilização de energia elétrica que serão distribuídas em todo o projeto elétrico. Conforme o levantamento de cargas é gerado, são definidas as potências, localização e quantidade dos pontos consumidores de energia elétrica. Uma previsão da definição e localização mínima de cargas no projeto elétrico são estabelecidos conforme a norma ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004).

Segundo NBR 5410:2004 o método de carga mínima determina o ponto de iluminação que necessita em cada ambiente. Nisto as regulamentações das instalações de baixa tensão visam a garantia de segurança, funcionalidade e conservação dos equipamentos. Há outros métodos para a determinação de iluminação interna como o luminotécnico, ponto a ponto e métodos do fabricante (ABNT, 2004, pág. 163).

Conforme a NBR 5410:2004, a quantidade de tomadas deve ser determinada em função do ambiente e dos equipamentos elétricos que podem ser utilizados e atendendo aos critérios mínimos da norma. São tomadas de uso específico (TUE's) de utilizadas para ligação de aparelhos fixos ou estacionários, são localizados a 1,5 m do ponto de localização do aparelho a ser utilizado no ambiente, contendo a mesma potência (ABNT, 2004, pág. 9).

A ABNT NBR 5410:2004, afirma que a potência que deve ser atribuída a cada ponto de tomada deve ser em função dos equipamentos que ele poderá a vir alimentar. Para esta etapa do projeto deve-se saber quantos e quais equipamentos deverão ser utilizados, caso o projetista não obtenha esta informação, deve-se calcular uma quantidade mínima de potência para cada ambiente conforme a norma (ABNT NBR 5410:2004). As divisões dos circuitos seguiram as normativas estabelecidas pela ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004), onde os cuidados e condições para a divisão dos circuitos estejam evidentes e prevendo possíveis condições para a instalação. A individualização dos circuitos terminais pela função dos equipamentos, com distinção de circuitos para iluminação e para tomadas (ABNT, 2004 pág. 61).

Os condutores elétricos são dimensionados com critérios mínimos que estão na norma NBR 5410:2004, sendo eles critérios de queda de tensão, seção mínima, e capacidade de corrente. Os circuitos de iluminação com critérios de seção mínima de  $1,5\text{mm}^2$  e os demais circuitos de  $2,5\text{mm}^2$ . O software utiliza os padrões normativos, nisto foi utilizado para a execução do projeto, para a utilização no método convencional foi adotado a seção mínima de  $2,5\text{mm}^2$  para todos os circuitos. A NBR 5410, expõe os limites de queda de tensão nos pontos de utilização da instalação, onde 7% é o limite para partir dos terminais secundários do transformador que alimenta a unidade consumidora (ABNT, 2004).

Os eletrodutos podem ser encontrados em diversos materiais e formas, tais como de PVC plástico, fibrocimento e fibra de vidro com alta durabilidade, estes materiais são de origem não metálica. A principal função dos eletrodutos é proteger os condutores contra ação mecânica ou meios agressivos como sais, ácidos, gases, evitando o superaquecimento dos condutores, evitando incêndios, e evitando descargas elétricas (ABNT, 2004, pág. 120).

Assim este trabalho visa demonstrar uma metodologia de projeto elétrico de baixa tensão com o auxílio do software Pro-Elétrica para a comparação com os métodos convencionais. As metodologias aplicadas devem ser apresentadas para o desenvolvimento deste trabalho como a utilização do programa computacional e os principais fatores normativos e padrões adotados na organização e elaboração do estudo.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este artigo mostra um estudo comparativo de duas metodologias usadas para cálculo e dimensionamento elétrico de um edifício comercial, sendo a primeira metodologia, o cálculo e dimensionamento do projeto elétrico manual, por meio de planilhas criadas no Microsoft Excel, conforme as diretrizes nas normas citadas no decorrer do trabalho. E a segunda, consiste no dimensionamento e cálculo para o projeto usando o software Pro Elétrica. O edifício é composto por uma edificação de uso comercial, possuindo dois pavimentos, sendo o térreo uma estrutura composta por cinco

salas comerciais com banheiros, e possuindo ar-condicionado, tomadas de uso geral e iluminação.

O pavimento superior foi dimensionado para ser uma área de conveniência, que possui, tomadas de uso geral, iluminação e um banheiro social. Além disso, o edifício possui uma escada de acesso a todos os pavimentos, contendo iluminação.

### **2.1. PREVISÃO DE CARGAS**

Foram previstas cargas de 25W para luminárias LED nos circuitos de iluminação, para circuito de tomadas utilizou-se 100W para áreas gerais e 600W para tomadas área da churrasqueira na área de convivência.

### **2.2. DETERMINAÇÃO DE INTERRUPTORES E PONTOS DE LUZ**

Os interruptores foram locados próximo a entrada dos ambientes e os pontos de luz foram distribuídos de forma harmônica em cada sala/ambiente.

### **2.3. DELIMITAR AS TOMADAS DE ENERGIA E SEUS PONTOS DE LOCALIZAÇÃO**

As tomadas foram distribuídas dentro dos ambientes de forma a terem um layout multifuncional: sala 1: 4 tomadas, e as demais salas: 8 tomadas. Quanto a área de convivência: 11 tomadas. Além disso, os ar-condicionados possuem a seguinte configuração: 1 ar-condicionado de 12000 Btuh (1251w) para sala 1 e para as demais salas 1 ar-condicionados de 24000 Btuh (2504w) para cada sala.

### **2.4. DEFINIÇÃO DO QUADRO DE CIRCUITO E DISTRIBUIÇÃO**

Utilizou-se um quadro geral de força e luz para cada pavimento, nomeado por: (QGFL-1), para o pavimento térreo (QGFL-2) para o pavimento superior. Seus circuitos foram distribuídos.

As Tabelas 1 e 2 mostram o Quadro Geral de Força e Luz (QGFL-1) e Quadro Geral de Força e Luz pavimento Térreo (QGFL-2), realizados de forma manual para a obtenção dos resultados abaixo, com o auxílio da ferramenta Excel na seguinte ordem: Identificação dos Circuitos; Tipos de Circuitos: Iluminação, Tomadas, Ar-condicionado; Quantidade de elementos; Potência Unitária de cada elemento; e a Potência Total, que pode ser obtida por meio da Equação 1.

$$Potência Total = Quantidade \times Potência Unitária. \quad \text{Eq. (1)}$$

**Tabela 1:** Quadro Geral de Força e Luz (QGFL-1).

QGFL-1				
Circuito	Tipo	Quantidade	Potência unit. (W)	Potência total (W)
1.01	Ilum.	14	25	350
1.02	Ilum.	24	25	600
1.03	Tom	4	100	400
1.04	Tom	8	100	800
1.05	Tom	8	100	800
1.06	Tom	8	100	800
1.07	ARC	8	100	800
1.08	ARC	1	1251	1251
1.09	ARC	1	2504	2504
1.10	ARC	1	2504	2504
1.11	ARC	1	2504	2504
1.12	ARC	1	2504	2504

Fonte: Autores (2022).

**Tabela 2:** Quadro Geral de Força e Luz pavimento Térreo (QGFL-2).

QGFL-2				
Circuito	Tipo	Quant.	Potência unit. (W)	Potência total (W)
2.01	Ilum.	24	25	600
2.02	Tom	8	100	800
2.03	Tom	3	600	1800

Fonte: Autores (2022).

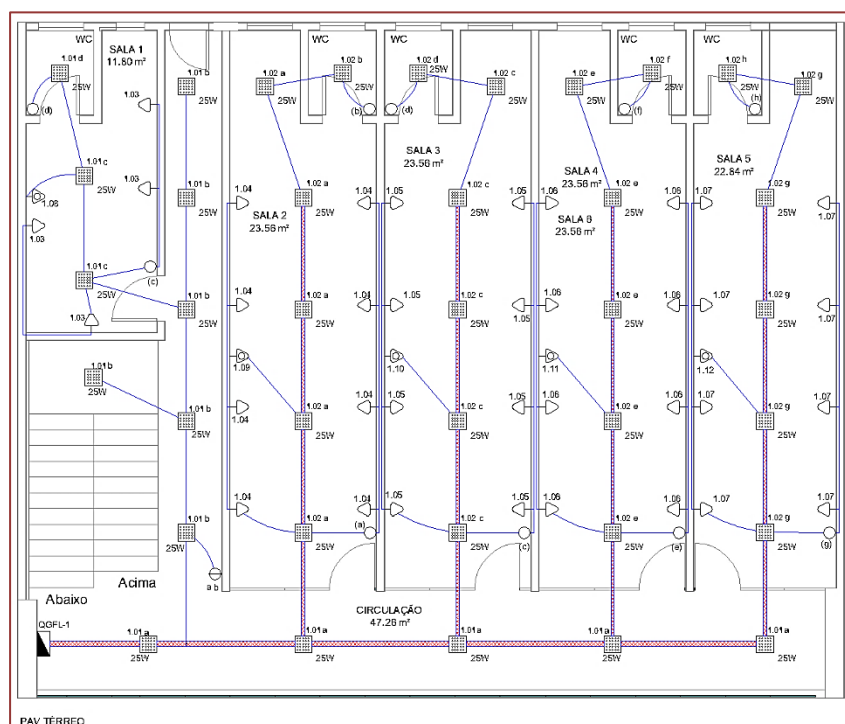
## 2.5. ESTRUTURAÇÃO DOS ELETRODUTOS, ELETROCALHAS E CONDUTORES

Os eletrodutos ou conduítes são tubos que ficam dentro das paredes, lajes e pisos, tendo como principal função proteger a fiação elétrica contra fatores externos que possam danificar ou expor a segurança do projeto. As eletrocalhas fazem a distribuição elétrica, sendo sustentadas por bandejas metálicas. Os condutores permitem a movimentação de cargas elétricas em seu interior com facilidade.

Com o software Pro-Elétrica foi realizada a distribuição dos eletrodutos e eletrocalhas, onde foram alocadas saindo dos quadros de distribuição QGFL-1 e QGFL-2, percorrendo pelo menor caminho, até alcançar cada componente elétrico, conforme mostram as Figuras 1 e 2 apresentadas abaixo.

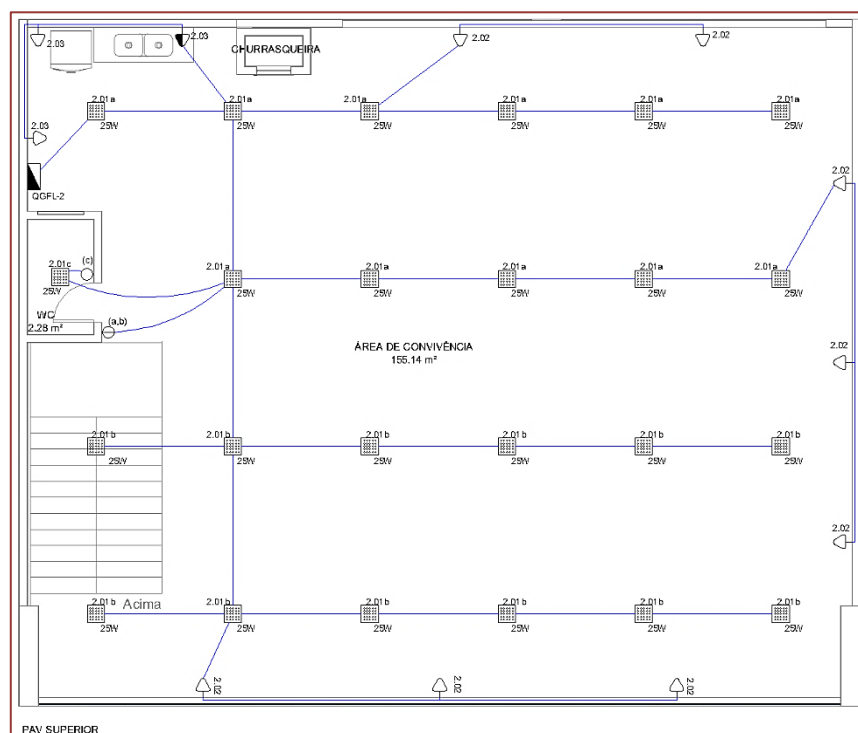
A complexidade da planta do pavimento térreo (Figura 1) foi devido este apresentar cinco salas comerciais e estas foram dimensionadas com o intuito de abrigar escritórios e/ou lojas, os quais necessitam de várias tomadas dimensionadas para uso de equipamentos de média potência como computadores, monitores, ao contrário das tomadas usadas para uso de equipamentos de alta frequência como ar-condicionado e/ou chuveiro elétrico.

Figura 1: Planta do Pavimento Térreo com localização dos elementos elétricos.



Fonte: Autores (2022)

Figura 2: Planta do Pavimento Superior com localização dos elementos elétricos.



Fonte: Autores (2022)

## 2.6. DETERMINAÇÃO DA DEMANDA E CARGA TOTAL

As diretrizes técnicas para o fornecimento de energia elétrica em baixa tensão, às edificações individuais, urbanas e rurais, devem fixar os requisitos mínimos para as entradas de serviço destas edificações, na área de concessão da Distribuidora, conforme a Norma NDEE-002 das Distribuidoras Amazonas Energia, os fatores de demanda são determinados por faixas de cargas instaladas, conforme a Tabela 3

**Tabela 3:** Fator de demanda para iluminação e tomadas - Norma NDEE-02.

Fatores de Demanda para Iluminação e Tomadas Unidades Consumidoras Residenciais	
Carga Instalada C I (K W)	Fator de Demanda
$C I \leq 1$	0.86
$1 < C I \leq 2$	0.81
$2 < C I \leq 3$	0.76
$3 < C I \leq 4$	0.72
$4 < C I \leq 5$	0.68
$5 < C I \leq 6$	0.64
$6 < C I \leq 7$	0.60
$7 < C I \leq 8$	0.57
$8 < C I \leq 9$	0.54
$9 < C I \leq 10$	0.52
$C I >$	0.45

Fonte: Norma NDEE-02 (2016)

É recomendável que a previsão de cargas de iluminação e o número de tomadas, feitas pelo consumidor, atendam as prescrições da NBR 5410. No caso das lâmpadas incandescentes, considerar:  $KVA = (\text{fator de potência unitário})$ , enquanto para o caso das lâmpadas de descarga (vapor de mercúrio, sódio e fluorescente) e tomada considerar:  $KVA / 0,92$ .

## 2.7. SISTEMAS DE PROTEÇÃO

Para determinar os sistemas de proteção, calcula-se a corrente elétrica de cada circuito, que nada mais é que a potência total do circuito dividido pela tensão 127v (Manaus), conforme a Equação 2. Além desta, para os cálculos manuais foram usados um conjunto de equações apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1:** Fórmulas

$Corrente (A) = \frac{Potência(w)}{Tensão (V)}$	Eq. (2)
Potência Aparente: $\frac{Potência Total (W)}{Fator de Potência (FA)}$	Eq. (3)
Corrente: $\frac{Potência Aparente (VA)}{Tensão (V)}$ ;	Eq. (4)
Disjuntor: $\frac{Potência Total (W)}{Tensão(V)}$ ;	Eq. (5)
Fator de Agrupamento de circuitos: N <sup>o</sup> de circuitos de agrupados nos eletrodutos ou eletrocalhas;	
Corrente Corrigida = $\frac{Corrente (A)}{Fator de agrupamento (FA)}$	Eq. (6)
Condutores: Tamanho em mm <sup>2</sup> ;	

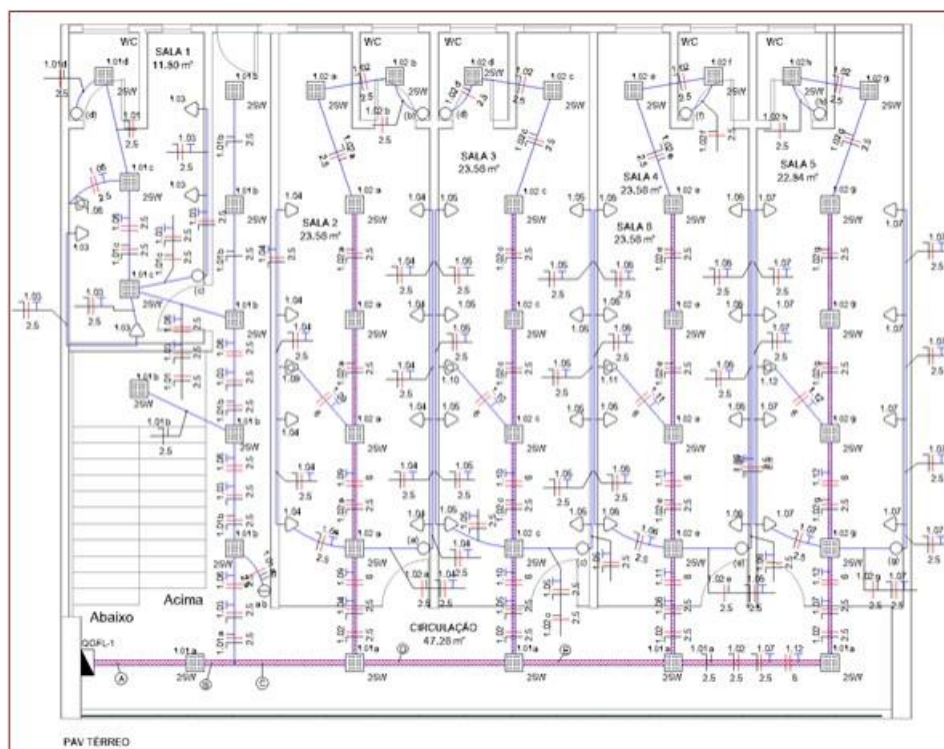
### 3. RESULTADOS

Nesta sessão será apresentada uma análise comparativa entre o dimensionamento elétrico de um edifício comercial na cidade de Manaus/AM, usando a metodologia manual por meio das equações apresentadas no Quadro 1 por meio da ferramenta Excel para os cálculos e o dimensionamento usando o *software* Pro-Elétrica .

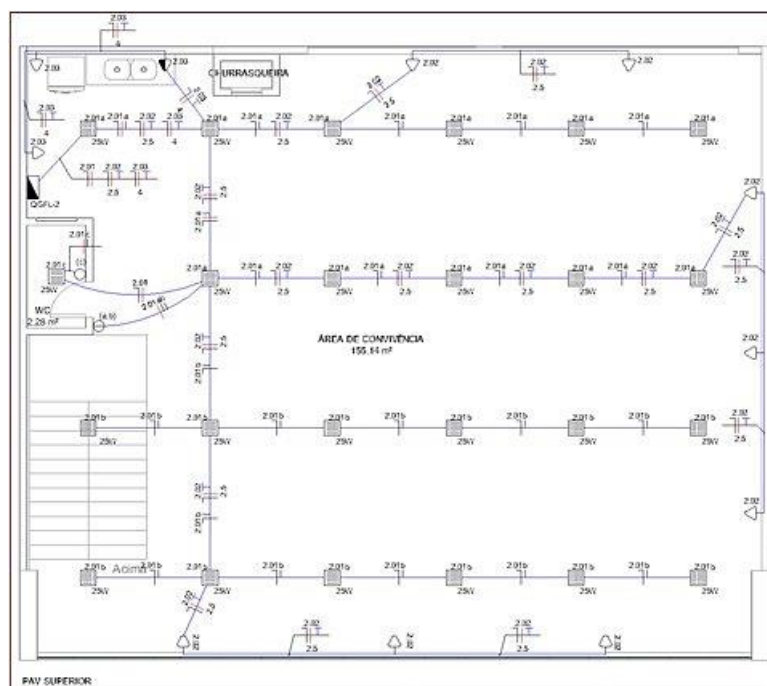
#### 3.1. PLANTA BAIXA - INSTALAÇÃO PREDIAL

Após o dimensionamento realizado pelo *software* Pro-Elétrica através dos usos das ferramentas para elaboração de um projeto elétrico de baixa tensão, gerou-se uma planta baixa para cada pavimento com todo o projeto dimensionado, apresentada nas Figuras 4 e 5.

**Figura 4:** Planta baixa – Instalação Predial – Pavimento Térreo.



Fonte: Autores (2022)

**Figura 5:** Planta baixa – Instalação Predial – Pavimento Superior.

Fonte: Autores (2022).

### 3.2. QUADRO DE CARGAS

Após o dimensionamento das fiações, foi dimensionado o quadro de cargas por meio do *software* Pro-Elétrica (Quadro 2), e este foi comparado ao mesmo dimensionamento, porém realizado por meio de cálculos manuais (Quadro 3). É possível verificar por meio dos quadros 2 e 3 que os resultados obtidos foram completamente idênticos, exceto para dois itens. Estes itens foram o fator de demanda e o condutor escolhido para o circuito de iluminação 1.01.

Essa diferença dos valores no fator de demanda se deve ao fato do *software* apresentar essa variável com a configuração de fábrica, apresentando os valores de configurações de outros estados da união, porém, para que possamos usá-lo na região norte do Brasil, essa variável deve ser regionalizada com os parâmetros da concessionária local, devendo ser alterado manualmente.

No dimensionamento de condutores o *software* calcula por meio de dois parâmetros, por capacidade de carga dos condutores e pela queda de tensão devida à distância percorrida da corrente elétrica, a seguir podemos ver os resultados nas Tabelas 4 e 5 e Quadros 2 e 3.

As Tabelas 4 e 5 mostram o resultado do dimensionamento do Quadro de Cargas, por meio realizados de forma manual para obter os valores abaixo com o auxílio da ferramenta Excel na seguinte ordem: Identificação dos Circuitos; Tipos de Circuitos: Iluminação, Tomadas, Ar-condicionado; Quantidade de elementos; Potência Unitária de cada elemento; Potência Total; Fator de Potência: Relação entre potência ativa e potência reativa;

**Tabela 4:** Quadro de cargas – Forma Manual – QGFL-1

Circuito	Tipo	Quantidade	Potência unit. (W)	Potência total (W)	FP	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Disjuntor (A)	Fator de agrup. (FA)	Corrente corrigida (A)	Condutor (mm <sup>2</sup> )
1.01	Ilum.	14	25	350	0,92	380,4	127	3,00	10	0,5	6,0	1,5
1.02	Ilum.	24	25	600	0,92	652,2	127	5,14	10	0,5	10,3	2,5
1.03	Tom	4	100	400	0,92	434,8	127	3,42	10	0,5	6,8	2,5
1.04	Tom	8	100	800	0,92	869,6	127	6,85	10	0,5	13,7	2,5
1.05	Tom	8	100	800	0,92	869,6	127	6,85	10	0,5	13,7	2,5
1.06	Tom	8	100	800	0,92	869,6	127	6,85	10	0,5	13,7	2,5
1.07	ARC	8	100	800	0,92	869,6	127	6,85	10	0,5	13,7	2,5
1.08	ARC	1	1251	1251	0,92	1359,8	220	6,18	10	0,5	12,4	2,5
1.09	ARC	1	2504	2504	0,92	2721,7	220	12,37	16	0,5	24,7	6
1.10	ARC	1	2504	2504	0,92	2721,7	220	12,37	16	0,5	24,7	6
1.11	ARC	1	2504	2504	0,92	2721,7	220	12,37	16	0,5	24,7	6
1.12	ARC	1	2504	2504	0,92	2721,7	220	12,37	16	0,5	24,7	6

Fonte: Autores (2022).

Os Quadros 2 e 3 mostram os resultados referentes ao dimensionamento das cargas nos dois pavimentos, QGFL-1 e QGFL-2, os quais foram gerados de forma automática com o auxílio do software Pro-Elétrica seguindo os mesmos métodos utilizados pelo cálculo manual, conforme ordem acima.

**Quadro 2:** Quadro de cargas – Pró-Elétrica – QGFL-1

Quadro de Cargas																	
QGFL-1																	
Circ.	Descrição	Iluminação		Tomadas		Ar Const.		Pot. W	Pot. V.A	Demanda (%)	Fat. Pot.	Corr. A	Fases	Prot. A	Cond mm <sup>2</sup>	Fases ABC	Obs.
		25W	100W	125W	250W												
1.01	Iluminação	14						350,0	380,4	86%	0,92	3,00	1	10A	2,5	C	Obs.:
1.02	Iluminação	24						600,0	652,2	86%	0,92	5,14	1	10A	2,5	A	Obs.:
1.03	Tomadas			4				400,0	434,8	72,89%	0,92	3,42	1	10A	2,5	C	Obs.:
1.04	Tomadas			8				800,0	869,6	72,89%	0,92	6,85	1	10A	2,5	B	Obs.:
1.05	Tomadas			8				800,0	869,6	72,89%	0,92	6,85	1	10A	2,5	A	Obs.:
1.06	Tomadas			8				800,0	869,6	72,89%	0,92	6,85	1	10A	2,5	C	Obs.:
1.07	Tomadas			8				800,0	869,6	72,89%	0,92	6,85	1	10A	2,5	C	Obs.:
1.08	Ar Condicionado					1		1251,0	1359,8	100%	0,92	6,18	2	10A	2,5	BC	Obs.:
1.09	Ar Condicionado						1	2504,0	2721,7	100%	0,92	12,37	2	16A	6	AB	Obs.:
1.10	Ar Condicionado						1	2504,0	2721,7	100%	0,92	12,37	2	16A	6	AB	Obs.:
1.11	Ar Condicionado						1	2504,0	2721,7	100%	0,92	12,37	2	16A	6	BC	Obs.:
1.12	Ar Condicionado						1	2504,0	2721,7	100%	0,92	12,37	2	16A	6	CA	Obs.:
RES.	Circuito Reserva																-
RES.	Circuito Reserva																-
RES.	Circuito Reserva																-
Total		38		36		1	4	15817,0	17192,4								
Alimenl.	C=27.14m QT=2%							16927,3	18369,2	100%	0,92	48,40	3	63A	16	ABC	-
Potência Total (15817.0 W) (17192.4 V.A) Potência Demandada: 92.99% (14708.0 W) (15987.0 V.A)																	
Corrente nas Fases: A=48.5A B=48.3A C=46.0A																	

Fonte: Pro-Elétrica (2022).

**Tabela 5:** Cargas obtidas de forma manual – QGFL-2

Circuito	Tipo	Quantidade	Potência unit. (W)	Potência total (W)	FP	Potência (VA)	Tensão (V)	Corrente (A)	Disjuntor (A)	Fator de agrup. (FA)	Corrente corrigida (A)	Condutor (mm <sup>2</sup> )
2.01	Ilum.	24	25	600	0,92	652,2	127	5,14	10	0,7	7,3	1,5
2.02	Tom	8	100	800	0,92	869,6	127	6,85	10	0,7	9,8	2,5
2.03	Tom	3	600	1800	0,92	1956,5	127	15,41	20	0,7	22,0	4,0

Fonte: Autores (2022).

**Quadro 3:** Cargas obtidas pelo Pró-Elétrica QGFL-2

Quadro de Cargas																	
QGFL-2																	
Circ.	Descrição	Iluminação			Tomadas			Pot. W	Pot. V.A	Demanda (%)	Fat. Pot.	Corr. A	Fases	Prot. A	Cond. mm <sup>2</sup>	Fases ABC	Obs.
		25W	100W	600W													
2.01	Iluminação	24					600,0	652,2	86%	0,92	5,14	1	10A	1,5	A	Obs.:	
2.02	Tomadas				8		800,0	869,6	77,15%	0,92	6,85	1	10A	2,5	B	Obs.:	
2.03	Tomadas					3	1800,0	1956,5	77,15%	0,92	15,41	1	20A	4	C	Obs.:	
RES.	Circuito Reserva															-	
RES.	Circuito Reserva															-	
	Total	24			8	3	3200,0	3478,3									
Aliment.	C=27,14m QT=2%						4186,3	4338,6	100%	0,92	11,90	3	25A	4	ABC	-	
Potência Total (3200,0 W) (3478,3 V.A) Potência Demandada: 78,81% (2522,0 W) (2741,3 V.A)																	
Corrente nas Fases: A=4,4A B=5,3A C=11,5A																	

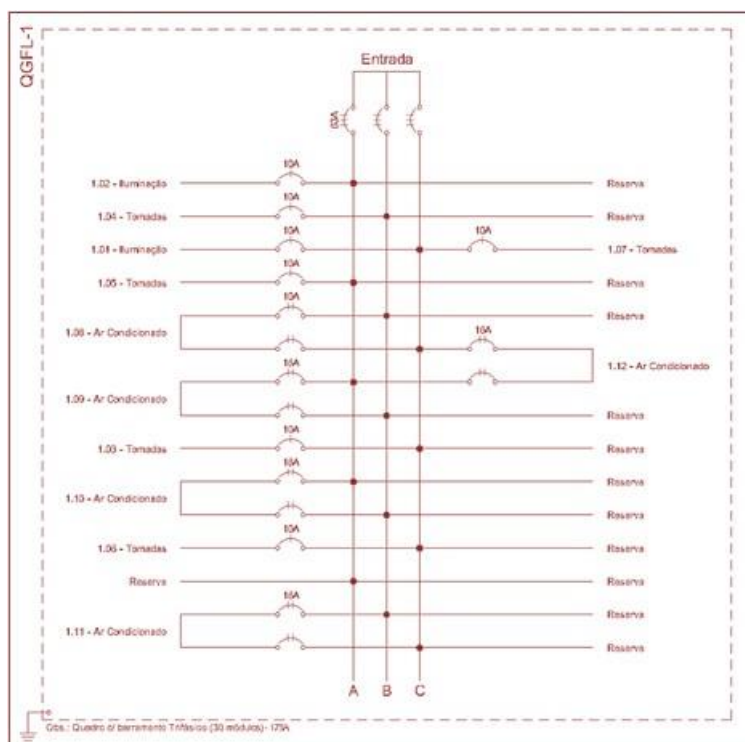
Fonte: Pro-Elétrica (2022)

### 3.3. DIAGRAMA TRIFIAR

Assim como o dimensionamento das cargas, foram construídos os diagramas Trifilares, esse tipo de diagrama são muito utilizados para representar comandos elétricos, além disso, são comumente usados em projetos industriais, que têm, na maioria das vezes, os circuitos trifásicos.

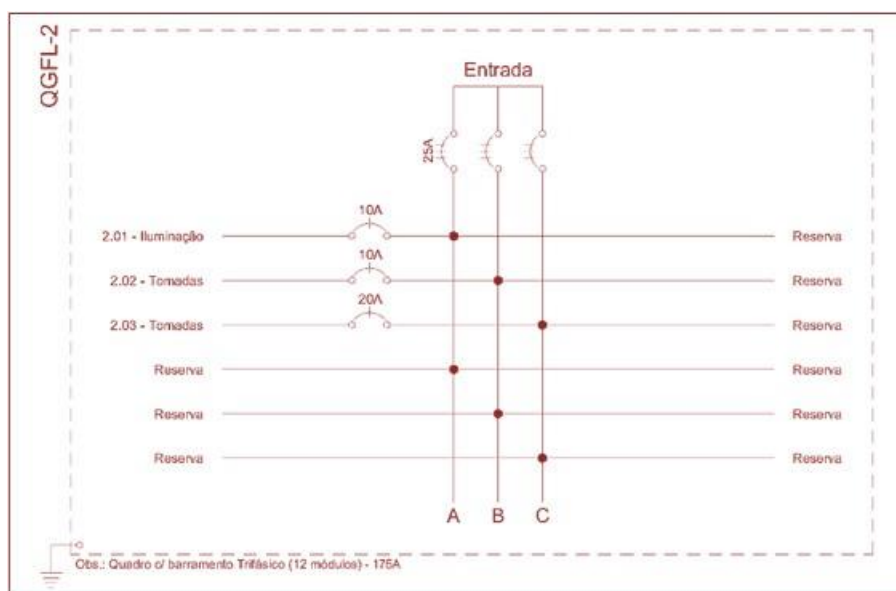
Uma vantagem da utilização do Pro-Elétrica vem do programa gerar esses diagramas de forma automática e o balanceamento das fases do projeto, ao contrário da forma manual que o projetista demandaria de muito tempo para equilibrar as cargas e desenhar ao mesmo tempo, deixando claro que o *software* além de ser mais rápido é inerente a erros de cálculo, paralax, etc. As Figuras 8 e 9 demonstram o Diagrama Trifiar de Proteção QGFL-1 e o Diagrama de Montagem de Quadros QGFL-2, gerado automático com o auxílio do Software Pro-Elétrica.

