

ORGANIZADORES

THIANNE CHRISTINA FREIRE DE CARVALHO

RONNYEL CARLOS CUNHA SILVA

RAIANA BATISTA DA LUZ

ENGENHARIA EM MOVIMENTO

INTELIGÊNCIA, ENERGIA E AUTOMAÇÃO



INOVAR

**ENGENHARIA EM MOVIMENTO: INTELIGÊNCIA, ENERGIA E
AUTOMAÇÃO**



Organizadores

Thianne Christina Freire de Carvalho
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Raiana Batista da Luz

**ENGENHARIA EM MOVIMENTO: INTELIGÊNCIA, ENERGIA E
AUTOMAÇÃO**

1.^a edição

MATO GROSSO DO SUL
EDITORAR INOVAR
2025

Copyright © dos autores.

Todos os direitos garantidos. Este é um livro publicado em acesso aberto, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais e que o trabalho original seja corretamente citado. Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons



Editora-chefe: Liliane Pereira de Souza

Diagramação: Editora Inovar

Capa: Juliana Pinheiro de Souza

Revisão de texto: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alexsande de Oliveira Franco
Prof. Dra. Aldenora Maria Ximenes Rodrigues
Prof. Dr. Arlindo Costa
Profa. Dra. Care Cristiane Hammes
Profa. Dra. Carla Araújo Bastos Teixeira
Prof. Dr. Carlos Eduardo Oliveira Dias
Prof. Dr. Claudio Neves Lopes
Profa. Dra. Dayse Marinho Martins
Profa. Dra. Débora Luana Ribeiro Pessoa
Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa
Prof. Dr. Francisco das Chagas de Loiola Sousa
Prof. Dr. Gabriel Mauriz de Moura Rocha
Profa. Dra. Geyanna Dolores Lopes Nunes
Prof. Dr. Guilherme Antônio Lopes de Oliveira

Profa. Dra. Ivonalda Brito de Almeida Morais
Profa. Dra. Janine Silva Ribeiro Godoy
Prof. Dr. João Vitor Teodoro
Profa. Dra. Juliani Borchardt da Silva
Prof. Dr. Leonardo Jensen Ribeiro
Profa. Dra. Lina Raquel Santos Araujo
Prof. Dr. Márcio Mota Pereira
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Marcus Vinícius Peralva Santos
Profa. Dra. Nayára Bezerra Carvalho
Profa. Dra. Roberta Oliveira Lima
Profa. Dra. Rúbia Kátia Azevedo Montenegro
Profa. Dra. Susana Copertari
Profa. Dra. Susana Schneid Scherer
Prof. Dr. Sílvio César Lopes da Silva

Este livro passou por avaliação e aprovação às cegas de dois ou mais pareceristas ad hoc.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(BENITEZ Catalogação Ass. Editorial, MS, Brasil)

E57

1.ed. Engenharia em movimento: inteligência, energia e automação [livro eletrônico] / organizadores Thianne Christina Freire de Carvalho, Ronnyel Carlos Cunha Silva, Raiana Batista da Luz. – 1.ed. – Campo Grande, MS: Inovar, 2025. 167p. PDF

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-5388-356-7

DOI 10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7

1. Engenharia. 2. Engenharia – Estudo e ensino. I. Carvalho, Thianne Christina Freire de. II. Silva, Ronnyel Carlos Cunha. III. Luz, Raiana Batista da.

11-2025/99

CDD 620

Índice para catálogo sistemático:

1. Engenharia 620

Aline Graziele Benitez – Bibliotecária - CRB-1/3129

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra assumem publicamente a responsabilidade pelo seu conteúdo, garantindo que o mesmo é de autoria própria, original e livre de plágio acadêmico. Os autores declaram, ainda, que o conteúdo não infringe nenhum direito de propriedade intelectual de terceiros e que não há nenhuma irregularidade que comprometa a integridade da obra. Os autores assumem integral responsabilidade diante de terceiros, quer de natureza moral ou patrimonial, em razão do conteúdo desta obra. Esta declaração tem por objetivo garantir a transparência e a ética na produção e divulgação do livro. Cumpre esclarecer que o conteúdo é de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo, necessariamente, a opinião da editora, organizadores da obra ou do conselho editorial.

APRESENTAÇÃO

A coletânea ***Engenharia em Movimento: Inteligência, Energia e Automação*** reúne artigos técnicos e científicos que refletem a diversidade e a inovação presentes nas áreas de Engenharia Mecânica e Engenharia Elétrica. Os trabalhos aqui apresentados abordam temas contemporâneos e relevantes, como sistemas automatizados, inteligência computacional, energias renováveis, eficiência energética, sustentabilidade e aplicações industriais.

Cada artigo foi desenvolvido com rigor acadêmico e foco na aplicabilidade prática, evidenciando o papel transformador da engenharia na resolução de problemas reais. A coletânea contempla desde simulações com microcontroladores e redes neurais até estudos sobre reuso de água, controle logístico e plataformas móveis para otimização energética.

Este livro é destinado a estudantes, professores, pesquisadores e profissionais que buscam compreender e acompanhar as tendências tecnológicas que impulsionam o setor produtivo. Ao integrar diferentes especialidades e perspectivas, *Engenharia em Movimento* convida o leitor a explorar soluções inteligentes e sustentáveis para os desafios da atualidade.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO, MICROCONTROLADO PELA PLATAFORMA ARDUINO	
Alexandre Oliveira Borges	
José Luiz de Souza Freitas	
Mara Tatiane de Souza Tavares	
Thianne Christina Freire de Carvalho	
Thiago Aguiar Santos	
Ronnyel Carlos Cunha Silva	
Raiana Batista da Luz	
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_001	
CAPÍTULO 2	28
ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE MATERIAIS CONDUTORES MULTICAMADAS	
Arthur Moreira Souza	
Leoraig Santos Cardoso	
José Aguiar dos Santos Junior	
Thianne Christina Freire de Carvalho	
Thiago Aguiar Santos	
Ronnyel Carlos Cunha Silva	
Raiana Batista da Luz	
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_002	
CAPÍTULO 3	41
IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS MISO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA USANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS	
Ronnyel Carlos Cunha Silva	
José Maria Pires de Menezes Júnior	
Thianne Christina Freire de Carvalho	
Thiago Aguiar Santos	
Raiana Batista da Luz	
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_003	
CAPÍTULO 4	56
SISTEMA DE AQUISIÇÃO E MONITORAMENTO DE DADOS DE PAINEIS FOTOVOLTAICOS EM TEMPO REAL COM COMUNICAÇÃO BLUETOOTH	
Ronnyel Carlos Cunha Silva	
Otacílio da Mota Almeida	
Maxwell de Melo Costa	
Thianne Christina Freire de Carvalho	

Thiago Aguiar Santos
Raiana Batista da Luz
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_004

CAPÍTULO 5.....74

ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL NA CLASSIFICAÇÃO DE JOGADORES DE XADREZ

Pedro Henrique Alves Ribeiro
Ronnyel Carlos Cunha Silva
José Maria Pires de Menezes Júnior
Thianne Christina Freire de Carvalho
Thiago Aguiar Santos
Raiana Batista da Luz

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_005

CAPÍTULO 6.....89

CLASSIFICAÇÃO DE CONDUTORES UTILIZANDO INFORMAÇÕES DO SISTEMA OBD-II

Pedro Henrique Alves Ribeiro
José Maria Pires de Menezes Júnior
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Thianne Christina Freire de Carvalho
Thiago Aguiar Santos
Raiana Batista da Luz

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_006

CAPÍTULO 7.....103

COMPARAÇÃO DE TRENS ELÉTRICOS E MOVIDOS A DIESEL EM TERMOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO TRANSPORTE DE MINÉRIO

Cleane Mendes do Carmo
Thiago Aguiar Santos
Thianne Christina Freire de Carvalho
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Raiana Batista da Luz

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_007

CAPÍTULO 8.....116

UM ESTUDO SOBRE GEMBA E POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Mariana Paula Oliveira Costa
Thiago Aguiar Santos
Thianne Christina Freire de Carvalho
Ronnyel Carlos Cunha Silva
Raiana Batista da Luz

doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_008

CAPÍTULO 9	133
REUSO E TRATAMENTO DE ÁGUA EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS: UMA VISÃO BIBLIOGRÁFICA	
Andressa Eeveen dos Santos Rodrigues	
Thiago Aguiar Santos	
Thianne Christina Freire de Carvalho	
Ronnyel Carlos Cunha Silva	
Raiana Batista da Luz	
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_009	
CAPÍTULO 10	148
SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA UTILIZANDO ARDUINO NO COMBATE À COVID-19	
Janaína Ferreira da Silva	
José Luiz de Souza Freitas	
Mara Tatiane de Souza Tavares	
Thianne Christina Freire de Carvalho	
Thiago Aguiar Santos	
Ronnyel Carlos Cunha Silva	
Raiana Batista da Luz	
doi.org/10.36926/editorainovar-978-65-5388-356-7_010	
SOBRE OS ORGANIZADORES	163
<i>Thianne Christina Freire de Carvalho</i>	
<i>Ronnyel Carlos Cunha Silva</i>	
<i>Raiana Batista da Luz</i>	
ÍNDICE REMISSIVO	166

CAPÍTULO 1

SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO, MICROCONTROLADO PELA PLATA- FORMA ARDUINO

***AUTOMATED FIRE SAFETY SYSTEM SIMULATION MICROCONTROLLED BY
ARDUINO PLATFORM***

Alexandre Oliveira Borges

IFBA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia
Lauro de Freitas – Bahia
xandy7010@gmail.com

José Luiz de Souza Freitas

IFBA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia
Feira de Santana – Bahia
josefreitas@ifba.edu.br

Mara Tatiane de Souza Tavares

IFS – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Sergipe
Lagarto – Sergipe
mara.tavares@ifs.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz
FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de simular um sistema de segurança contra incêndio composto de iluminação de emergência com acionamento de alarme sonoro e visual, por intermédio de um simulador gratuito e de fácil manipulação. Inicialmente, realizou-se a revisão bibliográfica dos principais pontos contidos nas normas. Baseado nesses critérios e para demonstração do sistema em funcionamento, foi utilizado o Tinkercad como ambiente virtual. A metodologia de pesquisa deste trabalho foi dividida em duas etapas: (1) A escolha do ambiente virtual para simulação do projeto, (2) em seguida foi realizada a montagem e simulação do mesmo no ambiente virtual, utilizando uma plataforma Arduino, fios condutores, resistores, sensor de gás, sensor piezoelétrico, relé, lâmpadas, LED, interruptor, fonte de energia e bateria. Por meio da metodologia utilizada neste trabalho foi obtido como resultado: o acionamento de um alarme sonoro e visual com a ativação de uma lâmpada de sinalização e um sensor sonoro (piezoelétrico), quando o sensor de gás detectou fumaça no ambiente, além da ativação da iluminação de emergência para auxiliar na evacuação e acesso ao ambiente.

Palavras-chave: iluminação, emergência, simulação, proteção.

ABSTRACT

This work aims to simulate a fire safety system composed of emergency lighting with sound and visual alarm activation, through a free and easy-to-handle simulator. Initially, there was a bibliographic review of the main points contained in the standards, which regulate the criteria for fire safety. Based on these criteria and to demonstrate the system in operation, Tinkercad was used as a virtual environment. The research methodology of this work was divided into two stages: (1) The choice of the virtual environment to simulate the project, (2) then it was assembled and simulated in the virtual environment, using an Arduino platform, wires,

resistors, gas sensor, piezoelectric sensor, relay, lamps, LED, switch, power supply and battery. Through the methodology used in this work, as a result was obtained: the activation of an audible and visual alarm with the activation of a signal lamp and a sound sensor (piezoelectric), and a piezoelectric sensor when the gas sensor detected smoke in the environment, in addition to the activation of emergency lighting to assist in evacuation and access to the environment.

Keywords: lighting, emergency, simulation, protection

1. INTRODUÇÃO

O incêndio é um fato indesejado e inesperado, colocando em risco a vida e os bens materiais. Quando o mesmo atinge grandes proporções, pode provocar danos materiais que implicam em grandes prejuízos financeiros, pode também causar a morte ou a incapacidade de intervenção dos membros das equipes de resgate e combate a incêndio.

De acordo com Seito e colaboradores (2008), no Brasil ainda há poucos bancos de dados que administrem informações suficientes e confiáveis sobre os incêndios, havendo a necessidade de mais estudos e projetos na área para que seja aperfeiçoados a segurança contra incêndio no país.

O Instituto Sprinkler Brasil monitora diariamente as notícias de ocorrências de incêndios no Brasil. Segundo as estatísticas do Instituto Sprinkler Brasil (2020), os sinistros contabilizados são aqueles os que ocorrem em depósitos, hospitais, hotéis, escolas, prédios públicos, museus e outros, excluindo-se os residenciais. Em 2020, foram contabilizadas 1244 ocorrências no total e o maior número de incêndios registrados foram em estabelecimentos comerciais (lojas, shopping centers e supermercados), com 255 registros.

Tanaka e Kato (2012), afirmam que se for cometido qualquer erro, o tempo necessário para realizar a evacuação aumentará drasticamente. No ano seguinte, Kwun e Lee (2013) confirmam que o desenvolvimento de estratégias é extremamente importante para

resguardar a vida, pois podem reduzir o tempo de resposta em um estágio inicial de evacuação.

Ainda que a fuga não auxiliada seja a principal ideia quando se trata de incêndio, em algumas edificações como por exemplo: escolas; hospitais e correlatos, os ocupantes precisam de iluminação com sinalizações durante a evasão (CRUZ et al., 2011).

Diante destas informações, este trabalho tem o objetivo principal de simular um sistema automático de segurança contra incêndio composto de iluminação de emergência com acionamento de um alarme sonoro e visual microcontrolado pela plataforma Arduíno, utilizando um ambiente virtual de simulação para representar um protótipo do sistema em funcionamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Segurança Contra Incêndio (SCI)

A proporção dos acidentes causados pelos incêndios pode estar associada a aplicação indevida das medidas de segurança contra incêndio (SCI) ou por falta de manutenção dos sistemas existentes no ambiente. Seito et al (2008), consideram que os sistemas de prevenção e combate a incêndios dependem de diferentes variáveis, havendo falhas tanto nos projetos quanto na execução em si.

As medidas de proteção são divididas em ativas, como sistema de ventilação de fumaça e sprinkler, e passivas, como paredes e portas corta-fogo, diques de contenção, armários e contentores para combustíveis, afastamentos e proteção estrutural.

Duarte (2018) considera que as medidas de SCI devem começar durante a fase do projeto, quando são previstas as medidas de proteção passivas para que os incêndios sejam evitados. Porém, caso ocorram, as consequências devem ser minimizadas ao máximo, permitindo a saída das pessoas com segurança e restringindo o seu crescimento. As medidas de segurança contra incêndio introduzem um custo adicional

à edificação, tanto em sua construção como durante o seu uso. Apesar disso, incorporando essas medidas já na fase do projeto, é possível torná-las mais efetivas a um menor custo (ONO, 2007). Fica certo, que nenhum custo se compara ao custo mais elevado que existe, vidas. Por isso, é de total importância que, a depender da obra, não seja aprovada a sua construção sem essas medidas de proteção.

As tecnologias aplicadas à SCI têm se desenvolvido bastante, dentre elas: uso de sistemas inteligentes, programas computacionais, automatização, novos materiais e etc. Tendo como objetivos principais: aumentar a segurança humana e diminuir perdas materiais (SEITO et al., 2008).

Dentre os inúmeros sistemas automáticos de prevenção e combate a incêndio, pode-se destacar a iluminação de emergência e os equipamentos de detecção e alarme.

Ahrens (2010) analisa a performance de alarmes de fumaça em residências que são compostos por dois componentes principais: o mecanismo de detecção de incêndio propriamente dito e o mecanismo de alerta, o autor ainda relata que os sistemas alimentados diretamente na energia são mais eficazes do que o uso de baterias.

2.2 Iluminação de Emergência: Aclaramento e Balizamento

Considera-se iluminação de emergência aquela que possui fonte de luz independente, que irá clarear áreas escuras de passagens horizontais e verticais na falta da iluminação normal, com o objetivo de orientar as pessoas em situações de emergência, esse tipo de iluminação têm como principais características a instalação permanente, entram em operação de forma automática e permanecem acesas.

A iluminação de aclaramento é utilizada para clarear as áreas fornecendo iluminação suficiente afim de evitar acidentes e garantir a evacuação das pessoas em ambientes fechados (AUREON, 2021).

O sistema de iluminação de emergência pode ser implementado por meio de dispositivos alternativos, como blocos autônomos, solução

mais comum devido à facilidade de instalação. Esses dispositivos utilizam lâmpadas fluorescentes, dicroicas ou LEDs e operam automaticamente na ausência de energia elétrica. Com o restabelecimento da alimentação, o circuito eletroeletrônico desliga a lâmpada e inicia a recarga da bateria utilizada durante a interrupção.

2.2.1 Tipos de Sistemas de Iluminação de Emergência

Existem três principais tipos de sistemas de iluminação de emergência: conjuntos de blocos autônomos, sistema centralizado com baterias recarregáveis e sistema centralizado com grupo motogerador.

Os conjuntos de blocos autônomos são aparelhos de iluminação constituídos por um único invólucro, possuindo fonte de energia com carregador e sensor de falha na tensão alternada, que é justamente o dispositivo que o coloca em funcionamento. Para esse tipo de sistema, é previsto na IN011, subseção I, artigo 16, a exigência para adoção do sistema autônomo é de que exista uma tomada exclusiva para cada bloco. O sistema centralizado com baterias de acumuladores elétricos é composto por circuito carregador com recarga automática que atenda a autonomia do sistema de iluminação de emergência, o mesmo é previsto na IN011, subseção II, artigo 17, adotando critérios que o sistema de iluminação de emergência alimentado por central de baterias deve possuir disjuntores próprios, tempo de comutação máximo de 2 segundos e circuitos atendendo pavimentos alternados, sendo que escadas e rampas devem possuir 2 circuitos independentes. Os projetos que são desenvolvidos com o sistema centralizado com grupo motogerador, possuem esquema de funcionamento parecido ao da central de baterias. Mas o seu tempo de comutação é limitado a 12 segundos, com circuitos atendendo a pavimentos alternados, 2 circuitos independentes por escada e ainda, para tanques de armazenamento de combustível com volume igual ou superior a 200 litros, deve ser prevista uma bacia de contenção com 1,5 vez o volume do tanque, conforme previsto na IN011, na subseção III, artigo 18 (THORUS-ENGENHARIA, 2021).

Em um comparativo sobre esses tipos de sistemas de iluminação de emergência, pode-se salientar que os blocos autônomos possuem bateria interna, facilitando a sua instalação, pois é somente liga-lo na tomada, porém, os sistemas centralizados, seja de baterias ou grupo motogerador tem algumas exigências. O abrigo que recebe o grupo motogerador ou a central de baterias não pode ser acessível ao público, deve ser protegido por alvenaria, com porta metálica ou do tipo P-30 e ventilação adequada. Deve possuir também detector de temperatura e uma luminária de emergência em seu interior. Na parte externa do abrigo, é necessário um extintor portátil, placas de identificação de todos os circuitos e dispositivos para desligamento. E se for adotado o grupo motogerador, os gases do escapamento devem ser direcionados para fora do abrigo.

A definição do tipo de sistema de iluminação de emergência, depende da complexidade do projeto, sendo que o tamanho do ambiente também influencia muito. Em prédios menores, é recomendado o uso de blocos autônomos. Já em ambientes maiores, o sistema centralizado, seja de baterias ou grupo motogerador passa a ser uma opção viável.

2.3 Sistemas de Detecção e Alarme

O mecanismo de detecção de incêndio na sua forma mais simples utiliza um sensor de fumaça fotoelétrico ou de ionização que é sensível à quantidade de fumaça no ambiente. Ao atingir um determinado limiar, o sistema entende que se trata de um incêndio e ativa os componentes de alarme.

De acordo com a Instrução técnica Nº14 (2017): A seleção do tipo e do local de instalação dos detectores deve ser efetuada com base nas características mais prováveis de um princípio de incêndio e do julgamento técnico, considerando-se os parâmetros: aumento da temperatura, produção de fumaça, produção de chama, materiais existentes nas áreas protegidas, forma e altura do teto, ventilação do ambiente, temperaturas típica e máxima de aplicação, entre outras

características de cada instalação, conforme requisitos técnicos dos equipamentos. Além disso, os projetos precisam sinalizar as seguintes informações: tipo de sistema de detecção e alarme, fonte de alimentação e autonomia, esquema de ligação e identificação dos dispositivos (isométrico), especialização dos equipamentos e características e interligação com outros sistemas preventivos.