**Figura 8:** Diagrama Trifilar de Proteção QGFL-1.



Fonte: Autores (2022)

**Figura 9:** Diagrama de Montagem de Quadros QGFL-2.



Fonte: Autores (2022).

### 3.4. VANTAGENS DO PRO-ELÉTRICA

O Pro-Elétrica foi desenvolvido para projetos elétricos onde detalha e dimensiona as instalações elétricas em baixa tensão, SPDA, cabeamento estruturado, loteamento com locação de postes e iluminação e automação residencial, instalação de placas fotovoltaicas On-Grid. Possuindo a exportação dos projetos elétricos em 3D para softwares BIM através

do módulo opcional de exportação REVIT ou BIM/IFC. As principais ferramentas do software disponível são:

- Dimensionamento e lançamento automático da fiação pela NBR-5410 pelos critérios de queda de tensão, capacidade de corrente e bitola mínima e lançando automaticamente a fiação pelo caminhamento otimizado;
- Aumento de produtividade realizando o levantamento de quantitativos precisos do projeto elétrico;
- Detalhamento e dimensionamento das instalações elétricas, o software realiza análises de risco de SPDA pela NBR 5419/2015, instalações fotovoltaicas com inversores e micro inversores, cabeamento estruturado, loteamento dimensionando a rede secundária em baixa tensão e detalhamento adequado a instalação de automação;
- Conjunto inteligente de ferramentas, como fluxos de trabalho aprimorados para trabalhar de modo mais eficaz e sendo de fácil utilização, resultando em mais produtividade e qualidade em projetos elétricos;
- Permite uma notória melhoria na apresentação dos projetos elétricos ao cliente, onde a exigência em curtos prazos de entrega e em termos de tecnologia;
- Oferecendo precisão, seguindo as recomendações da norma NBR-5410 e outras normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, segurança e confiabilidade de seus projetos elétricos.

### **3.5. DESVANTAGENS DO PRO-ELÉTRICA**

O uso indiscriminado das ferramentas automáticas do software, geram muitas inconsistências e concepções inexequíveis e errôneas, de forma exemplificada nos diversos erros observados, como erros de encaminhamento de eletrodutos, erros de conexão das simbologias, erros de distribuição de tomadas, erros na distribuição dos condutores e, conseqüentemente, erros no dimensionamento dos mesmos. O software reconhece a grande maioria destes erros, mas as correções devem ser aplicadas manualmente, ponto a ponto. Mas, mesmo com a correção manual de alguns erros, o programa permanece com dificuldades de processar os trechos ajustados.

O bom resultado, deve ser estudar e entender o software de forma minuciosa para lançar corretamente as simbologias e configurá-lo com os parâmetros na qual o projetista saberá escolhê-los corretamente.

A limitação de simbologias na biblioteca padrão, com ausência de simbologias básicas, como tomadas duplas, tomadas triplas, interruptores com tomadas, sensores de presença etc.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A criação de *softwares* especializados, como o Pro-Elétrica, propõe a capacidade de entendimento do programa, como o conhecimento às normas vigentes e a metodologia de desenvolvimento de projetos elétricos. Os programas computacionais proporcionam diversos benefícios, dentre eles a economia de tempo, exatidão nos cálculos, evitando os erros humanos, precisão nos detalhes e atividades contínuas.

Em eventuais alterações de projeto, visto que todas as adequações provenientes das respectivas alterações podem ser recalculadas novamente de forma automática, juntamente com a elaboração automática de diagramas, quadros e legendas. Nisto proporciona ao engenheiro projetista uma maior rapidez na elaboração do projeto, qualidade e segurança no serviço prestado pelo mesmo, podendo citar a precisão na elaboração de quantitativo de materiais que serão utilizados no projeto, proporcionando ao cliente uma visão total do valor que será investido e a busca pelo melhor material utilizado e conseqüentemente economia.

O *software* proporciona inúmeros benefícios, porém podemos evidenciar que o engenheiro projetista deve possuir capacitação prévia das normas vigentes, onde são fundamentais para utilização de forma correta das ferramentas e configuração dos parâmetros corretamente oferecidos pelo software Pro-Elétrica.

A partir deste estudo de metodologia com o uso do software Pro-Elétrica e a comparação com método convencional, ambos os casos foram equivalentes, tendo como diferença as configurações adequadas para o cálculo de cada item demonstrado. Foi observado que não houve diferença crítica entre os resultados apresentados em cada caso, sendo evidenciado que o software não possui a capacidade de atuar de forma autônoma, sem as devidas interferências do projetista.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR 5410, **Dispositivos capazes de prover apenas proteção contracorrentes de curto-circuito Disjuntores** conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1 p. 2-6, 2004. Disponível em: <  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5810747/mod\\_resource/content/1/NBR5410%20-%20Instalações%20elétricas%20de%20baixa%20tensão.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5810747/mod_resource/content/1/NBR5410%20-%20Instalações%20elétricas%20de%20baixa%20tensão.pdf)>
- [2] ABNT NBR 5361:1998, **Disjuntores de baixa tensão**. Conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2,
- [3] ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1 p. 2-6, 2004.
- [4] ABNT NBR 5413:1992, **Iluminância de interiores – Procedimento**. conforme ABNT NBR 5361, ABNT NBR IEC 60947-2, ABNT NBR NM 60898 ou IEC 61009-2.1 p. 2-6, 2004.
- [5] ABNT NBR 5597:1995, **Eletroduto rígido de aço-carbono e acessórios com revestimento protetor, com rosca ANSI/ASME B1.20.1** – Especificação ABNT NBR 6147:2000 – Plugues e tomadas para uso doméstico e análogo – Especificação p. 2-6, 2004.
- [6] LIMA FILHO, D. L. **Projetos de instalações elétricas prediais**, pág. 14 12ª edição revisada, 2015.
- [7] SOUZA, D. F.; BIANCHI, E. C.; SILVA, E. A. S. **A Evolução Dos Métodos De Projetar Instalações Elétricas**. Revista de Ensino de Engenharia, v. 37, n. 3, p. 3-8, 2018 – ISSN 2236-0158 - DOI: 10.5935/2236-0158.20180025
- [8] NUNES, G. H.; LEÃO, M. **Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM**. Revista de Engenharia Civil 2018, No. 55, 47-61. Disponível em: <  
<http://www.civil.uminho.pt/revista> >

- [9] BORGES, L. F. P.; GOMES, G. A. M. **Instalações Elétricas: Construção de uma rede elétrica dimensionada**. Anais em evento na Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS/MG. Disponível em:<<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1263>>
- [10] MAMED FILHO, J. **Livro Instalações Elétricas Industriais**, pág. 52 8ª edição revisada, 2010.
- [11] OLIVEIRA, B. A.; STARLING, C. M. D., ANDERY, P. R. P. **Gestão Do Processo De Projeto De Instalações Elétricas Em Empreendimentos Hospitalares: Estudo De Caso**. Gestão & Tecnologia de Projetos, 10(2), 47-60, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102048>>
- [12] PRO ELÉTRICA, **Multiplus Software Técnicos**. Software para projeto Elétrico em ambiente CAD.
- [13] SACERDOTE, D. D.; GRANDO, M. L. **A influência da Terceirização nos Acidentes de Trabalho no Setor Elétrico Brasileiro**. Revista Tecnológica / ISSN 2358-9221, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 01 - 15, sep. 2017. Disponível em: <<https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/230>>

# Capítulo 17

## *Sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar*

*Márcio Cláudio Marques Lopes Filho*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Com o desenvolvimento constante de mercadorias utilizando energia, com a alta degradação do aquecimento global ocorrido pela cremação desgovernada dos combustíveis convencional não renováveis e a grande procura por comandos de realização, as pessoas requerem uma procura de uma melhoria em localização onde há energia puras e renováveis. Este artigo busca evidenciar uma amostra de visibilidade no andamento de um ramo com uma ampla popularidade de escolhas de energias puras, a energia fotovoltaica e as perspectivas e engenharia implicados no próprio, mostrando uma aprendizagem de acontecimentos onde é implementado o sistema fotovoltaico e igualado com a atual consumação de energia elétrica e a sua acessibilidade técnica de redução implantação destes artifícios.

**Palavras-chave:** Energia. Fotovoltaica. Sistema Alternativo.

## 1. INTRODUÇÃO

A quantidade de energia Solar recebida na superfície Terra em um ano é em torno de 10.000 vezes superior a energia elétrica utilizada no planeta. Apesar dos sistemas fotovoltaicos apresentarem uma eficiência de conversão de energia aparentemente baixa, em torno de 0,1% na superfície da Terra, é possível suprir a demanda mundial de energia em um ano (LIMA JUNIOR, 2014). Ao mesmo tempo, outras fontes renováveis de energia, como hidrelétricas, eólicas e geotérmicas, podem contribuir para a produção de energia renovável, especialmente quando a energia solar é intermitente ou variável devido aos ciclos dia-noite e os dias nublados (EIFLER NETO, 2012).

Um dos fatores limitantes no uso generalizado da energia fotovoltaica é seu alto custo, se comparado a energia derivada dos combustíveis fósseis. No entanto, devido ao aumento da capacidade de produção, melhor desempenho energético das placas, nos últimos anos o custo de instalação do sistema fotovoltaico apresentou uma redução consideravelmente (LIMA JUNIOR, 2014). O custo da instalação fotovoltaica pode ser menor do que 1000 \$/kW com o custo dos módulos fotovoltaicos de até 0,3 \$/Wp. O custo nivelado de eletricidade (LCOE) torna-se assim, uma métrica útil para comparar diferentes fontes de energia e é definido a partir do custo total de um sistema de energia dividido pela duração de sua vida útil (PAULINO, et al., 2017).

A média global de LCOE para PVs é de 68 \$/MWh e varia entre 50 e 180 \$/MWh, dependendo da tecnologia do painel solar e do tamanho da instalação, com valores tão baixos quanto 20–25 \$/MWh em áreas ensolaradas, tornando-a competitiva em relação aos combustíveis fósseis, que atualmente variam entre 43 e 150 \$/MWh (EIFLER NETO, 2012).

Um fator importante para esse tipo de energia é sua fácil captação, onde a energia oriunda do Sol pode ser acumulada por meio de coletores ou concentradores solares. Basicamente, os coletores solares são trocadores de calor, os quais transformam a radiação solar em calor, usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais etc.) para o aquecimento de água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes). Enquanto, os concentradores solares servem para aplicações que precisam de temperaturas mais elevadas, como na agricultura e siderúrgicas (MONTENEGRO, 2016).

Este trabalho mostrará os quesitos básicos e pontos mais relevantes para a instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar na cidade de Manaus/AM.

## 2. MATERIAIS E ESTUDOS

Esta seção mostrará os procedimentos utilizados na instalação dos painéis fotovoltaicos e contabilizar as análises de custo, e assim, verificar a possibilidade de instalação do sistema escolhido. Para melhor compreensão, os passos foram detalhados, como a sequência do dimensionamento do sistema: verificação do consumo diário; dimensão dos painéis; dimensão do inversor; dimensão da proteção do sistema; análise de dados.

Ao sistema foram aplicados painéis fotovoltaicos do tipo policristalino, por possuírem um valor comercial inferior aos demais no mercado, além de possuir o inversor do modelo conjunto, pois a série apenas estará conectada à rede elétrica da

concessionária. Assim, toda energia gerada poderá ser totalmente consumida pelo morador residente da casa, assim como, ser vendida a concessionária, com um retorno financeiro abatido na conta de luz mensal, dependendo assim do recurso solar e da capacidade de geração do sistema, o consumidor ainda ganhará dinheiro se gerar mais energia do que consome por mês.

## 2.1. DISPOSIÇÃO DOS PAINÉIS

Para a demarcação dos painéis fotovoltaicos foram realizados para a obtenção dos cálculo da potência pico máximo, sendo a potência máxima que um módulo pode atingir nas melhores condições possíveis de radiação solar, e sendo ainda respeitadas as demais condições, e neste estudo sendo obtida pela Equação 1.

$$PFV(WP) = \frac{(E/TD)}{HSPma}. \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, PFV (WP) é igual a Potência de pico do painel solar; E (Wh/dia), o consumo por dia da média anual da casa ou pequena amostra que será o número da potência instalada multiplicada com o número de horas que estará funcionando; HSPMA (h), é a média diária anual do sol; e finalmente, TD (adimensional), a Taxa de desempenho.

Em locais onde a radiação que chega a superfície é menor, ou que há interferência na radiação como sombras pelas construções e/ou presença de nuvens, o desempenho dos módulos pode ser em média de 70% a 80% do funcionamento. Nas condições em que o sol está favoráveis usará o cálculo para 75%. A Equação 2 mostra a quantidade de módulos necessários para N módulos.

$$N = \frac{Pfv(WP)}{Pm(WP)} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: PM(WP), é a potência por módulo, nos casos em que o valor de N for decimal o mesmo pode ser arredondado.

## 2.2. DISPOSIÇÃO DO INVERSOR

Posteriormente, deve ser definido o tipo de inversor que deve ser utilizado, para o consumo de energia necessária, pois assim irá ser contabilizado a potência do inversor. Para a escolha do inversor foi usada a Equação 3.

$$FDI = \frac{Pnca(W)}{Pfv(WP)} \quad \text{Eq. 3}$$

## 2.3. PROTEÇÃO DO SISTEMA

Os dispositivos de proteção para um sistema fotovoltaicos são de extrema importância para garantir a segurança dos usuários do sistema e dos equipamentos aos quais o sistema fornece energia, além disso, os sistemas de proteção evitam as excessos e sobrecargas nos circuitos, queimando e danificando os equipamentos ligados a rede. Nos sistemas fotovoltaicos se faz necessário a instalação de disjuntores como exemplo um termomagnético, para proteger da pressão causada pela rede. Onde a corrente do calibre

do fusível ( $I_n$ ) de ser maior que a corrente de serviço ( $I_b$ ) e menor que a corrente máxima admissível ( $I_z$ ).

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

## 2.4. ANÁLISE DE DADOS

Entende-se assim que devemos analisar o valor do investimento e a restituição do dinheiro, com o custo da instalação dos painéis alto, só vale a pena, se o valor que for gasto for pago antes do fim da vida útil do aparelho. Conhecido como *payback*, logo, o retorno será o lucro. Além do valor gasto na instalação, será necessário pagar as tarifas a concessionárias e os impostos, que variam de mês para mês. E deve ser levado em consideração que o sistema fotovoltaico tem um período de desvalorização, iniciando-se no segundo ano e indo até aproximadamente o vigésimo quinto ano.

## 3. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados as informações necessárias para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar. Primeiramente, foi analisado o consumo de energia elétrica, por um ano, de uma residência localizada no bairro Betânia, zona sul de Manaus, no Amazonas, em um período de maio de 2021 a junho de 2022. Somando o consumo mensal da residência, foi possível construir a Tabela 1. Nota-se que no ano de 2021, os meses de maior consumo foram os meses de junho, julho e agosto, com 423,12 KWh, 395,5 KWh e 382,23 KWh, respectivamente, enquanto o ano de 2022, apresentaram alto consumo de janeiro a junho, provavelmente devido ao período de quarentena.

**Tabela 1:** Consumo da residência

Mês de Referência (2021)	Consumo (KWh)	Mês de Referência (2021)	Consumo (KWh)
Maio/2021	353,60	Janeiro/2022	410,50
Junho/2021	423,12	Fevereiro/2022	385,24
Julho/2021	395,50	Março/2022	364,70
Agosto/2021	382,23	Abril/2022	402,41
Setembro/2021	256,35	Maio/2022	390,70
Outubro/2021	354,70	Junho/2022	396,30
Novembro/2021	341,30		
Dezembro/2021	310,01		
Valor total anual: 5.066,66			

Fonte: Autores (2022).

Com os dados obtidos através da soma dos meses, o consumo anual da casa ficaria igual a 5066,6 KWh e assim, para calcular quando morador gastou de energia por mês durante um ano, utiliza-se (C.mês), consumo vezes os 12 meses do ano.

$$C(\text{mês}) = \frac{5066,6 \text{ KWh}}{12 \text{ meses}} = 422,2 \text{ KWh}$$

Após obter o valor médio mensal, é necessário encontrar o valor médio diário de consumo em um mês, para isso utiliza-se o (C.mês), e divide pela quantidade dos dias do mês que nesse caso foi utilizado o número 30.

$$C(\text{diário}) = \frac{422,2 \text{ Kwh}}{30 \text{ dias}} = 14,07 \text{ KWh}$$

A decisão da compra dos painéis solares é feita a partir da potência do sol (Pvp) realizada como a amostra do cálculo 1. Devendo ser analisado alguns princípios, como o gasto realizado diariamente como obtido na equação anterior e a taxa de desempenho, feita por 75%. No Amazonas, a média de Sol pleno é de em torno de 8 a 9 horas. Para esse estudo foi necessário considerar uma média de 8,5 horas por dia. A potência do painel solar ( Pfv) deve ser igual ou maior que Pfv = 2,20 KWp.

A placa utilizada foi do fabricante Canadian Solar modelo CSI CS6P-260P, um modelo de 260wp é ideal para aplicação de Energia Solar Residencial (Gríde-Tie) ou OFF-GRID (sistemas isolados com baterias), com controladores de carga tipo MPPT, e possuem o certificado do Inmetro Classe A (como mostra a Figura 2.

As placas solares de 260W são muito utilizadas para energia solar residencial e também para aplicações maiores industriais ou usinas de energia.

**Figura 2:** Placa modelo CSI CS6P-260P e suas respectivas especificações.

	<b>Condições padrões de teste (STC)</b>	
	Máxima Potência (Vm)	260 Watts
	Tolerância	0/5 Watts
	Voltagem de Máxima potência	30,2 Volts
	Corrente de Máxima Potência (Im)	8,43 Amps
	Voltagem de Circuito Aberto (Voc)	37,4 Volts
	Corrente de Curto-Circuito (Isc)	9,0 Amps
	Voltagem máxima do sistema	1000 Volts
	Eficiência do Painel	15,85%
	Coefficiente de Temperatura de Potência (Pm)	-0,43%/°C
	Coefficiente de Temperatura da Corrente (Isc)	0,065%/°C
	Coefficiente de Temperatura de Voltagem (Voc)	-0,34%/°C
	Temperatura Nominal da Célula	45+-2 °C

Fonte: Canadian Solar (2022).

Para a fixação dos painéis solares, foi escolhido os apoios do telhado, um modelo CK990x4, para suportar o modelo escolhido. Verificou-se que o investimento em energia solar se torna bom para a residência por ser uma energia limpa e sustentável e fácil

manutenção, já que não necessita de uma manutenção grande e se limita à uma troca de bateria a cada três anos, além de prazo de garantia dos módulos solares.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho mostrou que apesar da popularização dos sistemas fotovoltaicos, o investimento para implementação em residências com poucos moradores ainda é alto, e nem todos possuem recursos disponíveis. Entretanto, para residências com famílias mais numerosas e com alto consumo mensal de energia, o retorno dos gastos pode acontecer em um tempo consideravelmente curto. Além da economia, a instalação tem vantagem pois se trata de uma energia limpa e menos poluente ao meio ambiente, com uma manutenção de baixo custo e gerando um aumento no valor de compra do imóvel caso o proprietário queira vender no futuro.

Como foi analisado a instalação dos painéis de luz solar em uma casa, com uma produção em média de 422,2 KWh mensal, supera o consumo da residência estudada, logo, ao analisar, em 5 ou 6 anos, todo valor investido na instalação dos painéis irá voltar para o usuário, gerando assim lucro para o morador, continuando assim até o fim da vida útil que leva cerca de 30 anos.

Por se tratar de uma pequena amostra, para que 80% da energia de uma residência localizada em Manaus, no Amazonas seja dos painéis fotovoltaico, ficando assim a critério do morador adotar o sistema, ou de vizinhos utilizaram o modelo como exemplo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] CARMELLO, G.W.; STRIEDER, R.B. **Elementos para inserir as questões ambientais em aulas de física: da prática baseada em temas à complexificação do conhecimento**. Pesquisa em Educação Ambiental, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 101 - 117, jul. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2177-580X.v6i2p101-117>>
- [2] CRESEB. **Base de dados de radiação solar incidente**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata> . Acesso em: 03 de junho de 2022.
- [3] EIFLER NETO, E.E. **Estudo da complementariedade entre disponibilidades de energia hídrica e eólica na região nordeste do Brasil**. Monografia. 2012. 92 f. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/114593>>
- [4] JÚNIOR, C. L.; SAMPAIO, E. V. DE S. B.; LIMA, R. F. DE A.; MENEZES, R. S. C. Potencial de Aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa no Nordeste do Brasil (Potential Energy Use of Biomass Sources in Northeast Brazil). Revista Brasileira De Geografia Física, v.7, n.2, p. 207–221, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.2.p207-221>>
- [5] MONTENEGRO, S. **BNDES pode emprestar para distribuidoras e instaladoras para projetos de microgeração**. Canal Energia. Rio de Janeiro, 10 abr. 2014. Investimentos e Finanças. Disponível em: Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default> >
- [6] PAULINO, T. DE F.; PINTO, M. S.; COSTA, G. V.; BAMBIRRA, M. B.; PAULINO, E. DE S. **Oficinas educacionais: atividade de extensão como método para a melhor utilização da energia para estudantes do ensino fundamental**. Revista Brasileira De Educação Ambiental (RevBEA), v. 11, n. 5, p. 139–151, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.34024/revbea.2016.v11.2353>>

# Capítulo 18

## *Solução para a manutenção preventiva utilizando redes neurais convolucionais*

*Mateus de Paula da Silva*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Neste artigo será apresentado um método de diagnóstico de falhas em equipamentos baseado na Rede Neural Convolucional (CNN). Para melhorar o diagnóstico de falhas em caixas de engrenagens o artigo utiliza como método de pré-processamento e divisão de dados a validação cruzada com 5 pastas sendo 80% para treino e 20% para teste. A base de dados utilizada nesta pesquisa é open-source disponíveis na plataforma Kaggle. Os resultados dos experimentos foram avaliados utilizando três métricas diferentes: Precisão, Recall e F1-score. Os resultados da pesquisa provam que o sistema proposto é capaz de alcançando precisão de 99,72% e recall de 99,58% no conjunto de teste mesmo com dados de amostra limitados.

**Palavras-chave:** Redes Neurais Convolucionais. Deep Learning. Diagnóstico de Falhas e Caixas de engrenagem.

## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de fábrica inteligente está sendo difundido como um dos principais pilares da Indústria 4.0, onde no contexto fabril as máquinas e equipamentos são altamente digitalizadas e conectadas com tomada de decisões inteligentes. De acordo com Neupane e Seok (2020) a inteligência artificial é a tecnologia central das fábricas inteligentes.

Em muitas pesquisas é possível encontrar o uso de algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo produzindo resultados frutíferos em muitos campos, como processamento de imagens, reconhecimento de fala, detecção de falhas, detecção de objetos ou ciências médicas (SHINDE & SHAH, 2018).

Com o aumento do uso de máquinas inteligentes, há a expectativa de ampliar as falhas em máquinas elétricas. A detecção e diagnóstico de falhas, monitoramento de condições e gerenciamento de integridade do sistema são os principais descritores usados para descrever o esquema de manutenção dos componentes do maquinário.

A maioria das falhas em máquinas rotativas está relacionada ao sistema de transmissão mecânica, que contribui com 30% do custo total de manutenção da máquina. A caixa de engrenagens é um sistema de transmissão vital composto por engrenagens, rolamentos e eixos de transmissão que formam um sistema complexo, contribuindo para em torno de 60% das falhas da caixa de engrenagens (SAUFI *et al.*, 2020).

O defeito em uma caixa de velocidades provoca uma paragem no funcionamento da máquina, seguida de um longo processo de manutenção para identificar e resolver o problema. Portanto, um reconhecimento precoce das falhas de engrenagem é fundamental para a operação normal de uma caixa de engrenagens (LIU *et al.*, 2018).

Assim, o uso de aprendizado de máquina para tratar problemas de manutenção preventiva é visto como grande potencial na indústria, uma vez que se torna uma tarefa efetiva na detecção com constante monitoramento o que auxilia na etapa de análise e rastreamento do problema.

O Aprendizado de Máquina, ou *Machine Learning* (ML), é o ramo da inteligência artificial, usado para ensinar as máquinas a lidarem com dados de forma mais eficiente, sendo o algoritmo de trabalho resumido em três etapas, onde ele pega alguns dados, encontram padrões nos dados e prevê novos padrões a partir dos dados anteriores (JANIESCH *et al.*, 2021).

Logo, no contexto de ML quanto maior as conexões nas camadas da Rede Neural (RN) maior será o desempenho do aprendizado, então inevitavelmente estas serão mais profundas, surgindo uma nova categoria de redes conhecidas por Redes Neurais Profundas (*Deep Learning*). Ou seja, estas redes profundas têm por objetivo simular o comportamento humano em tarefas que envolvam detecção, classificação ou reconhecimento.

As simulações ocorrem através da aplicação de métodos ou algoritmos envolvendo modelos matemáticos em conjunto com redes neurais artificiais que permitam à máquina (computador) aprender por experiência a partir dos dados de entrada. Com base no problema dado e nos dados disponíveis, podemos distinguir três tipos de ML: aprendizado supervisionado, aprendizado não supervisionado e aprendizado por reforço (CASTIGLIONI *et al.*, 2021).

As redes neurais profundas seguem uma estrutura em que cada neurônio de uma camada é conectado a todos os neurônios de uma camada anterior. Dentro do universo de arquiteturas das redes neurais profundas há as Redes Neurais (*Convolutional Neural Network - CNN*) onde esta arquitetura inicialmente foi desenvolvida para trabalhos com imagens, mas hoje seu uso está sendo aplicado há várias implementações (DURGA et al, 2019).

As CNN possuem diversas camadas no qual cada camada pode ter um determinado número de planos, sendo estes são: *Convolução*, *Pooling*, Unidade Linear Retificadora (ReLU), *Classificação*, *Dropout* e *Batch Normalization*. Os planos são responsáveis por extrair as características de um sinal, por exemplo. Em camadas iniciais, os planos podem conter características simples como altura e largura em diversas orientações. Conforme a rede vai acrescentando planos e camadas as abstrações obtidas nos planos são mais profundas, a ponto de obter características mais complexas.

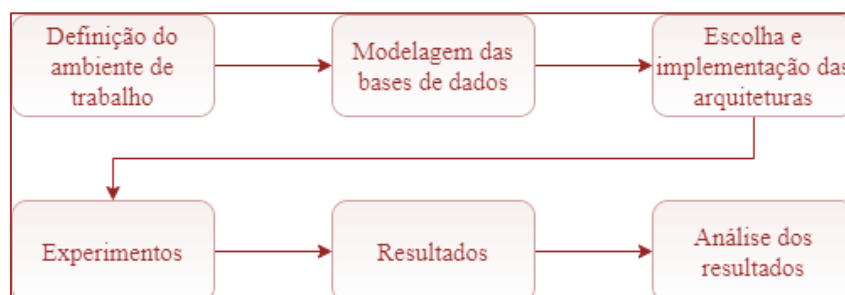
Assim, o objetivo do artigo é utilizar as Redes Neurais Convolucionais para a detecção de falhas em caixas de engrenagens sendo uma solução para a manutenção preventiva deste equipamento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

De acordo com Saufi *et al.*, (2020), os sistemas de diagnóstico de falhas baseados em modelos de aprendizado profundo (DL) envolvem cinco etapas principais: aquisição de dados/sinal, pré-processamento de dados/sinal, extração de recursos, redução/seleção de recursos e diagnóstico de falhas.

Esta pesquisa visa o desenvolvimento de um conjunto de métodos que torne possível a detecção de falhas em caixas de engrenagens. Na Figura 1, é apresentado o diagrama em blocos das 6 etapas para o desenvolvimento do sistema proposto e apresentado neste artigo.

**Figura 1:** Metodologia Utilizada.



Fonte: Autores (2022).

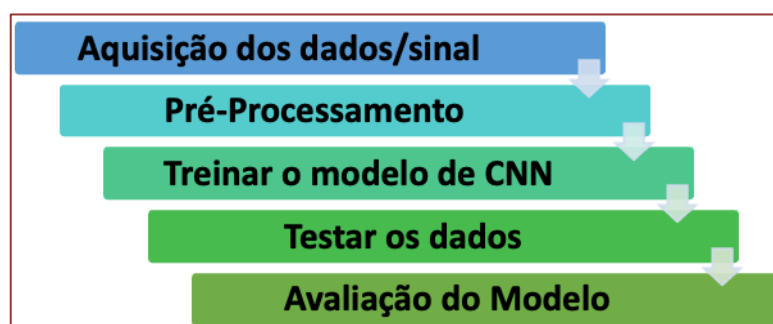
A primeira etapa é a definição do ambiente de trabalho, nesta será verificado quais componentes e materiais serão necessários para desenvolver o aprendizado de máquina, além da pesquisa do estado da arte sobre o assunto. Na segunda etapa será feito a modelagem da base de dados que foi proposta, onde esta base de dados deve ser pública e *open-source* visto que não está no escopo deste projeto a construção da mesma. Na

terceira etapa está escolhido a estrutura da arquitetura CNN (Rede Neural Convolutiva), como sua camada e profundidade de neurônios. Em seguida, será feita a implementação via software da arquitetura definida.

A quarta etapa será os experimentos, nesta etapa há testes de vários parâmetros na arquitetura definida para que busque os melhores resultados possíveis. Na quinta etapa é coletado os resultados baseados na precisão da rede CNN. Na última etapa será feito a análise dos resultados obtidos.

Um diagrama de blocos da arquitetura CNN proposta é mostrado na Figura 5 para melhor compreender as etapas de desenvolvimento.

**Figura 2:** Metodologia utilizada.



Fonte: Autores (2022).

No primeiro momento será feito a obtenção dos dados por meio do software e em seguida é proposto um pré-processamento no sinal para alcançar efeitos de normalização, adequação à arquitetura e limpeza de possíveis ruídos inerentes à sua obtenção.

Na terceira fase consiste no treinamento da arquitetura CNN com os parâmetros previamente selecionados, esta etapa é fundamental para que seja possível haver o teste dos dados e assim avaliar o desempenho do modelo.

Há duas etapas que requer quantidade de dados diferentes, logo será necessário dividir a base de dados em 80% para utilizar no treinamento da rede e 20% para o teste da mesma. É conveniente ressaltar que os dados utilizados para o teste não podem ser os mesmos contidos no treinamento já que o propósito é a rede acertar as falhas no equipamento que a mesma não tenha visto anteriormente.

## 2.1. DEFINIÇÃO DO AMBIENTE DE TRABALHO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um computador com sistema operacional Windows 10, um processador Intel® Core™ i7- 8700 @3.20 GHz 3.19 GHz, 16 GB de memória RAM e uma GPU GeForce 1070 GTX com 8GB de memória RAM e 1920 núcleos CUDA.