Os tipos mais comuns de detectores utilizados são: detectores pontuais de fumaça, detectores pontuais de temperatura, detectores de chama, detectores de fumaça por amostragem de ar, detectores lineares de fumaça e detectores lineares de temperatura. Para a simulação neste artigo, foi escolhido o ‘detector pontual de fumaça’.

2.4 Sistemas de Automação na Segurança Contra Incêndio

A automação em ambientes é algo bastante utilizado na atualidade, pois faz uso do que há de mais moderno na tecnologia, transformando assim qualquer ambiente em algo prático, sofisticado e funcional.

Detectores de fumaça, alarmes de incêndio, iluminação de emergência são exemplos de sistemas de automação que possibilitam maior segurança ao ambiente, além disso, a automação traz conforto e praticidade, seja em uma residência ou empresa. Existem sistemas de automação que permitem controlar um ambiente a distância, usando uma interface seja no celular, tablet, computador, notebook ou até mesmo smartwatch.

Lian (2011) fez uma pesquisa de utilização da rede móvel GSM, que tem ampla difusão, para monitoramento de um sistema multissensor de detecção de incêndio. A detecção era feita através de um sensor de fumaça e outro de temperatura usando um *threshold* variável baseado em um algoritmo de compensação. A notificação do usuário é feita por SMS através da rede GSM.

Mohindru and Singh (2013) desenvolveram um sistema de detecção de incêndio para florestas. Foram usados sensores de temperatura, intensidade luminosa, umidade do ar, CO₂ e o horário

atual como entradas em um sistema de lógica difusa no qual a saída é a probabilidade de estar ocorrendo um incêndio, tendo como resultado um sistema com muito menos alarmes falsos.

Sem dúvidas, a automação em ambientes traz vários benefícios, principalmente nos sistemas de iluminação de emergência, que necessitam de eficiência e que garantam a segurança ao ambiente. Tanto o sistema de iluminação, quanto a detecção e alarme em caso de necessidade de evacuação urgente, são fundamentais para ajudar a salvar vidas.

2.5 Plataforma Arduino

O Arduino foi criado em 2005, com o objetivo de elaborar um dispositivo que fosse ao mesmo tempo barato, funcional e fácil de programar, sendo assim, acessível a estudantes e novos projetistas. Esta plataforma é composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entrada/saída e que pode ser facilmente conectada a um computador e programada via IDE (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizando uma linguagem baseada em C/C++, sem a necessidade de equipamentos extras, somente um cabo USB. A grande utilidade do Arduino se prova pois quando uma vez programado ele age de forma independente e pode ser utilizado como microcontrolador de diversos sistemas.

A programação do Arduino possui uma estrutura básica composta por duas partes: (1) Setup: nessa parte, é configurado as opções iniciais do programa, como os valores iniciais de uma variável, se uma porta será utilizada como entrada ou saída, mensagens para o usuário, entre outros. (2) Loop: É a parte do programa que repete uma estrutura de comandos de forma contínua ou até que algum comando de “parar” seja enviado ao Arduino.

Neste trabalho, foi utilizado a placa Arduino Uno, devido ser a mais comum utilizada, atendendo na maioria dos casos os projetos. O Arduino Uno possui 14 portas digitais e 6 analógicas. Foi simulado um sistema automático de segurança contra incêndio composto de

iluminação de emergência com acionamento de um alarme sonoro e visual, que serão ativados quando um detector de fumaça for acionado.

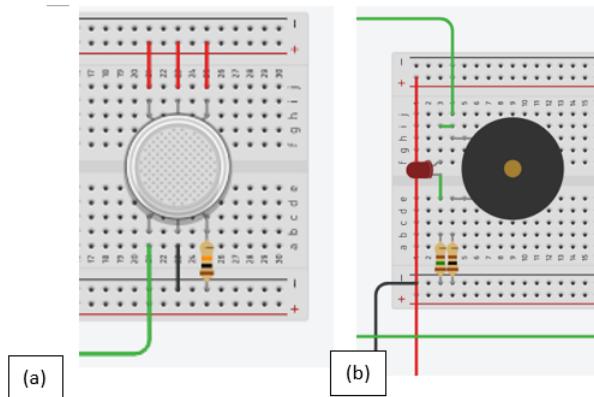
3 METODOLOGIA

A simulação do sistema automático de segurança contra incêndio com iluminação de emergência e alarme sonoro e visual foi desenvolvida consultando notas técnicas e sites especializados na referida aplicação. Todos os componentes necessários para o funcionamento desse sistema foram simulados em um ambiente virtual através do simulador de circuitos, o Tinkercad, que é uma ferramenta de modelagem e programação que funciona no próprio navegador web e é gratuito, utilizando a mesma linguagem da plataforma física do Arduino, a C/C++, dessa forma foi possível reproduzir comandos que podem ser reutilizados em uma possível montagem real do sistema.

Os seguintes componentes foram conectados no protoboard e utilizados na simulação do sistema: Plataforma Arduino Uno, Placa de Ensaio (Protoboard), Cabos de Ligação, Resistores (Foram utilizados 5 resistores com as respectivas resistências: 100Ω , 150Ω , $5K\Omega$, $10k\Omega$ e $25k\Omega$), Sensor Piezoelétrico, Sensor de Gás, Lâmpada, Relé (O acionamento do relé pelo Arduíno é realizado a partir de uma saída digital, além do fornecimento das tensões 5V e GND para alimentar o relé), Led, Bateria (Foi utilizada uma bateria de 9V), Fonte de Energia, Interruptor e Tinkercad.

A montagem e simulação do sistema automático de iluminação de emergência com alarme sonoro e visual, microcontrolado pela plataforma Arduino, foi realizada inicialmente com a adição do sensor de gás ao protoboard, o mesmo detectará um determinado nível de fumaça e em função disso, vai gerar uma tensão que ativará o sensor piezoelétrico. A Figura 1a-b apresenta o esquema de ligação desses dispositivos.

Figura 1: (a) Esquema de ligação do sensor de gás; (b) esquema de ligação do sensor piezoelétrico e um led.



Fonte: Autores.

Os três terminais na parte superior do sensor de gás foram ligados nos polos positivos, já os terminais de baixo, o primeiro fará a leitura do nível de fumaça, o do meio foi ligado no polo negativo e o terceiro foi ligado a um resistor de $10k\Omega$ que também foi ligado no polo negativo. Já o sensor piezoelétrico teve o seu primeiro terminal conectado no polo positivo e o segundo terminal foi ligado a um resistor de 100Ω que foi ligado no polo negativo. Esse sensor piezoelétrico servirá de sinal sonoro caso seja identificado a presença de fumaça pelo sensor de gás.

Ainda na Figura 1b foi adicionado um led conectado a um resistor de 150Ω , com o objetivo de servir de sinal visual caso haja a detecção de fumaça e voltará a se apagar e permanecer apagado enquanto não houver fumaça.

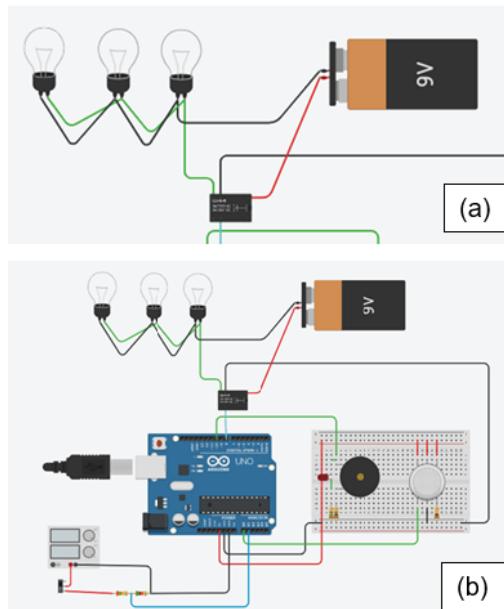
Em seguida, foi conectado em paralelo lâmpadas que servirão como iluminação de emergência tanto em caso de incêndio, ou em falta de energia. Para isso, foi conectado as lâmpadas a um relé e também a uma bateria 9V como apresentado na Figura 2a:

Para simular a possível falta de energia, foi adicionado uma fonte de energia que está conectada ao sistema, sendo controlada por um interruptor deslizante, onde é possível simular a ausência de energia no

sistema, fazendo com que a iluminação de emergência seja acionada pela bateria enquanto não for estabelecido a interrupção de energia. Quando volta a energia, a iluminação de emergência se apaga.

A Figura 2b apresenta todos os componentes conectados ao protoboard e no Arduino Uno.

Figura 2: (a) Esquema de ligação da iluminação de emergência acionada por um relé e conectadas a uma bateria; (b) Visão geral do sistema.

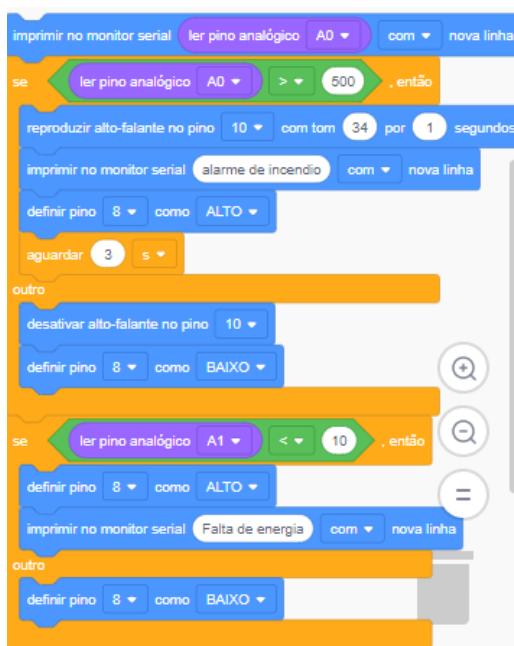


Fonte: Autores.

À medida que foram sendo conectados os dispositivos, foi utilizado a linguagem de programação baseada em blocos. O pino analógico A0 (figura 3) é o pino onde está conectado o sensor de gás, se a leitura desse pino for maior que (500) que é o nível de sensibilidade ajustada, que pode depender do tipo de sensor de gás, será reproduzido o alto-falante na saída digital 10, que é o pino onde o sensor piezoelétrico está conectado e assim também o led se acenderá como sinal visual. O tom do sensor é de (34), tonalidade que é definida

mediante o sinal elétrico recebido no sensor sonoro e será reproduzido um som com duração de 1 segundo e pausa de 3s. Ao mesmo tempo, o pino 8 será definido como ALTO, ativando o relé que fará a iluminação de emergência ligar. Quando a leitura do pino A0 for menor ou igual a (500), será desativado o alto-falante no pino 10, desativando assim o sensor piezoelétrico e o led e definindo o pino 8 como BAIXO, consequentemente não ativando o relé, fazendo a lâmpada desligar.

Figura 3: Programação em blocos.



Fonte: Autores.

Na programação foi definida também a leitura do pino analógico A1 (figura 3) onde se a leitura for menor que 10, que se refere à falta de corrente elétrica emitida pela fonte de energia, e em caso de ausência de energia, o pino 8 onde está conectado o relé que aciona a iluminação de emergência, será definido como ALTO acionando a

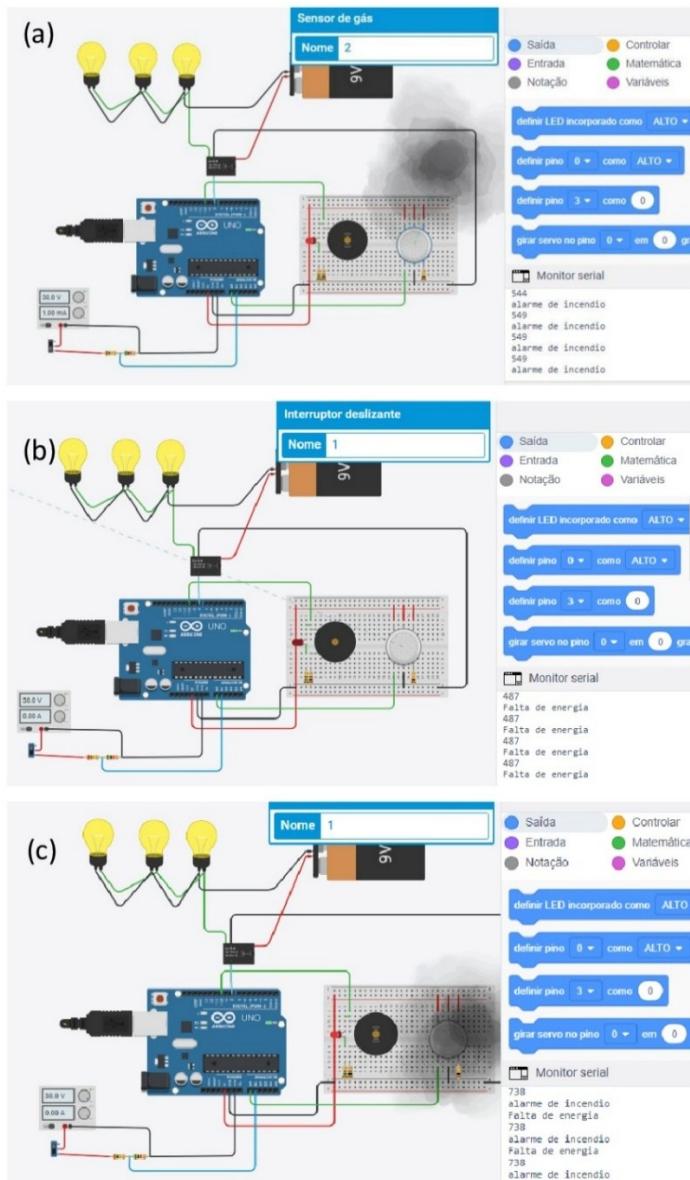
iluminação de emergência por meio da bateria. Caso contrário, o pino 8 será definido como BAIXO e a iluminação de emergência se apaga.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com todos os códigos ajustados, foi iniciada a simulação conforme a montagem explicitada na figura 2b. Analisando o monitor serial, podemos observar o comportamento do sistema em 3 situações: caso de incêndio, falta de energia e falta de energia e incêndio (Figura 4a-b-c).

Como pode-se observar, assim que a sensibilidade de gás ultrapassa (500) como foi definido nas configurações de códigos, o sensor piezoelétrico (alarme sonoro) e o led (alarme visual) são acionados e juntamente com ele é acionado a iluminação de emergência (Figura 4a). No monitor serial é impresso o valor que foi medido pelo sensor de gás e emitido a mensagem “alarme de incêndio”, notificando assim a atuação do sistema.

Figura 4: (a) Monitor Serial em simulação do sistema em caso de incêndio; (b) Monitor Serial em simulação do sistema em falta de energia; (c) Monitor Serial em simulação do sistema em falta de energia e incêndio.



Fonte: Autores.

Agora para simular uma ausência de energia, foi desativada a fonte de energia pelo interruptor, e conforme foi programado, com a ausência de energia, o pino 8 é definido como ALTO, ativando o relé, ligando a iluminação de emergência pela bateria, porém não será acionado o alarme sonoro e visual, pois se trata apenas de falta de energia. No monitor serial, conforme também programado, com a falta de energia, será impresso: “Falta de Energia”, como apresenta a Figura 4b:

Esse sistema também funcionará em ambos casos, caso tenha um incêndio e também falte energia, onde o monitor serial informará sobre o incêndio e a falta de energia, como apresenta a Figura 4c.

Isso é uma reprodução digital de um sistema que claramente pode salvar vidas e ser controlado por uma plataforma digital utilizando o Arduino.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento deste trabalho tornou-se evidente que os sistemas automáticos integrados à iluminação de emergência são essenciais em diversos ambientes laborais, principalmente por sua capacidade de reduzir acidentes. Além disso, o Arduino, por sua versatilidade, se mostra uma solução eficiente para múltiplas aplicações.

Foi simulado em um ambiente virtual (Tinkercad) um sistema de iluminação de emergência com alarme sonoro e visual, eficaz tanto em caso de incêndio ou falta de energia, microcontrolado pelo Arduino e os resultados foram satisfatórios, possibilitando assim a utilização dessa plataforma para desenvolvimento e estudo desse sistema de emergência, uma vez que apresenta características de fácil manipulação e configuração.

Para trabalhos futuros, podem ser feitas a simulação na prática desse circuito, a implementação de sensor de temperatura para maior proteção e interligação com nuvem (internet) para o envio de informações em tempo real.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, Marty. *Smoke alarm presence and performance in U.S. home fires*. Springer Science, 2010.
- AUREON. *Iluminação de emergência*. Disponível em: <https://www.aureon.com.br/iluminacao-de-emergencia>. Acesso em: 25 maio 2021.
- CRUZ, Rui M.; BATISTA, João Santos; DIOGO, Miguel Tato. Gestão da emergência em escolas. *Revista Territorium*, n. 18, p. 133-146, 2011.
- DUARTE, Rogério Bernardes. *SCIER: Segurança Contra Incêndio em Edificações – Recomendações*. Campinas: Firek Segurança Contra Incêndio; UNICAMP-FEC, 2018.
- INSTRUÇÃO TÉCNICA. *Carga de Incêndio nas Edificações, Estruturas e Áreas de Risco*, n. 14, 2017.
- KWUN, Joon-Bum; LEE, Seung-Sun. Optimized exit location planning in an underground mega mall based on mathematical model of algorithm. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, p. 260, set. 2013.
- LIAN, Chun-Yuan. Design of intelligent fire alarm system based on GSM network. *International Conference on Electronics and Optoelectronics*, 2011.
- MOHINDRU, Parul; SINGH, Rajdeep. Multi-sensor based forest fire detection system. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCe)*, 2013.
- ONO, Rosaria. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. *Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97-113, 2007.
- SEITO, Alexandre Itiu et al. *A segurança contra incêndio no Brasil*. São Paulo: Projeto Editora, 2008.
- SPRINKLER BRASIL. *Estatísticas 2020*. Disponível em: <https://sprinklerbrasil.org.br/estatisticas-2020/>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- TANAKA, Koji; KATO, Takashi. The emergency exit sign can be made more effective with advance information on the evacuation route. *The Japanese Journal of Psychology*, v. 83, n. 3, p. 182-192, 2012.

THORUS ENGENHARIA. *Iluminação de emergência: projeto de prevenção e combate a incêndio*. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/iluminacao-emergencia-projeto-prevencao-combate-incendio/>. Acesso em: 27 maio 2021.

CAPÍTULO 2

ESTIMATIVA DE PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE MATERIAIS CONDUTORES MULTICAMADAS

***ESTIMATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF MULTILAYER
CONDUCTIVE MATERIALS***

Arthur Moreira Souza

UFS – Universidade Federal de Sergipe
São Cristovão – Sergipe
arthurmoreirabr.am@gmail.com

Leoraig Santos Cardoso

UFS – Universidade Federal de Sergipe
São Cristovão – Sergipe
leoraig_cardoso@hotmail.com

José Aguiar dos Santos Junior

UFS – Universidade Federal de Sergipe
São Cristovão – Sergipe
aguiar@academico.ufs.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz
FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

Materiais condutores desempenham um papel vital em uma ampla gama de aplicações. Isso se deve à habilidade desses materiais de transferir calor de maneira rápida e eficiente, tornando-os adequados para diversas aplicações térmicas. No entanto, surgem requisitos específicos que muitas vezes não são facilmente encontrados em um único material. Portanto, é comum usar materiais condutores em conjunto com camadas de materiais distintos. Essa abordagem permite a combinação de diversas propriedades em uma única estrutura, criando oportunidades para soluções inovadoras. Visto isso, cada dia mais surge a necessidade de estudar o funcionamento destes materiais e de suas propriedades, em especial as propriedades térmicas. Este estudo aborda a determinação da difusividade térmica e da condutividade térmica em materiais condutores, por meio da inferência bayesiana e do algoritmo genético. O método busca estimar parâmetros térmicos a partir de dados experimentais simulados, sendo uma estratégia sequencial aplicada, inicialmente estimando a difusividade térmica, seguida pela condutividade térmica. O método é testado em placas monocamadas e bicamadas, sendo obtidos em ambos os casos erros inferiores a 5%.