O software utilizado foi o MATLAB® R2020b com as *toolboxes*: *Computer Vision System*, *Neural Network*, *Parallel Computing and Machine Learning*, *Image Processing* e *Database Processing*.

## 2.2. MODELAGEM DAS BASES DE DADOS

A base de dados definida para ser utilizada nesta pesquisa é open-source, já que é de fácil acesso e passível de verificação quando ao seu desenvolvimento. Os dados escolhidos consistem em diagnósticos de falha em caixa de engrenagens do inglês *Gearbox Fault Diagnosis* ela está disponível para acesso na plataforma de dados *Kaggle* (PANDYA, 2018).

De acordo com Pandya (2018), o conjunto de dados de diagnóstico de falhas da caixa de engrenagens inclui o conjunto de dados de vibração registrado usando o simulador de diagnóstico de falhas da caixa de engrenagens da *SpectraQuest*, conforme apresentado na Figura 3.

**Figura 3:** Simulador de falhas em caixas de engrenagem.



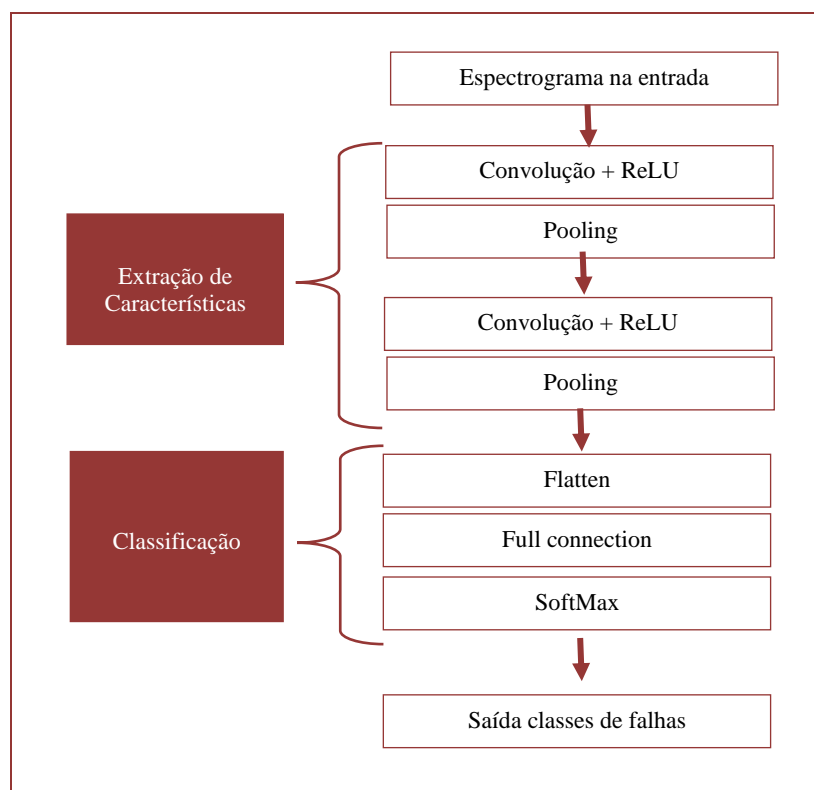
Fonte: (PANDYA, 2018).

O conjunto de dados foi gravado com a ajuda de 4 sensores de vibração colocados em quatro direções diferentes. O registro deles possuía variação de carga de '0' a '90' por cento. O conjunto de dados foi registrado em dois cenários diferentes: 1) Condição saudável e 2) Condição de dente quebrado, totalizando 20 arquivos, 10 para cada um dos cenários citados.

Dentre as falhas possíveis de detectar estão: desgaste da superfície, dente trincado, dente lascado e dente ausente podem ser demonstrados e induzidos em engrenagens retas ou helicoidais. Falhas nos rolamentos dos elementos rolantes, como pista interna, pista externa e danos nas esferas.

## 2.3. ESCOLHA E IMPLEMENTAÇÃO DAS ARQUITETURAS

Para esta tarefa foi selecionado a arquitetura da CNN no formato em série, o que significa dizer que a entrada de cada camada é a saída de uma camada prévia. Esta arquitetura é utilizada para o processo de detecção das falhas.

**Figura 4:** Arquitetura da Rede Neural Convolutacional (CNN).

Fonte: Autores (2022).

Por meio da Figura 4 é possível compreender a arquitetura da CNN usada, mostrando as camadas exigidas em cada etapa da rede. A primeira é composta do sinal na entrada após o pré-processamento e em seguida há a camada de aprendizado das características do sinal em seguida a mesma irá fazer a classificação do sinal de acordo com a anomalia detectada sendo saudável ou o dente quebrado do rolamento.

### 3. RESULTADOS

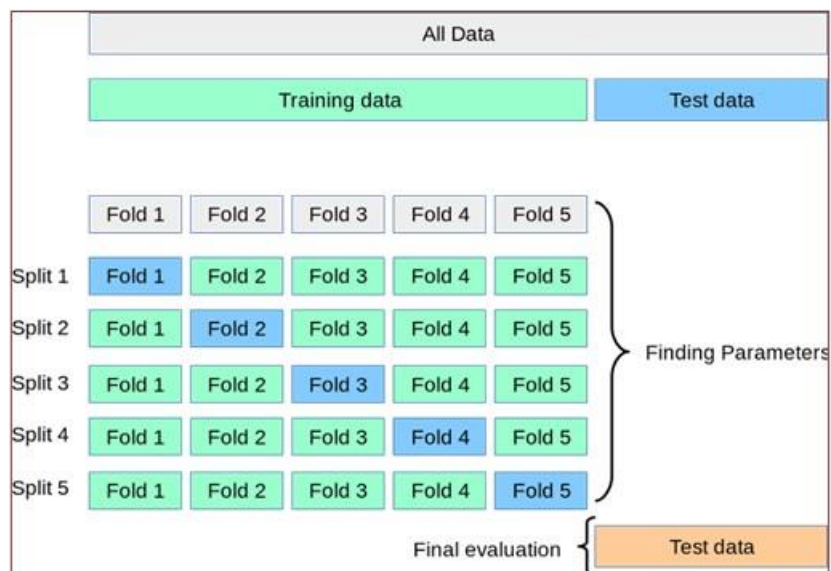
Neste tópico será apresentado os resultados decorrentes das etapas definidas na figura 2. Na primeira etapa de aquisição dos dados estes foram obtidos na base de dados *Kaggle* e divididos seguindo a metodologia de *cross-validation* ou validação cruzada. Nesta metodologia o conjunto de dados é separado em 5 pastas, conforme Figura 5. O primeiro modelo é treinado utilizando as *folds* 2, 3, 4 e 5 e o teste foi feito com o *fold* 1, já o segundo modelo foi treinado utilizando os *folds* 1, 3, 4 e 5 e o teste feito com o *fold* 2 e assim sucessivamente.

Para resultado eficaz a variância dos dados foi realizada uma mistura nas informações para eliminar qualquer influência da disposição dos dados. Essa mistura influenciou na resposta final do modelo. Fazer esta abordagem ajudou a evitar o problema de *overfitting* isto ocorre quando o modelo não generaliza bem na presença de novos dados, tornando-se bom apenas nos dados de treino.

O modelo foi pré-processado para que a imagem de entrada seja compatível com a rede neural, para isso técnicas de transformação dos dados de entrada para uma imagem em nível de cinza nesta configuração a rede neural irá interpretar a entrada como uma

imagem e para adequação a entrada da rede esta imagem foi redimensionada para um tamanho de 224x224x3 com três canais de entrada no nível de cinza.

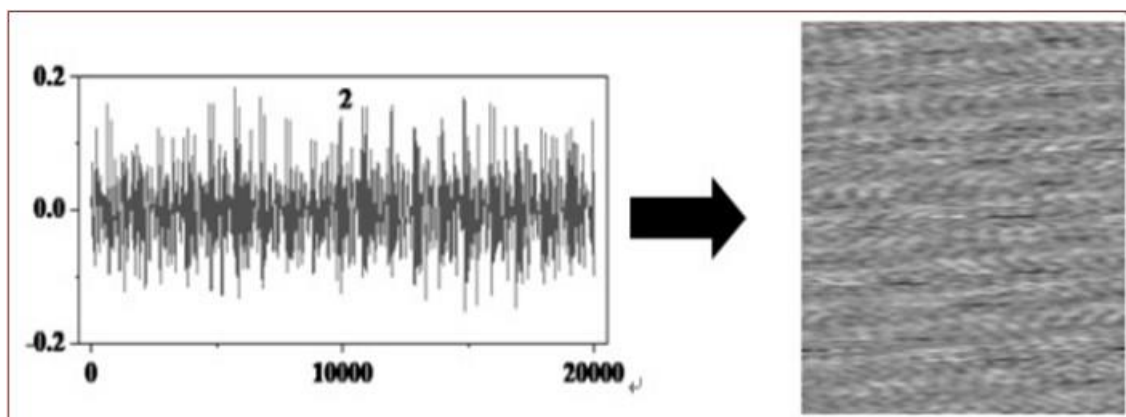
**Figura 5:** Divisão dos dados utilizando "Validação Cruzada".



Fonte: Autores (2022).

A Figura 6, apresenta os resultados do pré-processamento com a imagem de entrada transformada a níveis de cinza com três canais. No processo de aplicação do modelo, a imagem primeira foi inserida nele e as épocas são ajustadas para fazer a taxa com que o modelo aprende, no processo de treinamento, alcançar a melhor precisão. Finalmente, com 30 épocas e um *batch size* de 16 (número de exemplos de treinamento utilizado em uma época) o modelo alcançou uma melhor precisão.

**Figura 6:** Transformação da imagem na etapa de pré-processamento.



Fonte: Autores (2022).

A análise do desempenho da rede neural foi feita usando quatro métricas diferentes precisões, *recall* e *f1-score* para as 5 pastas com o objetivo de detecção de falhas presente no conjunto de dados.

A primeira métrica é a precisão que representa o número de falhas detectadas corretamente (Verdadeiro Positivo – VP) dividido pela soma dela ao número de falhas detectados incorretamente (Falso Positivos – FP). A precisão é calculada utilizando a fórmula 1 de acordo com o que o modelo apresenta.

$$precisão = \frac{\sum VP}{\sum VP+VN} \quad \text{Eq. (1)}$$

O *recall* é a segunda métrica escolhida para análise de desempenho do modelo definido. Este é calculado como a razão entre o número de amostras positivas (VP) corretamente classificadas como positivas e o número total de amostras positivas (Falso Negativo – FN). O *recall* mede a capacidade do modelo de detectar amostras positivas. Logo, quanto maior o *recall*, mais amostras positivas foram detectadas. A fórmula para aplicação do *recall* é apresentada conforme equação (2).

$$recall = \frac{\sum VP}{\sum VP+FN} \quad \text{Eq. (2)}$$

Já a última das métricas é a *f1-score* ela representa uma média harmônica entre precisão e o *recall*. Esta métrica é uma medida da precisão de um modelo em um conjunto de dados. É usado para avaliar sistemas de classificação binária. A equação [3] mostra como ocorre o cálculo da métrica *f1-score*.

$$f1 - score = 2 \frac{precisão \times recall}{precisão + recall} \quad \text{Eq. (3)}$$

Para melhor apresentar os dados resultantes da detecção de falhas na base de dados do *Gearbox Fault Diagnosis* foram apresentados na Tabela 1 com o resultado do desempenho da rede no conjunto de teste nas 5 pastas.

**Tabela 2:** Resultado das métricas de desempenho do modelo.

Pastas	Precisão (%)	Recall (%)	F1-score (%)
Fold 1	98,59	99,58	99,08
Fold 2	99,72	98,99	99,35
Fold 3	95,87	97,72	96,79
Fold 4	97,89	98,82	98,35
Fold 5	94,79	99,42	97,05

Fonte: Autores (2022).

Os dados da Tabela 1 mostra que o modelo treinado possui uma alta precisão principalmente nas pastas 1, 2 e 4. Ela consegue manter a capacidade de detectar amostras positivas em todas as pastas mantendo o *recall* com taxas altas mesmo em pastas que possuíram uma baixa precisão em relação as demais.

Um aspecto interessante das simulações é o fato de mesmo possuindo riscos de ruídos oriundos da base de dados e outros fatores desfavoráveis a precisão se mantem com valores observados em outros autores tais como Wu et al. (2019) que utilizando uma CNN unidimensional obteve *recall* de 99,33%.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo foi apresentado uma proposta de detecção de falhas em caixas de engrenagens utilizando Redes Neurais Convolucionais (CNN) bidimensionais que pode aprender automaticamente o diagnóstico de classificação de características a partir dos sinais de vibração originais, com isto, propor uma solução para a manutenção preventiva deste equipamento.

Para alcançar os objetivos específicos foi necessário um pré-processamento na base de dados para entender as variáveis que compõe e seus aspectos de ruídos e anomalias que possam vir junto com as composições variáveis. Em seguida, foi desenvolvido um modelo de arquitetura que aceita imagem bidimensionais para executar a tarefa de treinamento da base de dados.

Os resultados experimentas mostram que ao dividir o modelo em 5 pastas utilizando o método de validação cruzada para evitar *overfitting* o modelo apresenta altos desempenhos de precisão em 3 pastas e alto *recall* em todas as pastas sendo comparado a valores obtidos por outros autores.

A presente pesquisa estará em desenvolvimento e melhorias constantes com o propósito de alcançar melhores métricas em outras bases de dados para que haja um *banckmark*. Como trabalhos futuros todas as etapas serão adaptadas para a linguagem de programação *python* e utilizando as bibliotecas de aprendizado de máquina que a mesma possui.

Para o futuro desta pesquisa será aplicado aprendizado por transferência e testes serão propostos utilizando outras arquiteturas de redes neurais com mais camadas e/ou com outros modelos tais como LSTM (*Long Short-Term Memory*) que tem uma capacidade de classificar, processar e prever séries temporais com intervalos de tempo de duração desconhecida o que é ideal para a natureza da base de dados de falhas em equipamentos.

#### REFERÊNCIAS

- [1] CASTIGLIONI, I.; RUNDO, L.; CODARI, M.; DI LEO, G.; SALVATORE, C.; INTERLENGHI, M.; & SARDANELLI, F. (2021). **AI applications to medical images: From machine learning to deep learning**. *Physica Medica*, 83, 9-24.
- [2] DURGA, S.; NAG, R.; DANIEL, E. **Survey on machine learning and deep learning algorithms used in internet of things (IoT) healthcare**. In: 2019 3rd international conference on computing methodologies and communication (ICCMC). IEEE, 2019. p. 1018-1022.
- [3] JANIESCH, C.; ZSCHECH, P.; HEINRICH, K. **Machine learning and deep learning**. *Electronic Markets*, v. 31, n. 3, p. 685-695, 2021.
- [4] LIU, G.; BAO, H.; HAN, B. **A stacked autoencoder-based deep neural network for achieving**

**gearbox fault diagnosis.** *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2018, 2018.

[5] NEUPANE, D.; SEOK, J. **Bearing fault detection and diagnosis using case western reserve university dataset with deep learning approaches: A review.** *IEEE Access*, v. 8, p. 93155-93178, 2020.

[6] PANDYA, Y. **Gearbox Fault Diagnosis Data.** United States: N.p., 02 Jun, 2018. Web. <https://data.openei.org/submissions/623>.

[7] SAUFI, S. R.; AHMAD, Z. A. B.; LEONG, M. S.; & LIM, M. H. (2020). **Gearbox fault diagnosis using a deep learning model with limited data sample.** *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(10), 6263-6271.

[8] SHINDE, P. P.; SHAH, S. **A review of machine learning and deep learning applications.** In: 2018 Fourth international conference on computing communication control and automation (ICCUBEA). IEEE, 2018. p. 1-6.

[9] WU, C.; JIANG, P.; DING, C.; FENG, F.; & CHEN, T. (2019). **Intelligent fault diagnosis of rotating machinery based on one-dimensional convolutional neural network.** *Computers in Industry*, 108, 53-61.

[10] ZHANG, S.; ZHANG, S.; WANG, B.; & HABETLER, T. G. (2020). **Deep learning algorithms for bearing fault diagnostics—A comprehensive review.** *IEEE Access*, 8, 29857-29881.

# Capítulo 19

## *Viabilidade de redução do consumo de energia elétrica em máquinas de fundição LPDC*

*Natanael Farias Rocha*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** O artigo trata, da redução do consumo de energia elétrica em máquinas de fundição LPDC, em uma empresa do Polo Industrial do Amazonas, na área de injeção plástica. A meta foi desenvolver um motor que pudesse efetuar o controle de frequência entre sua bobinas de velocidades. Para tanto buscou-se uma análise fria de todo o processo e entender em qual parte do processo se precisaria de uma velocidade maior ou menor. Também foi apresentado no projeto as características construtivas do motor e o princípio de funcionamento do mesmo com adição do controlador de frequência em sua estrutura e com isso foi possível efetuar de forma bem simples e automática durante o processo o controle de velocidade do motor efeito da inserção do controlador de frequência no mesmo. Sendo apresentado no final o valor investido, o ganho mensal com o projeto por máquina e um comparativo do valor gasto antes e depois do controlador de frequência.

**Palavras-chave:** Motor, frequência, acionamento, economia mensal, máquina de fundição.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a automação é uma das áreas que mais tem crescido em vários seguimentos da indústria de bebida, papel e celulose, química, automobilística, mineração e petroquímicas (SCHWAB, 2016), e com isso, aumenta a necessidade do mercado por qualidade, segurança e a produtividade (NATALE, 2018). Segundo Santos (2019), a automação permite controlar uma produção de forma desassistida, contínua e integrada em um sistema de produção racionalizado que utiliza eletrônica e/ou outros equipamentos para regular e coordenar a qualidade e a quantidade de produção.

Contudo, um fator importante durante o processo de automação, está relacionado à economia de energia, pois essa redução pode ser implementada pela possibilidade de instalação de sensores de movimento que detectam a presença humana (TAUILLE, 2017). Além dos sensores de presença, existe um recurso que pode ser usado com auxílio da automação, são os soquetes inteligentes. Com eles, é possível programar um equipamento doméstico ou industrial para que esse seja ligado ou desligado em um horário específico do dia. Outra vantagem dos soquetes, é que eles desligam quando detectam que estão alimentando uma carga em *standby*, mostrando assim, outra ótima maneira de economizar dinheiro (TAUILLE, 2017).

Compilado pela GS1 Brasil em parceria com a GfK, o Índice de Automação de Mercado Brasil fornece dados de automação em três áreas: Consumidor, Industrial e Comercial e Serviços, medidos em uma escala de 0 a 1. Esse indicador auxilia na identificação de gargalos na produção, e ao mesmo tempo, mostra onde as empresas devem investir em tecnologia para melhorar a competitividade e a produtividade (COSTA, 2008). Mesmo em meio à crise provocada pela pandemia do coronavírus, o Índice Brasileiro de Automação de Mercado 2021, que mede o nível de automação das empresas dos setores industrial, comercial e de serviços, atingiu a marca de 0,267, um aumento relativo de 3% em relação a 2020. Em 2016, o índice aumentou 7% desde que começou a medir (SILVA, 2014).

O setor industrial consumiu cerca de 67.021GWh energia elétrica no ano de 2021, segundo Balanço Energético Brasileiro. Com base nessas informações, torna-se relevante a utilização de equipamentos mais eficiente nos processos produtivos, visando à redução de CO<sub>2</sub> gerada pela empresa e o consumo de energia elétrica nas indústrias.

Por um lado, se as emissões globais de carbono aumentaram 210 milhões de toneladas por ano no triênio 2016-2019 em relação ao período 2011-2015, o estudo mostra que em 2020, a pandemia de Covid-19 fez com que as emissões de carbono caíssem cerca de 100 milhões de toneladas em relação a 2019. Nível caiu 7% (PMR, 2020). Para os especialistas, as restrições parecem fornecer uma espécie de botão de pausa nas emissões de dióxido de carbono, em grande parte por causa de interrupções generalizadas no setor de transporte.

De acordo com o último relatório do Balanço Energético Brasileiro (BEN), Com base em 2021, o setor industrial do Brasil consome cerca de 210.083 GWh de eletricidade, equivalente a 34,4% da geração doméstica de eletricidade do país. Sabe-se que 68% desse consumo vai para o sistema motor. E com base nessas informações, use mais Processo de produção eficiente projetado para reduzir o consumo de energia elétrico (ANEEL, 2021).

Os sistemas autogeradores são classificados pelo seu modo A operação pode ser basicamente dividida em três formas: modo contínuo, modo de espera e modo mestre. No modo de operação contínua, o sistema de geração de energia. Existe um sistema de

trabalho fixo na localidade, e os proprietários são geralmente franqueados de energia fora da rede de distribuição, são os possui seu próprio sistema solar ou autoprodutores de transmissões. O sistema operacional de isolamento não permite operação, sincronize com franqueados locais. No modo de operação em espera, o sistema A geração de energia é usado principalmente para fins de geração de energia de emergência, recomendado para situações como falta de energia danos a pessoas, processos ou equipamentos (Cummins, 2018; COPEL, 2018; STEMAC, 2017).

Para Pinheiro (2004), a automação possibilita a execução de comandos para adquirir dados, ajustar parâmetros e controlar a funcionalidade sem requerer de intervenção por mão humana, isto quer dizer, automaticamente. Através da automação, é possível realizar da tarefa mais simples à mais complexa, ou seja, a integração permite controlar um dispositivo de maneira inteligente, independente que seja de modo individual ou coletivamente, elevando e aprimorando assim os quesitos como conforto, informação e segurança.

Como parte dos diversos aspectos que se veem beneficiados com a automação em procedimentos industriais, ressalta-se o considerável ganho em eficiência energética e, por consequência, a redução dos custos para a empresa, tornando-a mesma mais competitiva (MARTINS, 2014).

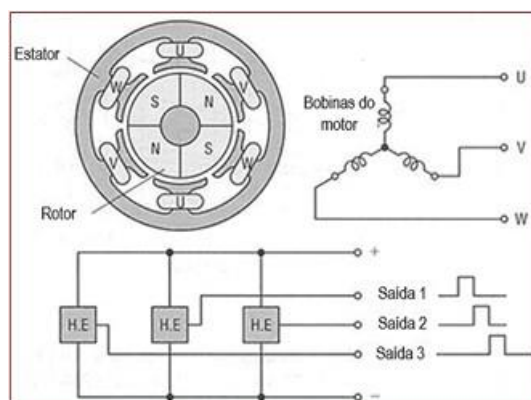
Assim, nesse artigo será apresentado um sistema de frequência variável para controle da velocidade das máquinas de fundição, maximizando sua eficiência, e oportunidades de melhoria no processo produtivo, além disso, o sistema diminuirá o consumo de energia nos equipamentos, principalmente nas bombas hidráulicas, possa ser reduzido utilizando sistemas de frequência variável.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Nessa seção será apresentada os materiais e métodos aplicados na construção de um sistema de variação de frequência para redução do consumo de energia e melhoria da segurança durante o processo de fundição em uma indústria do segmento de plástico na cidade de Manaus/AM. Para desenvolvimento do sistema foi usado um conjunto de peças e ferramentas que serão apresentadas a seguir:

### **2.1. ESTRUTURA DO MOTOR**

Para a construção do motor, a bobina deve possuir uma configuração Y com três fases: U, V e W. Localizado no estator, o rotor é composto por ímãs em configuração multipolar, conforme mostrado na Figura 1. Dentro do estator, três CIs do sensor Hall estão dispostos como elementos magnéticos de modo que a diferença de fase dos sinais de saída de cada CI do sensor Hall esteja aproximadamente a 120 graus fora de fase a cada rotação do rotor. A estrutura do motor consiste em uma bobina de fase U, que tem a função de baixa velocidade; uma bobina de fase V que é de média velocidade, enquanto a bobina de fase W, de alta velocidade; enquanto o rotor imã, tem a função de regular entre uma velocidade e outra fazendo essa mudança sem impacto para o motor.

**Figura 1: Estrutura do motor**

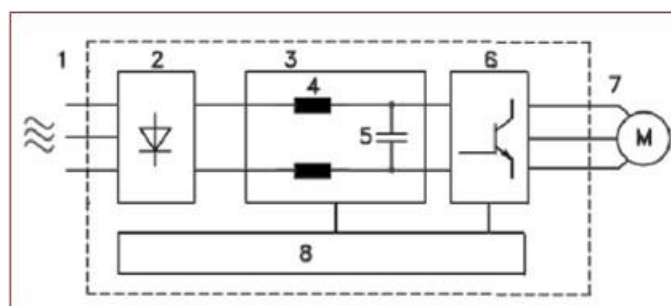
Fonte: Oriental moto (2018).

Ao organizar a ordem de execução das tarefas, além do tempo investido em cada uma e os materiais usados, por exemplo, é mais fácil manter a execução do projeto alinhada com as expectativas. O projeto visa a melhoria da eficiência energética em máquinas de fundição LPDC, onde foi analisado os prós, contras, investimento e, principalmente, o potencial de redução de custos através da economia de energia.

Sua estrutura é mantida na seguinte ordem. O retificador consiste na retificação de onda completa do retificador em ponte de tripla fase. Nele, seis ou mais diodos retificam a tensão de entrada trifásica da rede de 60Hz e, em seguida, fornecem uma saída contínua com ondulação, que será corrigida pelo filtro, após o que o barramento CC retifica a ondulação gerada pelo circuito retificador, seguido pelo banco de capacitores que compõe o filtro. Eles corrigem a ondulação de tensão, enquanto o indutor minimiza a ondulação de corrente e, por fim, o inversor opera com corte em ligação aberta e saturação em ligação fechada, levando em consideração a lógica definida anteriormente.

A utilização do variador de frequência com inversão deve estar associada a motores assíncronos. Ou seja, motores elétricos de corrente alternada (AC) que utilizam a corrente induzida em seu rotor.

O VF (Variador de Frequência) pode ser separado em 5 componentes: um retificador de rede, que converte a corrente alternada em corrente contínua; reatores que filtram a tensão do circuito, aumentam o fator de potência e podem reduzir as harmônicas; um banco de capacitor; um circuito de controle; e por fim, um inversor, que converte a corrente contínua em alternada para a entrada do motor. Na Figura 2 é apresentado o esquema gráfico do variador de frequência.

**Figura 2:** Variador de frequência

Fonte: Danfoss (2021).

Onde, (1) é a Entrada de energia é o principal ponto de entrada energética das unidades consumidoras; (2) Retificador, circuitos elétricos de tensão elaborados para a conversão de corrente alternada em corrente de passagem; (3) Barramento, funcionar como distribuidor de fase, de aterramento, ou de carga neutra; (4) Reatores, para a limitação da corrente; (5) Banco de capacitor, usado para correção do fator de potência; (6) Inversor, para converter um sinal elétrico CC em um sinal elétrico CA; (7) Saída para o motor, de gases da combustão.

O motor possui um princípio de funcionamento baseado em um campo elétrico rotativo, que é gerado quando é alimentado por uma corrente alternada aplicada nos polos do motor, cujos polos estão distantes  $120^\circ$  entre si.

A velocidade na qual o motor funciona, chamada de velocidade síncrona, é fornecida pelo campo elétrico rotativo. É determinado em função do número de pólos do motor e em função da frequência que chega à entrada do motor. Matematicamente, a velocidade síncrona ( $N_s$ ) é o produto da frequência ( $f$ ) em Hz dividido por 120 vezes o número de pólos do motor ( $p$ ) ( $N_s = 120.f/p$ ). Onde,  $N_s$ , é a velocidade síncrona em RPM;  $f$ , é a Frequência em Hz; e finalmente,  $p$ , é o número de polos.

### 3. RESULTADOS

Esta fase compreende os cálculos comparativos de consumo energético, dos atuais motores que se encontram em uso na planta industrial e os ensaios de substituição dos mesmos por motores alto desempenho. Compreende-se que o desempenho de um motor é identificado quando feita a relação entre capacidade mecânica disponível no eixo e a potência abstraída por meio da rede, como apresentado na seguinte equação:

$$\eta = \frac{Pu}{Pa}$$

Onde,  $P_u$ , é a Potência Mecânica disponível no eixo em W;  $P_a$ , a Potência Absorvida da rede em W;  $\eta$  é o rendimento do motor em %. Entendendo que cada um dos motores encontram-se operantes ao longo das 24 horas do dia, 312 dias por ano, obtém-se para o atual sistema, o qual faz uso de motores de indução com um desempenho de 89% e capacidade de 100CV, os resultados apresentados abaixo.

Tempo operante = 24h p/ dia x 312 dias p/ ano = 7488 h/ano  $P_u = 100 \text{ CV} \cdot 0,736$   
 kW = 73,6 kW

$$Pa = \frac{73,6kW}{0,89}$$

Tendo como consumo energético total =  $Pa \cdot t = 82,69 \text{ kW} \cdot 7488 \text{ h} = 619.182,72 \text{ kWh/ano}$ . Levando em consideração que o valor do kWh é R\$ 0,20, apresenta como valor gasto R\$ 123.836,54 por motor, anualmente.

Por outro lado, aferindo os resultados obtidos pelo novo sistema, compreendendo o mesmo tempo de operação, sendo ele de 7488 horas por anuais, motor do modelo WMagnet, que conta com um desempenho de 96,5% e capacidade de 100CV, obtém-se:

$$Pa = \frac{73,6kW}{0,965} = 76,27kW$$

Tendo como consumo energético total =  $Pa \cdot t = 76,27 \text{ kW} \cdot 7488 \text{ h} = 571.109,76 \text{ kWh/ano}$ . Duplicando o valor do kWh pelo consumo energético, ele apresenta um resultado de custo de R\$ 114.221,85 por motor ao ano.

Resultando em uma economia de R\$ 9.614,59 por ano, e levando em consideração que serão instalados três motores dos mesmos, a economia total será de R\$ 28.843,77 anualmente, em termos de custo, e 48.072kWh/ano, no quesito de consumo de energia elétrica, por cada motor, isto é, 144.218kWh no total pelos três motores.

Considerando que a produção mensal média é de 52.000 e o consumo de energia elétrica geral atual da indústria é de aproximadamente 1.226.000kWh por mês, visto os dados apresentados anteriormente, estipula-se uma economia energética de 12.018,16kWh, obtendo como nova média de consumo mensal 1.213.981,9kWh.

Portanto, dividindo o consumo energético pelo volume de produção, temos um indicador de 23,34kWh/TPA, atingindo assim o objetivo traçado de 25kWh/TPA.

Para realizar o cálculo de lucro sujeito à este investimento, temos que o valor gasto para o mesmo será de R\$ 20.000 por conjunto, considerando que os ganhos são de R\$ 9.614,59 anualmente. Logo:

$$PB = R\$20.000,00/R\$9.614,59 = 2,08 \text{ ano}$$

Pegando o valor do investimento e dividindo pela economia ano podemos visualizar que o tempo para se pagar o investimento será de aproximadamente 2 por máquina. Se levarmos em consideração a grande quantidade de máquinas de fundição existente na empresa esse projeto terá um impacto grande de consumo energético após esses dois anos pagando o investimento. A Tabela 1 apresenta de uma forma bem simples o valor economizado com o controlador de frequência desenvolvido no motores das máquinas de fundição da empresa

**Tabela 1** – Valor de comparação energético com e sem controlador de frequência.

Máquina de Fundação	Gasto mês de Energia	Controlador de frequência	Economia
MAQ.01	R\$ 1.900,00	SEM	R\$ 0,00
MAQ.01	R\$ 1.100,00	COM	R\$ 800,00

Fonte: Autoria (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho elaborado com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica, utilizando um controlador de frequência, destacou a oportunidade de otimização do procedimento de produção, de forma que seja efetivada a citada diminuição de consumo energético.