Palavras-Chave: Problema inverso, Algoritmo genético, Inferência bayesiana, Difusividade térmica, Condutividade térmica.

ABSTRACT

Conductive materials play a vital role in a wide range of applications. This is due to their ability to transfer heat quickly and efficiently, making them suitable for various thermal applications. However, specific requirements often arise that are not easily met by a single material. Therefore, it is common to use conductive materials in combination with layers of distinct materials. This approach allows for the integration of multiple properties within a single structure, creating opportunities for innovative

solutions. Given this, there is an increasing need to study the behavior of these materials and their properties, particularly their thermal properties. This study addresses the determination of thermal diffusivity and thermal conductivity in conductive materials through Bayesian inference and genetic algorithms. The method aims to estimate thermal parameters from simulated experimental data, following a sequential strategy: initially estimating thermal diffusivity, followed by thermal conductivity. The method is tested on single-layer and bilayer plates, achieving errors below 5% in both cases.

Keywords: Inverse problem, Genetic algorithm, Bayesian inference, Thermal diffusivity, Thermal conductivity

1. INTRODUÇÃO

Materiais condutores desempenham um papel vital em uma ampla gama de aplicações, abrangendo desde o domínio da eletrônica até a promoção da eficiência energética. Isso se deve à habilidade desses materiais de transferir calor de maneira rápida e eficiente. Visto isso, cada dia mais surge a necessidade de estudar o funcionamento destes materiais e de suas propriedades termofísicas, em especial a condutividade térmica e a difusividade térmica. A compreensão precisa dessas propriedades é essencial para áreas que vão do setor elétrico até a indústria de alimentos.

2. REVISÃO LITERÁRIA

A maioria dos métodos encontrados na literatura para medição de propriedades térmicas utiliza dados de um ponto dentro do material ou de ambas as superfícies de acesso para estimar as propriedades (SANTOS JUNIOR *et al*, 2022, p.2), o que se torna inviável em muitas aplicações. Além disso, as técnicas mais tradicionais também enfrentam barreiras, como o caráter destrutivo do método do fio quente

ou o alto custo do método Flash (TILLMANN *et al.* 2005, p. 8). Por outro lado, outros estudos têm apresentado resultados mais promissores.

Santos Junior (2022) conseguiu realizar a estimativa da condutividade térmica e da difusividade térmica de maneira sequencial em superfícies revestidas e texturizadas por meio da inferência bayesiana.

Roque (2023) estimou ambas as propriedades de forma sequencial utilizando o algoritmo genético multiobjetivo em uma placa de aço carbono ABNT 1045. Além disso, Tillmann (2005) realizou a estimativa sequencial da difusividade térmica por meio de uma função objetivo no domínio da frequência e da condutividade térmica no domínio do tempo, ambos usando apenas um ponto de acesso.

Neste contexto, o método desenvolvido neste trabalho baseia-se na aplicação de um algoritmo de análise sistemática e pontual para a estimativa sequencial das propriedades térmicas, utilizando dois termopares de maneira não destrutiva em um único ponto de acesso em placas de uma e duas camadas. Esta técnica se dá a partir tanto do problema direto como do problema inverso, os problemas diretos estão relacionados com as propriedades de existência e unicidade da solução, bem como a estabilidade da solução em relação a perturbações nos dados fornecidos (ZABARAS *et al.* 2000, p. 2).

Em suma, o problema direto calcula a distribuição de temperatura a partir das propriedades térmicas e do fluxo aplicado. Já no problema inverso é possível estimar propriedades do sistema a partir de dados observados, análises inversas são encontradas em problemas de transferência de calor de modo único e multimodo. As aplicações variam desde a estimativa de parâmetros de transferência de calor constantes até o mapeamento de funções variáveis espacial e temporalmente, como fontes de calor, fluxos e propriedades termofísicas. (ORLANDE *et al.* 2012, p. 1).

Para isso, obtiveram-se variações de temperatura por meio de um fluxo de calor imposto. Os dados simulados foram comparados com variações de temperatura de referência e, pelo problema inverso, estimaram-se as propriedades. Para otimizar essas estimativas, aplicaram-se a inferência bayesiana, que refina resultados com base

em incertezas, e o algoritmo genético, que seleciona as melhores soluções evolutivamente. Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar uma técnica simulada, visando estimar a difusividade e condutividade térmica sequencialmente com base na variação da temperatura em dois pontos diferentes, a partir de um fluxo de calor conhecido.

3. METODOLOGIA

3.1 Simulação Numérica dos Cenários de Estudo

A solução do problema direto utilizou o método de elementos finitos em dois cenários diferentes, o primeiro cenário foi um bloco de camada única, já o segundo cenário foi de um material bicamada, em ambos os cenários foi feito uma malha de refino regular com as propriedades de referência fixadas conforme a Tabela 1, com uso de software de elementos finitos. Um fluxo senoidal foi aplicado em uma região específica, considerando a condução de calor em regime transiente sem geração de calor, com as faces da placa isoladas, exceto na área do fluxo. Dois termopares foram posicionados na mesma superfície do fluxo para registrar a temperatura ao longo de 100 segundos. As dimensões e a localização dos termopares estão na Tabela 1, e a representação dos modelos pode ser vista na figura 1.

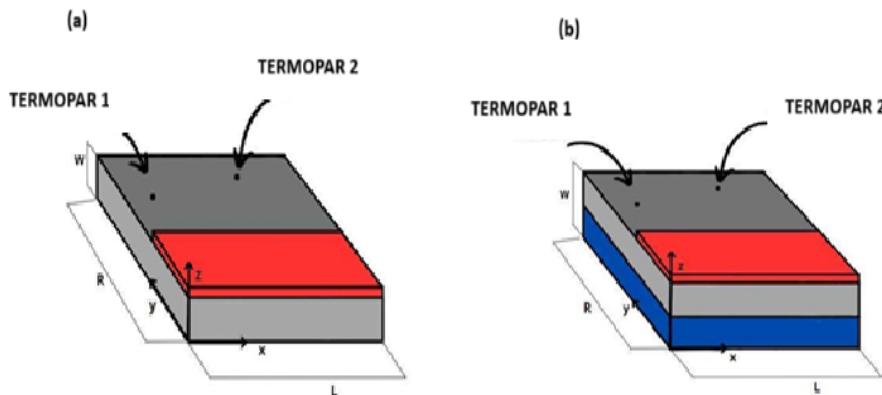
Tabela 1 - Dimensões características do modelo tridimensional, região de aquecimento e posicionamento dos termopares em $z = W$.

LxRxW (mm³)	Região aquecida (mm²)	Termo-par	Coordenada do termopar (mm)
50x50x20,6	L1=0	T1	x=21,21
	L2=50		y=24,91
	R1=0	T2	x=27,79
	R2=2		y=44,79

Fonte: Autores.

No primeiro cenário, o fluxo de calor foi imposto em um bloco maciço de metal duro WC - 6%Co, ou seja, uma liga de carboneto de tungstênio com 6% de cobalto, com temperatura inicial de 273 K. Já no segundo cenário, foram propostas duas camadas de mesma geometria LxRxW, cuja as dimensões podem ser vista na tabela 2, onde o fluxo de calor e os termopares estão localizados na parte superior na superfície de nitreto de titânio (TiN), a qual está em contato perfeito com a placa de WC - 6%Co, com temperatura inicial de 295,73K.

Figura 1: Modelo tridimensional das placas: (a) Bloco uma camada e (b) Bloco bicamada



Fonte: Autores

3.2 Problema inverso para placa de camada única WC-6%Co

A inferência bayesiana permite estimar parâmetros desconhecidos com base em informações prévias e dados experimentais, é uma técnica estatística já utilizada para estimar propriedades térmicas conforme Santos Junior (2022). Neste estudo, foi aplicada a abordagem offline, onde amostras são geradas dentro de um intervalo conhecido e inseridas no problema direto. A propriedade

com a maior verossimilhança é então estimada, o que requer a solução do problema direto para diferentes valores de difusividade e condutividade térmica, visando minimizar as diferenças entre as temperaturas de referência e as geradas pelas propriedades aleatórias.

Primeiro, a difusividade térmica é estimada, pois a razão da temperatura em dois pontos distintos não depende da condutividade térmica, conforme Santos Junior (2022), de posse do valor da difusividade térmica é possível usar ele para estimar a condutividade térmica. Com os dados de temperatura, calcula-se a função de densidade de probabilidade (PDF), e a propriedade associada ao maior valor de PDF é considerada a estimada. Esses métodos foram implementados por meio uma rotina de programação, com as equações relevantes apresentadas nas equações 1 e 2.

Para difusividade térmica:

$$PDF = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{\left(\frac{\theta(t_1)}{\theta(t_2)} - \frac{Y(t_1)}{Y(t_2)}\right)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Para condutividade térmica:

$$PDF = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{(\theta(t) - Y(t))^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

Nas equações apresentadas, σ^2 representa a variância, o termo $\theta(t_i)$ refere-se aos valores de temperatura(°C) nos termopares quando são utilizadas as propriedades de referência, enquanto $Y(t_i)$ representa os valores de temperatura(°C) simulados com as propriedades aleatórias. A comparação entre esses dois conjuntos de dados, por meio da função densidade de probabilidade (PDF), permite identificar a

propriedade térmica mais compatível com os dados experimentais de referência.

3.3 Problema inverso para dupla camada de WC-6%Co e TiN

O problema inverso com dupla camada tem o objetivo estimar a difusividade térmica e condutividade térmica apenas da placa de WC - 6%Co, com as propriedade da camada superior de TiN conhecidas, como mostradas na Tabela 1, para isso foi usado o algoritmo genético multiobjetivo (AGM), pois devido a sua capacidade de selecionar candidatos mais aptos de cada geração, o AGM tem sido amplamente utilizado na estimativa simultânea de várias propriedades térmicas, como condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico (ROQUE *et al*, 2023, p. 20). Neste caso, as propriedades foram determinadas de maneira sequencial, sendo a difusividade térmica estimada primeiro usando a razão dos termopares e a condutividade térmica sendo calculada usando o valor da difusividade térmica de referência, como no caso do problema de uma camada descrito anteriormente.

O algoritmo genético (AG) é uma abordagem de otimização que emula o processo de seleção natural. Nesse contexto, o AG opera ao empregar um conjunto de valores de propriedades hipotéticas, conhecido como população (P), que evolui ao longo de sucessivas gerações (G). No atual trabalho foi usado uma função nativa do MATLAB que realiza o algoritmo genético multiobjetivo (AGM), porém neste trabalho apenas uma função objetiva foi usada.

A função objetivo usada na determinação de ambas as propriedades é calculada a partir das temperaturas geradas tanto pelo valor de referência como pelos valores candidatos, o valor que gerar a melhor minimização da função objetivo será o valor de propriedade inferida pelo método. As funções objetivo podem ser vistas nas equações 3 e 4:

Para difusividade térmica:

$$F(\alpha) = \sum_{i=1}^P \left(\frac{\theta(t_1)}{\theta(t_2)} - \frac{Y(t_1)}{Y(t_2)} \right)^2 \quad (3)$$

Para condutividade térmica:

$$F(k) = \sum_{i=1}^P (\theta(t) - Y(t))^2 \quad (4)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Determinação da difusividade e da condutividade térmica na placa plana de WC-6%Co

Para a estimativa da difusividade térmica, realizou-se alguns testes onde foi estabelecido um limite de intervalo de $0,5e-5 \text{ m}^2/\text{s}$ a $1e-4 \text{ m}^2/\text{s}$, e um número de 32, 64 e 128 interações. Os valores gerados de difusividade térmica que obtiveram o melhor valor de função de densidade de probabilidade (PDF) podem ser vistos na tabela 2, enquanto a figura 2a mostra o gráfico dos valores gerados e seus valores de PDF.

Tabela 2 - Resultados da difusividade e condutividade térmica por inferência bayesiana offline

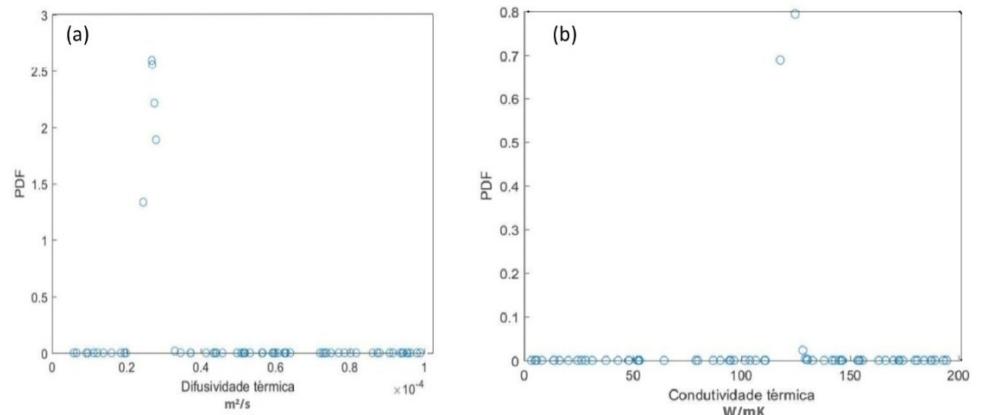
Número de iterações	Difusividade térmica [m^2/s]	Erro	Condutividade Térmica [$\text{W}/\text{m.K}$]	Erro
32	2,4717e-5	9,02%	126,6716	4,43%
64	2,6263e-5	0,14%	121,2925	0,01%
128	2,6066e-5	1,26%	121,1947	0,09%

Fonte: Autores.

Com base nos dados apresentados na Tabela 2, é evidente que com a realização de 64 iterações já é suficiente para estimar a difusividade térmica. O erro associado a essa estimativa é menor que 1%, o que indica um bom grau de precisão.

Para a estimativa da Condutividade térmica, realizou-se alguns testes. Foi estabelecido um limite de intervalo de 1 a 200 W/m.K, com um número de 32, 64 e 128 interações. Os valores gerados de condutividade térmica que obtiveram o melhor valor de função de densidade de probabilidade (PDF) podem ser vistos na tabela 2, enquanto a figura 2b mostra o gráfico dos valores gerados e seus valores de PDF. Os dados apresentados na Tabela 2 evidenciam que, em relação ao número de amostras, é viável realizar a estimativa da propriedade com um total de 64 iterações. Nesse ponto, a estimativa possui um erro de apenas 0,01%, em comparação com os valores de referência. Além disso, é notável que houve um aumento marginal de 0,08% no erro quando comparado com a estimativa gerada a partir de 128 iterações, isto se deve ao fato dos valores gerados serem aleatórios.

Figura 2: (a) Gráfico PDF de difusividade térmica sem ruído, com 64 iterações;
(b) Gráfico PDF de condutividade térmica sem ruído, com 64 iterações.



Fonte: Autores.

4.2 Determinação da difusividade e da condutividade térmica para placa dupla de WC - 6%Co e TiN

Para a estimativa da difusividade térmica da placa de WC - 6%Co, realizou-se alguns testes considerando as propriedades da placa de TiN conhecidas. Foi estabelecido um intervalo para os valores de população que vão de $0,5\text{e-}5 \text{ m}^2/\text{s}$ até $1\text{e-}4 \text{ m}^2/\text{s}$. Os resultados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 3 - Estimativas da difusividade e condutividade térmica sem ruído por AGM

População	Geração	Difusividade Térmica (m^2/s)	Erro	Condutividade Térmica (W/mK)	Erro
10	5	$2,0588\text{e-}5$	22,02%	159,4020	31,41%
20	10	$2,5985\text{e-}5$	1,57%	121,2998	0,24%
30	15	---		122,0110	0,59%

Fonte:Autores

A partir dos dados da Tabela 2, nota-se que uma boa estimativa em $P=20$ e $G=10$, tendo estimado a propriedade com um erro de 1,57%, porém o mesmo não ocorre em $P=10$ e $G=5$, mostrando a necessidade do aumento da população e da geração em certos casos.

Para a estimativa da condutividade térmica, realizou-se alguns testes onde foi estabelecido um intervalo de população que vai de 1 W/mK até 200 W/mK . O valor de difusividade térmica da placa de WC - 6%Co foi fixado igual ao de referência, além disso, os valores de propriedades de referência da placa TiN foram os mesmos da tabela 1. Os resultados podem ser observados na tabela 3.

Foi possível estimar em $P=20$ e $G=10$, porém em $P=30$ e $G=15$ ocorreu um pequeno aumento no erro, é importante citar que foi notado um grande aumento no tempo de processamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos a inferência bayesiana demonstrou sua eficácia na estimação das propriedades térmicas, sendo utilizada para a estimativa sequencial de difusividade térmica e a condutividade térmica, sendo que no caso da condutividade térmica a difusividade precisa ser conhecida. Em ambos os casos se tornou possível obter resultados precisos através da análise sistemática e pontual, conseguindo gerar resultados com erros menores que 5% em todos os casos que o número de interações é superior a 64 interações, entretanto, ao ser testada em um modelo bicamada obteve resultados não satisfatórios, não sendo incluída neste trabalho.

Por sua vez, o algoritmo genético multiobjetivo viabilizou a estimativa sequencial das propriedades em materiais com mais de uma camada. Apesar de se destacar pela sua capacidade de otimização e adaptação ao longo das gerações, é importante salientar que a escolha dos parâmetros de população e geração pode ocasionalmente resultar em estimativas pouco coerentes, sendo geradas estimativas com erros superiores ao 20% em populações e gerações baixas. Além disso, sua aplicação com populações e gerações numerosas pode acarretar em alto custo computacional e tempos de simulação prolongados, o que apresenta desafios significativos para estimativas em tempo real, porém nesse cenário foram geradas estimativas satisfatórias com erros inferiores aos 2%. Esses aspectos devem ser considerados no processo de implementação, visando a obtenção de resultados confiáveis e eficientes.

Portanto, essa pesquisa evidenciou a relevância das técnicas empregadas na solução de problemas inversos em transferência de calor, oferecendo uma abordagem robusta para a determinação de propriedades térmicas em materiais bicamadas, tendo conseguido realizar boas estimativas quando as propriedades de uma das camadas são conhecida. Contribuindo para a compreensão e aplicação de métodos avançados na engenharia térmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAROLLO, Luís. **Aplicação de Diferentes Intensidades de Fluxo de Calor para a Estimação Simultânea de Propriedades Termofísicas de Materiais Metálicos em Função da Temperatura.** 2016. 92. Pós graduação - Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2016

FERNANDES, A.P.; GUIMARÃES, G.; SANTOS, B.M. **An analytical transfer function method to solve inverse heat conduction problems** journal homepage: Elsevier: 2015.

JUNIOR, J. **Estimativa simultânea de propriedades térmicas usando uma superfície de aquecimento ativa e inferência bayesiana: Aplicação em superfícies revestidas e texturizadas.** Tese (Doutorado em engenharia mecânica) – Faculdade de engenharia, Universidade federal de Uberlândia. Minas Gerais. 2022.

ORLANDES, HELCIO. **Inverse Problems in Heat transfer: New trends on solution methodologies and applications.** Journal of Heat Transfer: 2012

ROQUE, A. **Estimativa sequencial e simultânea de propriedades térmicas de materiais condutores, utilizando algoritmo genético e funções de green.** TCC (Graduação em engenharia mecânica) – Faculdade de engenharia, Universidade Federal de Sergipe. Sergipe. 2023.

TILLMANN, A.R. **Determinação simultânea da condutividade térmica e da difusividade térmica variando com a temperatura.** Tese (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ZABARAS, Nicholas. **Inverse problems in heat transfer.** editora: e-papers: 2000.

CAPÍTULO 3

IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS MISO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA USANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

IDENTIFICATION AND MODELING OF MISO ARCHITECTURES FOR PHOTOVOLTAIC SOLAR POWER GENERATION VIA ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão

Pedreiras – Maranhão

ronnyel.silva@ifma.edu.br

José Maria Pires de Menezes Júnior

UFPI – Universidade Federal do Piauí

Teresina – Piauí

josemenezesjr@ufpi.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão

Pedreiras – Maranhão

thianne.christina@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão

Pedreiras – Maranhão

thiago.aguiar@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz

FACIMP – Faculdade de Imperatriz

Imperatriz – Maranhão

raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

O uso de fontes alternativas de energia vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, neste âmbito, a energia solar fotovoltaica tem apresentado grande participação nesse mercado, aumentado a sua

participação na matriz energética mundial. Consequentemente, novos métodos de identificação de modelos de geração solar fotovoltaica precisam ser implementados em busca de um planejamento energético adequado. Nesse sentido, redes neurais artificiais têm sido usadas para calcular a radiação solar incidente baseado em parâmetros meteorológicos e ambientais. Entretanto, a utilização de modelos Multiple Input Single Output (MISO) para geração em sistemas fotovoltaicos tem sido pouco explorada pelos pesquisadores. Neste trabalho utilizou-se redes neurais artificiais de múltiplas camadas e regressão linear múltipla para estimar a geração solar fotovoltaica para um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica baseado em variáveis de radiação solar direta horizontal, velocidade do vento e temperatura ambiente.

Palavras-chave: Redes neurais artificiais; regressão linear múltipla; geração solar fotovoltaica.

ABSTRACT

The use of alternative sources of energy has been growing in recent years, in this context, photovoltaic solar energy has a great presence in this market, having been a great source of world energy. Consequently, new methods of identifying models of photovoltaic solar generation need to be implemented in search of an adequate energy program. Artificial neural networks have been used for computational solar incidents based on meteorological and environmental parameters. However, the use of Multiple Input Single Output (MISO) models for photovoltaic generation has been little explored by the researchers. In this work I use artificial neural networks with multiple linear layers and regression to estimate a generation of photovoltaic solar energy for a photovoltaic system to a series of variables of direct horizontal solar radiation, wind velocity and ambient temperature.

Keywords: Artificial neural networks; multiple linear regression; solar photovoltaic generation.

1. INTRODUÇÃO

É evidente que o crescimento tecnológico da sociedade como um todo é acompanhado por uma demanda crescente de energia elétrica para o suprimento das necessidades básicas. Tendo em vista esse crescimento e o esgotamento das fontes convencionais não renováveis, torna-se necessário a intensificação do estudo de fontes alternativas de energia elétrica, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias para geração de energia.

O uso de fontes alternativas de energia vem crescendo de forma considerável nos últimos anos, e neste cenário, a energia solar fotovoltaica tem sido uma forte representante. Embora seja a energia eólica a maior detentora do volume de investimentos, o Brasil, em virtude da sua localização - na maior parte na região intertropical - possui grande potencial para que haja o aproveitamento de energia solar durante todo o ano. Além disso, a utilização desta forma de energia contribui a longo prazo para o país, já que a taxa de retorno de investimento não é alta em relação ao custo de eletrificação pela rede convencional em regiões remotas (Pereira et al., 2008).

Outro fator que contribui para a utilização da energia solar em detrimento da energia convencional é o esgotamento da capacidade de ampliação de geração hidráulica, além do intenso uso das termelétricas, que acabam tornando o preço da energia elétrica cada vez maior (EPE, 2018). Mesmo em decorrência da localização estratégica do Brasil, a utilização da energia solar não se restringe ao contexto nacional, sendo a China e os Estados Unidos os maiores líderes em geração de energia solar no mundo (Xiangwen, 2012).

A geração de energia solar fotovoltaica ocorre por meio da utilização de estruturas contendo um conjunto de células fotovoltaicas, recebendo o nome de painel fotovoltaico, que faz uso do efeito fotovoltaico, convertendo luz em eletricidade (Panwar et al, 2011).

A energia proveniente do Sol que incide sobre o planeta Terra sob a forma de irradiação solar é responsável, direta ou indiretamente,

por quase todas as outras fontes de energia. De forma direta, além de utilizada para o aquecimento de fluidos para geração de potência mecânica, tal energia pode ser convertida em elétrica através de materiais fotovoltaicos, sendo essa uma forma não poluente de gerar eletricidade (De Energia Solar, 2013).

No âmbito do planejamento energético, o conhecimento da geração de energia futura é de suma importância na determinação de medidas a curto, médio e longo prazo para que não seja interrompido o suprimento de energia elétrica. Assim, uma abordagem alternativa na determinação da geração futura em sistemas fotovoltaicos é a utilização de variáveis ambientais, como: radiação horizontal, radiação difusa e temperatura ambiente, como variáveis preditoras (Hashimura, 2012).

2. REVISÃO DA LITERATURA

No que tange a geração e consumo de energia elétrica, tem-se que toda a energia consumida é gerada instantaneamente. Portanto, para que toda a demanda de energia seja atendida, instantaneamente, a energia consumida deve ser exatamente igual a energia gerada. Assim, a confiabilidade e estabilidade do sistema elétrico de potência depende diretamente do potencial de geração disponível. Por essas razões, a capacidade de predizer valores futuros de geração solar fotovoltaica é de fundamental importância para o planejamento energético (Lacchini et al., 2016).

Nesse sentido, a utilização de redes neurais artificiais para a predição de valores futuros de geração de energia baseado em dados ambientais de entrada tem proporcionado bons resultados, como os que são apresentados em Muhammad et al., (2014). Jimenez et al., (2016) utiliza redes neurais de base radial (RBF) e redes neurais perceptron múltiplas camadas (MLP) para predição da radiação solar global (GSR). O modelo utilizado usa como variáveis de entrada a velocidade do vento, a humidade relativa do ar e os meses do ano.

Rizwan et al., (2012) aplica redes neurais MLP e lógica fuzzy para predizer valores futuros de radiação solar global (GSR). O modelo

utilizado pelos autores usava como parâmetros os dados de latitude, longitude, altitude, horas de sol, temperatura ambiente e meses do ano. Guarnieri (2006) aplica redes neurais MLP e regressão linear múltipla para predição de GSR no modelo regional ETA (modelo de previsão de variáveis meteorológicas) aplicado a estações meteorológicas.

Chatziagorakis et.al., (2014) utiliza redes neurais treinadas a partir do algoritmo Levenberg-Marquardt para melhorar a gestão de energia através da variável de irradiação solar do ambiente. Pinheiro et al., (2017) utiliza redes neurais treinadas a partir do algoritmo Levenberg-Marquard para previsão da energia elétrica futura gerada por um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.

Kumar et al., (2018) utiliza um modelo de circuito equivalente a um único diodo para a simulação detalhada passo a passo de um módulo fotovoltaico solar sob o ambiente Matlab / Simulink e analisa o desempenho do módulo simulado mediante variação de parâmetros meteorológicos.

Hassan et al., (2017) utiliza um modelo matemático para modelar os componentes de radiação solar e a geração de energia de painéis fotovoltaicos. Onde mostra-se que o modelo de predição pode ser usado na detecção de falhas do sistema fotovoltaico.

Saberian et al., (2014) aplicou um método de modelagem de energia solar utilizando redes neurais artificiais. Duas estruturas de redes neurais foram utilizadas para modelar a potência de saída de um painel solar fotovoltaico, a saber uma rede de propagação feedforward (FFBP) e uma rede de regressão geral (GRNN).

Portanto, observou-se que a maioria dos estudos realizados, que se dedicam a tarefa de previsão de geração de energia solar fotovoltaica relacionam-se ao dimensionamento de inversores de frequência e à previsão da radiação da radiação solar. Com exceção de Pinheiro et al., (2017) nenhum dos demais pesquisadores utilizaram redes neurais em seus trabalhos para predizer a geração solar fotovoltaica de um sistema solar fotovoltaico.

Assim, este artigo apresenta como proposta diferente das demais a aplicação de dois métodos para a identificação de modelos MISO (Multiple Input Single Output) para geração de energia solar

fotovoltaica utilizando redes neurais artificiais e regressão linear múltipla.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Propomos inicialmente um modelo de regressão linear múltipla em que Y representa a geração solar fotovoltaica e as entradas são a velocidade do vento (V.V), a temperatura ambiente (T.A) e a radiação direta horizontal (R.D.H).

Portanto, o modelo proposto tem a saída estimada conforme é visto na equação 1:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k + e \quad (1)$$

na qual β_i são os coeficientes de regressão real, x_i são os parâmetros de entrada do modelo e e é o erro do modelo.

A segunda abordagem adotada nesse trabalho para a quantificação da geração de energia elétrica de sistemas fotovoltaicos a partir das variáveis ambientais é feita utilizando a rede neural de múltiplas camadas (MLP).

Por razões explicadas em tópicos anteriores, utilizou-se como entradas da rede neural a velocidade do vento, a temperatura ambiente e a radiação direta horizontal. Já a saída foi definida como sendo a geração de energia solar fotovoltaica.

4. METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizados dois bancos de dados fornecidos pela plataforma Open Power System Data: banco de dados climatológicos e banco de dados de geração fotovoltaica de sistemas conectados à rede. Para realizar o processamento dos dados e

implementação das técnicas que foram aplicadas utilizou-se o software Matlab® (Mathworks, 2015). Os dados se referem a um sistema de geração fotovoltaico instalado na Alemanha e o intervalo de tempo dos dados utilizado estendeu-se pelo período de 1 ano, em intervalos de uma hora, referente ao ano de 2016, nos quais os seguintes dados encontram-se disponíveis: temperatura ambiente, velocidade do vento, radiação direta horizontal, radiação difusa horizontal e geração solar fotovoltaica.

Para a montagem dos padrões de entrada e posterior alimentação dos modelos foi necessário realizar uma análise inicial nas duas bases de dados (base climatológica e base de geração solar fotovoltaica), buscando por incoerências específicas presentes na mesma.

Nessa etapa fez-se uma busca na base de dados por pontos “Outliers” e “NaN”, ou seja, que não fazem parte da distribuição entre as variáveis do problema abordado. Após a etapa de pré-processamento dos dados, calculou-se a correlação entre as variáveis climatológicas e a variável de saída (geração fotovoltica) para identificar as variáveis que seriam utilizadas como entrada dos modelos computacionais. Por seguite, elaborou-se a Tabela 1 que possui a correlação entre os atributos de entrada dos modelos. Nota-se que a variável de radiação solar difusa horizontal possui alta correlação com a variável de radiação solar direta horizontal (0,78) e por essa razão ela foi desconsiderada como variável de entrada dos modelos, tendo em vista que a alta correlação entre as variáveis de entrada dificulta o processo de identificação de causa e efeito dos atributos de entrada em relação a saída do modelo (Aguirre, 2007).

Tabela 1: Correlação entre as variáveis climatológicas de entrada dos modelos e a variável de saída.

	Geração fotovoltaica	Velocidade do vento	Temperatura ambiente	Radiação difusa horizontal	Radiação direta horizontal
Velocidade do vento	0,1018	1	- 0,1317	0,0567	0,1758
Temperatura ambiente	0,5612	- 0,1317	1	0,5252	0,4666
Radiação difusa horizontal	0,9132	0,0567	0,5252	1	0,7801
Radiação direta horizontal	0,7442	0,1758	0,4666	0,7801	1

Fonte: Autores.

Portanto, as variáveis velocidade do vento, temperatura ambiente e radiação direta horizontal serão utilizadas como entradas para os modelos de regressão linear múltipla e para o modelo de redes neurais artificiais.

4.1 Métricas de Avaliação dos Modelos

Outros parâmetros importantes do modelo são os resíduos. O resíduo para a i -ésima observação pode ser definido como uma função do tipo $r_i = y_i - \hat{y}_i$ que procura medir a discrepância entre o valor real e o valor calculado da i -ésima observação. O sinal de r_i indica a direção dessa discrepância.

Além dos resíduos, outra forma de avaliar a qualidade do ajuste do modelo na tarefa de regressão é através do coeficiente de determinação. Basicamente, tal coeficiente indica quanto o modelo foi

capaz de adaptar-se aos dados coletados. O coeficiente de determinação é dado pela equação 2:

$$YR^2 = \frac{\sum_{i=1}^0 (D_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^0 (D_i - \bar{y}_i)^2} \quad (2)$$

na qual, D_i é a i-ésima saída desejada, \hat{y}_i é a média das observações e \bar{y}_i é o valor estimado para a i-ésima saída.

Portanto, o coeficiente de determinação é definido como a razão entre a soma dos quadrados da diferença entre a saída desejada e a média das observações e soma dos quadrados da diferença entre os valores desejados e os valores estimados.

O desempenho na identificação dos modelos pode ser quantificado por meio do RMSE (Root Mean Square Error) e do MAE (Mean Absolute Error). Conforme as equações 3 e 4:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=0}^{\infty} (D_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

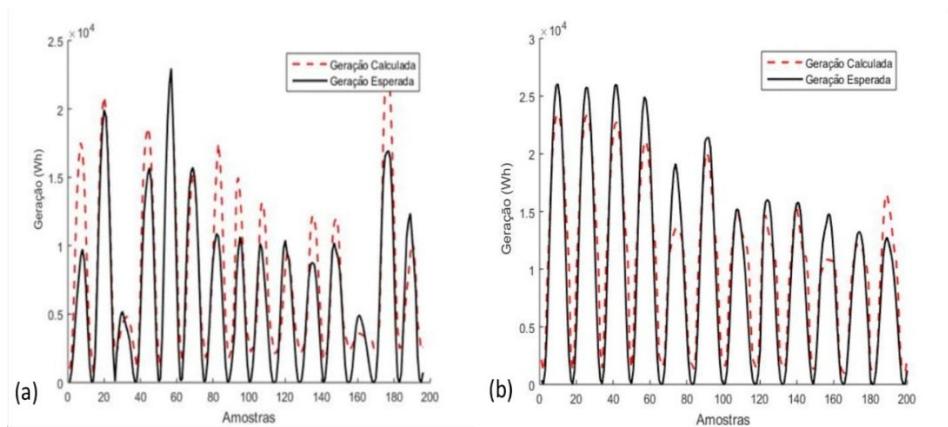
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{n=0}^{\infty} (D_i - \hat{y}_i) \quad (4)$$

5. RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados de previsão de geração, utilizou-se um banco de dados com 1950 amostras de padrões de entrada e saída, e dividiu-se os dados em uma sub amostra de treinamento, correspondendo a 80% dos dados, e outra sub amostra contendo 20% dos dados, correspondendo aos dados de teste do modelo.

A aplicação do modelo de regressão linear múltipla apresentou como resultados: R^2 igual a 0,81, MAE igual a 0,0888 kWh e RMSE igual a 0,10723 kWh. Após a etapa de treinamento, na etapa de teste do modelo, pode-se observar na figura 1a os gráficos da geração calculada e da geração esperada (eixo vertical) para cada amostra de teste (eixo horizontal).

Figura 1: (a) Geração calculada versus geração esperada para o modelo de regressão Multilinear; (b) Geração calculada versus Geração Esperada para o modelo MLP.



Fonte: Autores

A rede neural utilizada foi uma perceptron de múltiplas camadas (MLP) com uma camada de entrada, uma camada escondida e uma camada de saída. Três topologias candidatas foram implementadas a fim de identificar aquela que melhor se adapta ao problema proposto:

- Uma camada de entrada com três variáveis de entrada, uma camada escondida com cinco neurônios e uma camada de saída com um neurônio (3:5:1);
- Uma camada de entrada com três variáveis de entrada, uma camada escondida com quinze neurônios e uma camada de saída com um neurônio (3:15:1);

c) Uma camada de entrada com três variáveis de entrada, uma camada escondida com vinte e três neurônios e uma camada de saída com um neurônio (3:23:1).

Para fins de reproduzibilidade, a tabela 2 evidencia a parametrização das redes neurais implementadas.

A rede MLP apresentou, para as três topologias implementadas, as métricas de erros mostrados na tabela 3.

Tabela 2: Parâmetros de configuração da MLP.

Parâmetros utilizados na MLP	
Termo de momentum	0,8
Taxa de aprendizagem	0,086
Função de ativação	Sigmoide
Épocas	2000
Repetições	20 vezes

Fonte: Autores.

Tabela 3: Métricas de desempenho do modelo utilizando MLP.

Topologia da Rede	Treinamento		Teste	
	MAE (kWh)	MSE (kWh)	MAE (kWh)	RMSE (kWh)
3:5:1	0,0223	0,0489	0,024	0,0787
3:15:1	0,0220	0,04796	0,023	0,0781
3:23:1	0,0219	0,04796	0,0223	0,0775

Fonte: Autores.

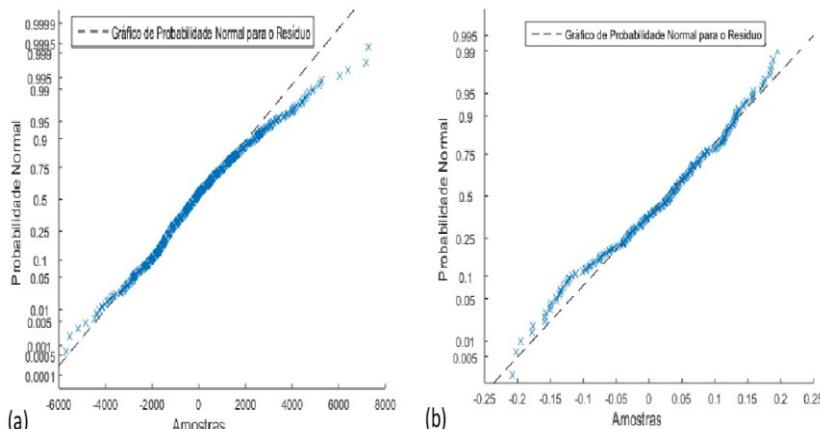
Portanto, conforme mostra a tabela 3, a topologia de rede neural 3:23:1 apresentou os melhores resultados para o estudo realizado. Tendo em vista que se obteve as menores métricas de erro, tanto na etapa de treinamento como também na etapa de teste da rede neural. Para o modelo regressor utilizando a MLP se pode observar na figura 1b os gráficos da geração de energia calculada e a geração esperada. Percebe-se que o modelo regressor utilizando a rede neural MLP com vinte e três neurônios na camada escondida possui um desempenho

superior ao modelo que utiliza regressão linear múltipla mostrado na figura 1a.

O desempenho do modelo utilizando regressão linear múltipla pode ser verificado mediante a avaliação do gráfico de distribuição de probabilidade do resíduo. Conforme mostra a figura 2a, a probabilidade do resíduo tende a uma reta, o que indica o seu comportamento aproximadamente normal. Assim, pode-se abstrair que o resíduo tem informação não correlacionada com as amostras de saída do modelo. Portanto, tal gráfico evidencia que o modelo adotado foi capaz de se adaptar à maioria dos dados de validação.

Na figura 2b, tem-se o gráfico de probabilidade do resíduo para o regressor utilizando a rede MLP com a topologia 3:23:1. A análise do gráfico de probabilidade do resíduo evidencia a característica de adaptação do modelo aos dados de teste.

Figura 2: (a) Probabilidade do resíduo para o modelo de regressão Multilinear; (b) Probabilidade do resíduo para o modelo baseado na rede MLP.



Fonte: Autores.

Ao comparar as métricas de desempenho do modelo de regressão linear múltipla com o modelo que utiliza a MLP, obtém-se um MAE de 0,0888 e RMSE de 0,1072 para o primeiro modelo e um MAE

de 0,0223 e um RMSE de 0,0775 para o segundo. Fica claro que o modelo utilizando rede neural consegue adaptar-se melhor aos parâmetros de entrada.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou como contribuições a aplicação de redes neurais artificiais de múltiplas camadas na identificação de modelos MISO para a geração de energia solar fotovoltaica em situações onde se tem o conhecimento apenas das variáveis ambientais da região.

O trabalho permitiu a comparação entre um modelo clássico de identificação por meio da aproximação de funções que utiliza regressão linear múltipla com um modelo regressor utilizando redes neurais perceptron de múltiplas camadas (MLP).

Os resultados do presente trabalho mostram que o modelo utilizando redes neurais de múltiplas camadas possui desempenho superior àquele que utiliza regressão linear múltipla na tarefa de identificação da relação entre a entrada e a saída. Portanto, o modelo usando redes MLP mostrou-se satisfatório na tarefa de identificação da produção de energia de sistemas fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antonio. **Introdução à identificação de sistemas – Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

CHATZIAGORAKIS, P.; ELMASIDES, C.; SIRAKOULIS, G. C.; et al. **Application of Neural Networks Solar Radiation Prediction for Hybrid Renewable Energy Systems**. In: **Springer International Publishing Switzerland**, n. 2001, p. 133–144, 2014.

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR. **Fotovoltaica (CRE-SESB/CEPEL) – Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php>. Acesso em: 04 nov. 2025.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; SILVA, S. A. B.; ABREU, S. I. **Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource assessment. Renewable Energy**, v. 36, n. 8, p. 2853–2864, 2008.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional 2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

GUARNIERI, Ricardo André. **Emprego de redes neurais artificiais e regressão linear múltipla no refinamento das previsões de radiação solar do modelo Eta. 2006**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

HASHIMURA, Luís de Medeiros Marques. **Aproveitamento do potencial de geração de energia elétrica por fontes renováveis alternativas no Brasil: instrumentos de política e indicadores de progresso**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

HASSAN, Qusay; JASZCZUR, Marek; PRZENZAK, Ester. **Mathematical model for the power generation from arbitrarily oriented photovoltaic panel**. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2017. p. 01028.