Devido que o mesmo é um projeto prático experimental, visou-se estudar a proposição de uma solução técnica que considere a eficiência de energia elétrica do sistema, os resultados foram obtidos através de análises realizadas por meio de cálculos comparativos entre as máquinas que operam atualmente na planta com os motores de alto desempenho indicados para esta aplicação, em relação ao consumo e desempenho. No quesito de consumo energético, foram especificados o modelo de máquina, as características e os fundamentos funcionais, além das considerações feitas sobre a utilização de conversores de frequência como aparelhos de controle de velocidade.

As vantagens obtidas a partir da aplicação dos conversores de frequência, são significativas, como maior confiabilidade do mecanismo, controle preciso da temperatura do processo, redução do ruído do motor e um dos pontos mais relevantes é a economia energética do equipamento. O controle de velocidade do motor, pode diminuir alterando a frequência e a tensão aplicada à carga, reduzindo assim a potência consumida.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Ed. Brasília: ANEEL, 2021. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/handle/1/582>>
- [2] BEN. Balanço Energético Nacional (BEN). Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br.>>
- [3] COPEL. Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Norma Técnica-COPEL NTC 903109. 2018. Curitiba, 2018. Disponível em: <<https://www.copel.com/site/>>
- [4] COSTA JUNIOR, E. L. **Gestão em processos produtivos**. 20. Ed. Curitiba: Ibpex, 2008.
- [5] CUMMINS. Cummins Power Generator. Manual de Aplicações para Grupos Geradores Arrefecidos a Água (T-030d-07 08/03). São Paulo, 2018.
- [6] LANDES, D. S. **Prometeu desacorrentado. Transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental, de 1750 até os dias de hoje**. Rio de Janeiro, Editora Elsevier, 2015.
- [7] MARTINS, M. G. **Princípios de Automação Industrial**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.
- [8] MORAES; CASTRUCCI. **Engenharia de Automação Industrial**. [S.l.]: Editora LTC, 2013.
- [9] NATALE, F. **Automação Industrial**. Série Brasileira de Tecnologia, Ed Saraiva, 10ª edição, 2018.
- [10] PINHEIRO, J. M. S. **Domática**. 2004. Disponível em: <[https://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo\\_domotica.php](https://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo_domotica.php)>.
- [11] PMR - Partnership for Market Readiness-. Carbon Tax Guide: A Handbook for Policy Makers.

World Bank, 2020. Washington, DC.

[12] SANTOS, T. **Revolução científico-técnica e capitalismo contemporâneo**. Petrópolis, R. J., Editora Vozes, 2019, p. 28.

[13] SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

[14] SILVA, D. S.; SOUZA, R. S.; ROSA, E.; PACHECO, D. A. J. **Análise do Impacto da Automação da Movimentação Interna na Produtividade Industrial**. Espacios. v. 35, n.4, pp. 17, 2014. Disponível em: <<https://www.revistaespacios.com/a14v35n04/14350418.html>>

[15] STEMAC. STEMAC Grupo Geradores. 2017. Disponível em: <http://www.stemac.com.br/pt/produtos/Pages/default.aspx>. Acesso em: 23 fev. 2022.

[16] TAUILLE, J. R. **Aspectos sociais da automação no Brasil, in Organização, Trabalho e Tecnologia**. São Paulo, Editora Atlas, 2017, p. 22. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11422/14429>>

# Capítulo 20

## *Implementação de um sistema automatizado para a contagem de peças em uma indústria de componentes de duas rodas*

*Robson Ribeiro de Lima*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Desde o início da primeira revolução industrial, grandes mudanças vêm ocorrendo nos processos produtivos, como a substituição do trabalho humano por máquinas. Essas mudanças estão cada vez mais presentes e vem assumindo os processos produtivos. O tema abordado por este artigo tem como objetivo apresentar a mudança de um processo de contagem de peças, que antes eram realizados pelo método de amostra de pesagem manual, porém havia divergências nesse processo, e após realizar a mudança do processo de contagem automática de peças, minimizou as falhas humanas no processo, tornando o processo mais rápido, obtendo um ganho produtivo e mais eficiente. A partir dos resultados das melhorias apresentados nesse trabalho, pode-se concluir que, criar um sistema de contagem automática, é viável financeiramente e possível desenvolver inúmeras melhorias de processos, uma vez que a automação está se difundindo cada vez mais nos avanços tecnológicos.

**Palavras Chaves:** Automação; Tecnologia; Melhoria de processos

## 1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, as indústrias têm apresentado avanços gradativos das tecnologias nos processos industriais, com o objetivo de oferecer eficiência, dinamismo e qualidade, aos processos e produtos. Somado aos ganhos oriundos dos avanços tecnológicos nos processos, surgiu a Indústria 4.0, considerada por alguns pesquisadores com a quarta revolução das indústrias (BOETTCHER, 2015; CHIMIELEWSKI *et al.*, 2020). Por outro lado, em Marson (2014), o autor mostra que a evolução industrial foi o maior propulsor do crescimento da economia mundial e que exerceu grande influência em segmentos tanto no ambiente social, como no institucional.

A maioria das empresas brasileiras, ainda estão migrando seus processores de produção ao sistema proposto pela Terceira Revolução Industrial, se comparado à países como: Alemanha, Japão e EUA. Pois, as linhas de produção desses países, grande parte já são automatizadas, enquanto no Brasil as mesmas são manuais, o que torna inferior (HAHN, 2017). Por outro lado, para Santos (2017), as indústrias no Brasil ainda estão em distintos graus de evolução tecnológica, porém poderá ser possível avançar e acompanhar os demais países inseridos na Quarta Revolução Industrial.

As empresas de pequeno e médio porte podem inovar em novos tipos de tecnologia para sua empresa, com a intuição de poder obter lucros maiores e dessa forma, gerar um poder maior de competição dentro do mercado. E associado a pouca tecnologia de empresas de pequeno e médio porte, existe outro fator que é as falhas humanas. Contudo, segundo Silveira (2017) as falhas humanas podem ser reduzidas e controladas com o recurso das novas tecnologias e automação implantada nos processos, e aumentando a capacidade e eficiência produtiva.

Ainda, em Zuge (2014), o autor apresenta alguns motivos para que uma empresa possa investir em processos automatizados, enfatizando a necessidade de diminuir os trabalhos e as interferências humanas, custo e benefício na produção dos produtos, mais segurança no ambiente de trabalho, aumento significativo da produção, melhor gerenciamento e planejamento nos processos, e adequação da produção à modernização de processos.

Segundo Ros (2017), o projeto de automação torna o processo produtivo mais confiável e versátil, e sua operação mais simples e econômica. Este processo pode ser completo, automatizado do início até o fim da linha de produção, sem interação humana no meio do processo, ou parcial. Cita ainda que cabe ao engenheiro eletricista ou de automação em um primeiro momento se responsabilizar pelas etapas do processo. Apesar de um projeto influenciar todas as outras, o gerenciamento pós implantação do projeto normalmente é realizado por engenheiros ou gestores especializados em gerir indicadores.

Todavia, para Martins (2012) a automação tem por base os seguintes elementos que podem ser comparados a computadores, sendo: *input* (unidade onde são inserido as entradas), memória de armazenamento, unidade de processamento e a unidade de saída (*output*), onde são inseridas as saídas. Ao mesmo tempo, a automação tem por fundamentos essenciais os componentes: sensoriamento; comparativo e controle e atuação.

Porém, no século XX, os controladores lógicos programáveis (CLP), Servo Motores e computadores passaram a fazer parte da automação, trazendo assim um avanço tecnológico aos processos de manufatura na mecânica. As indústrias automobilísticas são

um grande destaque em suas linhas de montagens, pois estão instalados os robôs soldadores, esteiras transportadora de peças e sistemas sensorizados (ROGGIA & FUENTES, 2016).

Segundo Nakamura (2017), onde pode ser aplicado sistemas de tecnologias e automação, é o sistema de envase, o mesmo também tem etapas de processos químicos. As possibilidades para implementação de um sistema automatizado são grandes, desde a preparação de embalagem até o processo de enchimento e finalização da embalagem do produto. O foco das pesquisas neste processo tem como desafio criar um sistema que tenha finalidade a reduzir a variação dos pesos na embalagem, e aumentar a confiabilidade e qualidade da etapa final do processo produtivo.

Assim, esse artigo mostrará a implantação de Sensores Fotoelétricos em uma bancada de inspeção de recebimento de peças no setor de Controle de Qualidade. O sistema novo sistema implementado será de suma importância para garantir o maior controle de quantidade de peças nos lotes enviados, proporcionando um controle eficaz e consistente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Neste seção será apresentado os métodos e ferramentas usadas no desenvolvimento de sistema automatizado de contagem de peças que baseia-se em sensores fotoelétricos, sendo este implementado em uma indústria de componentes de duas rodas no Polo Industrial de Manaus. O sistema foi pensando em função das falhas ocorridas na pesagem de peças durante seu processo de inspeção e embalagem.

Anteriormente a implementação do protótipo, o sistema de separação dos lotes era realizado por peso. Após a implemetação do protótipo, o mesmo executou esse trabalho em 6 bancadas na linha do setor de recebimento e setor de Controle da Qualidade. Além disso, pode ser analisado o tempo em que as peças serão armazenadas nas caixas após passarem pelo processo de inspeção de qualidade pelo operador.

A linguagem de programação a ser utilizada será o *ladder*, ao qual estará armazenado sua lógica na memória do CLP escolhido para essa aplicação. Durante a contrução e desenvolvimento do protótipo foram utilizados sensores, fontes de alimentação, relés e outros materiais descritos no quadro abaixo.

O Controlador Lógico Programável (CLP), utilizado nesse protótipo será o de modelo CJ1-CPU23-OMRON, ao qual será realizado sua programação através do software CX-PROGRAMMER 9.5 usando a linguagem ladder de programação. Através do CLP será possibilitado executar funções específicas, como por exemplo: contadores, temporizadores, sequenciamento lógico, podendo controlar as entradas e saídas de outros equipamentos através de seus módulos de entrada e saída.

**Quadro 1:** Lista dos principais materiais usados na construção do protótipo

Material	Modelo	Quantidade
Controlador Lógico Programável – CLP	OMRON CJ1-CPU23	01
Interface Homem Máquina – IHM	PRO-FACE	01
Fonte de Alimentação 100-240V / 24Vdc	OMRON-S8VS- 12024	01
Relé eletromecânico 24vdc	MY4N-D2 24VDC	01
Sensor Fotoelétrico – Barreira	Omron – E3Z-T61	05

Fonte: Autores (2022)

Por meio do CLP, o sistema poderá se comunicar com a IHM, ao qual foi programado pelo *software* GP-PRO EX V3.0, e após programado, permite que o operador e as máquina dentro da produção, possa se comunicar de forma eficiente, através do monitor da IHM, possibilitando que o operador faça monitoramento, operação e controle da máquina de forma remota.

A fonte de alimentação utilizada é responsável em converter tensão alternada para contínua (24VDC), e alimentar os dispositivos que necessitam dessa tensão específica, tal como: sinalizadores, sensores, relés e etc. A fonte de alimentação é um dispositivo capaz de modular a entrada de tensão em Vca para Vdc, por exemplo, 110/220VCA para 5Vdc/12Vdc/24Vdc.

Ainda, foi usado relé eletromecânico para fazer chaveamento através de pulso elétrico, a cada peça contada, o relé enviara um pulso elétrico, e este pulso será a referência para ser gerado a contagem das peças, com auxílio do sensor fotoelétrico, será o possível realizar a leitura das peças quando as mesmas cortarem o feixe de luz do sensor tipo barreira que estará instalado na extremidade do tubo, direcionado às caixas, conforme ilustra a Figura 1.

**2.1. MÉTODO**

O desenvolvimento do dispositivo consiste dos seguintes procedimento: as peças serão depositadas dentro de um tubo de pvc de 75 que estará instalado e fixado em uma base confeccionada, na parte inferior das bancadas de inspeção do setor de Recebimento de peças do Controle da Qualidade (conforme mostra a Figura 1), em todas as 6 bancadas contarão com essa estrutura, ao qual servirá de auxílio para ao qual as peças serão depositadas e o sensor realizará a leitura das mesmas. Além disso, é importante frizar que por meio do projeto o sistema já existente (Figura 1) será totalmente automatizado.

**Figura 1:** Tubo de PVC para depósito e armazenamento das peças nas caixas (duas posições diferentes).



Fonte: Autores (2021).

Após as peças passarem pelo feixe de luz emitido pelo sensor fotoelétrico, o feixe será enterrrompido instantaneamente, e um sinal será enviado a memória do CLP, que irá ativar uma memória temporária. Sempre que as peças passarem pelo sensor, esse pulso se transformará em um sinal, e a cada sinal enviado, um valor será acrescido na contagem das peças. Essa contagem poderá ser acompanhada pela IHM instalada no box de ligação dos componentes. A finalização do sistema é apresentado pelas Figuras 2 e 3, que mostram as componente dos sensores (Figura 2) e a interface de armazenamento da contagem de peças (Figura 3).

**Figura 2:** Caixa de ligação dos principais componentes utilizados nesse projeto



Fonte:Autor (2021)

A Interface Homem-máquina (IHM) será a principal responsável em controlar e monitorar a contagem de peças no processo de separação de peças por lote, através da mesma o próprio operador poderá realizar o *input* do valor desejado. A seguir a IHM instalada no box de comando nas seis bancadas de inspeção do setor de CQ recebimento. Podemos visualizar na Figura 3 o contador automático, por meio desse monitor também é possível visualizar a quantidade de caixas foram embaladas.

**Figura 3:** IHM apresentando os valores de contagem por bancada

Fonte: Autores (2022)

### 3. RESULTADOS

Nesta seção será apresentado o sistema de contagem de peças da produção e embalagem das peças fabricadas após a implementação do sistema novo, além disso, será apresentado um panorama do ganho da no processo com essa melhoria.

Antes da implementação do novo sistema, a separação de peças para serem embaladas era realizado por meio da pesagem das mesmas. Ou seja, a separação de lotes por caixas eram feitos da seguinte forma: se uma peça tinha o peso de 22,2 gramas, então esse peso era retirado uma amostra de 10%, se o valor estivesse dentro dos padrões definidos pelo setor, o lote era classificado como “ok”, e esse lote por sua vez era embalado e enviado para setor ao qual era designado fazer seu envio ao cliente final.

Porém, com a implementação do método de separação adotado e contagem de peças por lote, ocorreram divergências e reclamações feitas pelos clientes, onde estes apontavam que estava sendo encontrada caixas com um número menor de peças as quais haviam solicitado (ex: etiqueta continha 500 peças, mas o físico era de 498 peças).

O Quadro 2 mostra que devido a divergência na contagem de peças, foi necessário realizar a inspeção em aproximadamente 22.000 peças do estoque da empresa, e as 32.000 peças que já estavam embaladas na expedição para serem despachadas. Dessa forma, foi possível contabilizar o tempo e valor gasto para nova contagem dessas peças, além disso, notou-se que o problema poderia acontecer outras vezes, tendo em vista que foram encontradas caixas que seriam enviados para o cliente com um número de peças inferior, a quantidade desejada.

**Quadro 2:** Custo de tempo e gastos para recontagem de peças

Levantamento do Custo da Inspeção					
Local	Peças Inspeccionadas	Horas Gastas	Pessoas	Quantidade de peças faltando	Custo
CQ	22.000	93,25	1	55	R\$1.771,75
CQ	32.000	35	3	350	R\$1.503,42
<b>SOMA</b>	<b>54.000</b>			<b>405</b>	<b>R\$ 3.275,17</b>

Fonte : Autores (2022).

Por meio do Quadro 2, foi possível visualizar em valores reais o tempo de reinspeção e valor da mão de obra o quanto esse retrabalho custou, com o sistema de contagem por amostra de peso. A quantidade de horas que custou o retrabalho com 3 trabalhadores e depois com 1 pessoa na separação de lotes diferentes, e com essa reinspeção foram encontradas 405 peças faltando, no total de 54.000 mil peças revisadas, o valor dessa recontagem de peças custou a empresa R\$ 3.275,17 reais.

Constatada essa falha, foi elaborado então um CP & CPK, pelo setor de CQ, que são os controles de processo e índice de controle de processo. Além disso, foi realizada uma análise para encontrar o modelo de peça ao qual ocorreu falha na quantidade por lote. Foi possível constatar que a diferença máxima e mínima do peso foi de 0,06 gramas. Logo = 0,06 gramas X 500 peças da caixa = 30 gramas. Ou seja, mesmo seguindo o procedimento correto de pesagem, nas piores condições, pode reincidir o problema no cliente final conforme o Quadro 3.

**Quadro 3:** Avaliação do peso de um modelo A de peça através do CP&CPK

Variação do peso da peça de produção em massa			
Especificação encontrada (g)	Não especificado no desenho (g)	Quantidade de peças na caixa	Quantidade total de peso por caixa (g)
Mínimo (g)	22,33	500	1165
Máximo (g)	22,39		1195
Diferença em gramas	0,06		30

Fonte: Autores (2022)

Com a finalidade de melhorar o processo de contagem e separação por lotes, foi dado início à implementação do protótipo, durante a construção deste protótipo foram encontrados algumas dificuldades, as principais delas que impactavam diretamente no processo.

Primeiramente, detectou-se-se uma falha que estava na própria programação da memória de contagem, pois esta não estava atuando corretamente quando realizado o *reset* do fim do ciclo de contagem. Foi verificada a lógica da programação e resolvida a falha. Após, notou-se uma segunda dificuldade, devida a geometria da forma de algumas peças pois algumas tinham formato de “anel”, quando o mesmo passava pelo sensor, o mesmo realizava leitura duplicada da mesma peça, o que tornava um erro no final da contagem de peças por lote.

Apesar de sanada os primeiros problemas ocorridos durante os testes iniciais, o sistema ainda detectou um terceiro problema. Problema esse ocorrido devido o posicionamento da caixa, as peças foram se aglomerando até chegar na saída do tubo, fazendo acumular peças até a área de leitura do sensor, com isso as peças não passavam livremente pelo tubo e não eram contabilizadas.

Analisando o projeto, pôde-se identificar que o tempo de leitura do sensor estava curto, tendo em vista essa falha, foi corrigido então de 3 milissegundos para 8 milissegundos. Foi verificado igualmente que a posição das caixas ao qual eram armazenadas as peças impactava na contagem, principalmente, quando as mesmas se acumulavam na extremidade do tubo, decorrente do posicionamento das caixas. Então foi confeccionado uma base para o assentamento das caixas, fazendo o reposicionamento

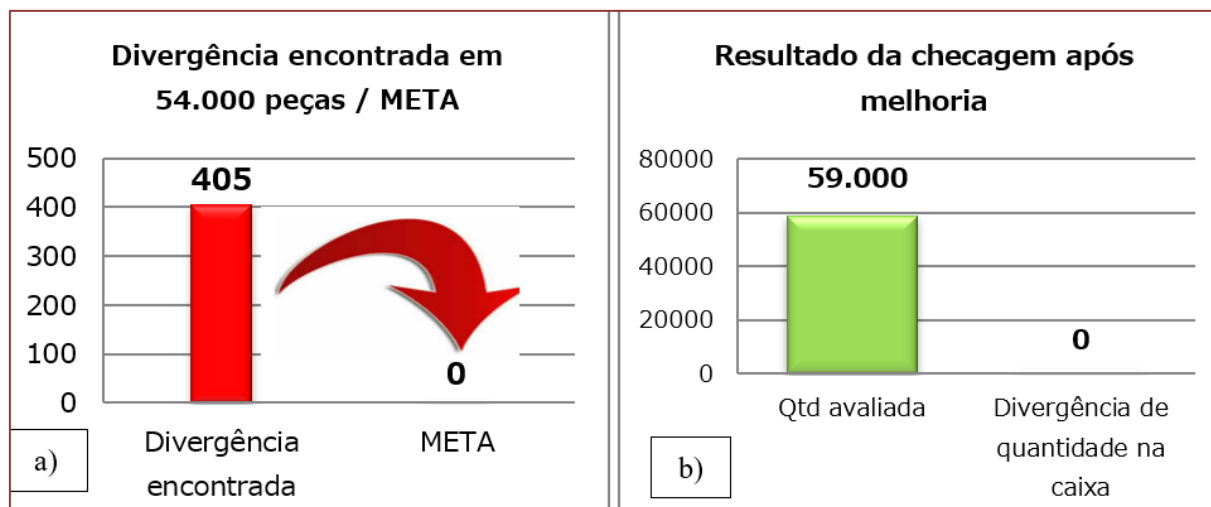
delas com um ângulo de 45°, facilitando o escoamento livre das peças, como demonstra na Figura 4.

**Figura 4:** Antes e depois do posicionamento das caixas



Fonte: Autores (2022).

Após a implementação do sistema de contagem de peças através dos sensores, foi possível realizar separação de quantidade dos lotes, reduzindo as falhas que antes eram ocorridas. A Figura 5 mostra uma comparação entre os dados antes (pelo método de pesagem) e após (pelo sensores instalados) a contagem das peças. Onde a primeira situação foi feito recontagem de peças e encontrado as divergências pelo método de pesagem de peças (Figura 5a) e foram encontrados 405 peças faltando no total de 54 mil peças contadas, já depois do sistema pronto, foi feito contagem de 59 mil peças (Figura 5b) onde não foram encontrados erros na contagem, após sanado os problemas antes citados.

**Figura 5:** Antes e depois da implementação do sistema de contagem de peças

Fonte: Autores (2022).

No quadro 05, podemos visualizar o comparativo do antes e depois do sistema automatizado, onde pôde se extrair o resultado de tempo médio de inspeção e embalagem das peças que antes demandavam um tempo diferente após feito a melhoria no sistema. Com a aplicação deste protótipo, além de conseguir atingir a meta, também foi possível reduzir o tempo de inspeção e embalagem que antes demandava o tempo médio de 8,20 seg, reduzindo para 7,93 seg, gerando um ganho de tempo em 0,27 seg por peça.

Além obter uma margem de lucro para este processo, o que torna o processo implantado mais interessante, uma vez que pode constatar que o sistema de contagem é eficiente. Também podemos ter um exemplo real citado nessa tabela onde foi colocado o total da demanda em um mês de uma peça, onde o pedido de uma determinada peça são de 330.000 mil e no total de tempo de 89.10 segundos, gerando um retorno de R\$ 137,45 reais.

**Quadro 5:** Resultados após implantação do novo sistema de contagem

Comparação Antes e Depois				
	Tempo médio de inspeção média por peça (inspeção+embalagem)/segundos	Pedido médio do cliente por mês	Redução de tempo de inspeção (mensal)	Retorno Mensal
Antes	8,20seg	330.000	89.100seg	R\$ 137,45
Depois	7,93seg			
Diferença	0,27seg			

Fonte: Autores (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou a implementação de um sistema de Sensores Fotoelétricos em uma bancada de inspeção de recebimento de peças no setor de Controle de Qualidade, em uma empresa de peças mecânicas na cidade de Manaus/AM.

A automação da fabricação otimizou o processo de contagem das peças, além de deixá-lo mais rápido e eficaz. Anteriormente, a implementação do sistema as peças passavam pela esteira, e eram lançadas em uma caixa onde eram embaladas e enviadas para o cliente. E a quantidade de peças eram verificadas pela relação peso da peça e a quantidade, o que ocasionava erros na quantidade de peças entregues.

Com a implementação dos sensores luminosos nas esteiras, foram eliminados os erros de contagem das peças. A cada peça que passasse pelo sensor luminoso era contabilizada em na Interface Homem-máquina, o qual armazenava a quantidade de peças que passavam na esteira.

Apesar da margem de erro do sistema novo ser mínima ou praticamente inexistente, ela não influencia negativamente na descrição da quantidade de lote enviado ao cliente final. Ao contrário do processo anterior, que o erro era contínuo diminuindo, mostrando que na embalagem descrevia que o lote constava 1000 peças, quando existiam na caixa 996 peças. Além disso, com o novo sistema o tempo de embalagem das peças diminuiu.

## REFERÊNCIAS

- [1] BOETTCHER, M. **Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0**. LinkedIn. 26 nov. 2015. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-dehist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>>. Acesso em: 10 maio 2108.
- [2] CHIMIELEWSKI, A. M. M.; DA SILVA, A. J. D.; LEITE, J. R. E. **Indústria 4.0: Revolução e Impacto no mundo moderno**. Projectus, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.15202/25254146.2020v5n1p1>>
- [3] HAHN, R. J. **A Era da Internet Industrial e a Indústria 4.0 já estão moldando o futuro de muitos empreendedores. Saiba como aproveitar essa nova tendência**. 2017. Disponível em: <[https://endeavor.org.br/uncategorized/opportunidades-industria-4\\_0/](https://endeavor.org.br/uncategorized/opportunidades-industria-4_0/)>
- [4] MARSON, M. D. **A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920**. Revista Estudos Econômicos, v. 45, n. 4, p. 753-785, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0101-416145453mdm>>
- [5] MARTINS, R.A. **The use of performance measurement information as a drive in designing a performance measurement system**, Proceedings of the third performance measurement and management conference, Boston, MA, p.371-378, 2012.
- [6] NASCIMENTO, A. F.et.al . **Modelagem de processos como proposta de melhoria de processo de elaboração de orçamento anual da área de operações: um estudo de caso em uma empresa de energia elétrica**. Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Paraíba/PB, 2016. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STP\\_226\\_323\\_28746.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_226_323_28746.pdf)>
- [7] ROGGIA, L. **Automação industrial** / Leandro R.; Fuentes, R. C. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, p.102, 2016, ISBN: 978-85-9450-001-4
- [8] ROS, A. S. **Projeto de automação industrial em linha de produção de alimentos**. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, da Escola de Engenharia de São Carlos. 2017. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-17012018-171658/?&lang=br>>
- [9] SILVEIRA, C. B. O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo. Citisystems. 2017. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 10 jun. 2018
- [10] ZUGE, C. T. Y. **Alinhamento do planejamento estratégico com o plano diretor da automação industrial em pró do desenvolvimento sustentável**. 2014. 129 p. Tese de Doutorado (Doutora em Ciências)- Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-17102014-110634/pt-br.php>>

# Capítulo 21

## *Protótipo de sistema automatizado para controle de vagas de estacionamento*

*Ronaldo Dantas Monteiro*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** As despesas com sistemas automatizados normalmente são caras e inacessíveis. O uso de prototipagem para automatizações nas últimas décadas tem sido grandemente utilizado no ambiente acadêmico para o aprendizado das mais variadas disciplinas. Tendo em vista a diminuição nos custos numa implantação de um sistema automatizado, a prototipagem com Arduino tem sido uma das mais utilizadas por pesquisadores. Desse modo, este artigo foi produzido com o objetivo de criar um protótipo de um sistema automatizado para controlar as vagas de estacionamento, seguindo as etapas de criação do esboço do projeto, compilação da programação e a construção do protótipo com utilização do Arduino como microcontrolador, visando o uso de materiais de baixo custo. Foram obtidos bons resultados em todas as sessões de testes fazendo com que seja viável a implementação deste projeto em um ambiente real para resolver os problemas de estacionamentos de baixo e médio porte que possuem dificuldade em gerenciar as vagas disponíveis no local.

**Palavras-chave:** Arduino; Automação; Estacionamento; Protótipo; Sensor Infravermelho.

## 1. INTRODUÇÃO

A automação é um processo ou procedimento de produção desassistida que teve seus primeiros passos com a primeira Revolução Industrial, mas foi com o advento das grandes guerras mundiais, e com o surgimento de novos métodos através do controle numérico, tecnologias inovadoras que deram origem aos primeiros processos de automação (GROOVER, 2013; ROGGIA e FUENTES, 2016). Mas mesmo com o passar das décadas, muitos ainda confundem o termo automação de mecanização. Para Frascá e Bruno (2021), na mecanização os processos auto realimentam com informações e atuam rapidamente fazendo as correções necessárias, enquanto a automação, o homem insere todas as informações através de software, a fim de dar continuidade corretamente ao percurso produtivo.

Os microcontroladores são ferramentas importantes nessa evolução, que são considerados o quarto momento mais significativo no desenvolvimento da automação. Eles são responsáveis por unir o *software* e o *hardware*, amplamente usados em circuitos de controle (HADI et al., 2018). Os mais usados são: Arduíno, ESP e Raspberry Pi, onde Arduíno é uma placa microcontroladora multifuncional que possui a linguagem de programação baseada em C/C++ muito utilizada por estudantes e profissionais de várias áreas pois tem o objetivo de tornar a prototipagem eletrônica mais barata e acessível. Através dele é possível criar diversos projetos eletrônicos, como Sistemas Automatizados, Robôs, Internet das Coisas (IoT) e outros (SANTOS et al., 2020). Já o ESP, é uma placa microcontroladora que, diferente do Arduíno, possui conexão Wi-Fi, fazendo com que sua utilização seja mais vantajosa em relação ao Arduíno em casos que envolvam internet, como IoT, que vem ganhando cada mais espaço no das indústrias e das residências. E o Raspberry Pi é considerado um mini computador que possui um microcontrolador, digamos que é um microcomputador com apenas uma placa. Ele possui a maior memória RAM que o Arduíno e o ESP, sendo assim, seu armazenamento e sua velocidade de processamento são maiores, porém não significa que é melhor que os outros, apenas são usados para propósitos distintos (OLIVEIRA, 2017).

A automação consegue ser utilizada em praticamente todos os setores das atividades humanas, sendo indispensável para proporcionar um tanto de facilidades e alguns confortos em lojas comerciais, restaurantes, terminais de autoatendimento bancário, shoppings, indústrias de todos os seguimentos, aparelhos domésticos etc (JUNIOR e SILVA, 2015). O crescimento da tecnologia vem contribuindo muito para o progresso das ciências, como na Medicina, onde foram desenvolvidos equipamentos e aparelhos capazes de produzir imagens radiológicas muito precisas e exatas, as quais fazem auxílio no processo de diagnóstico. Vários procedimentos cirúrgicos só são capazes atualmente por conta da existência de equipamentos de grande precisão, como a cirurgia a laser para correção da miopia (CAMARGO, 2014).

No âmbito Residencial, a automação é a execução de controles e sistemas fundamentados na automação de processos para as funcionalidades encontradas no ambiente residencial, incluindo seus acionamentos e tornando a casa segura, funcional e inteligente (MENDES, 2020). Para Silva (2014), a automação residencial é classificada como um artigo de luxo por grande parte dos consumidores sendo que a carência de padronização dos equipamentos é um problema preocupante porque afeta diretamente o custo de implementação de projetos. Um exemplo de aplicação é o artigo de Wanzeler et al. (2016), no qual é realizado o desenvolvimento de um sistema de automação residencial de baixo custo que é controlado por um dispositivo móvel utilizando Arduino, onde o usuário pode ligar ou desligar as lâmpadas com a possibilidade de controlar a intensidade

luminosa de determinada lâmpada além de poder personalizar o ambiente com a variação de três cores (Vermelho, Verde e Azul).

Na área Industrial, a automação é o agrupamento de técnicas usadas para automatizar processos, fazendo com que eles fiquem mais rápidos e eficazes favorecendo maior lucratividade (SOUZA, 2013). Para Feneric e Volante (2020), é grande a importância a respeito do quanto é eficaz a automação em indústrias, a redução de riscos ao operador e a perdas de matéria prima, o ganho em tempo e aumento da produtividade em qualquer setor econômico em que se é aplicado.