JIMENEZ, V. A.; BARRIONUEVO, A.; WILL, A.; RODRÍGUEZ, S. **Neural Network for Estimating Daily Global Solar Radiation Using Temperature, Humidity and Pressure as Unique Climatic Input Variables. Smart Grid and Renewable Energy**, v. 7, n. 3, p. 94, 2016.

KUMAR, Raj et al. **Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution**. *Energy Reports*, v. 4, p. 701–712, 2018.

LACCHINI, C.; PINHEIRO, E.; RÜTHER, R. **Avaliação de um sistema fotovoltaico sob a ótica da**. In: *VI Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Belo Horizonte, 03 a 07 de abril de 2016. Anais [...]. Belo Horizonte: ABENS, 2016. v. VI, n. 9788586923432, p. 1–8.

MATHWORKS. **Matlab e Statistics Toolbox Release 2015b**. Natick, Massachusetts, Estados Unidos: The MathWorks, Inc., 2015.

MUHAMMAD, E. R.; SISHAJ, P. S.; VENKATESWARAN, P. **Day-ahead prediction of solar power output for grid-connected solar**

- photovoltaic installations using Artificial Neural Networks.** In: *IEEE 2nd International Conference on Emerging Electronics (ICEE)*, 2014.
- PANWAR, N. L.; KAUSHIK, S. C.; KOTHARI, S. **Role of renewable energy in environmental protection: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 2, p. 1513–1524, 2011.
- PINHEIRO, Elisangela; LOVATO, Adalberto; RUTHER, Ricardo. **Aplicabilidade de redes neurais artificiais para análise de geração de energia de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.** *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 6, n. 5, 2017.
- RIZWAN, M.; JAMIL, Majid; KOTHARI, D. P. **Generalized neural network approach for global solar energy estimation in India.** *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, v. 3, n. 3, p. 576–584, 2012.
- SABERIAN, Aminmohammad et al. **Modelling and prediction of photovoltaic power output using artificial neural networks.** *International Journal of Photoenergy*, v. 2014, 2014.
- XIANGWEN, Z.; RAN, C.; CHUN, W.; XINLONG, Z. **Design of Remote Monitoring and Control System Center of Photovoltaic Power Station.** In: *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies*, 2012. p. 1–3

CAPÍTULO 4

SISTEMA DE AQUISIÇÃO E MONITORAMENTO DE DADOS DE PANEIS FOTOVOLTAICOS EM TEMPO REAL COM COMUNICA- ÇÃO BLUETOOTH

***REAL-TIME DATA ACQUISITION AND MONITORING SYSTEM FOR
PHOTOVOLTAIC PANELS WITH BLUETOOTH COMMUNICATION***

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Otacílio da Mota Almeida

UFPI – Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
otacilio@ufpi.edu.br

Maxwell de Melo Costa

UFPI – Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
maxwell10melo@gmail.com

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz

FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

Este trabalho consistiu no projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição e monitoramento de dados em tempo real da geração de energia elétrica de um painel fotovoltaico. O sistema de aquisição e monitoramento desenvolvido é composto por duas partes: o sistema de aquisição e condicionamento, e a interface supervisória, Interface Homem Máquina – IHM. O sistema de aquisição e condicionamento é composto por um microcontrolador do tipo PIC 18F2550 para aquisição de dados de corrente, tensão, temperatura e seus respectivos sistemas de condicionamentos de sinais. A IHM foi desenvolvida no *Matlab* e permite a análise gráfica de corrente, tensão e temperatura, assim como a apresentação da potência instantânea e a energia gerada. A comunicação do sistema de aquisição com a estação PC é implementada através de um link de rádio do tipo bluetooth.

Palavras-chave: Dados solares fotovoltaicos, aquisição de dados, monitoramento, sistema microcontrolado, comunicação bluetooth.

ABSTRACT

This paper is about the project and the development of a real-time data acquisition and monitoring system for photo-voltaic panels. The data were collected from an electric power generation photovoltaic panel, and the system developed contains two main parts: a data acquisition and conditioning structure, and also a monitoring interface, which consists of a Human-Machine Interface, as a way to get data viewed properly. The first part was developed using a PIC 18F2550 microcontroller in order to purchase current, voltage, temperature and their respective conditioning signals. The second part was implemented using Matlab and it allows those variables to be analysed in a graphical way, as well as presenting the instantaneous and the generated power. A Bluetooth communication was performed aiming to achieve the link between the acquisition and the monitoring parts of the.

Keywords: Solar photovoltaic data, data acquisition, monitoring, micro-controlled system, bluetooth communication.

1. INTRODUÇÃO

Todo crescimento tecnológico é acompanhado por uma demanda crescente de energia elétrica para o suprimento das necessidades básicas. Tendo em vista esse crescimento e o esgotamento das fontes convencionais não renováveis, torna-se necessária a intensificação do estudo de fontes alternativas de energia elétrica, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias para geração de energia.

A matriz energética brasileira é considerada hidrotérmica. Cerca de 90% de toda a energia produzida no Brasil provém de usinas hidroelétricas ou usinas termelétricas, seja pela queima de biomassa, seja pela queima de gás, carvão ou petróleo. Isso mostra o elevado grau de dependência nacional diante destas duas fontes de energia elétrica (Epe, 2015). Entretanto, desde 2014, a capacidade instalada de geração eólica e solar fotovoltaica têm aumentado, principalmente na região nordeste. A geração eólica aumentou de 6,6 GW em 2013 para 12,2 GW em 2014, o que corresponde a um aumento de 85,6%. A capacidade instalada de energia solar fotovoltaica aumentou de 5 MW para 15 MW neste período, um aumento de 200%. Por outro lado, nesse mesmo período, a geração hidroelétrica sofreu um déficit de 4,5%. Esses dados mostram a forte tendência na complementariedade da matriz energética brasileira baseada em energia solar e eólica (Cepel, 2014).

Essa assimetria na matriz energética brasileira se deve à falta de um planejamento adequado do sistema elétrico nacional, ou seja, ao não investimento gradual em fontes alternativas de energia elétrica para a sua diversificação. Isso tem provocado graves consequências como: aumento do custo médio do kWh; a diminuição da qualidade de energia elétrica; o aumento do número de interrupções; e os apagões no sistema elétrico brasileiro (Greenpro, 2004).

Na busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias e devido ao encarecimento da energia elétrica no Brasil, torna- se necessário e cada vez mais viável, tecnologicamente e economicamente, o

investimento em fontes renováveis de energia elétrica. Dentre estas, podem ser citadas como as principais: a eólica, a solar fotovoltaica e a biomassa.

Portanto, torna-se evidente a necessidade da pesquisa e aprofundamento das tecnologias de fontes renováveis de energia elétrica. Tal estudo, a longo e médio prazo, promoverá a gradual e significativa inserção destas fontes de energia na matriz energética brasileira. A energia solar fotovoltaica tem se mostrado uma solução viável para a problemática apresentada, já que o Brasil possui índices de irradiação solar que são muito superiores aos encontrados nos países de ponta desta tecnologia, como a Alemanha. Um comparativo entre esses dois países mostra que o Brasil, apesar de possuir uma área aproximadamente 24 vezes superior à área da Alemanha, e possuir índices máximos de irradiação solar que são 42% superiores aos do país europeu, tem uma produção de energia solar fotovoltaica cerca de 2,4 milhões de vezes inferior ao da Alemanha. Assim, o potencial brasileiro em energia solar fotovoltaica é muito grande, o que mostra a urgente necessidade do aproveitamento dessa fonte de energia elétrica (Cabral, 2013).

Neste contexto, os sistemas para aquisição de dados em tempo real têm se mostrado uma ferramenta poderosa no estudo da produção de energia em sistemas fotovoltaicos em aplicações residenciais (Yamini & Ratna, 2016) e comerciais (Halmeman, 2014). São muitos os trabalhos apresentados nesta temática visando o aumento do rendimento na produção de energia por meio do controle da posição da placa em relação ao sol (Lima, 2012), para aumentar o rendimento da captação da radiação solar sobre a placa (Souza, 2013). Outra linha de estudo é a diminuição das influências externas sobre as características elétricas dos painéis fotovoltaicos, como por exemplo, o resfriamento de painéis visando o aumento do seu rendimento (Souza, 2010).

Este trabalho está dividido em quatro partes: na seção 1 são apresentados os conceitos iniciais; na seção 2 é apresentado o kit de aquisição e monitoramento de dados; na seção 3 são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir do kit didático; na seção 4

são apresentados as principais conclusões e trabalhos futuros acerca da utilização do kit didático como ferramenta de estudo de energia solar fotovoltaica.

2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO E MONITORAMENTO DE DADOS EM TEMPO REAL

O sistema de aquisição de dados proposto é composto por duas partes: o computador com Matlab e a placa de aquisição, alocada junto ao sistema fotovoltaico. O computador é dotado de um adaptador bluetooth para possibilitar a comunicação sem fio entre os dois sistemas, enquanto que a placa de aquisição de dados é dotada de um módulo bluetooth HC-05 para a comunicação sem fio.

A placa de aquisição de dados é dotada de um microcontrolador e de um módulo bluetooth. Ele permite a comunicação com o sistema de monitoramento em tempo real das características elétricas do sistema fotovoltaico. O microcontrolador utilizado foi o PIC 18F2550 que possui um módulo de comunicação USB e três portas de E/S. O módulo permite a comunicação serial do microcontrolador com o computador através da emulação de uma porta serial, que associado a autoprogramação, permite grande agilidade na fase de testes do sistema de aquisição (Microchip, 2009).

A comunicação wireless implementada na placa de aquisição de dados foi a bluetooth. Para isso, utilizou-se o módulo bluetooth HC-05. O módulo usado possui uma distância máxima de comunicação de 50 metros e pode trabalhar configurado apenas como escravo, ou seja, sempre aguarda que o sistema de monitoramento inicie a comunicação (abertura do canal de comunicação). Para que o sistema de monitoramento possa receber os dados da placa de aquisição é necessário que junto à estação PC, exista também um módulo bluetooth.

O sistema de aquisição e monitoramento de dados foi pensado para trabalhar aplicado a sistemas fotovoltaicos. Assim, as variáveis de

interesse monitoradas são: tensão, corrente, temperatura ambiente e potência instantânea. Para a medição da corrente fornecida pela placa à carga, utilizou-se um sensor de corrente, o CI Allegro ACS712T-05A, que é um sensor que se baseia no efeito Hall e possui precisão de $\pm 1,5\%$. Esse sensor fornece 185mV de tensão de saída para cada 1A de corrente do sistema, e possui uma tensão de offset de 1,65V, quando alimentado com 3,3V. A precisão do conversor A/D do microcontrolador foi configurada para 10 bits, o que fornece uma precisão de aproximadamente 2,15mV. Assim, a precisão da corrente medida por esse conversor foi de 15mA, ou seja, a resolução na medida da corrente passou a ser $\pm 15\text{mA}$.

Outra variável de interesse, que é mensurada pelo sistema de aquisição de dados, é a tensão fornecida pela placa solar. A diferença de potencial máxima fornecida pelo sistema fotovoltaico utilizado é de 21,5V, que é justamente a tensão de circuito aberto máxima ($V_{ocMáx}$). Já a máxima tensão suportada pelo conversor A/D do PIC foi configurada para 2,2 V. Baseado nestes dois valores, e de modo a adequar a tensão da placa e a suportável pelo microcontrolador, um circuito divisor de tensão foi utilizado.

Para a medição da temperatura ambiente, onde o sistema fotovoltaico está instalado, utilizou-se o sensor de temperatura LM35. Este sensor é capaz de medir valores positivos e negativos de temperatura, o que viabiliza o seu uso para a aplicação proposta neste trabalho. O LM35 produz 10mV de tensão de saída para cada 1°C da temperatura ambiente.

Considerando uma temperatura ambiente máxima de 50°C , tem-se que a máxima tensão de saída do sensor LM35 será de 0,5V. Então, para que a máxima tensão de saída do sensor esteja o mais próximo possível da tensão de fundo de escala do conversor A/D do PIC, é necessário que se faça uma amplificação desse sinal de três vezes. Para isso, usou-se um amplificador em configuração não-inversora.

A Equação 1 fornece a tensão de saída do circuito amplificador não-inversor.

$$V_0 = \left(\frac{R_S + R_f}{R_S} \right) V_{in} \quad (1)$$

na qual, V_0 é a tensão de saída do amplificador, que será fornecida ao conversor A/D, V_{in} é a tensão de saída do sensor LM35 e R_S e R_f são as resistências que determinam o ganho do amplificador.

A Interface Homem Máquina - IHM foi desenvolvida para o monitoramento das variáveis de interesse do sistema fotovoltaico e foi implementada no software Matlab. Ela permite a análise gráfica da corrente, tensão e temperatura, assim como a apresentação da potência instantânea e a energia gerada pelo sistema fotovoltaico.

O software Matlab permite que sua programação seja feita orientada a objetos, de forma a possibilitar a construção de interfaces gráficas ao se usar conceitos deste paradigma. Por meio dos recursos de orientação a objetos fornecidos pelo Matlab, criou-se uma interface gráfica que permitisse estabelecer a conexão Computador/Placa de Aquisição e exibir os valores instantâneos dos parâmetros: temperatura ambiente, corrente, tensão sob carga, potência e energia geradas.

Para que a comunicação entre o Matlab e o microcontrolador seja entendida de forma clara, é necessário que o algoritmo de cada sistema seja explicado separadamente. O algoritmo da programação no Matlab funciona da seguinte maneira: durante a execução do programa no Matlab, antes de começar a aquisição dos dados, é necessário que duas tarefas sejam feitas pelo usuário na interface gráfica: as configurações e o estabelecimento da conexão bluetooth. As configurações necessárias são a seleção das curvas que o usuário deseja que sejam mostradas durante a aquisição e o tempo de aquisição. A segunda tarefa a se fazer é o estabelecimento da conexão bluetooth por meio do clique no botão “conectar”. Em seguida, a aquisição e monitoramento dos dados podem ser feitos pressionando-se o botão “aquisição”. Caso o algoritmo de tarefas não seja obedecido, ocorrerão erros na execução do programa.

O algoritmo da programação do microcontrolador funciona da seguinte maneira: a principal funcionalidade implementada na

programação do microcontrolador foi que, ao receber o caractere 'a' pela porta serial, ele deve enviar a leitura do conversor A/D de todos os canais analógicos configurados (A0 = tensão, A1 = corrente e A2 = temperatura). Após isso, as leituras desses canais analógicos são, então, encapsuladas em uma string de 15 bits que é enviada de forma serial ao módulo bluetooth HC-05. Uma vez enviados ao computador, os dados são tratados e mostrados graficamente conforme a seleção de curvas feita pelo usuário na interface gráfica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para comprovar a eficácia do kit didático desenvolvido como uma solução para auxiliar no estudo e ensino de sistemas fotovoltaicos, submeteu-se um painel fotovoltaico, sob monitoramento, a três cenários de teste, a saber: obstrução parcial de uma célula fotovoltaica, um dia nublado e os efeitos do sombreamento sobre o painel fotovoltaico. Todos os testes e aquisições de dados foram realizados na cidade de Teresina, na Universidade Federal do Piauí.

3.1 Cenário 1: Efeitos da Obstrução de uma Célula do Painel Fotovoltaico

A obstrução total ou parcial de uma célula de um painel fotovoltaico provoca uma diminuição considerável na produção de energia do sistema fotovoltaico (Lindgren, 2000). Para comprovar esse efeito, obstruiu-se, sucessivamente, porções cada vez maiores (25%, 50% e 100%) de uma célula do painel fotovoltaico. Esse teste foi realizado considerando dois casos: sol pleno e tempo nublado. Para o primeiro caso (sol pleno), obtiveram-se as curvas mostradas no supervisório da Figura 1a.

Analizando-se a Figura 1a e a Tabela 1, observa-se que a obstrução parcial de uma célula da placa possui influência quase nula sobre a tensão gerada para um dia de sol pleno (30 a 100 segundos no tempo de aquisição). Entretanto, a obstrução total da célula provocou

uma redução de 83% da tensão gerada (100 a 120 segundos no tempo de aquisição).

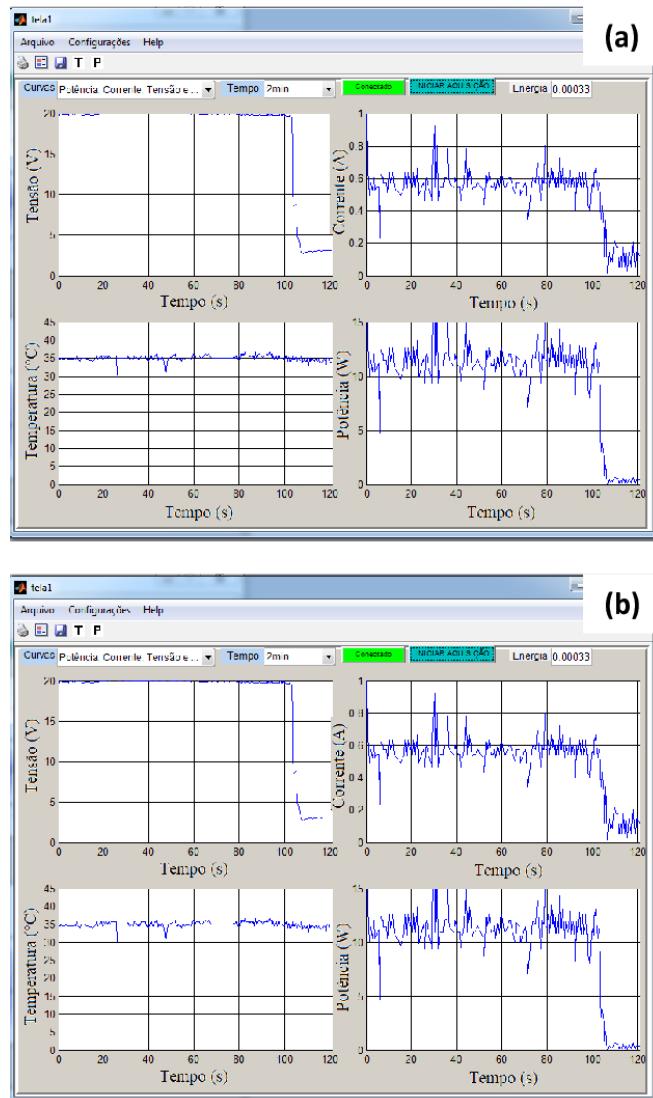
Tabela 1. Aumento da área obstruída da célula para um dia com sol pleno.

Área obstruída da Célula (%)	Área obstruída do Painel (%)	Redução da Tensão Gerada (%)	Redução da Potência Instantânea (%)
25%	0,7%	3%	3%
50%	1,4%	3%	3%
100%	2,8%	83%	83%

Fonte: Autores.

Para o segundo caso, realizou-se o mesmo processo de obstrução citado anteriormente, mas desta vez considerando-se um dia de pouca radiação solar (dia nublado). A Figura 1b mostra os gráficos obtidos nas condições de teste mencionadas.

Figura 1: (a) Variação da área de uma célula do sistema fotovoltaico para um dia com radiação solar média; (b) Variação da área obstruída de uma célula da placa solar para um dia com pouca radiação solar.



Fonte: Autores

Para o segundo caso, realizou-se o mesmo processo de obstrução citado anteriormente, mas desta vez considerando-se um dia de pouca radiação solar (dia nublado). A Figura 1b mostra os gráficos obtidos nas condições de teste mencionadas.

A análise dos dados da Tabela 2 e da Figura 1b mostram que uma obstrução parcial de 25% da área de uma célula da placa solar (30 a 60 segundos no tempo de aquisição) provoca uma redução de aproximadamente 35% da tensão gerada. Para o pior caso, com obstrução total da célula, a redução da tensão gerada foi de aproximadamente 80% (90 a 120 segundos no tempo de aquisição).

Tabela 2. Aumento da área obstruída da célula para um dia com pouca radiação solar

Área obstruída da Célula (%)	Área obstruída do Painel (%)	Redução da Tensão Gerada (%)	Redução da Potência Instantânea (%)
25%	0,7%	35%	35%
50%	1,4%	50%	50%
100%	2,8%	80%	80%

Fonte: Autores.

Com a análise comparativa destas duas situações descritas, chega-se à conclusão de que, para um dia com pouca radiação solar, a influência da obstrução de uma pequena área da célula (25%) sobre as variáveis elétricas da placa solar é muito superior, se comparada à de um dia com sol pleno.

Em termos práticos, essa obstrução parcial de uma célula pode ser causada por folhas de árvores, fezes de pássaros e sujeiras diversas. Assim, esse tipo de problema requer uma ação rápida de limpeza do painel para garantir o ponto ótimo de geração (máximo aproveitamento da capacidade de geração) e evitar a queima de células

da placa solar devido a ruptura causada pela corrente reversa que surge nessa condição de funcionamento do painel.

3.2 Cenário 2: Efeitos da Obstrução de uma Célula do Painel Fotovoltaico

O dia analisado para este cenário se encontrava parcialmente nublado. Foram escolhidos dois períodos para a coleta de dados: 10h às 12h e 14h às 16h. Como o sistema fotovoltaico desta aplicação possui baixa potência, esses períodos foram escolhidos para que se pudessem obter resultados expressivos de potência e energia gerada.

Para o período de 10h às 12h, obtiveram-se os gráficos de tensão, corrente, temperatura ambiente, potência e energia gerada, conforme mostra a interface do supervisório da Figura 2a.

Com esses resultados, percebe-se que devido às condições atmosféricas, (tempo nublado) a tensão produzida pelo painel fotovoltaico variou entre os valores de 15V e 18V. Essa variação da tensão já era esperada, uma vez que, para as condições analisadas, a radiação solar que chega à placa varia consideravelmente com a obstrução do sol causada pelas nuvens.

A temperatura ambiente sofreu pouca variação, aproximadamente 5°C, o que não permite, para este caso, uma correlação com as variáveis elétricas do painel fotovoltaico. A corrente instantânea produzida pela placa solar teve um valor médio de 400mA. A potência instantânea gerada pela placa teve um valor médio de 7,5W. Para o período analisado, a energia gerada pelo painel fotovoltaico foi de aproximadamente 0,01468kWh, o que é muito inferior à capacidade máxima de geração deste sistema fotovoltaico, que com o auxílio de um controlador de carga e com condições de irradiação iguais ou superior a 1000 W/m², poderia chegar a 0,040kWh (geração com máximo aproveitamento).

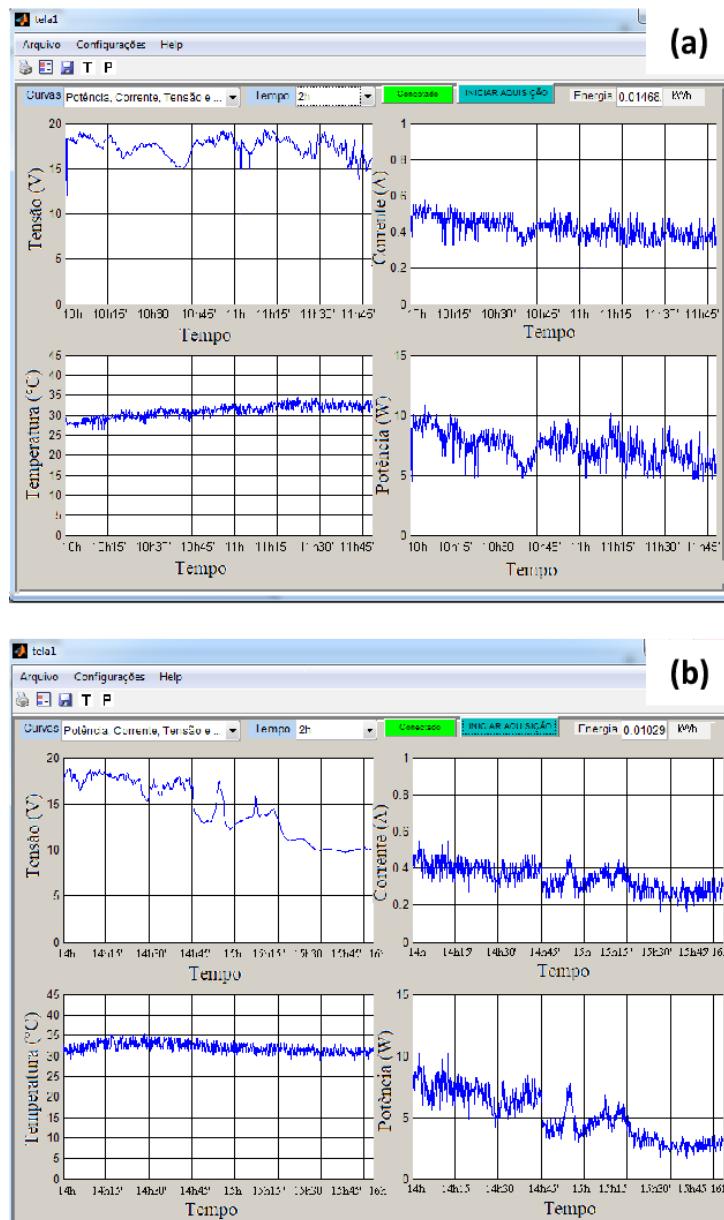
Para o período de 14h às 16h, conforme mostra a interface do supervisório na Figura 2b, percebe-se que a tensão gerada possui um

perfil oscilatório até às 15h, aproximadamente, semelhante ao período analisado anteriormente (10h às 12h). No entanto, no período de 15h às 16h, a tensão sofreu uma variação considerável (5V). Isso é justificável, conhecendo-se o perfil da radiação solar durante as horas do dia, para a região e período do ano analisados.

Durante o período de análise, a temperatura ambiente, inicialmente, sofreu um leve aumento e em seguida sofreu um pequeno decaimento. A corrente e potência instantâneas tiveram o mesmo comportamento da tensão gerada. A energia gerada para esse período foi de aproximadamente 0,01029 kWh, que é 29,9% inferior, comparando-se com energia gerada para o período de 10h às 12h para o mesmo dia analisado.

Comparando-se os dados de geração de energia obtidos entre o primeiro e segundo período (10h às 12h e 14h às 16h), percebe-se que com o mesmo tempo de aquisição (2h), o período de 10h às 12h permitiu uma maior geração de energia, 0,01468 kWh, em comparação aos 0,01029 kWh gerados das 14h às 16h, o que pode ser explicado pelo maior nível de irradiação solar que incidiu sobre o painel nesse horário do dia.

Figura 2: (a) Resultados obtidos para o período de 10h às 12h; (b) Resultados obtidos para o período de 14h às 16h



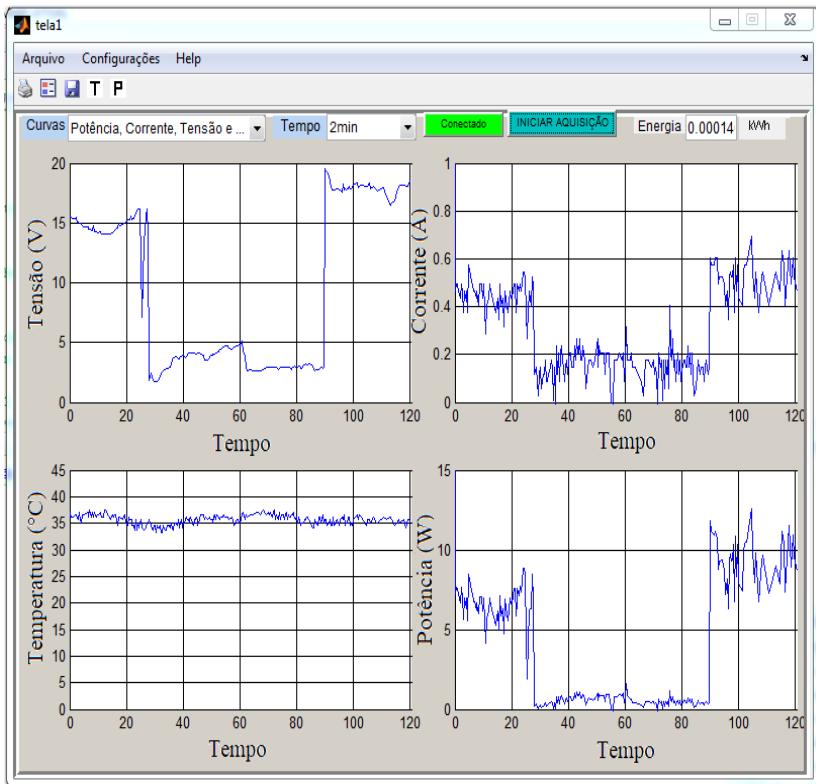
Fonte: Autores

3.3 Cenário 3: Efeitos da Obstrução de uma Célula do Painel Fotovoltaico

O sombreamento é um dos principais problemas quando se trata de energia solar fotovoltaica, devido à considerável perda causada na geração de energia dos sistemas fotovoltaicos (Jorge, 2013).

Nesse sentido, para este cenário, após 30 segundos de aquisição, submeteu-se o painel fotovoltaico a uma condição de sombreamento parcial por 30 segundos e, em seguida, sombreou-se completamente o painel por 30 segundos. Por fim eliminou-se o sombreamento. O resultado deste experimento pode ser visto na Figura 3.

A partir dessa análise, observou-se pelo supervisório das variáveis elétricas do painel da Figura 3, que durante um sombreamento de metade do painel, a tensão gerada sofreu uma redução de 73,33% (30 a 60 segundos no tempo de aquisição). Com o sombreamento total do painel fotovoltaico, a tensão gerada sofreu uma queda de aproximadamente 83,33% (60 a 90 segundos no tempo de aquisição). Além disso, sabe-se que esse fenômeno causa o aquecimento excessivo do painel solar, podendo causar danos irreversíveis a ele.

Figura 3. Efeitos do Sombreamento Sobre o Sistema Fotovoltaico

Fonte: Autores

4. CONCLUSÃO

O sistema para aquisição e monitoramento de dados desenvolvido mostrou-se uma solução promissora como uma ferramenta para estudar a influência do sombreamento, e identificar condições indesejadas de funcionamento do sistema fotovoltaico. Com uma distância de até 20 metros, a comunicação entre o sistema de aquisição de dados e a estação PC funcionou satisfatoriamente sem perda de conexão. Entretanto, quando essa distância foi ultrapassada, não foi possível estabelecer a conexão do computador com a placa de aquisição de dados. Pelo monitoramento do sistema fotovoltaico,

podem-se detectar falhas de origem transitória, bem como danos estruturais nos painéis, por meio da análise das suas variáveis elétricas.

Com esse sistema foi possível verificar, de forma prática, a variação das características elétricas do painel com o sombreamento, que diminuiu a produção de energia gerada e pode aumentar as perdas por aquecimento. Além disso, esse sombreamento sobre o painel fotovoltaico pode trazer danos permanentes a ele.

Observou-se a variação das características elétricas do sistema fotovoltaico diante da obstrução parcial de uma célula, configurando sombreamento severo por impedir a incidência de radiação solar na área afetada. A interface gráfica desenvolvida no Matlab permitiu visualizar eficientemente essas características por meio de múltiplas curvas (tensão vs. corrente, corrente vs. temperatura, corrente vs. potência, entre outras), viabilizando a análise conjunta ou individual das variáveis e a correlação entre elas em tempo real ou em avaliações posteriores.

Como trabalhos futuros, propõe-se: utilizar o kit didático no ensino e aprendizagem de energia solar fotovoltaica em diferentes níveis de ensino; aumentar o rendimento do sistema por meio do resfriamento com fluido (ventilação ou água); otimizar a captação solar com plataforma móvel que ajuste a inclinação do painel conforme a posição do sol; e desenvolver um controlador de carga que maximize a transferência de potência por meio do controle de corrente e tensão.

REFERÊNCIAS

CABRAL, I. de S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. **Energia solar: análise comparativa entre Brasil e Alemanha**. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, 4., 2013, Salvador. Anais [...]. Salvador, nov. 2013.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES / CRESESB. Edição especial PRC PRODEEM. Rio de Janeiro, 2014.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço energético nacional (BEN)**. Rio de Janeiro, 2015.

GREENPRO. **Energias fotovoltaicas: manual sobre tecnologias, projeto e instalação**. 1. ed. 2004.

HALMEMAN, R. J. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento remoto em centrais de microgeração fotovoltaica**. 2014. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

JORGE, R. C. L. **Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos**. 2013. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Sistemas de Potência e Automação) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

LIMA, S. S. **Sistema de monitoramento de transformadores de distribuição utilizando modelos térmicos e tecnologias Java e Bluetooth**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Eletrônica de Potência e Automação) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

LINDGREN, B. **A power converter for photovoltaic applications**. Göteborg: Chalmers University of Technology, 2000.

SOUZA, D. A. R. **Monitoramento de sensores de temperatura utilizando redes sem fio – Bluetooth®**. 2010. 101 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2010.

SOUZA, E. D. **Estudo das tecnologias de monitoramento de painéis em usinas fotovoltaicas através de redes de sensores sem fio**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica – Energia Solar) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

YAMINI, J.; RATNA, Y. **Design and implementation of smart home energy management system**. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION AND ELECTRONICS SYSTEMS – ICCS**, 2016. Proceedings [...]. p. 560–563.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL NA CLASSIFICAÇÃO DE JOGADORES DE XADREZ

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTATIONAL INTELLIGENCE TECHNIQUES IN CHESS PLAYER CLASSIFICATION

Pedro Henrique Alves Ribeiro
UFPI – Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
pedro.eeufpi@gmail.com

Ronnyel Carlos Cunha Silva
IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

José Maria Pires de Menezes Júnior
UFPI – Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
josemenezesjr@ufpi.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho
IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos
IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz
FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho são aplicadas redes neurais Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), Rede de Base Radial (RBF) e Rede Learning Vector Quantization (LVQ) para resolver o problema de classificação de jogadores de xadrez em níveis (básico, intermediário e avançado). Foram usados como parâmetros de entrada das redes neurais as seguintes métricas de desempenho da partida de xadrez: perdas médias em centésimo de peões, imprecisões, erros e erros graves. Para cada técnica usada, utilizou-se quatro topologias de rede, onde fez-se variar a quantidade de neurônios da camada oculta. As métricas de desempenho usadas foram a acuidade média, acuidade máxima, acuidade mínima, acuidade mediana, desvio padrão das acuidades e o Erro Médio Quadrático (MSE). Os resultados encontrados mostraram que a MLP obteve as melhores métricas de desempenho na solução do problema de classificação de jogadores de xadrez.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais; Classificação de Jogadores de Xadrez; Perceptron de Múltiplas Camadas; Rede de Base Radial; Learning Vector Quantization; Métricas de Desempenho; Acuidade; Erro Médio Quadrático; Inteligência Computacional; Topologias de Rede Neural.

ABSTRACT

In this work, the Multi-Layer Perceptron (MLP), Radial Base Network (RBF), and Learning Vector Quantization (LVQ) neural patterns are repeated to solve the problem of classification of chess players in levels (basic, intermediate and advanced). The following parameters were used as input to neural networks as indicators of chess match performance: peer media, inaccuracies, errors and grave errors. For each technique used, four network topologies were used, which varied the number of hidden layer neurons. Performance measures were mean acuity, minimum acuity, minimum acuity, mean acuity, standard deviation of actions, and mean square error (MSE). The results were more than an MLP obtained as the best performance solutions in solving the chess player classification problem.

Keywords: Artificial Neural Networks; Multi-Layer Perceptron; Radial Basis Function; Learning Vector Quantization; Chess Player Classification; Performance Metrics; Mean Squared Error; Network Topologies; Hidden Layer Neurons; Computational Intelligence

1. INTRODUÇÃO

O xadrez pode ser utilizado no ensino como ferramenta para desenvolver no estudante a capacidade de atenção, memória, raciocínio lógico, inteligência e imaginação. Além disso, esse jogo trabalha o poder de concentração, paciência, imaginação e autocontrole do jogador, uma vez que há a necessidade de visualizar as jogadas futuras do seu adversário. Dessa forma, o jogo de xadrez é um excelente meio para ampliar o desenvolvimento das capacidades intelectuais (D'Agostini, 2002).

Silva (2010) mostra que há correlação positiva entre os desempenhos no jogo de xadrez e a Escala de Desenvolvimento do Pensamento Lógico (EDPL). Realizou a análise das partidas jogadas contra o computador, por jogadores iniciantes, experientes e mestres com os objetivos de caracterizar e comparar o desempenho enxadrístico dos grupos, e calcular seu índice de expertise no xadrez. Pela comparação entre nível enxadrístico e desempenho na EDPL, pode-se identificar em quais provas da EDPL os participantes apresentaram melhor desempenho.

Segundo Dauvergne (2011) a concentração e a atenção são desenvolvidas e estimuladas pelo xadrez e representam um conjunto crucial para a progressão da partida, uma vez que um deslize na concentração pode acarretar um erro simples ou, até mesmo, o término da partida.

Portanto, é evidente a importância do jogo de xadrez como ferramenta pedagógica no auxílio do desenvolvimento de habilidades importantes dos estudantes. Nesse sentido, faz-se necessário que os estudantes tenham o seu desempenho avaliado mediante análise das

partidas jogadas, ao longo do processo de estudo e prática do jogo de xadrez.

A classificação de jogadores de xadrez em todo o mundo é feita, normalmente, mediante a utilização de *rating fide*. Esta métrica mede a força de jogadores de xadrez através de fórmulas matemáticas, levando em conta todas as suas partidas oficiais jogadas ao longo da sua carreira. Na prática, o nível de um jogador de xadrez está compreendido dentro de uma faixa de rating fide, ou seja, hora o jogador tem um desempenho melhor, hora o jogador tem um desempenho pior. Portanto, o nível de uma partida jogada não necessariamente corresponde ao nível teórico que o jogador possui.

Esse trabalho, então, propõe a classificação dos jogadores de xadrez tomando por base, não o uso do *rating fide*, mas o nível de precisão das partidas jogadas, analisando-as no formato Portable Game Notation (PGN), formato cujas partidas de xadrez são registradas e anotadas para análise.

Atualmente, existem vários sistemas de notação de partidas, os mais conhecidos são: o descritivo e o algébrico. Outros sistemas atuais para notação incluem o PGN, que usa o sistema algébrico para armazenar partidas em computador; e o FEN (ou Forsyth), usado para anotar posições de meio-jogo ou finais (D'Agostini, 2002).

O sistema de notação algébrica é um método usado hoje em todas as organizações de competição de xadrez e na maioria dos livros e periódicos para registrar e descrever lances de partidas de Xadrez. Assim, as partidas de xadrez registradas no formato PGN utilizam a notação algébrica abreviada, onde existe uma codificação para cada movimento das peças, que depende da peça em questão, a coordenada do tabuleiro, ou no caso de um movimento especiais, símbolos específicos (D'Agostini, 2002).

Jeremic et al (2010) usaram o método estatístico de classificação em um campeonato de xadrez de equipe, no qual examinaram os resultados do torneio de 2008 e 2009 aplicando o método de classificação estatística. O objetivo do trabalho foi comparar a classificação nestes dois torneios e, pela primeira vez, avaliar

quantitativamente o método de classificação nos campeonatos de xadrez por equipes.

Reingold et al (2001) utilizaram o padrão de movimentos oculares dos jogadores para realizar a classificação. Nesse trabalho, verificou-se que jogadores mais fortes percebem mais quadrados com uma fixação simples e que eles gastam menos tempo para inspecionar cada quadrado do que jogadores mais fracos. Além disso, o número de quadrados revisitados é, pelo menos, para problemas mais fáceis, significativamente menor para jogadores de maior força.

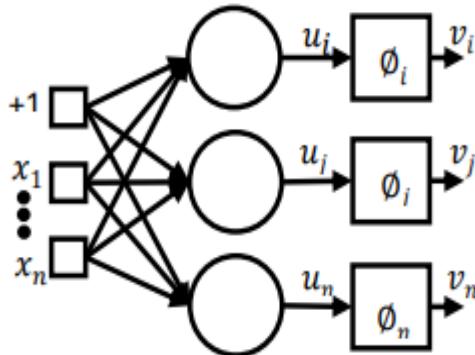
Erilli et al (2010), pelo uso da análise de clusterização fuzzy, classificam os jogadores de xadrez segundo os seus estilos em agressivo, defensivo e posicional. Para tal, usaram logica fuzzy e partidas de xadrez no Código de Classificação de Aberturas (ECO).