O mundo viu os processos de Revolução Industrial, e todas elas com o propósito de impulsionar o processo produtivo o adaptar o mesmo para as tecnologias de cada época, com isso, a Indústria 4.0, que é a automação industrial e a integração de diversas tecnologias, aparece diante de um contexto de evoluções tecnológicas, trazendo consigo planos de uma indústria do futuro (SAKURAI e ZUCHI, 2018).

No meio de tantos objetivos da automação industrial, podemos ressaltar alguns, como: qualidade – é preciso manter a qualidade dos produtos para que sejam compensadas as deficiências, continuando com a sofisticação do que for produzido; flexibilidade – nas linhas de produção, as inovações e modificações são constantes nos dias de hoje, por isso se faz necessária ampla flexibilidade para atender particularidades dos clientes e diversificar a escala de produção de forma que evite o desperdício de material e conseqüentemente o custo operacional; produtividade – é fundamental o controle dos equipamentos de produção para assegurar que os produtos estejam no padrão aceitável, de forma a reduzir as sobras e controlar a produção através de imposição de limites de forma que reduza os estoques; e viabilidade técnica – focar o processamento instantâneo do enorme volume de informações causados pelas plantas atuais e automatizar de um jeito seguro e organizado o maior número de processos possíveis, objetivando a diminuição do pessoal envolvido, limitando o risco de erro humano e respeitando suas limitações (BRANQUINHO, et al., 2014).

As despesas com sistemas automatizados normalmente são caras e inacessíveis. O uso de prototipagem para automatizações nas últimas décadas tem sido grandemente utilizado no ambiente acadêmico para o ensinamento das mais variadas disciplinas e até mesmo de modo interdisciplinar. Tendo em vista a diminuição nos custos numa implantação de um sistema automatizado, a prototipagem com Arduino tem sido uma das mais utilizadas por pesquisadores para esclarecer e divulgar as metodologias em progresso no ambiente acadêmico através da: Cultura Maker e Aprendizagem Baseada em projetos (FERREIRA, et al., 2020).

Contudo, esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de um sistema automatizado para vagas de estacionamento na cidade de Manaus – AM. Primeiramente será realizada a criação do esboço do projeto no software *Fritzing*, posteriormente ocorrerá a construção do protótipo e a compilação da programação no *IDE (Integrated Development Environment)* do Arduino, e por fim será realizada a testagem do protótipo para análise dos resultados.

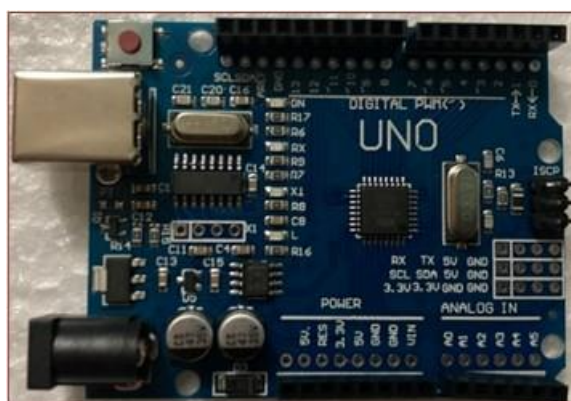
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho mostrará o desenvolvimento do protótipo de um sistema automatizado para o controle de vagas projetado para o estacionamento do Centro Universitário Fametro, sede na cidade de Manaus/AM. Tentou-se desenvolver um sistema para construção de um equipamento de baixo custo e fácil instalação.

### 2.1. MATERIAIS

No sistema apresentado neste artigo optou-se pelo uso de materiais de baixo custo. O Arduino Uno usado, é a versão mais popular e disseminada da família Arduino por conta do seu microcontrolador de entrada, bons recursos e a quantidade de interfaces suficiente para diversos projetos simples, sem contar que tem um ótimo custo/benefício. Ele possui 14 pinos de entrada/saída digital dos quais 6 podem ser usados como saídas *PWM* (*Pulse Width Modulation*), 6 entradas analógicas e um cristal oscilador (*clock*) de 16 MHz (Mega-hertz), conexão USB que pode ser utilizada como porta serial ou para alimentar o circuito eletrônico. A alimentação quando não realizada pela entrada USB, é feita por uma fonte externa de preferência entre 7 e 12V (Volts) contínua.

**Figura 1:** Arduino Uno.



Fonte: Autores (2022).

Durante o desenvolvimento do protótipo, além do Arduino Uno, foram utilizados módulos sensores infravermelhos IR, fios jumpers e outros materiais conforme o Quadro 1 abaixo. O Arduino foi utilizado para realizar a conexão entre os componentes e os pinos para que seja feito o controle do circuito por meio de envio e recebimento das informações. Ainda, os sensores infravermelhos IR foram usados com a finalidade de identificar a presença dos veículos que estejam posicionados a sua frente, quando o sinal infravermelho acionado e refletido para o receptor. Os fios *jumpers* fazem a ligação dos componentes com os pinos do Arduino, o micro servo motor foi manuseado com o fim de que assim que o sensor enviasse a detecção de presença de veículo, ele realizasse a abertura ou fechadura da barreira de acesso ao estacionamento e por fim, o display LCD 16x2 foi empregado no circuito com a finalidade de exibir as mensagens para os condutores conforme o estacionamento funcionava.

**Quadro 1:** Materiais utilizados.

Materiais	Quantidade	Funcionalidade no sistema	Valor
Arduino Uno	1	Plataforma de prototipagem	R\$ 128,80
Micro Servo Tower Pro Mg90s	1	Realizar a rotação da catraca para liberar a entrada ou saída do estacionamento	R\$ 39,90
Display LCD16x2 1602 Fundo Azul Com Módulo I2c Soldado	1	Informar aos condutores se há vagas disponíveis no estacionamento	R\$ 41,90
Sensor Infravermelho IR	2	Identificar a presença de veículos para liberação da catraca.	R\$ 25,80
Fios Jumpers	13	Conectar pontos no circuito	R\$ 13,50

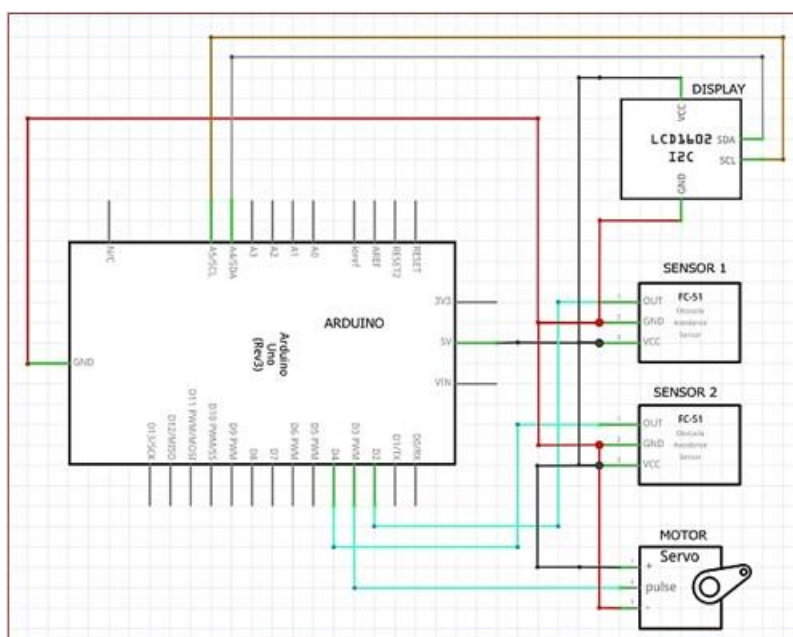
Fonte: Autores (2022).

## 2.2. CIRCUITO

O circuito foi desenvolvido através do software *Fritzing*, que é alimentado através da conexão de um cabo USB conectado ao Arduino. Os sensores, o motor e o display LCD I2C estão interligados no microcontrolador, sendo que estes ocupam 3 pinos digitais e 2 pinos analógicos.

O funcionamento do circuito ocorre da seguinte forma: o primeiro sensor detecta o veículo fazendo com que a barreira de entrada/saída se abra enquanto o segundo identifica a passagem do veículo fazendo com que a barreira se feche. O display LCD I2C exibe quantas vagas o estacionamento tem disponíveis, contudo, quando o estacionamento estiver com ocupação máxima, uma mensagem é exibida no display LCD I2C “estacionamento lotado”. Se um veículo deixar o estacionamento, o sensor secundário detecta fazendo com que a barreira se abra e o primeiro sensor identifica o veículo fazendo com que a barreira se feche novamente, conseqüentemente o display LCD I2C exibe a quantidade de vagas disponíveis.

**Figura 2:** Esquema do circuito usado no protótipo.



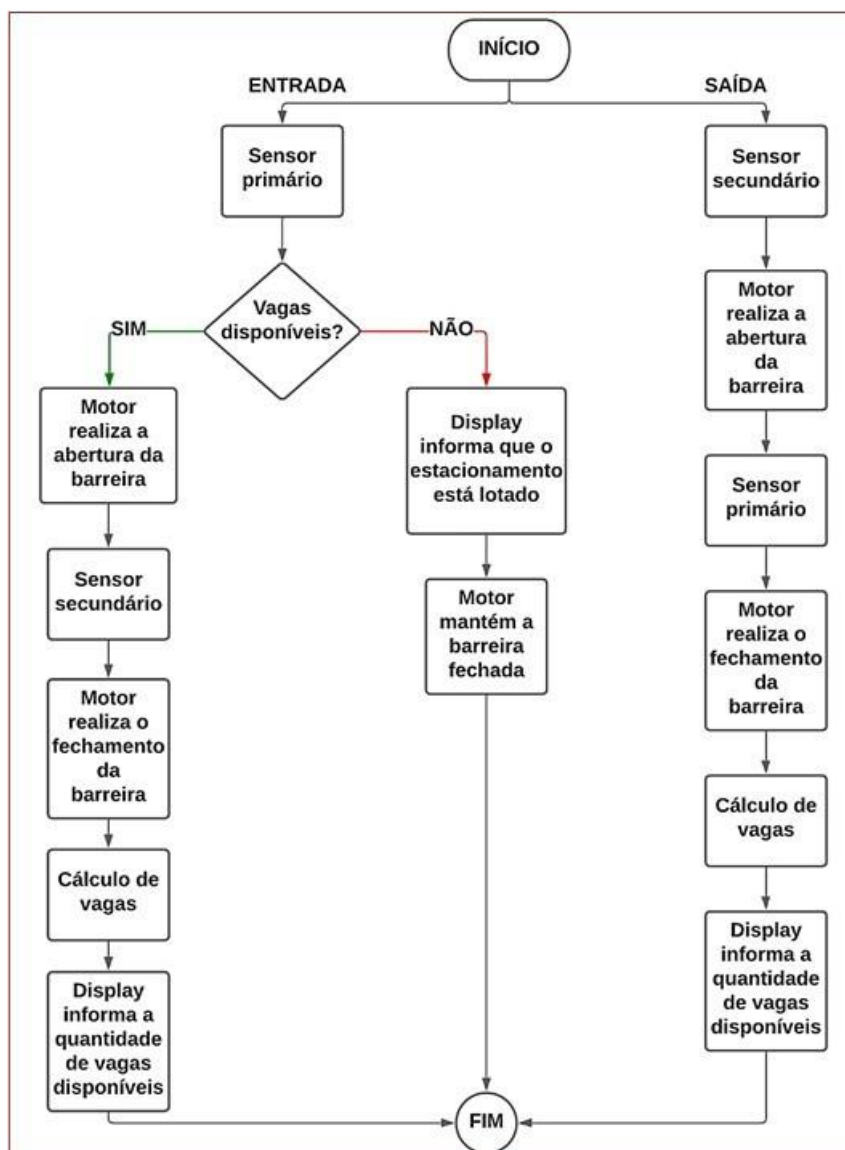
Fonte: Autores (2022).

### 2.3. LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

O algoritmo representado na Figura 3 foi compilado no *IDE* do Arduino. Primeiramente foi feita a inclusão das bibliotecas para o display LCD I2C e para o motor, depois ocorreu a declaração das variáveis, após isso, realizou-se a configuração inicial com a indicação das variáveis para as funções de entrada digital e por fim, foi realizado o procedimento de atribuição de valor lógico para os pinos indicados e o procedimento de temporização (*delay*).

Quando o sensor é acionado na entrada do estacionamento, ele verifica se ainda tem vaga disponível. Se houver, ele diminui em 1 a quantidade de vagas e libera a passagem, caso contrário, ele informa que o estacionamento está lotado. Na saída do estacionamento, assim que o motor é acionado, é liberada mais 1 vaga disponível.

**Figura 3:** Diagrama da programação utilizada no protótipo.



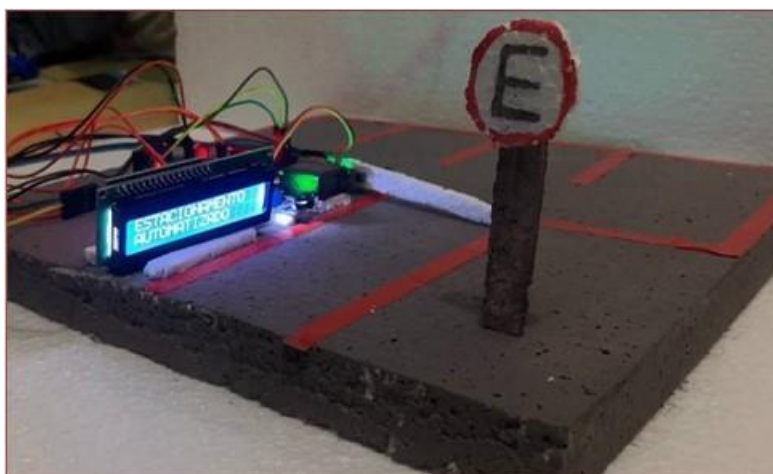
Fonte: Autores (2022).

### 3. RESULTADOS

Para uma melhor visualização do sistema, foi construído um protótipo para simular em escala como seria o funcionamento do sistema em ambiente real de um estacionamento conforme as Figuras 4, 5, 6 e 7 abaixo. A maquete foi construída com uma placa de isopor 25 mm porque o isopor além de ser leve, ele facilitará o transporte do protótipo. Ainda, foram usados 5 carrinhos de brinquedo para ativação dos sensores e consequentemente rotacionar o motor e imprimir as mensagens no display. Adicionalmente, uma mini *protoboard* lego com 25 furos de cor vermelha para fazer a conexão dos componentes do circuito com o GND (Referência de tensão 0V) e o 5V (Tensão de alimentação) do Arduino, fitas para as demarcações e cola para fixar os componentes.

Assim que foi realizada a alimentação do circuito através da conexão USB do Arduino, foi realizado o upload do código no *IDE* para que o Arduino estivesse configurado, o estacionamento emitiu a mensagem conforme foi programado “ESTACIONAMENTO AUTOMATIZADO”, como mostra a Figura 4.

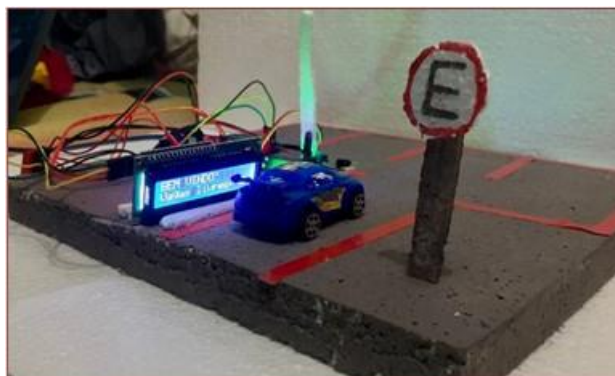
**Figura 4:** Maquete do Estacionamento Automatizado.



Fonte: Autores (2022).

Primeiramente, foi realizada na *maquet* a simulação do primeiro carro entrando no estacionamento. Assim que ele entra o display informa a quantidade de vagas disponíveis no estacionamento até o momento. Detectada a presença de vagas o carro passa pelo sensor primário e a barreira que impede a passagem dos carros é aberta para que ele possa encontrar a vaga, conforme demonstra a Figura 5.

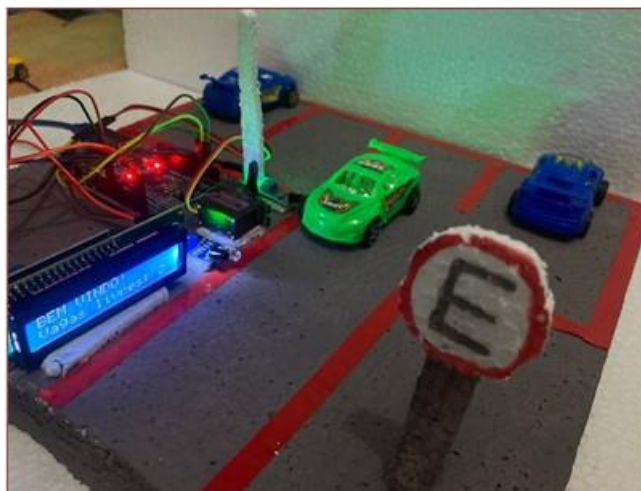
**Figura 5:** Carro chegando no estacionamento e a barreira sendo liberada.



Fonte: Autores (2022).

Na Figura 6, mostra um segundo carro se dirigindo para a saída do estacionamento, ativando o sensor secundário. No momento que este é acionado a barreira é aberta permitindo que ele saia do estacionamento, neste momento é feita a contabilização para a vaga que o carro deixou o local mostrando que a vaga usada por ele anteriormente agora está disponível no display.

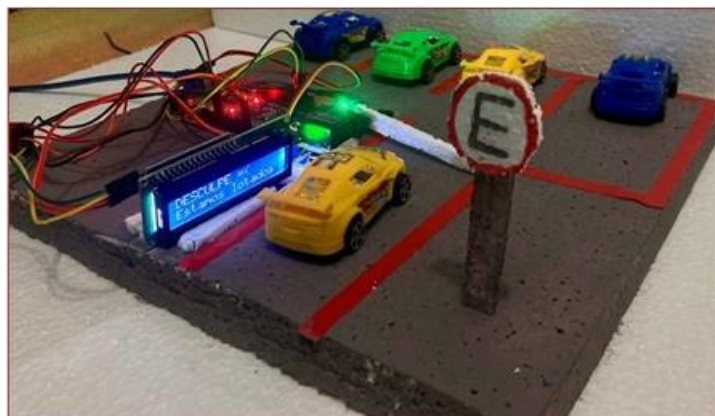
**Figura 6:** Carro deixando o estacionamento e a barreira sendo aberta.



Fonte: Autores (2022).

O processo de entrada foi simulado para a opção de um estacionamento completamente cheio. Assim, estando o estacionamento com sua capacidade de lotação completa, ou seja, "LOTADO", e um novo carro queira adentrá-lo, o sensor primário será ativado, ele faz a verificação das vagas disponíveis, e logo é exibido pelo display uma mensagem "Estamos lotados". Devido a mensagem exibido o sistema compreende que não existem vagas e que a barreira de entrada continuará fechada até a liberação de novas vagas, como pode ser evidenciado na Figura 7.

**Figura 7:** Display informando que o estacionamento se encontra lotado.



Fonte: Autores (2022).

Os resultados dos testes realizados foram bastante satisfatórios, pois o sistema respondeu muito bem as simulações. Os dois sensores indicaram de modo correto a presença dos carros na entrada e na saída do estacionamento, fazendo com que a contagem de vagas disponíveis e as mensagens exibidas no display funcionassem de forma correta e esperada e que a entrada de novos carros fosse bloqueada quando não houvesse vagas disponíveis no estacionamento. Assim, predem-se futuramente aplicar o sistema no local que foi usado como base para as dimensões da maquete.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, o intervalo de tempo para encontrar uma vaga em estacionamento com um grande fluxo de veículos é imenso, e pode se prolongar por um período ainda maior, fazendo com que os condutores fiquem impacientes. Com isso, o gerenciamento em conjunto com a automatização das vagas de estacionamento é uma saída para sanar o problema de fluxo de veículos na hora de estacionar, pois alguns estacionamentos ficam com filas enormes por conta da superlotação, ou pela circunstância de atraso no atendimento, que causam aborrecimentos nos condutores que aguardam a liberação de uma vaga ou que estão passando pelos arredores.

Este trabalho obteve bons resultados em todas as sessões de testes fazendo com que seja viável a implementação deste projeto em um ambiente real e indicou uma visão para resolver os problemas de estacionamentos de baixo e médio porte que possuem dificuldade em gerenciar as vagas disponíveis no local. Para estacionamentos de grande porte, seria necessário realizar uma ampliação do sistema com mais sensores e ajustes conforme o tamanho da expansão, além de introduzir as vagas especiais que são garantidas por lei no Brasil.

#### REFERÊNCIAS

- [1] BRANQUINHO, M. A.; MORAES, L. C. D.; SEIDL, J.; JUNIOR, J. D. A.; BRANQUINHO, T. B. **Segurança de Automação Industrial e SCADA** (1a Edição). Editora GEN LTC, 2014.
- [2] CAMARGO, V. L. A. D. **Elementos de Automação** (1a Edição). Editora Érica. 2014.
- [3] GROOVER, M. **Fundamentals of Modern Manufacturing – Materials, Processes and Systems** (5a Edição), Nova Jérсия: Wiley, 2013.

- [4] FENERICK, J. A.; VOLANTE, C. R. **A Evolução das Indústrias, ds benefícios da Automação e as perspectivas do mercado da Robótica no Brasil e no mundo**. Revista Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 734–745, 2020. Disponível em: < <http://doi.org/10.31510/infa.v17i1.805>>
- [5] FERREIRA, J. C. D. S.; SCHREINER, M. A.; PONCIANO, P. C. **Protótipo de Irrigação automatizada enquanto ferramenta para o ensino de computação: A Teoria na Prática**. In: Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas (LATINOWARE), 17. p 185 – 188, 2020. Disponível em:< <https://doi.org/10.5753/latinoware.2020.18631>>
- [6] FRASCÁ, G. E.; BRUNO, D. R. **AUTOMAÇÃO: Introdução a robótica industrial**. Revista Interface Tecnológica, v. 18, n. 2, p. 639–651, 2021. Disponível em: <<http://doi.org/10.31510/infa.v18i2.1244>>
- [7] HADI, M. S.; AFANDI, A. N.; WIBAWA, A. P.; AHMAR, A. S.; SAPUTRA, K.H. **Standalone data logger for solar panel energy system with RTC and SD card**. Journal of Physics: Conf. Series 1028 012065, 2018. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012065>>
- [8] JUNIOR, S. L. S.; SILVA, R. A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino: teoria e projeto** (1a Edição), São Paulo: Érica, 2015.
- [9] MENDES, A. G. **Automação Residencial**. Trabalho de Graduação do Curso Superior de Análise e Desenvolvimento de Sistemas da FATEC – Faculdade de Tecnologia “Dr. Thomaz Novelino”. São Paulo, 2020. Disponível em:< <http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/7048/1/MENDES%20-%20Automação%20residencial.pdf>>
- [10] OLIVEIRA, S. D. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. Novatec Editora Ltda. 2017.
- [11] SANTOS, B. S.; FONSECA, L. M. B.; SERNAGLIA, L.; ALKMIN, J. E. N. **Automação de casas e estabelecimentos comerciais através de microcontroladores: uma revisão da aplicabilidade do Arduino**. Revista Tecnológica da Fatec Americana, v. 8, n. 2, p. 70-80, 2020. Disponível em: < <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/6732>>
- [12] SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. **As Revoluções Industriais até As Industria 4.0**. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 2, p. 480–491, 2018. Disponível em: <<http://doi.org/10.31510/infa.v15i2.386>>
- [13] SILVA, B. R. S. D. S. **Sistema de automação residencial de baixo custo para redes sem fio**. Trabalho de Graduação (Curso de Engenharia da Computação) UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014. Disponível em:< <http://hdl.handle.net/10183/101188>>
- [14] SOUZA, V. A. **Princípios De Automação Industrial Com CLP**. Editora Clube de Autores. 2013.
- [15] WANZELER, T; FULBER, H.; MERLIN, B. **Desenvolvimento de um sistema de automação residencial de baixo custo aliado ao conceito de Internet das Coisas (IoT)**. XXXIV Simpósio brasileiro de telecomunicações – sbrt. Santarém – PA, 2016. Disponível em:< <http://doi.org/10.14209/sbrt.2016.176>>

# Capítulo 22

## *Desenvolvimento de envasadora de sucos naturais de baixo custo*

*Saulo dos Santos Lima*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Atualmente, o mercado de bebidas é um ramo em que os grandes nomes estão se instalando, e nessa rigidez imposta pelas grandes marcas, as pequenas têm muita dificuldade de entrar no mercado e até mesmo se classificar como concorrente. Especialmente esses gigantes do mercado. Devido à alta demanda, foi desenvolvido um projeto para automação da linha de produção que até agora é manual. Foi criado um protótipo de uma envasadora. Esta serviu para aumentar a produtividade da empresa. Primeiro, o protótipo foi criado e desenvolvido usando componentes Arduino UNO e um microcontrolador ATMEGA328, o sistema apresentou uma eficiência na linha de produção no enchimento onde apresentou uma boa acurácia no enchimento de garrafas com sucos de laranja. Com a automação da linha de produção, o objetivo é tornar o processo mais veloz e eficiente, podendo reduzir o custo de produção de um produto substituindo a mão de obra humana no processo de fabricação, podendo assim direcionar os funcionários para outras funções, drasticamente aumentando a produtividade.

**Palavras-chave:** Arduino, suco de laranja, automação, produção.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento da população mundial tem impulsionado a demanda por produtos mais competitivos, novas tecnologias e a qualidade dos serviços (MARTINELLI e SILVA 2012; JACOMOSSI et al., 2021). Uma ferramenta eficaz e tem sido utilizada atualmente, é a automação, definida por Pessoa e Spinola (2014) como a ação do uso de equipamentos e dispositivos eletrônicos realizando tarefas de forma independente, sem desvios na execução delas, sem a intervenção humana.

Atualmente, a automação aplica diversas áreas do conhecimento, visando com o objetivo de diminuir a mão-de-obra, reduzindo custos e aumentando a velocidade do processo (GONGORA et al., 2016). Na contabilidade, usada na modernização e automatização nos processos contábeis dentro das organizações (MOREIRA, 2022). Ainda, a automação pode ser introduzida na automatização de residencial através do acionamento de equipamentos domésticos e luzes (JUNIOR e FARINELLI, 2019; SILVA et al., 2022).

Na área ambiental, no estudo de Castro (2022), o autor utiliza a automação para desenvolver um sistema de controle da injeção da quantidade de substâncias para alterar a concentração de cloro e pH da água. Os sistemas de automação são usados na agricultura para auxiliar na irrigação (COSMO e GALERIANI, 2022) e ainda no monitoramento de variáveis ambientais como a umidade relativa e temperatura (OLIVEIRA et al., 2016).

Dentre todas as aplicabilidades da automação foi na indústria que mais absorve as novas tecnologias, principalmente com a expansão da Indústria 4.0 (RIBEIRO et al., 2022). A modernização da indústria atualmente acontece com a chegada da automação (BOTKE, 2014). Apesar da necessidade de modernização, a industrial no Brasil tem mostrado uma resistência, pois para isso é necessário um alto investimento na implementação e mão de obra especializada que possa gerenciar o sistema (RIBEIRO et al., 2022).

Segundo o Schwab (2017), uma das principais características da automação industrial (Qual é o problema mais comum na hora de abrir um negócio?) é a redução significativa de erros causados pela integração da eletrônica e mecânica na linha de produção, que permite aos funcionários reduzir manuais de tarefas e assim fazer mais vários funcionários podem delegar outras tarefas. Uma melhor atribuição de tarefas tornará as empresas mais produtivas e lucrativas sem precisar investir em mais mão de obra, configurando assim uma melhor gestão empresarial (HURWITZ, 2010).

Os consumidores estão cada vez mais preocupados com a qualidade, aparência e valor dos produtos. Por isso, para se manter no mercado e conseguir capturar uma fatia cada vez maior, é preciso investir constantemente em novas máquinas e cuidar dos produtos vendidos. No entanto, as pequenas indústrias muitas vezes não possuem os recursos financeiros necessários para realizar tais investimentos e veem a automação dos maquinários que já possuem como uma opção melhor.

Para as empresas de produção que buscam mercados internacionais, ter um plano de automação para suas linhas de produção é fundamental, pois a 4 Pontes Cognac traçou planos e direcionou uma fábrica totalmente automatizada para alcançar esse feito. Como encontrar mercados no exterior é fundamental, deve haver capacidade de atender à maior demanda gerada por esses mercados, que são maiores em tamanho do que o país de origem da empresa, e estar bem adaptados às necessidades e gostos desses lugares, podendo atender esses mercados remotamente a um custo econômico (ALVES et al., 2017), a redução de custos pode ser alcançada por meio da automação da linha de

produção, o que reduzirá o número de funcionários realizando as mesmas tarefas, além de manter o percentual de erros passos mais baixos e acelerará a fabricação, reduzindo o custo do processo do produto final.

De acordo com Rozenfeld et al., (2016), o processo de desenvolvimento de produto inclui atividades que buscam atingir a especificação do projeto do produto e seu processo de produção para que o fabricante possa produzi-lo de acordo com as exigências do mercado e restrições técnicas, levando em consideração a estratégia competitiva da empresa. Também envolve o monitoramento do produto após seu lançamento para fazer as alterações necessárias nessas especificações, tirá-lo do mercado e incorporar as lições aprendidas ao longo do ciclo no processo de desenvolvimento.

No que diz respeito à Indústria 4.0, segundo Banzato (2016), a Quarta Revolução Industrial leva à convergência das redes da Internet e da produção industrial, interligando a realidade com a realidade por meio de sensores e máquinas conectadas em rede que controlam as operações e se comunicam entre si. Tecnologia. A tecnologia 4.0 é implementada em conjunto com a automação para otimizar os processos produtivos, aumentar a flexibilidade da produção, por meio da adaptação de máquinas, agora conectadas à Internet, diversificar a produção conforme a demanda, reduzir mão de obra.

O processo de embalagem de produtos é aquele que naturalmente foi de certa forma automatizado, mas os processos modernos de automação tornaram-se ainda mais específico e eficiente, principalmente para as indústrias de envase, que é o elemento central da produção, definido pela necessidade da máquina (PÉREZ e GARCIA, 2014).

Este artigo mostra o processo de simulação de desenvolvimento de máquina de envase de baixo custo para uma pequena empresa de suco de laranja natural para otimizar a produção para micros produtores entrarem no mercado de bebidas naturais. Neste projeto iremos desenvolver um sistema de acionamento para uma envasadora de suco de laranja que será controlada por um sistema de sensor ultrassônico de proximidade, este é um projeto simples quando detecta a presença de um objeto (neste caso uma garrafa), aciona a bomba de suco e encha o recipiente com suco.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

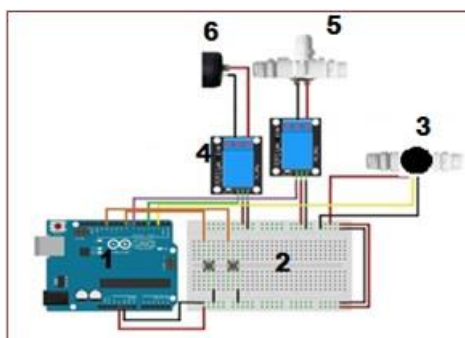
Foi utilizado o sistema de simulação *Fritzing*, é um *Software Open Source* que serve para modelar circuitos usando Arduino ou qualquer outro microcontrolador como *raspberry pi*, *beaglebone* ou até mesmo somente a protoboard e alguns componentes eletrônicos. Além de permitir fazer esse trabalho muito mais rápido do que se fazer no papel, além de permitir ter uma impressão visual bem mais fiel e bonita. O *Software*, automaticamente transforma o que você desenha nele num diagrama elétrico ou, melhor ainda, em um layout de PCB, permitindo utilizar o projeto pra fazer placas de circuito impresso. O simulador se encontra na versão 9.3, onde será utilizado para desenvolver um sistema de envasadora de líquido utilizando um micro controlador Arduino um sensor do tipo Hall de aproximação, uma placa de ensaio, jumps, reles e demais componentes.