Assim, esse trabalho apresenta como proposta inovadora a aplicação de redes neurais artificiais para classificar jogadores de xadrez nos níveis iniciante, intermediário e avançado, mediante o uso de dados das partidas de xadrez disponíveis para análise no formato PGN.

2. DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS COMPUTACIONAIS UTILIZADAS

2.1 Multilayer Perceptron – MLP

As MLP são técnicas computacionais compostas por camadas de neurônios que tentam representar ou apresentar comportamento similar ao cérebro humano. São comumente usadas na impossibilidade de separação de dados por uma única reta (Silva et al, 2010). Representação generalista desta rede com uma única camada escondida, Figura 1, está baseada no modelo perceptron proposto por Rosenblatt, que continha algoritmos de treinamento supervisionado para a atualização dos pesos entre as sinapses, fase de retropropagação do erro (backpropagation).

Figura 1: Representação generalista de uma rede neural MLP

Fonte: Autores.

A determinação da quantidade de camadas ocultas, cuja finalidade é a extração de características mais complexas de um banco de dados, é dependente da quantidade de neurônios em sequência e pode ou não melhorar a acuidade média de um algoritmo. No entanto, o aumento da complexidade do problema está relacionado com o processamento das informações na camada oculta, e, assim, com o tempo necessário para treinamento da rede (Bishop, 1995). O treinamento da rede se baseia na atualização dos pesos sinápticos entre os neurônios, que transmitem a informação recebida da entrada pela rede, fornecendo a saída estimada, que é comparada ao resultado desejado produzindo o custo (feedback). Este, por sua vez, permite a atualização dos pesos (Chollet, 2018).

2.2 Radial Basis Function Neural Network – RBF

São redes neurais que têm tido significativo destaque ao se trabalhar com redes neurais artificiais, por sua simplicidade no processo de treinamento (feedforward), podendo ser supervisionado, e eficiência computacional. A estrutura da rede RBF pode ser do tipo múltiplas camadas ou híbrida, esta utilizada neste trabalho, no qual se combina

um método não supervisionado e um supervisionado (Fernandes, 1999). Logo, os centros das funções de base radial são os pesos dos neurônios escondidos e o conjunto de funções de base são funções não lineares aplicadas aos neurônios da camada escondida. A saída é uma combinação ponderada das funções de base radial (Poggio, 1990).

A representação mais simplificada de uma rede RBF consiste de uma camada de entrada, apenas uma camada oculta, responsável pela transformação não-linear entre o espaço de entrada e o espaço oculto de alta dimensionalidade, e a camada de saída, que aplica uma transformação linear no espaço oculto fornecendo uma saída para a rede (Bonifácio, 2010).

Em relação ao treinamento desta rede neural, tem-se que na primeira etapa, utiliza-se um algoritmo não-supervisionado para encontrar os centros das funções de base radial. Na segunda etapa, utilizam-se métodos heurísticos para determinar a largura de cada função. Por fim, na terceira etapa, um algoritmo supervisionado determina os pesos da camada de saída da rede (Hu, 2002). Alguns algoritmos não-supervisionados usados para a determinação dos centros das funções de base radial são as redes SOM de Kohonen (Kohonen, 1997), implementado neste trabalho, o ART e k-means.

2.3 Learning Vector Quantization – LVQ

É uma rede baseada na competição supervisionada entre neurônios para a classificação de entradas. Nesta rede, cada neurônio possui um vetor de sinapses equivalente aos valores do vetor de entrada e uma classe à qual ele pertence. Para cada entrada é definido um neurônio vencedor, no qual, caso seja da classe equivalente à entrada, seus pesos serão aproximados aos valores da entrada, senão, seus pesos serão afastados e o processo é repetido, até que o neurônio vencedor seja de mesma classe da entrada. Para a definição do vencedor é usado a fórmula da distância euclidiana, que verifica a proximidade entre dois vetores. O neurônio vencedor representa a

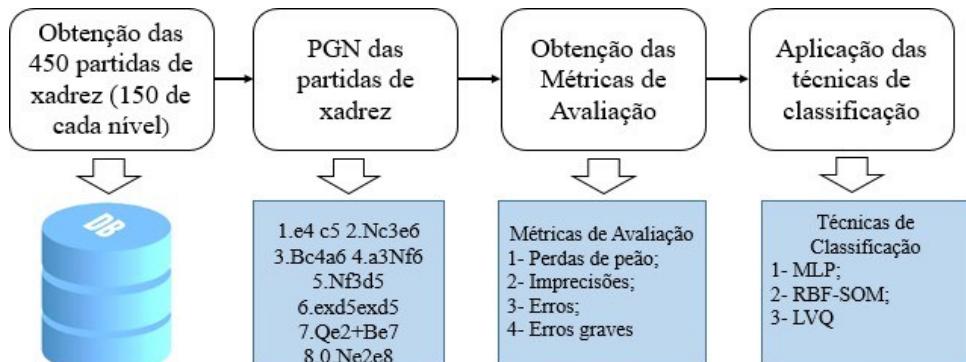
menor distância entre o mesmo e a entrada apresentada (Santos, 2010).

Cada classe será referenciada a um vetor de pesos, os quais representam os centros de clusters que definem as superfícies de decisão das classes. Uma classe pode ser definida por um ponto único ou por um conjunto de pontos (para uma melhor representação no caso de superfícies de decisão irregulares). Este tipo de rede assume que um conjunto de padrões de treinamento de classificação conhecida é disponível, junto com uma distribuição inicial dos vetores de referência (Kugler, 2003).

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a aplicação das técnicas de inteligência computacional supracitadas, inicialmente, realizou-se a coleta de 450 partidas de xadrez jogadas contra o programa stockfish no site lichess.org nos níveis 1, 5 e 8, os quais serão definidos, respectivamente, como iniciante, intermediário e avançado. Para cada nível foram coletadas 150 partidas de xadrez no formato PGN.

Realizou-se, então, a análise delas de maneira a extrair as características (métricas de avaliação) a serem usadas como entradas das redes neurais citadas anteriormente. Assim, como métricas de avaliação, tem-se: perdas médias em centésimos de peão, imprecisões, erros e erros graves, conforme pode ser visto no fluxograma da Figura 2.

Figura 2. Fluxograma da metodologia adotada

Fonte: Autores.

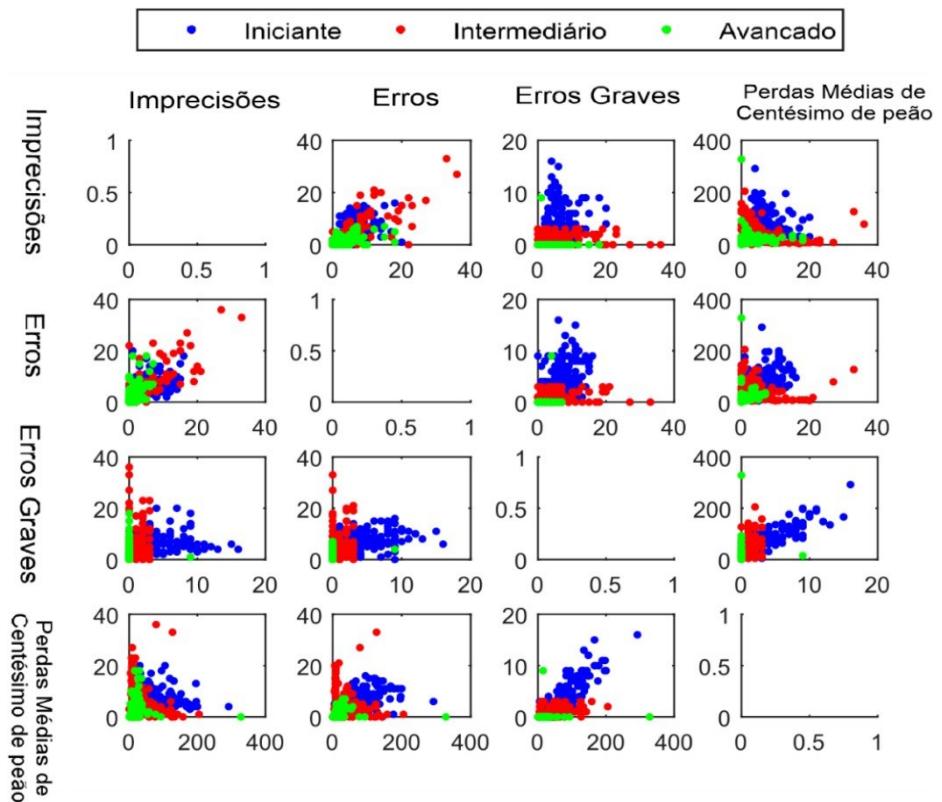
A partir de cada partida de xadrez no formato PGN foram extraídas quatro variáveis (métricas de erro), as quais foram usadas como entrada das redes neurais. Como saída da rede, tem-se o nível da partida jogada (nível iniciante, nível intermediário ou nível avançado). Esse procedimento de extração de características foi realizado para todas as 450 partidas de xadrez coletadas. Por fim, o banco de dados obtido possui 450 instâncias, sendo quatro entradas (métricas de avaliação) e uma saída (nível do jogador).

Usaram-se como métricas de desempenho das redes neurais a média de acuidade, desvio padrão das acuidades, acuidade máxima, acuidade mínima e o MSE, uma vez que ao se usar técnicas heurísticas para a classificação, deve-se fornecer, para cada técnica usada, certa confiabilidade. Isto pode ser fornecido estatisticamente pelo cálculo da média, mediana, valores máximo e mínimo e desvio padrão de cada algoritmo, após repetições da mesma técnica para uma determinada configuração. Realizou-se, então, para cada técnica usada, 30 repetições.

A dificuldade do problema de classificação em questão pode ser verificada pela Figura 3, que apresenta a distribuição das amostras de cada classe em função de seus atributos (métricas). Nesta Figura, a

primeira métrica corresponde às perdas médias em centésimos de peão, a segunda métrica às imprecisões, a terceira métrica aos erros e a quarta métrica aos erros graves. Ainda, verifica-se que as três classes do problema (nível iniciante, intermediário e avançado) estão muito próximas espacialmente (para todas as combinações entre as métricas de avaliação usadas) e que, além da proximidade, na maioria dos casos, existe a sobreposição das classes de dados no plano cartesiano, o que sugere um elevado grau de dificuldade na tarefa de classificação dos dados.

Figura 3: Matriz de dispersão do banco de dados de xadrez



Fonte: Autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando as três redes neurais aplicadas, a saber: MLP, RBF-SOM e LVQ, implementaram-se quatro topologias, cada uma contendo uma camada de entrada, uma camada oculta (com 5,10,15 e 20 neurônios) e uma camada de saída (contendo 3 neurônios). Pode-se notar que de todas as técnicas usadas apenas a camada oculta teve a sua quantidade de neurônios variada. Usaram-se 80% dos dados para treinamento e 20% para teste e para cada topologia de rede, repetiu-se o teste por 30 vezes. Os resultados obtidos para as técnicas de classificação aplicadas estão mostrados na Tabela 1.

Os resultados apresentados mostram que a rede MLP com 10 neurônios na camada oculta obteve os melhores desempenhos de acuidade média. Em contrapartida, o menor desvio padrão dentre todas as técnicas usadas no processo de classificação dos jogadores de xadrez foi obtido pela rede MLP com 15 neurônios. Uma vez que em termos práticos as variações em até 5% não é tão significante, pode-se concluir que a rede MLP com 10 ou 15 neurônios apresentará os melhores desempenhos para o problema abordado.

Tabela 1: Métricas de desempenho das técnicas de classificação usadas.

Técnica	Topologia	Média (%)	Mediana (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Desvio (%)	MSE
MLP	5	83,04	82,22	95,56	68,89	5,79	0,16
	10	87,26	86,67	95,56	77,78	6,33	0,15
	15	86,30	86,67	93,33	77,78	4,45	0,15
	20	85,26	84,44	95,56	73,33	5,07	0,15
LVQ	5	65,19	68,89	80,00	35,56	12,51	-
	10	71,26	71,11	88,89	53,33	6,75	-
	15	70,59	71,11	80,00	55,56	7,16	-
	20	72,52	73,33	86,67	57,78	7,32	-
RBF-SOM	5	75,11	75,56	88,89	62,22	6,56	0,28
	10	80,15	80,00	93,33	62,22	6,85	0,21
	15	79,56	77,78	86,67	73,33	4,62	0,19

Fonte: Autores.

As redes RBF-SOM e LVQ apresentaram desempenho inferior ao da MLP por se basearem em quantizadores vetoriais, logo, usam a distância Euclidiana para determinar a classe a qual cada amostra de dados pertence. Portanto, devido à dificuldade inerente ao banco de dados (proximidade excessiva), as distâncias calculadas são semelhantes e não permitem a classificação com precisão superior à técnica MLP.

Observando-se que a maior acuidade média foi de 87,26%, percebe-se que este trabalho abre margem para a realização de futuros trabalhos que venham a melhorar os resultados obtidos neste artigo. Logo, uma possível solução seria a aplicação de outras técnicas de classificação, como a rede Neural ELM (Extreme Learning Machine).

Tabela 2: Matriz de confusão para a classificação usando a MLP

	Iniciante	Intermediário	Avançado
Iniciante	28	5	0
Intermediário	2	25	6
Avançado	0	0	24

Fonte: Autores.

A análise da disposição espacial das três classes de dados, conforme verificado na Figura 3, bem como a observação da matriz de confusão da Tabela 2 dos dados de teste, mostra que existe grande proximidade entre os dados das classes “nível intermediário” e “nível avançado”, o que justifica a dificuldade no processo de classificação dos jogadores pertencentes a tais classes.

5. CONCLUSÃO

Utilizando-se as redes neurais MLP, RBF-SOM e LVQ para a classificação, percebeu-se aptidão satisfatória para resolução do

problema de classificação dos jogadores de xadrez, usando-se métricas de erros extraídas de partidas de xadrez no formato PGN. Tal fato não descarta a possibilidade de aplicação de outras técnicas de classificação, como a rede ELM, buscando-se melhorar os desempenhos de classificação apresentados, uma vez que a hipótese levantada na metodologia do problema sobre a dificuldade do mesmo pode ser comprovada após a obtenção dos resultados.

Dentre as redes aplicadas, a MLP apresentou os melhores resultados, obtendo 87,26% de acuidade média na tarefa de classificação e 4,45% de desvio padrão, enquanto que a rede LVQ apresentou os resultados menos expressivos, em sua melhor configuração obteve-se 72,52% para a acuidade média e 7,32% de desvio padrão.

A classificação de jogadores de xadrez mediante a utilização da avaliação de partidas de xadrez jogadas pode ser usada como ferramenta para acompanhar a evolução do desempenho de jogadores ao longo da evolução dos estudos. Além disso, essa metodologia pode ser usada para avaliar o desempenho de jogadores de xadrez em torneios e competições de maneira a apontar o nível do desempenho do jogador.

REFERÊNCIAS

- BISHOP, C. M. et al. **Neurals networks for pattern recognition**. Oxford: Oxford University Press, 1995.
- BONIFÁCIO, F. N. **Comparação entre as redes neurais artificiais MLP, RBF e LVQ na classificação de dados**. Paraná: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2010.
- CHOLLET, F. **Deep learning mit Python und Keras: das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek**. Bonn: MITP-Verlags GmbH & Co. KG, 2018.
- D'AGOSTINI, O. G. **Xadrez básico**. Rio de Janeiro: Ediouro Publicações, 2002.

- DAUVERGNE, P. **The case for chess as a tool to develop our children's mind.** University of Sydney. Disponível em: <http://www.aus-chess.org.aurticles/chessmind.htm>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- ERILLI, N. A. et al. **Classifying chess players with fuzzy clustering analysis in fuzzy data using eco codes.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTING IN SCIENCE & ENGINEERING, 1., 2010. Proceedings Book. p. 1105–1110.
- FERNANDES, M. A. C. **Aplicação das redes RBF na detecção inteligente de sinais digitais.** Proceedings of the IV Brazilian Conference on Neural Networks, p. 226–230, São José dos Campos, SP, Brasil.
- HU, Y. H.; HWANG, J.-N. **Introduction to neural networks for signal processing.** In: Handbook of neural network signal processing. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 12–41.
- JEREMIC, V. M.; RADOJICIC, Z. **A new approach in the evaluation of team chess championships rankings.** Journal of Quantitative Analysis in Sports, v. 6, n. 3, 2010.
- KOHONEN, T. K. **Self-organizing maps.** 2nd ed. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 1997.
- KUGLER, M.; JÚNIOR, J. T.; LOPES, H. S. **Desenvolvimento de uma rede neural LVQ em linguagem VHDL para aplicações em tempo real.** Proceedings of the VI Brazilian Conference on Neural Networks – VI Congresso Brasileiro de Redes Neurais, p. 103–108, 2–5 jun. 2003, São Paulo, SP, Brasil.
- POGGIO, T.; GIROSI, T. **Networks for approximation and learning.** Proceedings of the IEEE, v. 78, p. 1481–1497, 1990.
- REINGOLD, E. M. et al. **Visual span in expert chess players: evidence from eye movements.** Psychological Science, v. 12, n. 1, p. 48–55, 2001.
- SANTOS, A. B.; CASTANHO, M. J. P.; HERNANDES, F.; RÉ, A. M. **Rede neural LVQ em câncer de próstata.** Anais do XXXIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 2010.
- SILVA, I. N. da; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas.** São Paulo: Artliber, 2010. v. 23, n. 5, p. 33–111.

SILVA, W. **Raciocínio lógico e o jogo de xadrez: em busca de relações.** 2 v. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP, 2010. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/251446>. Acesso em: 20 mar. 2019.

CAPÍTULO 6

CLASSIFICAÇÃO DE CONDUTORES UTILIZANDO INFORMAÇÕES DO SISTEMA OBD-II

CLASSIFICATION OF DRIVERS USING DATA FROM THE OBD-II SYSTEM

Pedro Henrique Alves Ribeiro

UFPI – Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
pedro.eeufpi@gmail.com

José Maria Pires de Menezes Júnior

UFPI – Universidade Federal do Piauí
Teresina – Piauí
josemenezesjr@ufpi.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz

FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

A aplicação de técnicas de aprendizagem de máquinas para a identificação e classificação de motoristas utilizando o sistema OBD-II (On Board Diagnostic) tem sido realizada recentemente com sucesso. Este trabalho propõe a classificação de condutores pela utilização de informações adquiridas do OBD-II e de técnicas de aprendizagem de máquina. Estas informações se referem a 10 condutores e 51 atributos. A avaliação das técnicas se baseia no cálculo da acurácia média, mediana, valores máximos e mínimos, desvio padrão e tempo de execução de cada técnica computacional aplicada. A análise dos resultados apresentados evidencia que a classificação foi satisfatória, uma vez que as técnicas permitiram a obtenção de acurárias médias acima de 96%, com desvio padrão próximo de zero. Assim, tais resultados permitem a inferência da viabilidade do uso das técnicas aplicadas em posteriores trabalhos.

Palavras-chave: Aprendizado de Máquina; Classificação de Condutores; Sistema OBD-II; Diagnóstico Embarcado; Acurácia; Desvio Padrão; Tempo de Execução; Inteligência Computacional; Análise de Desempenho; Técnicas de Classificação.

ABSTRACT

The application of machine learning techniques in the identification and classification of drivers using the OBD-II (On Board Diagnostic) system has recently been successfully performed. This paper proposes the classification of drivers by using OBD-II acquired information and machine learning techniques. This information refers to 10 conductors and 51 attributes. The evaluation of the techniques is based on the calculation of the average accuracy, median, maximum and minimum values, standard deviation and execution time of each applied computational technique. The analysis of the presented results shows that the classification was satisfactory, since the techniques allowed to obtain average accuracy above 96%, with standard deviation close to zero. Thus, such results allow the inference of the viability of the use of the techniques applied in later works.

Keywords: Machine Learning; Driver Classification; OBD-II System; On-Board Diagnostics; Performance Metrics; Accuracy; Standard

Deviation; Execution Time; Computational Techniques; Intelligent Transportation Systems.