### 2.1. ESQUEMA DE CONEXÃO

Na Figura 1 apresentamos o esquema gráfico montado através do simulador *Fritzing*, o que a partir da demanda monta o esquema de conexão com os componentes base do nosso projeto sendo o número 1 o componente *Arduino Uno* que é o

microcontrolador responsável pelo controle total do sistema. O número 2 a placa *prontobord* que é responsável pela conexão dos componentes. O número 3 representa o sensor responsável em captar a garrafa para o fluxo de líquido. O número 4 representa o relé responsável em acionar o sistema de tensão maior que a do microcontrolador. O número 5 representa a tubulação de líquido do repositória a envasadora. O número 6 bombas de líquido.

**Figura 1:** Sistema elétrico da envasadora de líquido

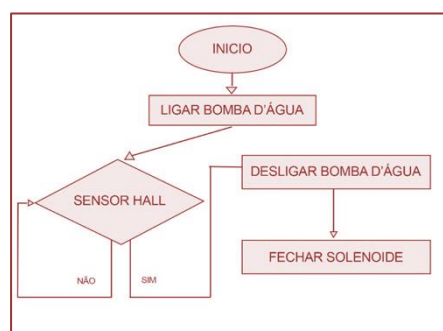


Fonte: Autores (2022).

## 2.2. FLUXO DO SISTEMA DA ENVASADORA

A Figura 2 apresenta o fluxo de funcionamento do sistema da envasadora, descreve as etapas necessárias do processo de funcionamento do sistema da envasadora de suco de laranja, onde na primeira etapa o sistema liga a bomba de forma automática, sendo ela responsável em fazer a sucção da água, após o sistema sensorial é acionado para captar o recipiente que será efetuado o enchimento do líquido até alcançar o nível desejado, assim, o sistema é desligado. Caso o sistema não detecte o recipiente ele tentará novamente até conseguir encher sem derramar na base da envasadora.

**Figura 2:** Fluxograma de funcionamento do processo



Fonte: Autores (2022).

## 2.3. CÓDIGO FONTE

O código fonte é um conjunto de palavras ou símbolos escritos de forma ordenada, que usa a linguagem de programação C, C++. Essa linguagem é responsável em fazer a interpretação do ambiente e em seguida atuar através de algum hardware, Iremos apresentar no Quadro 1 o código fonte desenvolvido para o projeto da envasadora de suco

de laranja. O código será descrito em bloco de comentários representados por, “//” , /\* \*/ , o primeiro representa a descrição em uma linha e o segundo em bloco.

### Quadro 1: Código fonte.

```

/* Início do laço de funcionamento e detecção do recipiente
entre 400 e 600 ml, onde também é executado um laço para separa
os recipientes diferentes*/
void loop ()
{
Float medida=0
if (digitalRead(bt600ml) == LOW) {
ligaMaquina = true;
medida = 0.6
}
if (digitalRead(bt400ml) == LOW) {
ligaMaquina = true;
medida = 0.4;
}

/*Nesse o bloco se o sensor detectar o recipiente ira ligar a
bomba e disparar o liquido caso não encontre o sistema ficara
desligado esperando uma detecção */
if(ligaMaquina) {
digitalWrite(releValvula,LOW);
contaPulso = 0;
sei();
delay (1000);
cli();
digitalWrite(releBomba,LOW);
vazao = contaPulso / 5.5;
medida = media + vazao;
MiliLitros = vazao / 60;
Litros = Litros + MiliLitros;
Serial.print(Litros);
Serial.println("L ");

/* Nesse bloco o sistema enviara uma mensagem que o recipiente
foi enchido com sucesso, caso a condição seja alcançada da
variável Litros ser maior ou igual a media*/
If(Litros >= medida) {
ligaMaquina = false;
Serial.println("Encheu a garrafa!");
digitalWrite(releBomba,HIGH);
delay(500);
digitalWrite(releValvula,HIGH);
Serial.print(Litros);
Serial.println("L");
media = 0;
i = 0;
Min = 00;
Litros = 0;
MiliLitros = 0;
}
}

```

Fonte: Autores (2022).

## 3. RESULTADOS

Após o desenvolvimento do protótipo, e o desenvolvimento do mesmo de forma física se faz necessário os testes eletrônicos da máquina o encaixe do sensor e a fixação no trilho guia. Com o sensor instalado, se o sensor foi capaz de detectar a presença de um objeto, ele foi testado com a ajuda de um multímetro e uma fonte de alimentação de 5V. Use o bico para testar sua sensibilidade ao fluxo de líquido e sua precisão, começando com

as informações de pulsos por litro na ficha técnica, depois faça a calibração do sensor e teste um volume de 200 ml, depois para o valor de 300 ml, 400 ml até atingir 600 ml.

### 3.1. ESTUDO ECONÔMICO

Comparado com as máquinas industriais existentes hoje no mercado, o custo dos módulos construídos é baixo se comparado ao custo de uma envasadora profissional, que pode chegar até em torno de 15.000,00 reais, enquanto o valor total da envasadora projetada é de 300,00 reais. Vale ressaltar que essa comparação é puramente financeira, pois a capacidade das máquinas industriais é muito superior à do módulo projetado.

### 3.2. PARADAS NÃO PROGRAMADAS

A empresa é constituída de 22 funcionários, sendo que 11 funcionários são responsáveis pela pequena linha de produção que executa a extração do suco de laranja, pelo armazenamento desse suco, organização das embalagens, rotulação até o enchimento das garrafas e por último a organização nas caixas e distribuição do mesmo. Os problemas de paralização da linha tiveram uma melhora significativa com o desenvolvimento da máquina envasadora de suco.

**Tabela 1:** Tempo total de parada no mês de abril.

Tipos de paradas	Tempo
Parada programada	60 horas
Externo	2 horas
Operacional	19 horas
Mecânico	1 hora

Fonte: Autores (2022).

Os valores apresentados na Tabela 1, mostram valores altos no que diz respeito às paradas programadas e paradas operacionais no mês de abril que apresentou um dos maiores valores desde do início do ano até os dias atuais. A parada operacional é grande devido a forma precária de engarrafamento do líquido, pois sempre se procurava uma melhor forma de se fazer isso, porém o movimento repetitivo dos funcionários ocasionava acidentes na linha de produção e com isso aumentava a parada operacional. A tabela 2 apresenta os valores do mês de maio já com a envasadora de líquido instalada na produção.

**Tabela 2:** Tempo total de parada no mês de maio.

Tipos de paradas	Tempo
Parada programada	20 horas
Externo	2 horas
Operacional	2 horas
Mecânico	1 hora

Fonte: Autores (2022).

É notável a melhoria no processo de engarrafamento do suco de laranja onde é demonstrado na tabela 2 a queda nas paradas programadas e por consequência uma melhoria nas paradas operacionais, graça a máquina envasadora desenvolvida em nosso projeto.

### 3.3. AUMENTO DE PRODUTIVIDADE

O sistema apresentou altos e baixos níveis de produção devido a instabilidade do processo, é possível observar que no mês de janeiro foram produzidos 5000 litros de suco. No mês fevereiro o valor se mostrou estável, porém com uma queda de 100 unidades em comparação ao mês de janeiro. O mês de março o sistema produtivo apresentou uma pequena elevação, porém no mês seguinte uma grande queda na produção, sendo considerado até o momento o pior mês do ano de 2022. O mês de maio com o desenvolvimento da máquina envasadora o sistema apresentou um aumento de 100% em sua linha de produção. Com o desenvolvimento da segunda máquina envasadora a prospecção é novamente de um aumento de 100% na produção. Conforme e mostrado no gráfico 1.

**Gráfico 1:** Valores de produção entre o mês de janeiro e junho.



Fonte: Autores (2022).

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da elaboração deste trabalho, foram adquiridos consideráveis conhecimentos sobre os assuntos relacionado, tais como automação, microcontroladores, sensores, etc. Aplicando e validando todos os conhecimentos obtidos através de todo o curso.

Identificar os principais aspectos envolvidos em todos os procedimentos padrão para projetos de envase de suco de laranja, seus desafios e vantagens, que estão além da percepção de quem compra apenas equipamentos pós produção. Os benefícios do sistema podem aparentar ser simples, no entanto, é altamente relevante para a indústria, reduzindo a mão de obra humana e, conseqüentemente, os gastos da produção.

Os arranjos físicos de posicionamento, foram os desafios a serem resolvidos, devido que cada um dos elementos deve ser posicionado no seu devido lugar para o correto funcionamento, como por exemplo, o posicionamento dos sensores e pistões, que

apenas depois de algum tempo conseguiu-se colocar eles em uma posição que satisfizesse o sistema, agindo corretamente, correspondendo ao previsto e testado no software.

Graças a esta aplicação, consegue-se apreciar o gigantesco avanço possibilitado pela automatização destes processos, conseguindo usar elementos de baixo custo e observar o desenvolvimento de um sistema de envase de suco de laranja simples, em um mercado onde os sistemas similares acabam tendo um valor muito elevado, pois poucas empresas atuam no mesmo.

## REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, C. H. A.; CALHEIROS, A. S.; SILVA JUNIOR, J. G. **Automatizado**. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 11, 2017, Maceió. Anais. Maceió: Connepi, p.1-10, 2017. Disponível em: <[http://connepi.ifal.edu.br/2016/files/anais/0\\_Anais\\_XI\\_CONNEPI\\_Pre\\_textuais\\_com\\_ISBN.pdf](http://connepi.ifal.edu.br/2016/files/anais/0_Anais_XI_CONNEPI_Pre_textuais_com_ISBN.pdf)>
- [2] BANZATO, E. **Indústria 4.0**. 2016. Disponível em: <<https://www.imam.com.br/consultoria/artigo/pdf/industria-4.0.pdf>>
- [3] BOTKE, D. P. **Automação de residências através de aplicação integrada com Arduino**. 2014. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/41726998-Automacao-de-residencias-atraves-de-aplicacao-20integrada-com-arduino.html>>
- [4] CASTRO, L. J. B. **Automação da medição e controle dos níveis de pH e cloro da água usando sistema embarcado**. 2022. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <<http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65835>>
- [5] COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M. **Introdução a Automação Agrícola: Automação nos Sistemas de Irrigação em Tempo Real**. Revista Desafios, v. 09, n. 01, p. 179-193, 2022.
- [6] GONGORA, V. L.; BRONIERA JUNIOR, P. (Org.) ; NUNES, W. R. B. M. (Org.) . **Inovação e Tecnologia Volume II. 2**. ed. LONDRINA: Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, 2016. v. 2. 345p. Disponível em: <[https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/wp-content/uploads/2020/07/EF\\_PR\\_TI\\_06-07-08-09\\_Vol2.pdf](https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/wp-content/uploads/2020/07/EF_PR_TI_06-07-08-09_Vol2.pdf)>
- [7] HURWITZ J, BLOOR, R, KAUFMAN M, HALPER F. **Cloud computing for dummies**. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.; 2010
- [8] JACOMOSSI, R. **Indústrias do Grande ABCD**. Humanidades & Inovação, v. 8, n. 50, p. 72-84, 2021. Disponível em: <<https://revista.unitins.br/index.php/humanidadesinovacao/article/view/2129>>
- [9] JUNIOR, S.L.S.; FARINELLI, F.A. **DOMÓTICA - Automação residencial e casas inteligentes com Arduino e ESP8266**. 1.ed. São Paulo: Saraiva, p.295, 2019
- [10] MARTINELLI, L. A. S. SILVA, F. G. **Introdução à Economia**. 1.ed. Paraná: IFPR, 2012. Disponível em: <<https://proedu.rnp.br/handle/123456789/733>>
- [11] MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2018. 456 p. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287597/mod\\_resource/content/2/Arduino%20Básico%20-%20Michael%20McRoberts.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287597/mod_resource/content/2/Arduino%20Básico%20-%20Michael%20McRoberts.pdf)>
- [12] MOREIRA, A. **Automação dos Processos Contábeis**. Uberlândia, Dissertação de Mestrado em Ciências Contábeis, UFU, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/34347>>
- [13] OLIVEIRA, J. R.; SASSAKI, K. K. T.; PINTO, P. S. P.; COSTA, W. B. C. **Controle de irrigação automatizado para pequenos produtores rurais com sistema de monitoramento e armazenamento de dados em tempo real e remoto**. Bauru: AGB, 2016. Disponível em: <<https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/Mobilizar2ed/pdf/Mobilizar2ed-41.pdf>>
- [14] PÉREZ, E. L.; GARCÍA, M. C. **Implementación de la metodología DMAIC- Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal**. Revista Tecnología en Marcha, v. 27, n. 3, p. 88-106, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.18845/tm.v27i3.2070>>
- [15] PESSOA, M. S. P.; SPINOLA, M. M. **Introdução à Automação para Cursos de Engenharia e Gestão**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 328, 2014.

- [16] RIBEIRO, A. S.; CARDOSO, L. R.; JESUS, F. O. **Automatização e adequação à Indústria 4.0 com investimento acessível**. Em Foco: Revista da Faculdade de Tecnologia SENAI “Roberto Mange”, v.2, n.1, p. 31-44, 2022. Disponível em: <<https://lnkd.in/dAC77xP5>>
- [17] ROZENFELD, H. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2016.
- [18] SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.
- [19] SILVA, R. P.; PINHEIRO, E. C. N. M.; MIRANDA, W. P. **Casa Inteligente: O Uso da Automação Residencial em obras de Construção Civil – Estudo de Caso**. Brazilian Journal of Development, v.8, n. 6, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-010>>

# Capítulo 23

## *Protótipo de um sistema de supervisão de temperatura no processo de fabricação de chapas de papelão ondulado*

*Welison Viana de Sousa*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** O papelão ondulado é a estrutura formada por um ou mais elementos ondulados (miolos), fixados a um ou mais elementos planos (capas), por meio de adesivo aplicado no topo das ondas. Este trabalho abordará sobre o protótipo de um sistema de supervisão da temperatura do papel durante o processo de fabricação de chapas de papelão ondulado. Os sensores são responsáveis por aferir os valores no processo e enviar para os controladores que interpretam as grandezas físicas e as traduzem em dados que são enviados através da rede de transmissão para o software supervisor para que a temperatura não ultrapasse a margem recomendada. Os sensores são representados pelo sensor de temperatura infravermelho MLX90614. A estação remota é a placa Arduino UNO, para rede de comunicação é utilizada a comunicação via bluetooth representada pelo shield Bluetooth que fará a comunicação com a estação de monitorização central que é representada por um smartphone.

**Palavras-chave:** SCADA. Supervisão de Processos. IoT. Papelão Ondulado.

## 1. INTRODUÇÃO

Em um mercado globalizado, as indústrias têm se adaptado para se manter competitivas e esforçam-se em praticar cada vez mais a qualidade e inovação em seus produtos, buscam deixar seus processos mais sofisticados e eficientes (CARVALHO *et al.*, 2020). Ao mesmo tempo, que se empenham em diminuir os custos em todos os departamentos, através da redução e eliminação das falhas e perdas, que geram custos no produto final. A melhoria contínua da gestão, buscam a excelência operacional através do treinamento dos colaboradores, adaptação ou substituição de processos fabris obsoletos, por novos que trazem os benefícios da 4ª evolução industrial e do movimento conhecido como *Internet of Things* (IoT). A IoT permite um sistema completamente supervisionado e controlado remotamente e em tempo real (SANTOS & CARVALHO, 2021 e ADADA JUNIOR, 2020).

Os primeiros métodos e sistemas de supervisão digital de processos foram desenvolvidos para auxiliar na operação de painéis de controle de sistemas de geração e transmissão de energia elétrica, que posteriormente, outras funcionalidades continuam sendo incorporadas a esses sistemas. Atualmente, o mercado de manufatura tem investido significativamente em maquinários mais sofisticados e altamente tecnológicos, capazes de monitorar parâmetros de processos que interferem em aspectos importantes como segurança, qualidade e produtividade (ZIRONDI & OKADA, 2021).

O *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) monitora grandezas dentro de um processo produtivo, tratam as informações do processo de produção através de um conjunto de *hardwares* (sensores, controladores, etc.) e software (programa computacional). Os sensores são responsáveis por aferir os valores no processo e enviar para os controladores que interpretam as grandezas físicas e as traduzem em dados que são enviados através da rede de transmissão para o software supervisorio que os interpreta apresentando-os de maneira simples, acessível, e em geral, de forma gráfica. Contudo, esta é apenas a função primária de um sistema supervisorio, a funcionalidade dos sistemas SCADA vão desde armazenar e disponibilizar para consulta dos dados, como podem atuar para configurar parâmetros do processo produtivo, ou auxiliar no desenvolvimento de análises complexas (PAIOLA, 2012).

Apesar de eficientes, os sistemas supervisorios são muito específicos e atendem apenas aos processos para aos quais foram projetados. Diante disto, é cada vez mais comum a disponibilidade de programas computacionais capazes de simular os processos, sistemas e circuitos que auxiliam na elaboração de esboços, projetos e protótipos. Esses programas são capazes de reproduzir condições similares à realidade, tornando-os assim, grandes aliados de engenheiros e projetistas (FERNANDES, 2021).

Dentre os vários simuladores disponíveis no mercado, o *Tinkercad* é um aplicativo *web* de simulação gratuito e de fácil utilização desenvolvido pela *Autodesk* que visa dar suporte à projetistas e engenheiro no desenvolvimento de habilidades relacionadas a desenvolvimento 3D, eletrônica e codificação. Apesar de ser uma plataforma desenvolvida para ensino, ela possui ferramentas que possibilitam a construção profissional de grandes projetos (TINKERCAD, 2022; FERNANDES, 2021).

Para a construção do hardware de um sistema supervisorio, além de um projeto do processo adequado, são necessários vários dispositivos de apoio. No passado, estes dispositivos tendiam a valores exorbitantes, contudo, com o desenvolvimento tecnológico acelerado associado à fabricação de produtos em massa, ocorreu o barateamento e popularização dessas tecnologias. Aparelhos essenciais para a construção de sistemas

supervisórios como controladores lógicos programáveis, sensores, atuadores e processadores eficientes que em geral são bastante caros, ganharam versões alternativas acessíveis (MARIZ, 2018). Uma alternativa é o Arduino,

O Arduino é um controlador utilizado para prototipagem, mas que possui um potencial de aplicação em diferentes áreas como automação e instrumentação. O Arduino é uma plataforma composta por *hardware* e *software* desenvolvido na Itália, em 2005, adaptável e auxiliar na prototipagem de projetos nas mais diferentes aplicações (STEVAN JUNIOR; SILVA, 2015). Atualmente, milhares de empresas já utilizam a Arduino como plataforma de inovação para seus processos. Um exemplo disso é o *FluidEye*, dispositivo desenvolvido pela *Fluid Intelligence* capaz de obter em tempo real, informações da temperatura e qualidade do óleo dentro dos reservatórios, além de realizar uma análise microscópica das partículas que geram impurezas ao óleo (ARDUINO, 2022).

Como mostrado por Ferreira e Silva (2021), a utilização da plataforma Arduino na construção de um sistema supervisório é muito eficiente uma vez que a plataforma de desenvolvimento do software é *open-source* e já existem diversas bibliotecas disponíveis. Além de que os dispositivos, sensores e atuadores que são compatíveis com a plataforma, em geral, são baratos e de fácil aplicação. Por outro lado, Muynarsk et al. (2014), utiliza plataforma para a leitura dos parâmetros supervisionados integrado ao software de supervisão ELIPSE SCADA para monitorar a corrente elétrica de motores em tempo real.

Para uma fábrica de papelão ondulado é fundamental a supervisão e o controle de parâmetros como pressão e temperatura que são medidos através de manômetros e termômetros. Uma chapa de papelão de face simples, que é formada por uma capa inferior, um miolo e uma capa superior tem sua fixação feita através da aplicação de cola entre as partes logo após o papel ser corrugado e formar o miolo. Para que não haja descolamento destas partes, é essencial que, além da aplicação adequada de cola, seja realizada a aplicação prévia de vapor no papel para que o mesmo fique umedecido e aquecido, e que após a aplicação da cola, seja aplicado sobre a chapa uma pressão adequada e constante para que ela fique sem desvios e bem unida (MAHAKALKAR et al, 2019; HELPPOLAINEN, 2018).

As máquinas que fabricam o papelão ondulado são conhecidas como ondulateiras. Estas máquinas são compostas por diversas partes que possuem funções específicas no processo de fabricação das chapas de papelão. A unidade conhecida como triplex, por exemplo, é a responsável por colocar cola na ponta de cada onda do miolo e depois grudá-lo nas capas internas e externas. Por toda a sua extensão, a ondulateira possui instrumentos que medem a temperatura durante o processo, porém, apesar das ondulateiras atuais já possuírem sistemas de supervisão mais tecnológicos, as mais antigas, detêm de instrumentos de supervisão analógicos que não possuem a capacidade de transmissão da informação para a sala de controle, ou seja, para que um operador de máquina possa verificar a temperatura da chapa no triplex, por exemplo, é preciso que ele se desloque para verificar os termômetros da área (HELPPOLAINEN, 2018 e ADADA JUNIOR., 2020).

Entendendo a importância da modernização constante dos sistemas de supervisão de temperatura no processo de fabricação de papelão ondulado e observando a eficiência da aplicação da plataforma Arduino. Este trabalho mostrará o desenvolvimento do protótipo de um sistema de supervisão em tempo controlado por microcontrolador Arduino e um *smartfone* da temperatura real do papel, durante o processo de fabricação de papelão ondulado. Para tanto, primeiramente será desenvolvido um esquema

apresentando os componentes e o princípio de funcionamento do sistema de supervisão. Por conseguinte, será elaborado o sistema (*hardware* e *software*) em um programa computacional de simulação. Por fim, será construído o protótipo e verificado sua funcionalidade através de testes.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

O protótipo do sistema SCADA foi desenvolvido para realizar a supervisão da temperatura da capa superior, inferior e do miolo do papelão durante o processo de colagem e produção de papelão ondulado. A construção e testes do protótipo ocorreram durante o período de março a junho de 2022, e ser utilizado na unidade GU e Triplex de uma máquina ondulateira. Para isso, na seções abaixo serão apresentados s materiais e métodos utilizados para a confecção do protótipo.

### 2.1. MATERIAL

Os materiais utilizados para a montagem do protótipo do sistema de supervisão de temperatura foram escolhidos e adquiridos por meio da internet. Primeiramente, foi realizada a compra do sensor responsável pela captação dos dados.

O sensor escolhido foi o sensor de temperatura infravermelho MLX90614. Este sensor é capaz de realizar a leitura da temperatura de superfícies sem tocá-las ao captar a radiação eletromagnética no espectro infravermelho que chega até ele. Junto ao sensor de temperatura, foi realizada a compra do módulo *bluetooth* HC-05. Este módulo realiza a transmissão e recepção de dados através de comunicação serial *half-duplex*, ou seja, emite e recebe dados de maneira não simultânea.

Por conseguinte, foi usada igualmente uma placa Arduino UNO R3. Esta placa utiliza o microcontrolador ATmega 328, 20 portas divididas entre digitais e analógicas e funciona por meio de comandos na linguagem de programação própria da plataforma, mas que se baseia na linguagem C++. Por fim, o *smartphone* utilizado como interface do sistema desenvolvido foi o *Samsung A01*, porém poderia ter sido qualquer outro que possuísse o sistema operacional *Android*.

Os materiais utilizados na construção do protótipo foram apresentados no Quadro 1. Estes materiais foram separados de acordo com os tipos de componentes dentro de um sistema SCADA. Além disso, o quadro apresenta as funções dos materiais e o preço pelo qual eles foram obtidos.

**Quadro 1:** Materiais utilizados no protótipo

ITEM	TIPO	MATERIAL	FUNÇÃO	PREÇO
1	Atuador/ Sensor	Sensor de Temperatura IR MLX90614	-Aquisição do valor da temperatura do processo.	R\$128,90
2	Estação remota	Placa Arduino R3	-Controle do processo de aquisição de dados. -Recepção e tratamento dos dados do sensor.	R\$128,90
3	Rede de Comunicação	Módulo Bluetooth RS232 HC-05	-Comunicação entre estação remota e estação de monitorização central.	R\$48,90
4	Estação de monitorização central	Smartphone Samsung A01	Tratamento de dados; Interface de apresentação dos dados.	R\$779,00

Fonte: Autores (2022).

## 2.2. MÉTODOS

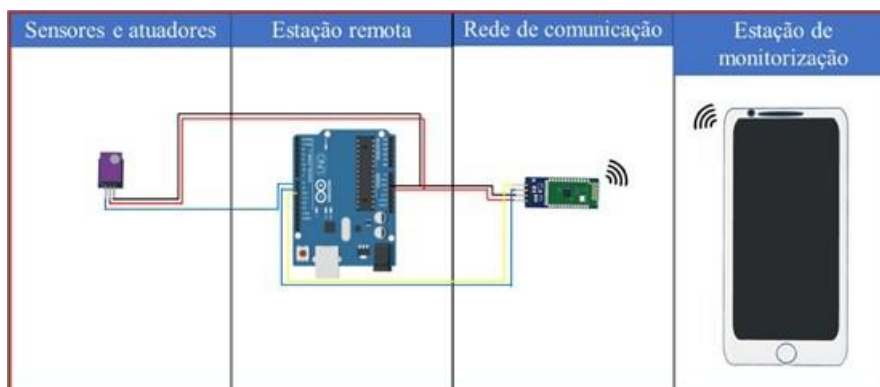
Os métodos e procedimentos utilizados na elaboração do protótipo podem ser resumidos através do diagrama apresentado na Figura 1. O diagrama mostra uma representação do sistema adaptado ao projeto, onde os sensores e atuadores são representados pelo sensor de temperatura infravermelho MLX90614. A estação remota é a placa Arduino UNO, para rede de comunicação é utilizada a comunicação via *bluetooth* representada pelo *shield Bluetooth* que fará a comunicação com a estação de monitorização central que é representada por um *smartphone*.

Para a construção do sistema foi elaborado o desenho do protótipo com o auxílio da plataforma *tinkercad* que mostra de que forma os dispositivos ficarão dispostos (Figura 1). Posteriormente, foi traçado o circuito elétrico responsável pela aquisição dos dados através da plataforma. Foram realizados testes no simulador e as respostas do circuito durante a simulação foram gravadas para serem comparadas com o sistema físico.

Em seguida, foi desenvolvido um algoritmo para controlar os sensores e realizar a comunicação entre o Arduino e a plataforma *mobile*. Assim, foi desenvolvido um APP para receber as informações dos sensores *shield bluetooth*, e assim, mostrar as informações na tela do celular. Para o desenvolvimento do APP, foi utilizado o *Kodular*, que consiste de um aplicativo *web* que permite desenvolver APP's para plataforma *Android* com linguagem em blocos.

Para representar o sistema físico de maneira simplificada, foi desenvolvido uma esteira onde a lona representou o papel que é desenrolado da bobina e aquecido para ser processado e formar a chapa de papelão ondulado. Para simular o aquecimento realizado com vapor no papel, foi utilizado um aquecedor de cabelo que aqueceu a lona um ponto anterior ao ponto de leitura do sensor.

Após a construção do sistema físico, foram realizados três testes: o primeiro consistiu em verificar a resposta do sensor no ambiente de desenvolvimento do *Arduino*. Logo após, foram comparadas as respostas do circuito físico ao simulado. O segundo consistiu em verificar a eficiência do algoritmo em realizar a comunicação do sistema com o *smartphone*. Por fim, foi realizado o teste de funcionamento do sistema completo.

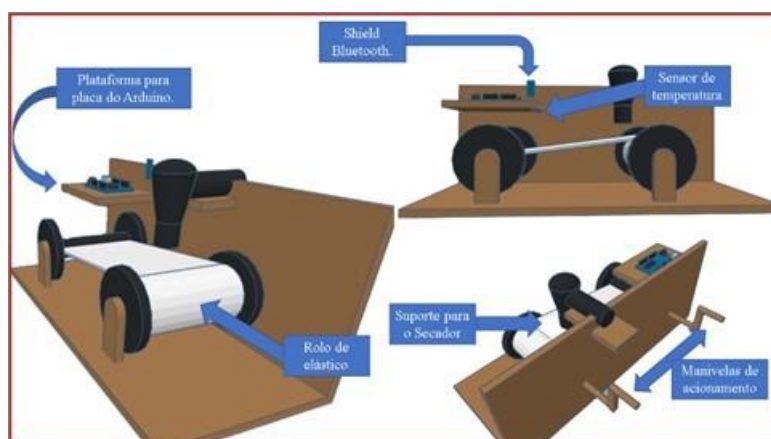
**Figura 1:** Representação do sistema SCADA aplicado ao projeto.

Fonte: Autores (2022).

### 3. RESULTADOS

Nessa seção serão mostrados os principais resultados obtidos durante a montagem e testes do protótipo. A Figura 2 mostra o sistema desenvolvido para simular as condições de uma parte do processo de fabricação de papel ondulado. Através da representação gráfica apresentada na Figura 2 foi possível verificar as medidas de cada elemento do sistema e de que forma a plataforma desenvolvida para abrigar o sistema ficaria organizado. Foi construído uma plataforma suspensa para o *Arduíno* e os componentes que o energiza, e na mesma foi fixado o sensor de temperatura Infravermelho IR MLX90615 e verticalmente o *Shield bluetooth*.

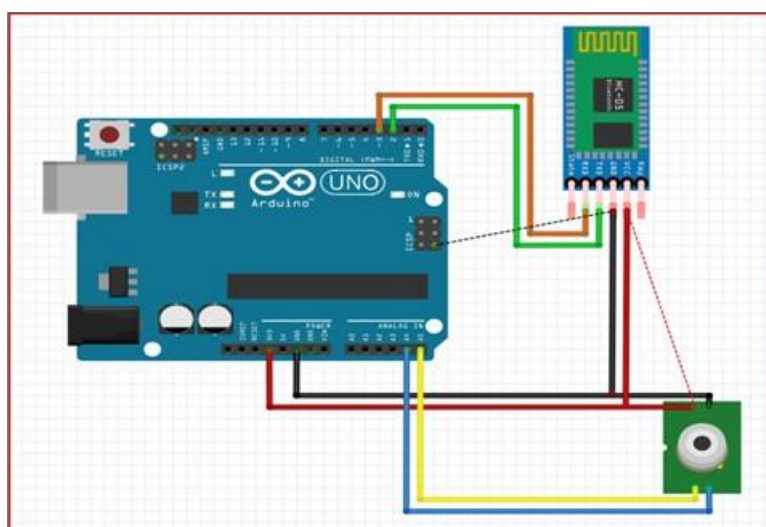
Além disso, foram colocados dois apoios nas laterais da plataforma a fim de dar suporte ao secador de cabelo, usado para gerar a variação de temperatura do sistema. As manivelas na parte posterior da plataforma foram usadas para girar os rolos, visto que o sistema de acionamento dos rolos não é o foco do projeto, por isso não foi automatizado.

**Figura 2:** Representação do sistema em 3D.

Fonte: Autores (2022).

A Figura 3 mostra o esquema elétrico do sistema desenvolvido. Como pode ser observado, para realizar a conexão do microcontrolador Arduino ao módulo *Shield Bluetooth* foi utilizada a porta GND para realizar o aterramento e a porta de 3,3V usada para a alimentação do mesmo. Já a transmissão e recepção de dados, foram utilizadas as portas digitais D2 e D3 do microcontrolador. Por outro lado, para realizar a conexão entre o sensor de temperatura e o microcontrolador, foram utilizadas as mesmas portas de aterramento e alimentação, porém, para realizar a transmissão de dados do sensor foram utilizadas as portas analógicas A4 e A5 pois elas são as portas SDA e SCL da placa para a transferência de dados e para o controle do *clock*, respectivamente.

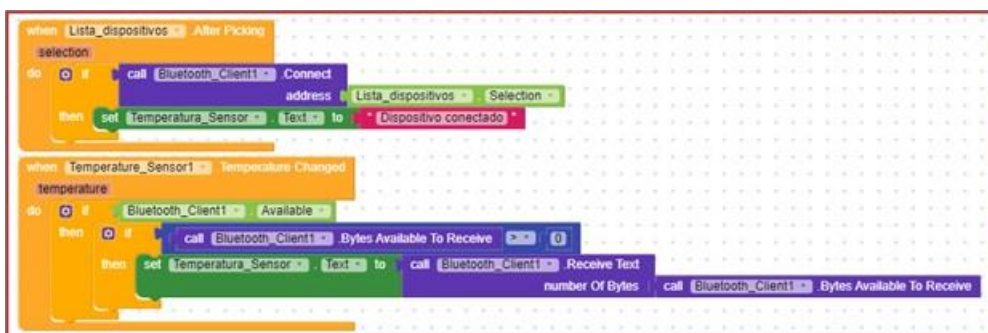
**Figura 3:** Esquema elétrico do sistema de supervisão.



Fonte: Autores (2022).

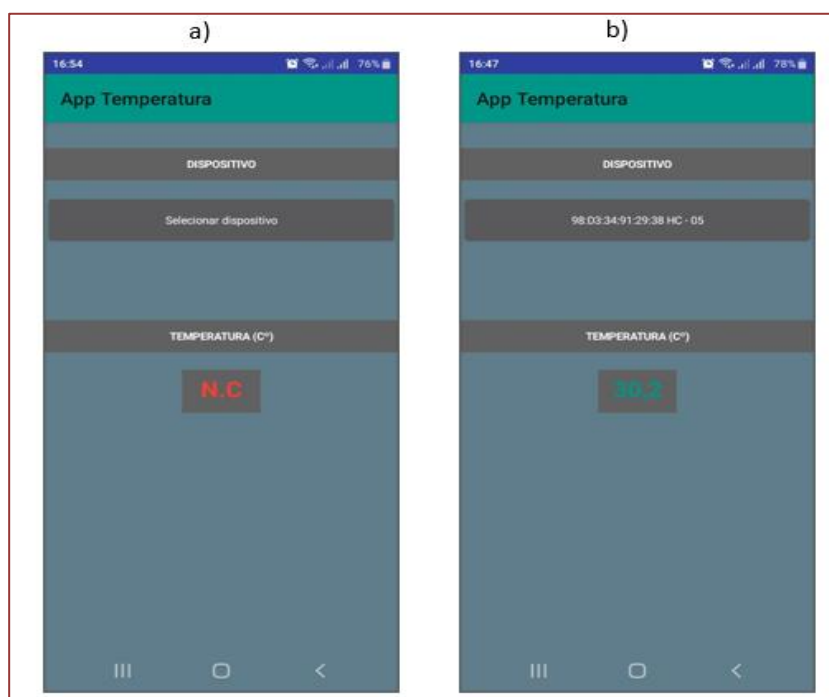
Desenvolvido o circuito elétrico, foi contruído o algoritmo responsável por controlar os sistemas de aquisição e transferência de dados (Figura 4). Na aquisição dos valores de variação de temperatura, foi utilizada a biblioteca *SparkFunMLX90614.h*, que permitiu adquirir as temperaturas do sistema rapidamente, visto que não foi necessário configurar cada pino utilizado do Arduino, pois a biblioteca já possuía esta função.

Além disso, com apenas o comando *printTemp* ('C') foi possível visualizar a temperatura em graus Celsius no monitor serial. Para a transferência de dados utilizou-se a biblioteca *SoftwareSerial.h*. Esta biblioteca foi responsável por possibilitar a conexão entre o Arduino e o celular através do shield bluetooth. Para adquirir os dados, foi desenvolvido o aplicativo utilizando o *Kodular*. Observando a Figura 4 é possível verificar a configuração realizada para o celular funcionar como "cliente", recebendo os dados enviados em *bits* pelo Arduino e convertido em texto para ser exposto ao usuário.

**Figura 4:** Algoritmo de recepção de dados feito em linguagem em blocos no *Kodular*.

Fonte: Autores (2022).

A interface do sistema foi desenvolvida para realizar a conexão entre o celular e o *Arduino* e para mostrar o valor da temperatura na tela. Após realizar a conexão entre os dispositivos, é apresentado o primeiro valor disponibilizado pelo *Arduino* e, a partir daí, o valor é atualizado de 30 em 30 segundos. Como se observa na Figura 5a, a interface é simples e mostra apenas o botão que mostra a lista de dispositivos disponíveis para pareamento junto ao endereço do dispositivo e um bloco que mostra o valor da temperatura. Sempre que o aplicativo for iniciado e os dispositivos não estiverem conectados, será mostrada a notificação “N.C” no bloco onde deveria ser visualizada o valor da temperatura. Na Figura 5b, é possível observar o dispositivo conectado mostrando o último valor da temperatura lido pelo sensor.

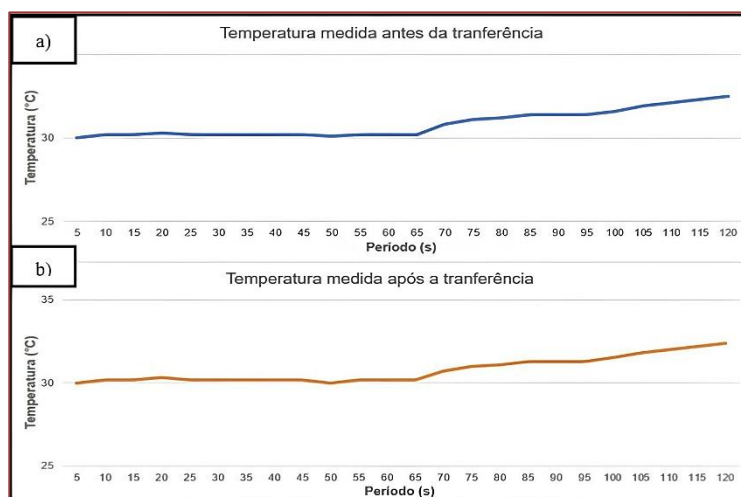
**Figura 5:** (a) Interface com dispositivos não conectados (b) Interface com dispositivos conectados.

Fonte: Autores (2022).

Por fim, para verificar a efetividade do sistema em coletar os dados e apresentá-los, foi realizado um teste que consistiu em comparar as respostas do sistema antes e depois de enviar os dados para o celular. Foram coletados os dados do sistema durante 2 minutos, no qual, no primeiro minuto, o secador de cabelo não foi ligado, mantendo a temperatura constante (Figuras 6a e 6b). A partir do segundo minuto o secador foi ligado para que houvesse a variação da temperatura.

O período de amostragem foi de 5s, o que resultou em 24 amostragens. Na Figura 6a podemos observar as respostas do sistema antes de serem enviadas para o celular. Pode-se observar que o sensor foi capaz de detectar uma variação da temperatura logo após o acionamento do secador ter sido ligado, contudo, observou-se uma variação menor, em torno de  $0,1^{\circ}\text{C}$  entre os valores. Isto pode ter ocorrido pela transferência de dados realizada entre as diferentes plataformas.

**Figura 6:** Comparação da temperatura medida; a) antes da transferência; b) após a transferência.



Fonte: Autores (2022).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo desenvolvido mostra que a plataforma Arduino é muito eficiente e flexível para a construção de sistemas de supervisão. A plataforma apresenta uma grande variedade de sensores e atuadores o que possibilita a supervisão das mais diversas grandezas. Entende-se também que o sensor de temperatura infravermelho MLX90614 é muito eficiente para a leitura de superfícies e pode ser plenamente aplicado no processo de fabricação de papelão ondulado. O sensor possui um consumo de energia baixo e pequenas dimensões, o que possibilita a leitura da temperatura em locais de difícil acesso em uma ondulateira.

De outra perspectiva, observou-se que a aplicação do módulo bluetooth HC-05 ao protótipo foi eficaz, porém não apresentaria bom rendimento em uma aplicação fabril. O módulo apresenta um alcance máximo de 10m, o que dificulta sua utilização visto que sistemas de supervisão possuem grandes distâncias entre as estações remotas e de monitorização.

Por fim, a utilização da plataforma *Kodular* para a criação do aplicativo que atuou como a interface de visualização de dados foi eficaz, porém, apresentou pouca versatilidade no desenvolvimento visual do aplicativo. Atualmente, existem plataformas como a *Blynk* ou a *Adafruit* que permitem realizar interfaces virtuais complexas de maneira mais simples e gráficas.

## REFERÊNCIAS

- [1] ADADA, G. A. Aumento de disponibilidade de máquina onduladeira com manutenção preditiva através de sensores inteligentes, computação em nuvem e conceitos da indústria 4.0. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização (Indústria 4.0) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25947>>
- [2] CARVALHO, G. G.; TIOSSO, F.; REIS, H. M. INDÚSTRIA 4.0: adoção de tecnologias como fator de competitividade. *Revista Interface Tecnológica*, v. 17, n. 2, p. 256-268, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.31510/infa.v17i2.980>>
- [3] Digitalizing the currently dominant oil analysis process; transforming the industry from decades old process. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/pro/case-studies/fluid-intelligence>>. Acesso em: 15/04/2022 às 15:35
- [4] FERNANDES, J. C. Uso de Simulador Virtual *Tinkercad* para ensino de robótica e automação. Simpósio de Pesquisa e Práticas Pedagógicas do UGB/FERP, n. 9, fev. 2021. ISSN 2317-5974. Disponível em: <<http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/simposio/article/view/2275>>.
- [5] FERREIRA, A. F.; SILVA, W. S. Automação de baixo custo, um estudo de caso: inversor de frequência controlado por supervisor e arduino. *Revista Eletrônica TECCEN*, v. 14, n. 2, p. 28-35, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.21727/teccen.v14i2.3076>>
- [6] HELPPOLAINEN, N. Modelling and Controlling Board Moisture and Temperature in a Corrugator. Dissertação de Mestrado. Tampere University of technology, 2018. Disponível em: <<https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/26078>>
- [7] MAHAKALKAR, S. G.; SAMBARE, R.; SUNHERIYA, N. Effect of Environmental Conditions on Performance of Corrugated Sheet Boxes Manufacturing Process. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)* ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-2S7, July 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.10.058>>
- [8] MARIZ, F. Tecnologia inclusiva? *GV-EXECUTIVO*, v. 17, n. 6, p. 24-27, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.12660/gvexec.v17n6.2018.77790>>
- [9] MUYNARSK, O. G.; GARCIA, M. V. R. Sistema de Monitoramento e Controle de Máquinas Elétricas, Utilizando Microcontrolador Arduino e Supervisor Elipse Scada Para Diminuição de Parada não Programadas para a Manutenção. *Caleidoscópio*, v. 6, n. 1, p. 98-107, 2014.
- [10] PAIOLA, C. E. O papel do supervisor no atual contexto tecnológico, 2012. Disponível em: <<https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/view/191/220>>
- [11] SANTOS, M. M.; CARVALHO, D. P. Sistemas e Métodos de Gerenciamento na busca incessante pela melhoria contínua e excelência Operacional. *Revista Científica*, v. 1, n. 1, 2021. Disponível em: <<https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/586>>
- [12] SILVA, A. P. G.; SALVADOR, M. O que são sistemas supervisórios? São Paulo, 2005. Disponível em: <[http://www.wectrus.com.br/artigos/sist\\_superv.pdf](http://www.wectrus.com.br/artigos/sist_superv.pdf)>
- [13] STEVAN, S. L.; SILVA, R. A. Automação e instrumentação industrial com Arduino: Teoria e Projetos. Érica, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/311457374\\_Automacao\\_e\\_Instrumentacao\\_Industrial\\_Co\\_m\\_Arduino\\_-\\_Teoria\\_e\\_Projetos](https://www.researchgate.net/publication/311457374_Automacao_e_Instrumentacao_Industrial_Co_m_Arduino_-_Teoria_e_Projetos)>
- [14] Tinkercad | Crie projetos digitais 3D com CAD on-line | Tinkercad .Disponível em: <<https://www.tinkercad.com/>>. Acesso em 15/04/2022 às 17:45.
- [15] ZIRONDI, J. M.; OKADA, R. H. MANUFATURA AVANÇADA: a indústria 4.0 e seus desafios e oportunidades. *Revista Interface Tecnológica*, v. 18, n. 1, p. 593-605, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.31510/infa.v18i1.1149>>

# Capítulo 24

## *Utilização de braços robóticos para automação de testes em aplicativos móveis*

*Wendell Pinheiro Abreu Marques*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo de teste de aplicativos móveis, utilizando um braço robótico, linguagem Python e Raspberry Pi. O modelo realiza os testes de aplicativos móveis com o auxílio de um braço robótico, usando um dispositivo móvel, obtendo como resultado a validação dos requisitos a serem testados. Tal estudo fez a mensuração de tempo e quantidade de testes falhos durante as execuções dos testes, resultados esses que foram possíveis através da coleta de dados pelo estudo comparativo entre os testes manuais e testes utilizando o auxílio de braço robótico. Podemos mencionar que o principal resultado obtido foi a viabilidade do uso de braços robóticos na automação de testes em aplicativos móveis que anteriormente eram realizadas apenas de maneira manual. Com a análise dos resultados foi possível constatar que o uso de braços robóticos em testes de aplicativos móveis é possível e eficaz levando em consideração os testes manuais executados e utilizados neste estudo.

**Palavras-chave:** Dispositivos Móveis; Aplicativos Móveis; Automação; Robótica;

## 1. INTRODUÇÃO

Até o ano de 2026, estimava-se que existiriam cerca de 7,7 bilhões de aparelhos celulares ativos em todo o mundo, em torno de 28% a mais do estimado no fim de 2019, que eram de 6 bilhões (EMR, 2020). Tendo em vista o aumento do uso de *smartphones* em esfera global, cresceram igualmente o desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis. Além disso, a cada dia os *smartphones* apresentam novas funcionalidades e inovações no *hardware* como a inserção de vários tipos de sensores, como biométricos, GPS, magnetômetro, sensor infravermelho, acelerômetro, entre o uso de vários sensores ativados por gestos (COUTINHO, 2014).

O mercado dos dispositivos móveis acaba impondo novos desafios, principalmente, em relação às diversas fases do desenvolvimento de aplicações, e como estas serão testadas, uma vez que há uma pressão contínua do mercado para *releases* frequentes, fragmentação da plataforma, e evolução rápida das APIs (Interface de Programação de Aplicações, do inglês *Application Programming Interface*). Existe claramente, a necessidade de introduzir metodologias que suportem as ferramentas automáticas, de modo a suportar a grande demanda. No entanto, estudos recentes mostram que a maior parte das atividades de teste ainda é feita manualmente, devido à necessidade de uma interação com a interface gráfica do dispositivo móvel (BORTOLUCCI, 2015). Uma das alternativas de interação é através do uso de braços robóticos.

Os braços robóticos possuem diversas aplicabilidades na indústria e com as evoluções tecnológicas ocorridas nos últimos foi possível aplicar suas ações e assim, obter movimentos mais precisos e aumentar o universo de aplicações possíveis, alcançando tarefas que antes somente um ser humano seria capaz de executá-las (Azim, 2013). Porém os trabalhos repetitivos se tornam desgastantes e possuem uma tendência muito maior de ocasionar erros. Com a utilização dos braços robóticos, foi possível aumentar a produtividade e reduzir os defeitos antes ocasionados por falhas humanas em muitas empresas, principalmente a automobilística (TORRE, et al., 2019).

O uso da automação de braços robóticos em de testes de softwares tem sido explorado por empresas do setor, pois melhora o desempenho das atividades de testes, deixando-a mais autônoma e mais ágil na busca de possíveis falhas que não podem ser detectadas pela mão de obra humana. Por diversos motivos, e um deles é que determinadas atividades por serem tediosas e repetitivas, se torna mais propensa a erros e podem deixar escapar algumas falhas que impactem na experiência do uso das aplicações móveis pelo usuário (SILVA, 2018).

Segundo Olsen, et al., (2019) podemos definir qualidade de software como uma gestão de qualidade efetiva aplicada de modo a criar um produto útil que forneça valor mensurável para aqueles que o produzem e para aqueles que o utilizam. O processo de teste de software inclui diversas atividades das quais podemos mencionar: a execução dos testes – sendo esta apenas uma etapa. Tal processo inclui o planejamento de testes, análise e implementação, monitoramento dos resultados e avaliação da qualidade dos testes (OLSEN et al., 2019). Ao longo do desenvolvimento e manutenção de um software o produto pode passar por diversos testes em níveis diferentes tais como, testes unitários, testes de integração, testes de sistema e testes de aceitação. Onde cada um desses níveis são responsáveis por testar diferentes funcionalidades e camadas do sistema (RODRIGUES, 2015).

Contudo, os tipos de testes podem ser separados em, testes de caixa branca e os testes de caixa preta. Nos Testes de caixa branca, o testador necessita conhecer a estrutura

interna do programa para que sejam realizadas as validações dos testes já realizados, ou seja, é necessária a interação com o código para realização dos testes. De modo contrário, podemos mencionar que nos Testes caixa preta, onde o testador não necessita ter conhecimento ou alguma interação com o código (FRISTER, et al., 2020).

Em Desenvolvimento de software, o teste é definido como uma abordagem sistemática para examinar um programa para ganhar confiança em sua implementação correta de todos os requisitos e sua reação a erros. Um erro é definido como a falha de uma função ou ação em realizar sistematicamente. Depois, os resultados precisam ser avaliados e documentados para dar resultados práticos, para avaliar a qualidade do objeto prático (OLSEN, 2018). Existem estruturas como que apoiam a execução automática de testes, no entanto, utilizando o código como parte dos testes de maneira intrusiva, ou seja, testes de caixa branca, assumindo muitas das vezes que a ferramenta de teste terá permissão de desenvolvedor ou para depuração via ADB (do inglês *Android Debug Bridge*), o que nem sempre acontece, necessitando a inclusão humana para isso, criando um gargalo no processo (MAO et al., 2017).

A pirâmide de testes (FOWLER, 2018) é muito útil para exemplificar a classificação de testes de aplicativos móveis. À medida que se chega ao topo da pirâmide, maiores são os custos, o esforço e as dependências dos testes. No topo da pirâmide, que consiste em UI testes (porque dependem de todas as integrações abaixo dela), e não podem ser realizados sozinhos, necessitando de intervenção humana.




Com o uso de braços robóticos, fazer o teste nesse nível de abstração, além de emular mais de perto a experiência com usuários reais, criando mais casos de testes realistas, a abordagem ocorrerá sem uso intrusivo de código, podendo realizar uma abordagem que permite testes de caixa preta independente do modelo ou dispositivo (REVERSAT, 2016) sem necessidade do código fonte. Esse requisito facilita o teste de aplicativos que não foram escritos pelo testador ou que não estão em sua propriedade.

Este documento mostrará a aplicação do uso de braços robóticos através de um estudo investigativo sobre a influência nos testes de *software*, sua classificação e medidas adotadas, especialmente no sistema operacional Android, considerado o sistema mobile mais usado do mundo (CURRY, 2021). Além disso, será proposto um modelo de testes automáticos de aplicativos móveis, utilizando braços robóticos na automação de testes manuais e repetitivos, através da criação de estratégia de testes, selecionando as técnicas adotadas para geração e priorização dos casos de teste, ao fazer o uso do braço robótico.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os principais materiais e métodos usados no desenvolvimento desse artigo. O trabalho foi desenvolvido por meio da utilização de uma placa de desenvolvimento *Raspberry Pi 3*, servo motor da Micro Servo DS-S006, linguagem *Python* (compilador na versão 3.10), alguns frameworks da linguagem *Python* como *PySide2Kiev* para a construção da interface gráfica e *Robot Framework* para a geração de logs e relatórios baseados em XML.

**Quadro 1:** Lista dos principais materiais utilizados no desenvolvimento da aplicação.

Material	Descrição
	<b>Raspberry Pi 3</b> : Placa Broadcom BCM2837B0, com CPU Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit de 1,4 GHz; 1 GB de memória LPDDR2 SDRAM; 1 porta HDMI 1 entrada para cartão Micro SD (para SO e armazenamento); Conector de energia 5V/2.5A DC.
	<b>Servo Motor:</b> Micro Servo DS-S006 possui modulação digital e angulação de operação com variação entre 90º +- 10º
	Braço Robótico: Braço robótico articulado fabricado em material plástico capaz de erguer carga de até 80g.
Aparelho Celular	Celular com sistema operacional Android S.

Fonte: Robocore<sup>1</sup>, adaptado pelos Autores (2022).

## 2.1. SOFTWARES E LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Os testes com o braço robótico foram executados no sistema operacional *Raspbian*, que se trata de um sistema operacional de código aberto (*free*), desenvolvido para o núcleo *Linux*, além disso, devido a seu código *free*, o *Raspbian* permite seu uso sem necessidade de licença.

No desenvolvimento foi usada a Linguagem *Python*, linguagem essa que é de alto nível, possui tipagem dinâmica forte, interpretada e interativa (Borges, 2014). Esta linguagem foi utilizada devido a sua fácil implementação e integração com o Raspberry Pi, para o funcionamento dos servos motores.

A fim de criar um modelo de testes automatizados utilizando um braço robótico, foram realizados alguns procedimentos que são identificados no Fluxograma 1, onde a entrada será por meio de um teclado e a saída através de um display e/ou monitor e por fim será criada uma interface gráfica de resposta ao usuário utilizado o framework *Python Kivy* onde será possível selecionar o teste e obter o resultado do(s) teste(s) selecionado(s).

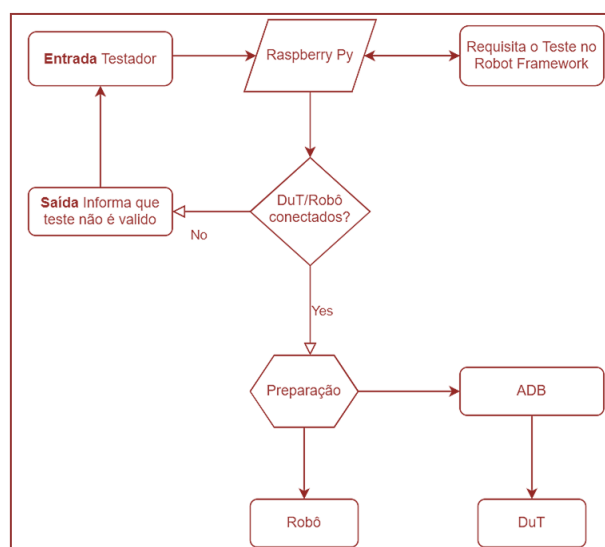
Primeiramente, como pode ser observado no Fluxograma 1, o testador irá realizar o input do teste onde poderá selecionar um dos testes ou mais testes disponíveis, o código irá receber este input e fará a verificação e se for válido, será feita a verificação de conexão do celular com o *Raspberry* e caso não esteja retornará ao testador uma mensagem de erro acerca da conexão. Caso a conexão do celular seja valida será enviado um comando ADB com a *activity* (atividade) do aplicativo ou aplicação que será testada, nesse momento a tela do aplicativo é aberta e o braço robótico receberá a confirmação que é o momento de

<sup>1</sup> <https://www.robocore.net/robotica-robocore/braco-robotico-roboarm>

iniciar o teste. A confirmação que a comunicação foi aberta será feita por meio da leitura de um *dump* realizado no momento em que for finalizado a execução da abertura da *activity*, que é um ponto de interação do app com o usuário.

O braço robótico fará o movimento para clicar na tela, a cada movimento realizado será feita a leitura de um arquivo XML e a validação será executada utilizando o framework em Python que se chama Robot Framework onde também será gerado um relatório com o tempo e o status de execução dos testes.

**Fluxograma 1:** Fluxo de processo de automação de testes



Fonte: Próprio autor 2022.

Na Figura 4 é possível observar a parte do código que mostra a função que é responsável por gerar um XML a partir do DuT especificado através do seu ID (Número de Série).

**Figura 4:** Código Python – Retorna o XML do device especificado.

```

1 def retornaXML(self):
2     result = subprocess.run(['adb', '-s', self.idDevice,
3     'shell',                                     'uiautomator',
4     'dump'],                                     stdout=subprocess.PIPE).s
tdout.decode('utf-8')

```

Fonte: Autores (2022).

Por outro lado, na Figura 5 são apresentadas as principais bibliotecas chamadas pelo código para busca de elementos dentro de um arquivo XML.

**Figura 5: Código Python – Bibliotecas usadas**

```

1 import subprocess
2 import time, re
3 import os
4 from lxml import etree
5 from subprocess import check_output

```

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 6 mostra igualmente uma parte do código importante, porém nesta mostra a função recebe um elemento de texto, e por ele realiza uma busca dentro do arquivo XML. Essa busca necessita ser feita para que haja uma comparativo do que está sendo mostrado, com o resultado esperado. Desta forma, temos a condição necessária para que uma validação seja feita do que é proposto de forma individual nos testes onde ela pode ser utilizada.

**Figura 6. Código Python – Função busca um texto no XML**

```

143 def retorna_elemento_Text(self, text: object) -> object:
144     self.getXMLDump()
145     item=self.tree.xpath("//node[@text='{TEXT}']").format(TEXT=text) [0]
146     return item

```

Fonte: Autores (2022).

Finalmente, na Figura 7 abaixo é possível observar as várias formas de rastrear um elemento na tela que podem ser pelos *locators: text, resource-id, classe, package, content-desc*, além disso, são verificadas algumas características do elemento, tais como se ele pode ser *clicável* ou *rolável*.

**Figura 7: Interface uiautomatorviewer**

Node Detail	
index	0
text	0
resource-id	com.samsung.android.dialerid/digits
class	android.widget.EditText
package	com.samsung.android.dialer
content-desc	
checkable	false
checked	false
clickable	true
enabled	true
focusable	true
focused	true
scrollable	false
long-clickable	true
password	false
selected	false
bounds	[81,644][999,903]

Fonte: Autores (2022).

Finalizado o código, foram realizados diversos testes com o braço para que fosse possível verificar se este executa as funções predeterminadas, no Quadro 2 estão dispostos os testes a serem executados pelo braço robótico. Ao realizar o toque no dispositivo de teste, os resultados esperados estão dispostos no lado direito como sendo

o resultado esperado dos requisitos de teste. Ao final desses testes haverá a geração dos logs e relatórios para serem apreciados pelos testadores.

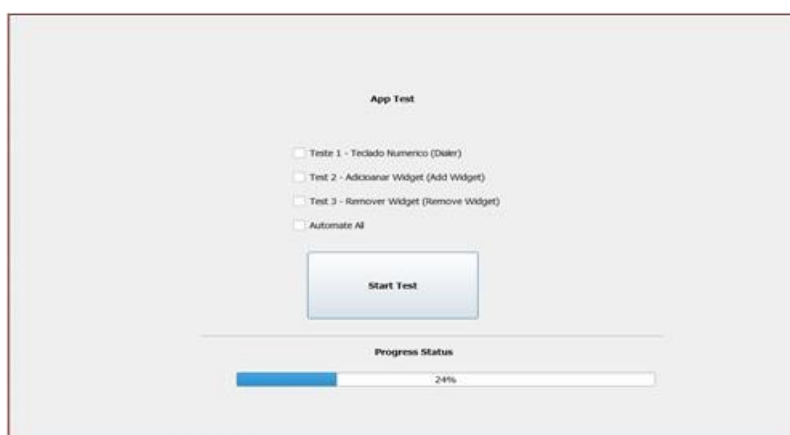
### Quadro 2: Casos de teste

Testes	Resultado Esperado
Validação de teclado numérico	Correspondência dos números digitados com os mostrados na tela.
Adicionar o Widget selecionado na tela Home Screen	O widget adicionado ser corretamente fixado na Home Screen.
Remoção da Home Screen +1	Remover corretamente a tela com o widget adicionado

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 8 podemos observar a interface que o testador irá utilizar para executar os testes de forma automatizada com o auxílio do braço robótico, necessitando apenas escolher uma das opções mostradas na tela e em seguida clicar em “Start Test” para que seja inicializada a execução.

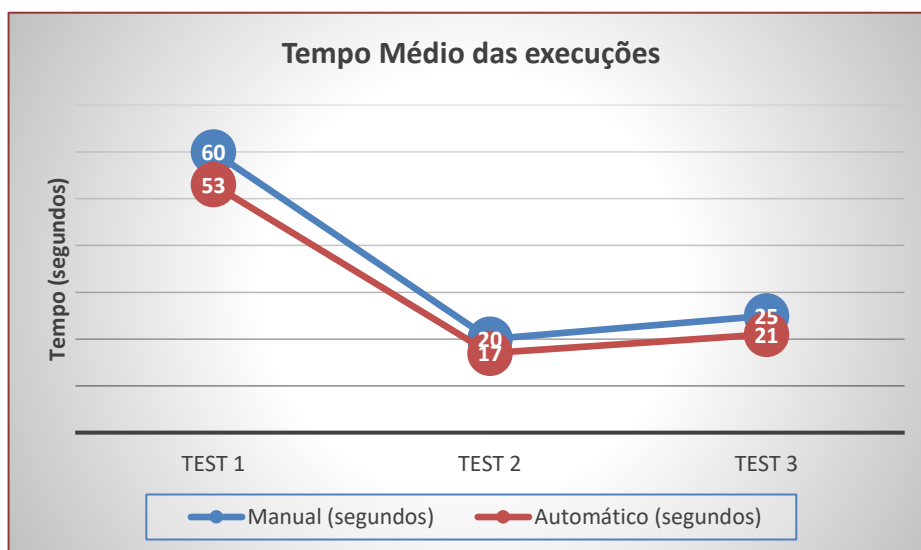
**Figura 8:** Interface de interação com o usuário



Fonte: Autores (2022).

## 3. RESULTADOS

Para validar os requisitos que se encontram no lado esquerdo do Quadro 2 foram escritos três *suites* de teste onde houve interação com o braço robótico, e essa interação foi possível devido a conexão via *Android Debug Bridge*. Os testes foram executados em 20 seções, onde foram observados se na realização dos mesmos os comportamentos tinham suas saídas esperadas de acordo com os requisitos. O tempo médio das execuções é mostrado na Gráfico 1, apresentada abaixo.

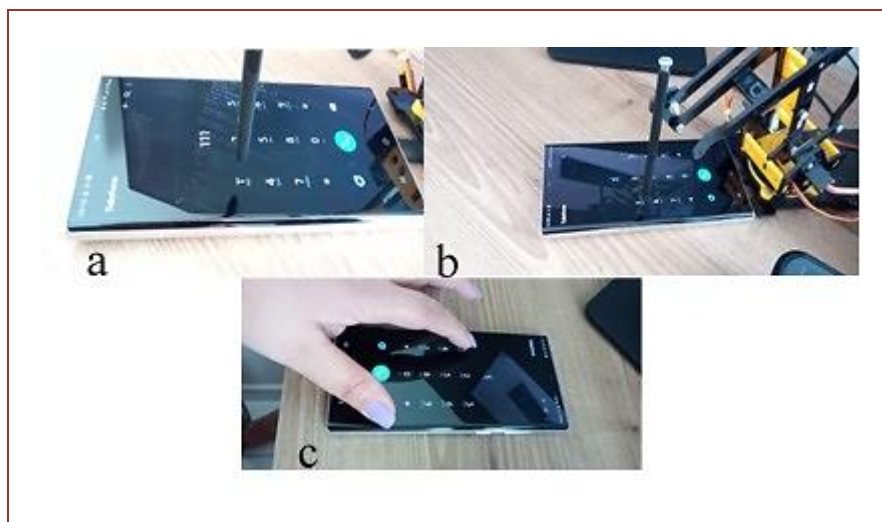
**Gráfico 1: Tempo Médio das execuções**

Fonte: Autores (2022).

Os valores obtidos nos testes manuais mais exatos possíveis em uma suíte de teste em ambiente do cotidiano. Levando em consideração esses valores aproximados, os resultados obtidos no teste utilizando braço robótico são considerados aceitáveis pois todos os testes puderam ser executados e validados, a utilização do braço robótico em testes se mostra eficaz mesmo com o tempo de execução não tendo uma diferença significativa, pois com o auxílio do braço robótico o testador terá tempo para executar outras atividades a ele propostas.

Na Figura 4, mostrada abaixo é possível verificar a interação do robô com o dispositivo de teste na qual está sendo executado o caso de teste 1, onde é feita a validação do teclado numérico. Na figura A e B abaixo, o braço robótico faz o contato da caneta com dispositivo clicando nos números com o auxílio da caneta que atua diretamente na tela simulando o contato de uma pessoa com o objetivo de validar se o local onde faz-se o toque irá corresponder com o número mostrado no visor e o programa valida se tal número é o esperado nesse momento do teste. Na figura C temos o testador executando o teste de forma manual validando o caso de teste 1 para verificar a apresentado no Quadro 2, e de forma autônoma irá validar o teste.

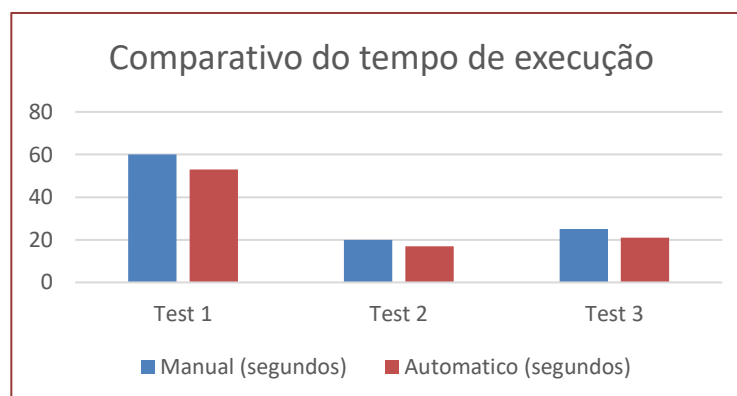
**Figura 4:** a) Execução do teste de validação de teclado numérico ; b) Interação do robô com o dispositivo executando o caso de teste; c) Execução manual do caso de teste 1.



Fonte: Autores (2022).

Foram realizadas 20 execuções em cada um dos testes, onde se cronometrou o tempo de cada execução, tanto de performance manual, quanto de performance automatizada. Nas execuções dos testes foi possível observar que por vezes o testador erra na digitação e com isso perde tempo na execução, com a repetibilidade dos testes esses erros tendem a ocorrer de forma um pouco mais frequente pois isso ocasiona demora no término da atividade, diferentemente do que foi observado nos testes com braço robótico que em todos os testes o tempo foi inferior ao tempo do teste manual. Uma média aritmética dos tempos de cada teste foi calculada e realizado um comparativo entre a execução dos testes de maneira manual e a execução dos testes de maneira automatizada, como mostrado no Gráfico 2.

**Gráfico 2:** Comparativo do tempo de execução



Fonte: Autores (2022).

Foi possível observar em que 95% dos testes automatizados obtiveram sucesso na sua execução onde os 5% restantes foram provenientes de falhas devido a posição do

dispositivo testado não estar corretamente ajustado para que houvesse uma interação mais precisa para que o alcance do movimento fosse realizado nos locais corretos do dispositivo.

Nos testes manuais foram aferidos 100% de execuções bem-sucedidas, no entanto, a confiabilidade dos resultados não foi eficaz. O testador mostrou fadiga devido a repetição exaustiva dos testes sendo feita de forma consecutiva.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo propor um modelo de teste automático onde é utilizado um braço robótico para execução de testes em aplicativos móveis, aplicando os conhecimentos em linguagem Python, Android e sistemas embarcados.

Com relação ao objetivo principal do trabalho analisando os resultados obtidos pode-se constatar que objetivo foi alcançado da forma esperada, considerando o tempo de execução e realização da validação dos testes sem a necessidade de o testador precisar intervir de maneira prática no resultado final obtido.

Para trabalhos futuros, serão utilizadas ferramentas de desenvolvimento web para melhorar a interface com o usuário e a possibilidade de testagem em mais modelos.

#### REFERÊNCIAS

- [1] BORTOLUCI, R. Et al. **Um estudo de caso do processo de testes automáticos e manuais de software no desenvolvimento ágil**, 08, outubro de 2015, X Workshop De Pós-Graduação E Pesquisa Do Centro Paula Souza.
- [2] CERWALL, P. **Mobile subscriptions shifting towards 5G**, Ericsson Mobility Report. <https://www.ericsson.com/4a03c2/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2021/june-2021-ericsson-mobility-report.pdf>. Acesso em: 06, de fevereiro de 2020.
- [3] COUTINHO, G. L. A **Era dos Smartphones: Um estudo Exploratório sobre o uso dos Smartphones no Brasil**, Dezembro de 2014. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/9405/1/2014\\_GustavoLeuzingerCoutinho.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/9405/1/2014_GustavoLeuzingerCoutinho.pdf), Acesso em: 28, Abril de 2022
- [4] CURRY, D. Android Statistics. BusinessofApps, 15, Novembro 2021. Disponível em: <https://www.businessofapps.com/data/android-statistics/>, Acesso em: 04, Janeiro de 2021.
- [5] FRISTER, D.; OBERWEIS, A.; GORANOV, A. **Automated Testing of Mobile Applications Using a Robotic Arm**. In: 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI). IEEE, 2020. p. 1729-1735. Disponível em: <<http://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00321>>
- [6] MAO, K. H.; MARK H.; YUE J. **Robotictestingof mobile apps for trulyblack-box automation**. IEEE Software 34, no. 2 pp. 11-16, 2017. Disponível em:< <http://doi.org/10.1109/MS.2017.49>>
- [7] OLSEN, K. Et al. **Certified Tester: Foundation LevelSyllabus, Version, V3.1**. International Software Testing Qualifications Board, pp. 13-19, 2019. Disponível em: < <https://www.istqb.org/certifications/certified-tester-foundation-level>>
- [8] PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**, 7. ed., 2011.
- [9] RODRIGUES, R. J. **Testes baseados em Modelos**. 2015. Tese de Doutorado. Master's Thesis (submitted), pp 15 – 16. Disponível Em: < [https://www.cin.ufpe.br/~processos/TAES3/Workshops\\_Qualidade/Workshop\\_Qualidade-2008-2/Testes\\_Baseados\\_em\\_Modelo\\_27112008.pdf](https://www.cin.ufpe.br/~processos/TAES3/Workshops_Qualidade/Workshop_Qualidade-2008-2/Testes_Baseados_em_Modelo_27112008.pdf)>
- [10] SILVA, A. M. e BARION, M. C, **Automação Robótica de Processos (RPA): Estudo de Caso**

**Através da Tarefa Administrativa Contas a Pagar, 2018**, Disponível em:

[https://hto.ifsp.edu.br/portal/images/thumbnails/images/IFSP/Cursos/Coord\\_ADS/Arquivos/TCCs/2018/TCC\\_ArthurMarcosdaSilva\\_HT1620223.pdf](https://hto.ifsp.edu.br/portal/images/thumbnails/images/IFSP/Cursos/Coord_ADS/Arquivos/TCCs/2018/TCC_ArthurMarcosdaSilva_HT1620223.pdf), Acesso em: 28, Abril de 2022.

[11] AZIM, T.; NEAMTIU, I. **Target ed and depth-first exploration for systematic testing of android apps**. in Acm Sig plan Notices, vol. 48, pp. 641–660, ACM, 2013. Disponível em:< <https://doi.org/10.1145/2509136.2509549>>

[12] TORRE, M. P.; GARCIA, G. C.; QUEIROZ, S. S.; DIAZ, M. S. O.; SOUZA, M. J. F. **Desenvolvimento de um sistema para integração de células robóticas industriais com foco na indústria 4.0**. Congresso Brasileiro de Automática-CBA. pp. 1, 2019. Disponível em:< <https://doi.org/10.20906/CBA2022/73>>

# Capítulo 25

## *Análise da velocidade em função do tempo para motores de corrente alternada*

*Williame Repolho da Silva*

*Alexandra Amaro de Lima*

**Resumo:** Sempre que se busca controlar algum sistema antes de tudo deve ser feito um estudo do funcionamento atual e suas vulnerabilidades e como se pode melhorar esse sistema, estes devem ser classificados, modelados e então controlados. Este artigo tem como objetivo, modelar, validar o modelo e controlar um motor de corrente alternada. Há vários métodos que podem ser utilizados tanto para modelagem, quanto para controle desse sistema. O sistema foi todo simulado no PSIM, foi criado um gêmeo digital e após criado foram realizados os testes e ensaios para verificação de seu funcionamento. Foi criado um modelo matemático que correspondesse ao modelo real do motor de corrente alternada. Também foi possível a criação de uma estrutura padrão, que medisse ambas as variáveis de estado, velocidade e corrente. Com todos esses dados o sistema pode ser construído visando uma melhor operabilidade e consumo energético pois o controle de velocidade e fator importante de consumo de um motor.

**Palavras-chave:** Motor elétrico; velocidade de rotação, simulador PSIM.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia usado para o acionamento direto de um motor é superior ao da operação normal (GONÇALVES, 2018). Para reivindicar energia dos franqueados, a indústria deve fazer estimativas e determinar seu maior consumo, suas necessidades, e em casos que esse valor for ultrapassado, a indústria paga um valor muito superior à energia normal pelo excesso de demanda. Para evitar tais problemas, as indústrias evitam de acionar a partida em vários motores ao mesmo tempo e, em caso de motores maiores são usados outros tipos de inversores como os sistemas estrela-triângulo e inversores.

Para isso, diversas aplicações podem ser retificadas onde o controle de rotação da máquina oferece melhorias aos processos de fabricação existentes e permite a criação de métodos inovadores para diversas etapas do processo de produção (WEG, 2013). Como por exemplo: o poder de regular a velocidade de um processo industrial, tornando-o mais proveitoso e diminuindo assim o desperdício de matéria-prima, poupando energia, especialmente em aplicações que abrangem bombas centrífugas e ventiladores (onde uso de energia elétrica é proporcional à velocidade cúbica), e algumas de indústrias, como papel e celulose não funcionam corretamente sem controle de velocidade.

De acordo com Neves (2014) as maquinarias de indução são as mais capacitadas e superabundantemente utilizadas na indústria e são motores de velocidade constante quando estão ligados a uma fonte de tensão e frequência constante. A finalidade deste material é elaborar fases de projetos de um inversor de frequência de tripla fase executado pela tecnologia de modulação por proporção de pulso senoidal (SPWM) para o manejo da velocidade e a partida de um mecanismo de indução trifásico por controle escalar  $V. /F$  - Volts. /hertz.

O processo de elaboração terá início com a instalação do algoritmo de disparo para a chave estática, subsequente pela simulação do circuito em malha aberta (controle de regulamento constante sem a medição da velocidade), a proposta do controlador PI com a intenção de acabar com as falhas de estado imutável, e seguidamente, simular o inversor em malha fechada. A posteriori será implementado o algoritmo de partida em rampa, através de simulação, conseguido na corrente do motor.

Ao terminar este projeto, acredita-se atingir uma simulação totalmente funcional de um inversor com o poder de controlar a velocidade de um motor de indução e disponibilizar uma partida sutil por meio da implementação de uma tensão de rampa.

A execução da maquinaria de indução baseia-se na direta utilização de eletricidade alternada nos enrolamentos do estator, e também mediante a conexão de transformação, a energia presente no motor é adquirida por meio de consequências da indução. O estator é constituído por corrente através de 3 enrolamentos com um espaçamento de  $120^\circ$ . Em questão das bobinas, a "aa" é nutrida pela fase a, e as bobinas bb' e cc' são enriquecidas, respectivamente, pelas fases b e c. Os enrolamentos das ligações de corrente têm a capacidade de ser em delta ( $\Delta$ ) ou estrela (Y).

Os conversores estáticos de frequência regulam de maneira mais otimizada para a realização de desenvolvimentos industriais quando deseja-se acionar o manejo de velocidade dos motores de indução. Os conversores são capacitados para a transformação de tensão de rede, com frequência e amplitude constantes, em variáveis.

Com esta variação da tensão de alimentação, a velocidade de campo gigante, sofre a alteração e torna-se variável, e por consequência, a velocidade mecânica de rotação da maquinaria (WEG, 2013).

A velocidade do motor da máquina é a velocidade de rotação do eixo do mesmo. Na execução de movimento, a velocidade do motor define a velocidade rotacional do eixo – em outros termos, a quantidade de giros completados por elemento de tempo (BARNES, 2017). Dependendo do que está sendo movido e a da interação com outros elementos da máquina, as condições de velocidade do motor podem variar. É primordial alcançar um ponto em que a velocidade e o torque estejam em equilíbrio, já que os motores geralmente quando são executados em alta velocidade tendem a produzir menos torque.

Acionar maquinarias CA envolve topologias de rede em malha intermediária e de direta conversão. A mais comumente usada é a topologia com malha intermediária. Nela a transformação compreende duas etapas: ocorre a retificação da tensão alternada de alimentação, gerando assim a tensão CC, imediatamente, o link CC passar a ser transformado em tensão alternada através do inversor (STHEPAN, 2016).

Pode-se conceituar motor elétrico como uma ferramenta determinada à execução de uma alteração de corrente elétrica em mecânica. É usado em inúmeras classes de motores, visando que acertam as conveniências da corrente elétrica baseando-se em uma produção simplificada, com uma ampla flexibilidade e adequação das cargas e desempenhos (FRANCHI, 2018).

Segundo Ferraz Netto, é exequível a diferenciação de dois elementos primordiais em máquinas propulsoras de energia: o estator, que trata-se em um aglomerado de elementos que são conectados rigidamente ao rotor e à carcaça, rodando em volta de um eixo apoiado em mancais localizados de forma fixa na carcaça e ao indutor, ocasionador da geração do campo magnético; e o induzido, responsável pela produção de energia induzida.

Para Haddad (2017), o tamanho do motor deve ser definido estudando os requisitos da carga. Além dos acoplamentos que ampliam ainda mais sua gama de aplicações, existem diversos tipos de motores que podem abranger uma gama muito ampla de cargas. Basicamente, deve-se definir potência, velocidade, tensão de alimentação e classe de isolamento. O motor deve fornecer o torque exigido pela carga, também conhecido como torque, mas isso varia com a velocidade. O torque de aceleração é o torque gerado pela diferença entre o torque gerado pelo motor e o torque de resistência da carga, que pode acelerar a carga até a velocidade nominal. Neste momento, o torque do motor é igual ao torque da carga.

Segundo Bortoni (2016), toda vez que a carga é aumentada, a velocidade diminui devido ao deslizamento. À medida que a carga aumenta, também aumenta o escorregamento, aumentando o torque do motor até atingir um valor máximo. Durante este processo, o motor irá superaquecer e, a partir deste ponto, se a carga não for removida, o torque diminuirá rapidamente, fazendo com que o motor pare.

Baseado no que foi mencionado acima, a simulação das condições de trabalho de um motor elétrico, possibilita ao usuário antecipar as condições de uso deste motor, e assim, fazer as especificações corretas para adquiri-lo e implementá-lo no sistema, o que justifica a importância deste trabalho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o projeto foi utilizado o software PSIM para realização do modelo matemático responsável para simular o motor mate de Corrente Contínua (CC). O modelo matemático usou métodos de função de transferência e espaço usado para o controle da corrente. Posteriormente, a simulação da modelagem mecânica, foram realizados testes elétricos para obtenção dos seus parâmetros, então as informações da simulação foram comparadas com um motor em funcionamento, validando o modelo desenvolvido pelo PSIM.

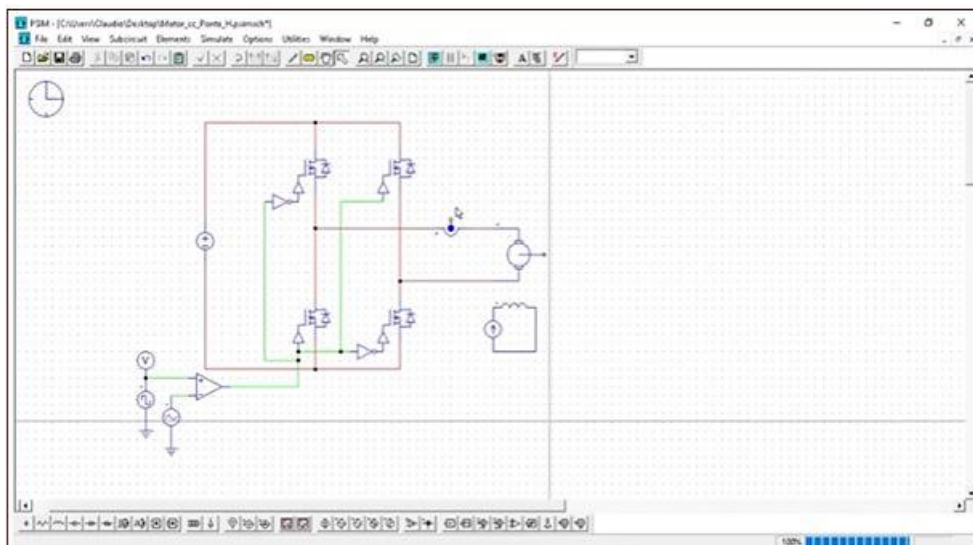
Uma vez validado o modelo, é hora de estudar o controlador de *feedback* polos, o controlador poderá então ser projetado e implementado com *feedback* estados, com e sem observadores nacionais. Ambos os modelos foram simulados e comparados com o valor real obtido para fins de verificação e validação.

A simulação deverá seguir a seguinte organização e estrutura: 1) sistema de aquisição de dados; 2) desenvolvimento do modelo matemático do motor de CC; 3) ensaios para obtenção dos parâmetros do motor; 4) projeto de sistemas de controle no espaço de estados com observadores; 5) teste e análise da resposta do controlador; e finalmente, 6) testes elétricos após a modelagem mecânica para obter seus parâmetros.

### 2.1. MODELAGEM MATEMÁTICA

O software PSIM cria modelos matemáticos para simular certas características das condições reais de um dispositivo em funcionamento. Segundo Aguirre (2018), existem diversas formas de desenvolver um modelo matemático, um dos quais é a modelagem de caixa branca, a qual requer uma compreensão profunda das relações matemáticas que descrevem de forma realística o sistema. A identificação do sistema é outra abordagem de modelagem que usa pouco ou nenhum conhecimento sobre o sistema a ser descrito, uma abordagem conhecida como modelagem caixa preta. A Figura 1 apresenta o simulador PSIM versão 9.3, usado para os cálculos de velocidade do motor.

Esta ferramenta de simulação é disponibilizada para *download* gratuitamente no site do desenvolvedor (<https://psim.software.informer.com/9.3/>). O PSIM 9.3 é um programa usado para simulação de eletrônica de potência, onde é possível simular um circuito de controle de várias formas: em circuito analógico, diagrama de blocos de funções de transferência de domínio "s", diagrama de blocos de funções de transferência de domínio "z", código C personalizado ou em *Matlab/Simulink*. Além disso, simula malhas de controle e estudo de acionamento de motores, esta última aplicação sendo utilizada para o teste em nosso motor.

**Figura 1:** Ambiente de simulação de funcionamento do motor PSIM.

Fonte: Autores (2022).

Adicionalmente, foram determinadas a velocidade de funcionamento do motor. Para isso foi utilizada a fórmula de cálculo de velocidade usada pela Equação 1

$$\frac{n^1}{n^2} = \frac{D^2}{D^1} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde,  $n_1$  e  $n_2$ , são as rotações por minuto (rpm) das polias, motora e movida, respectivamente, e  $D_2$  e  $D_1$  são os diâmetros das polias movida e motora.

## 2.2. CONTROLE DE ESPAÇO E ESTADO

De acordo com Ogata (2017), sistemas modernos complexos podem ter muitas entradas e muitas saídas, que podem ser correlacionadas de forma mais complexa. Para analisar esses sistemas, a complexidade de suas equações matemáticas deve ser utilizada métodos de espaço de estado adequadamente, descritos em (OGATA, 2017).

## 3. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados simulações para a obtenção da velocidade de partida ideal para motores de corrente alternada em função do tempo, por meio do simulador PSIM. Para o início dos testes foi utilizado um motor de indução com determinados parâmetros para alcançar os resultados desejados.

A Tabela 1 apresenta a configuração do motor utilizado durante as simulações e seus respectivos valores de cada parâmetro mostrado na coluna ao lado, onde a tensão nominal é a potência elétrica de funcionamento do motor, e a potencial nominal é a potencial de funcionamento do equipamento. A frequência nominal são as oscilações de corrente alternada (CA). Velocidade síncrona nominal é o campo girante no estator. Enquanto a resistência e indutância do estator caracteriza a dispersão de trabalho do

motor, e a indutância de magnetização é a tendência de um condutor elétrico se opor a uma mudança na corrente elétrica que flui por ele.

**Tabela 1:** Parâmetros do motor utilizado

Tensão nominal	220 V
Potência nominal	7,5 CV
Frequência nominal	60 Hz
Velocidade síncrona nominal	3600 rpm
Resistência e Indutância do estator	0.294 $\Omega$ e 1.39 mH
Resistência e Indutância do rotor	0.156 $\Omega$ e 0.74 mH
Indutância de magnetização	41 mH
Tensão nominal	220 V
Potência nominal	7,5 CV
Frequência nominal	60 HZ
Velocidade síncrona nominal	3600 rpm
Resistência a indutância do estator	0.294 $\Omega$ e 1.39 mH
Resistência a indutância do rotor	0.156 $\Omega$ e 0.74 mH
Indutância de magnetização	41 mH

Fonte: Autores (2022)

### 3.1. TESTE DE VELOCIDADE DO MOTOR

A velocidade de rotação “N” de um motor de indução pode ser obtido por meio da Equação 2. Vale a pena destacar que, quando ocorre o aumento da tensão aplicada ao motor é menor do que o esperado, o erro  $s$  é alterado, e a velocidade rotacional “N” é igualmente alterada.

$$N = 120 \cdot f \cdot (1 - S)/P \quad \text{Eq. 2}$$

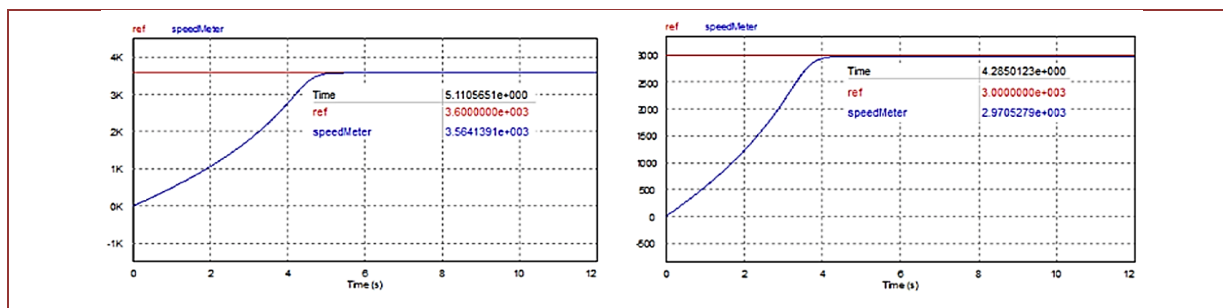
Onde:  $N$ , é a velocidade rotacional (rpm);  $f$ , a Frequência (Hz);  $P$ , o Número de polos de um motor; e “ $s$ ”, o erro. As Figuras 2, 3, 4 e 5 foram testados pelo simulador velocidade e o período em que a velocidade de arranque do motor estabiliza, usando como referência as seguintes velocidades rotacionais: (a) 3200 rpm, (b) 2800 rpm, (c) 2600 rpm e (d) 2200 rpm.

Para um motor elétrico, o tempo de resposta que ele estabiliza é um fator de extrema importância e esse tempo de resposta foi analisado por meio de simulações. A Figura 2a as simulações mostram que usando uma velocidade de rotação do motor de 3200 rpm. A curva azul nas Figura 2 e 3 mostra a curva de velocidade de arranque do motor, enquanto a linha vermelha contínua representa o momento de estabilidade de velocidade do motor.

A Figura 2a utiliza uma velocidade inicial de rotação do motor de 3200 rpm, mostrando que sob esta rotação o motor necessitou em torno de 5,11 minutos para alcançar a estabilização de referência representada na figura pela linha vermelha.

Em um segundo momento, foi realizada a mesma simulação, porém para uma velocidade de rotação de 2800 rpm, mostrada na Figura 2b. Nota-se que acionado o motor a esta rotação a estabilidade do motor é ainda mais rápida, diminuindo o tempo de estabilização para 4,28 minutos.

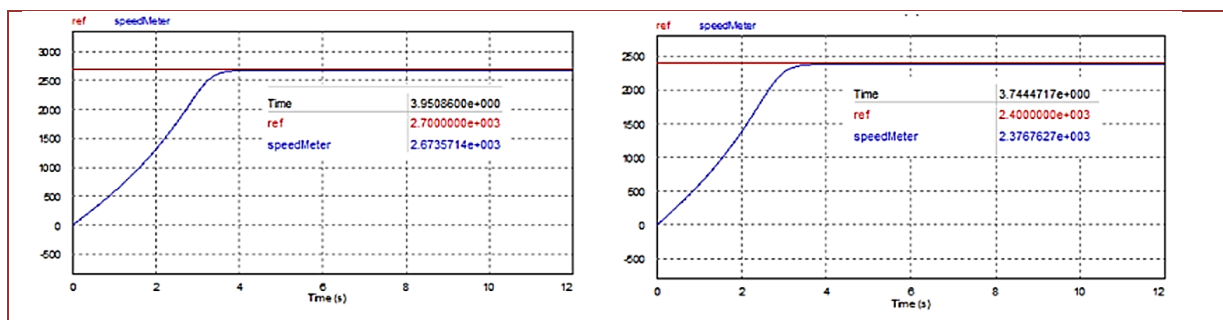
**Figura 2:** Velocidade em função do tempo: a) 3200 rpm; b) 2800 rpm



Fonte: Autores (2022).

Apesar das Figuras 2 mostrarem uma relação direta entre diminuição da rotação de arranque do motor elétrico e o tempo de estabilização da velocidade deste, foram realizadas mais duas simulações diminuindo os valores da velocidade de rotação, como é possível verificar nas Figuras 3a e 3b. Na Figura 3a a velocidade de rotação do motor foi reduzida em torno de 7% (2600 rpm), o que fez com que o tempo de estabilização da velocidade diminuísse ainda mais, ou seja, para 3,95 minutos. Finalmente, foi realizado uma última simulação diminuindo o valor em 15% da rotação usada anteriormente. Nota-se que o tempo de estabilização do motor elétrico diminuindo ainda mais, ou seja, estabiliza em torno de 3,7 minutos.

**Figura 3:** Velocidade em função do tempo a) 2600 rpm; b) 2200 rpm



Fonte: Autores (2022).

Após a realização de quatro simulações para obter o tempo ideal de estabilização do motor elétrico, variando a velocidade de rotação, observou-se que em todas as situações que a rotação do motor atinge a referência com um escorregamento de cerca de 1%, portanto o correto funcionamento da regulação de velocidade.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aspecto mais relevante relacionado as simulações realizadas com o simulador PSIM, foi a praticidade e a capacidade adaptativa a quaisquer plataformas, podendo ser tanto em ambiente simulatório ou prático e funcional. É de suma importância ressaltar a praticidade de utilização dos simuladores, pois estes diminuem os custos de aplicação do projeto que normalmente são os aspectos mais relevantes para o sucesso do respectivo sistema no mercado.

Visto os resultados obtidos, pode-se afirmar que o trabalho alcançou a sua proposta com êxito, tendo como resultado uma alternativa de baixo custo, porém simples e que cumpre o seu propósito corretamente, sem o requerimento de conhecimentos aprofundados sobre os aspectos dinâmicos do motor e que pode ser utilizado em diversas máquinas de indução.

A funcionalidade do controle foi submetida a teste por meio de ensaios que concretizam o estipulado no embasamento teórico, obtendo a capacidade de executar, regular e otimizar a eficiência do uso dos motores de indução de tripla fase. Nas simulações foi realizada uma diminuição gradativa da velocidade de rotação do motor elétrico, de 31% entre o primeiro e último valor simulado, mostrando assim, uma diminuição do tempo de arranque do motor, em torno de 27%. Mostrando a importância de utilização de ferramentas como o PSIM para verificar o comportamento do sistema elétrico simulado, pois o tempo inicial de resposta do motor elétrico é muito importante para diversos usos.

## REFERÊNCIAS

- [1] AGUIRRE, L. A. **Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas lineares e não lineares: Teoria e aplicação**. 4a edição revisada. ed. [S.l.]: Editora UFMG, 2018. Disponível em: <<http://doi.10.13140/RG.2.1.1616.7925>>
- [2] BARNES, M. **Practical Variable Speed Drives and Power Electronics**. Elsevier, 2017.
- [3] BORTONI, E.C. **Acionamento com motores de indução trifásicos**. energia: 2ª Edição Procel/Eletróbrás 2016. pp 36-41.
- [4] FERRAZ NETTO. L. **Geradores de Energia Elétrica (Conceitos básicos)**. Disponível em: <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_t02.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_t02.asp)>. Acesso em 22 de fevereiro de 2022.
- [5] FRANCHI, C.M. **Acionamentos Elétricos**, Ed. Érica, 4a. Ed., SP, 2018.
- [6] GONÇALVES, J. A. R. **Estudo do Comportamento do Motor de Indução Trifásico Sujeito a Perturbações na Qualidade da Energia**. Faculdade de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 164p. Dissertação (Mestrado), 2018. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/book/10.5555/AAI29223873>>
- [7] HADDAD, J. **Eficiência Energética- Teoria e Prática**: 1a Ed. Itajubá: pp 87-109, 2017.
- [8] NEVES, E. G. C. **Padrões Elétricos de Tensão e Frequência**. Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas. Setembro de 2014.
- [9] OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 5a edição. ed. [S.l.]: PEARSON PRENTICE HALL, 2017.
- [10] STEPHAN, R. M. **Acionamento, comando e controle de máquinas elétricas**. UFRJ, Editora Ciência Moderna 2016.
- [11] WEG (2016). **Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-motores-de-inducao-alimentados-por-inversores-de-frequencia-pwm-027-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2022.

www.poisson.com.br  
contato@poisson.com.br

@editorapoisson



<https://www.facebook.com/editorapoisson>