1. INTRODUÇÃO

Aprendizagem de máquinas tem sido utilizada com sucesso em tarefas de identificação e classificação de condutores de veículos utilizando o sistema OBD-II (On Board Diagnostic). Informações como a posição do acelerador, a velocidade do veículo e o consumo de combustível por quilômetro, por exemplo, podem ser utilizados para determinar se o condutor está autorizado ou não para conduzir o veículo (Sistema antifurto), como realizado em Ramos 2016, ou para determinar as ações comumente executadas por motoristas em diferentes situações no trânsito, de acordo com Fernandez et al 2016, ou, ainda, como o motorista dirige, em relação à sua experiência e habilidade, como realizado em Vaiana et al 2014.

Uma vez que existem nos veículos atuais a rede CAN (Controller Area Network), que permite a comunicação entre dispositivos eletrônicos nos automóveis modernos como o sistema de bloqueio e o sistema de freios antitravamento, dados em tempo real são enviados para o barramento CAN e, por meio do protocolo de comunicação OBD-II, disponibilizados para extração das grandezas de condução desejadas (Martinelli et al, 2018). Pode-se, então, utilizar essas informações para classificar condutores através técnicas de aprendizagem de máquina.

Aplicação semelhante foi realizada por Kwak et al 2016, que fez a classificação de motoristas pelas técnicas de Árvore de Decisão, Random Forest, Multilayer Perceptron e K-Nearest Neighbor aplicando no pré-processamento a exclusão de atributos idênticos ou redundantes, feita pelo método InfoGainAttributeEval, em WEKA. Já em Souza et al 2018, a classificação de condutores é feita mediante a aplicação de técnicas de dados e aprendizado de máquina (Random Forest, Multilayer Perceptron e K-Nearest Neighbor) através da extração de características estatísticas e redução de dimensionalidade

por Análise Discriminante de Fisher (FDA), Análise de Componentes Principais (PCA), Análise de Componentes Principais Incrementais (IPCA) e Análise de Componentes Independentes (ICA).

Pode-se atrelar à fase de pré-processamento de dados a dificuldade do problema, pois alguns dos atributos do banco são fortemente correlacionados, possuindo, ainda, escalas distintas, oriundas de cada sensor constituinte do veículo. Assim, o pré-processamento dos dados será baseado na matriz de correlação dos atributos e na normalização dos mesmos, bem como na influência deles no desempenho das técnicas aplicadas.

No tocante à construção deste artigo, na seção 3 são aplicadas técnicas de aprendizagem de máquinas. Após, o pré-processamento dos dados de condução, apresentado na seção 4, buscando-se a classificação dos condutores do veículo, avaliada por grandezas estatísticas, como a acurácia média, a mediana e o desvio padrão, além de outras.

2. BARRAMENTO CAN E PROTOCOLO OBD-II

A rede CAN define um padrão de comunicação genérico através de um barramento que disponibiliza diversas variáveis que caracterizam a condução de motoristas, como consumo de combustível e velocidade do motor. No entanto, tal barramento é composto por várias unidades de controle eletrônico (ECU) que se comunicam entre si. Logo, necessita-se de algo que faça comunicação entre as unidades de controle. É neste ponto que, sendo mais específico que o CAN e especificamente criado como padrão para veículos desde 1996, mostra-se a importância do protocolo OBD-II, que permite a comunicação entre as ECU (Birnbaum et al, 2001).

3. TÉCNICAS PARA CLASSIFICAÇÃO

3.1. Árvore de Decisão – DT

Uma árvore de decisão é um mapa dos possíveis resultados de uma série de escolhas possíveis. Assim, permite que um indivíduo ou organização compare possíveis ações baseado em seus custos, probabilidades e benefícios. As árvores de decisão podem ser utilizadas, com excelente desempenho, na tarefa de classificação (Rokach et al,2008). A partir de um conjunto de regras quantitativas e qualitativas, pode-se calcular valores desejados.

3.2. Random Forest – RF

Trata-se de uma técnica de aprendizagem de máquina usada para classificação, regressão, e outras aplicações que se utiliza da combinação de várias árvores de decisão, para o aumento da precisão e estabilidade dos resultados, corrigindo o hábito de supertreinamento (overfitting) dos algoritmos de árvores de decisão comuns. Desta forma, as amostras de treinamento serão distribuídas de forma a manter a mesma esperança para cada árvore criada, à medida que reduz a variância.

A técnica Random Forest tem o objetivo de efetuar a criação de várias árvores de decisão usando um subconjunto de atributos a partir do conjunto original (conjunto de dados de treinamento), o que possibilita uma melhor análise dos dados. Após a criação dos conjuntos de árvores de decisão é possível efetuar a classificação de qual possui melhor ganho de conhecimento para a solução de determinado problema (Neto, 2014).

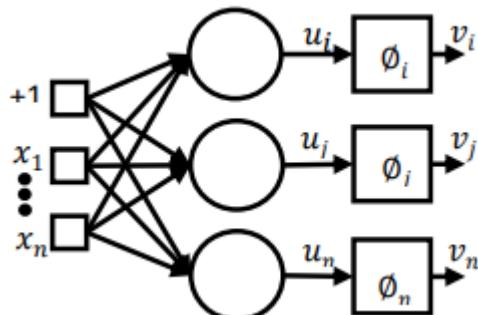
3.3. Multilayer Perceptron – MLP

Buscando a similaridade com o cérebro humano, as MLP são técnicas computacionais compostas por camadas de neurônios, interligados por sinapses de pesos (Silva et al, 2010). Uma

representação generalista desta rede com uma única camada escondida, Figura 1, é baseada no modelo perceptron proposto por Rosenblatt, que englobava algoritmos de treinamento supervisionado para a atualização dos pesos entre as sinapses (backpropagation).

A inserção de neurônios em sequência determina a quantidade de camadas ocultas, que podem ou não aumentar o desempenho do algoritmo e tem como finalidade a extração de características mais complexas do banco de dados. Porém, a maior complexidade do problema está relacionada com o processamento de informações na camada oculta, logo, com o tempo necessário para treinamento da rede (Bishop, 1995). O treinamento da rede é baseado na atualização dos pesos sinápticos entre os neurônios, que recebem a informação de entrada e transportam-na pela rede gerando uma saída estimada. Esta é comparada com o resultado desejado produzindo um a diferença, denominada custo (feedback) (Chollet, 2018).

Figura 1: Representação generalista de uma rede neural MLP.



Fonte: Autores.

4. METODOLOGIA

Este trabalho utilizou a linguagem Python para implementação e aplicação das técnicas de aprendizagem de máquina no banco de dados disponibilizado por Kwak et al 2016 em conjunto com o Hacking

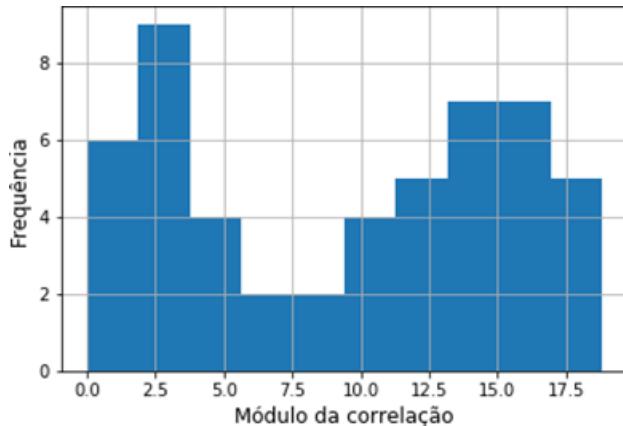
and Countermeasure Research Lab, que consiste de informações de condução de 10 motoristas num percurso de 23 km na cidade de Seul, na Coréia do Sul, obtidos a partir do barramento CAN do veículo Kia Soul. Esta aquisição foi permitida pelo uso da interface OBD-II. Cada motorista conduziu o veículo duas vezes, o que permitiu que as técnicas fossem aplicadas em dois bancos de dados diferentes, com 10 classes (motoristas de A a J) e 51 atributos, cada classe com a mesma quantidade de instâncias.

Alguns dos atributos dos bancos de dados são:

- Valor do pedal do acelerador (Porcentagem do ângulo de abertura do pedal do acelerador).
- Velocidade instantânea do veículo.
- Consumo instantâneo de combustível.
- Temperatura do líquido de arrefecimento do motor à combustão.
- Velocidade de travamento do motor (Monitoramento da válvula de travamento).

Analizando-se os bancos de dados, pode-se verificar a existência de atributos constantes para todos os condutores, desconsiderados, assim, para a análise dos algoritmos aplicados, e atributos com alta correlação, fato que pode afetar negativamente o desempenho das técnicas de classificação (Lee et al, 2005). Assim, aplicando-se na matriz de correlação 51x51 o operador matemático módulo e, a posteriori, somando-se todas as linhas coluna a coluna, construiu-se um vetor coluna. Neste, removeu-se do banco de dados os atributos cujos módulos do vetor coluna, representado pelo histograma da Figura 2, fossem maiores que 13. Assim, reduziu-se da quantidade de atributos para 25.

Figura 2: Histograma do módulo das correlações dos atributos do banco de dados



Fonte: Autores.

A exclusão de atributos mediante a correlação entre os mesmos pode ser explicada pelo fato de alguns atributos, como por exemplo, o fator de escala de torque (Torque scaling factor) e as velocidades das rodas (Wheel velocity front left-hand, Wheel velocity rear right- Hand, Wheel velocity front right- Hand, Wheel velocity rear left-hand) possuírem, respectivamente, valor constante para todas as classes e alta correlação (módulo em torno de 0,98).

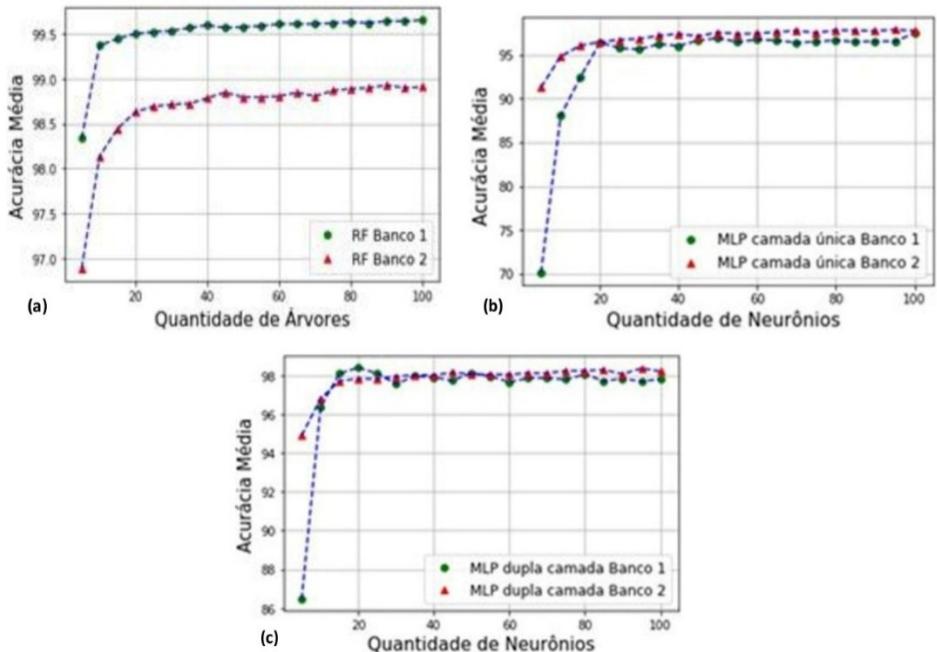
5. RESULTADOS

Como este trabalho tem o objetivo principal de classificar condutores utilizando técnicas de aprendizagem de máquina, obtiveram-se, variando-se os parâmetros de cada técnica (quantidade de árvores e de neurônios), os seguintes resultados.

Para as técnicas de decisão por árvore (Árvore de Decisão e Random Forest), Figura 3a, percebe-se que o aumento da quantidade de árvores traz consigo o aumento da acurácia do algoritmo para os dois bancos de dados, sendo no segundo banco, um pouco maior que

no primeiro, pelo fato de as árvores trabalharem com probabilidades e custos de acertos, que aumentam com a quantidade de árvores.

Figura 3: (a)Acurácia do Random Forest; (b) Acurácia da MLP camada única; (c) Acurácia da MLP dupla camada.



Fonte: Autores.

Comportamento semelhante acontece com as MLP de camada única da Figura 3b, ou seja, o aumento da quantidade de neurônios eleva a acurácia do algoritmo até uma porcentagem máxima, ainda que para algumas quantidades de neurônios a acurácia de- cresça. Isto ocorre pela tendência de maior precisão na retropropagação do erro entre as camadas da rede. Em relação aos dois bancos de dados, verifica-se que a acurácia média no segundo banco de dados é maior.

Já para as MLP camada dupla da Figura 3c, tem-se um comportamento mais oscilante quando do aumento da quantidade de neurônios nas camadas ocultas, onde o número de neurônios da

primeira camada oculta é o dobro da quantidade da segunda camada, e uma média de acurácia ligeiramente maior no banco 2.

Entretanto, nem sempre o aumento do número de camadas significa aumento da acurácia, pois ocorre também o aumento da complexidade do tratamento dos dados entre os neurônios, neste caso, prejudicial à acurácia da técnica.

A determinação das acurárias das técnicas de classificação usadas para cada banco de dados se baseou na análise estatística de cada algoritmo através do cálculo da média, mediana, valores máximos e mínimos, desvio padrão e tempo de classificação, uma vez que ao se usar técnicas heurísticas para a classificação, deve-se fornecer, para cada técnica usada, certa confiabilidade. Isto pode ser fornecido estatisticamente pelo cálculo da média, mediana, valores máximo e mínimo e desvio padrão de cada algoritmo, após repetições (30 para este trabalho) da mesma técnica para uma determinada configuração. Estes resultados podem ser analisados na Tabela 2

Tabela 2: Análise estatística de resultados para os bancos 1 e 2.

Técnica	Média (%)	Desv. Pad. (%)	Mediana (%)	Máx. (%)	Mín. (%)	Tempo (s)
BANCO 1						
Árv. Decisão	99,19	0,014	99,19	99,22	99,17	3,31
RF (100)	99,68	0,016	99,69	99,71	99,66	42,82
MLP (60)	96,80	0,32	96,67	97,08	95,90	1738,04
MLP (40-20)	98,57	0,23	98,62	98,82	97,99	2551,91
BANCO 2						
Árv. Decisão	98,24	0,05	98,17	98,30	98,09	4,22
RF (90)	98,98	0,02	98,96	99,02	98,94	47,61
MLP (95)	97,91	0,016	97,84	97,88	97,75	1886,83
MLP (194-97)	98,45	0,013	98,46	98,59	98,16	2267,32

Fonte: Autores.

A análise dos resultados apresentados permite a inferência de que apesar da acurácia média de uma técnica computacional ser alta nem sempre ela representa a mais específica, fato evidenciado pelo

desvio padrão. Pode-se observar na Tabela 2 que os desvios para as técnicas utilizadas foram diferentes, mesmo para acuráncias médias com valores próximos (variações em até 5% não são tão significantes em termos práticos). A partir disso, percebe-se a importância do cálculo não somente das acuráncias médias, mas de outras grandezas estatísticas (desvio padrão, acurácia máxima, mínima e mediana).

O tempo computacional de cada algoritmo, por sua vez, é de grande importância, ao se pensar na exequibilidade deste trabalho em ramos industriais, afinal, quanto mais rápido e eficiente é a técnica computacional utilizada, mais atrativa será para as aplicações reais. Percebe-se na Tabela 2 que os algoritmos baseados na cognição (redes MLP) apresentaram os maiores tempos para a classificação, fato já esperado uma vez que as técnicas baseadas em decisão (Árvore de Decisão e Random Forest) não necessitam de cálculos extensos, como a retropropagação do erro nas redes MLP.

Em comparação com Kwak et al 2016, pela Tabela 3, as acuráncias obtidas neste trabalho foram semelhantes, mesmo com metodologias diferentes entre os trabalhos.

Tabela 3: Acurácia de Kwak et al 2016.

Técnica	Acurácia (%)	Banco de Atributos
Árv. Decisão	98,4	<i>Our research's feature set + statistical feature</i>
RF	99,6	<i>Our research's feature set + statistical feature</i>
MLP	96,4	<i>Our research's feature set + statistical feature</i>

Fonte: Autores.

Para a obtenção dos resultados apresentados, utilizou-se da biblioteca Scikit-learn disponível na linguagem Python e das configurações a seguir, para cada técnica usada.

a) Configuração de técnicas para o Banco 1

- Árvore de Decisão: critério – entropy;

- Random Forest (RF): 100 estimadores, critério – entropy;
- Multilayer Perceptron (MLP) camada escondida única: 60 neurônios, função de ativação ReLU, taxa adaptativa iniciando de 0,01 e momentum de 0,9;
- Multilayer Perceptron (MLP) dupla camada escondida: 40 por 20 neurônios, função de ativação ReLU, taxa adaptativa iniciando de 0,01 e momentum de 0,9.

b) Configuração de técnicas para o Banco 2

- Árvore de Decisão: critério – entropy;
- Random Forest (RF): 90 estimadores, critério – entropy;
- Multilayer Perceptron (MLP) camada escondida única: 95 neurônios, função de ativação ReLU, taxa iniciando de 0,01 e momentum de 0,9;
- Multilayer Perceptron (MLP) dupla camada escondida: 194 por 97 neurônios, função de ativação ReLU, taxa iniciando de 0,01 e momentum de 0,9.

Percebe-se que alguns parâmetros das configurações dos algoritmos usados diferiram entre os bancos de dados. Pode-se explicar isso pelo fato de os dois bancos, apesar de serem dados referentes aos mesmos condutores (A a J), serem diferentes e representarem mais fielmente e em mais instâncias a condução dos mesmos motoristas num mesmo percurso, fato que ocorre corriqueiramente e que não significa que um motorista não identificado/autorizado esteja conduzindo o veículo.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou como objetivo avaliação da classificação de condutores pelo uso de técnicas de aprendizagem de máquina. A partir dos resultados apresentados, os algoritmos com acurácia maior e tempo de execução menor foram identificados,

conforme apresentados nas Tabelas 2 e 3. Logo, percebeu-se que a acurácia nem sempre deve ser o único fator a ser analisado para uma técnica, desta forma, destacando o impacto da mediana, dos valores máximos e mínimos, do desvio padrão e do tempo de execução para a classificação de motoristas através do uso de técnicas computacionais, uma vez que existe a possibilidade de uma técnica possuir alta acurácia média, mas baixa especificidade (alto desvio padrão e maior tempo para realização da tarefa desejada).

Uma vez que a análise dos resultados apresentados evidenciou que as técnicas utilizadas apresentaram resultados satisfatórios para a classificação de motoristas (acima de 96% de média de acertos), tais técnicas podem ser aplicadas em um banco de dados próprio do autor deste trabalho, a fim de verificar a adequação das mesmas aos dados. No entanto, tais resultados não descartam a possibilidade da aplicação de outras técnicas de aprendizagem de máquinas para classificação, buscando-se melhorar os resultados obtidos neste artigo.

REFERÊNCIAS

- BIRNBAUM, R.; TRUGLIA, J. **Getting to know OBD II.** [S.I.]: Editora Ralph Birnbaum, 2001.
- BISHOP, C. **Neural networks for pattern recognition.** Oxford: Oxford University Press, 1995.
- CHOLLET, F. **Deep learning with Python.** United States of America: Manning Publications, 2018.
- FERNANDEZ, S.; ITO, T. Driver classification for intelligent transportation systems using fuzzy logic. In: IEEE. **Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2016 IEEE 19th International Conference on.** [S.I.: s.n.], 2016. p. 1212–1216.
- KWAK, B. I.; WOO, J.; KIM, H. K. Know your master: driver profiling based anti-theft method. In: **PST 2016.** [S.I.: s.n.], 2016.
- LEE, H. D.; MONARD, M. C.; VOLTOLINI, R. F.; WU, F. C. Avaliação experimental e comparação de algoritmos de seleção de atributos importantes com o algoritmo FDimBF baseado na dimensão fractal. **Relatórios Técnicos do ICMC**, n. 264, 2005.

MARTINELLI, F.; MERCALDO, F.; ORLANDO, A.; NARDONE, V.; SANTONE, A.; SANGAIAH, A. K. Human behavior characterization driving style recognition in vehicle system. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.12.050>. Acesso em: [inserir data de acesso].

NETO, C. D. G. **Potencial de técnicas de mineração de dados para o mapeamento de áreas cafeeiras**. São José dos Campos: INPE, 2014.

RAMOS, C. A. **Sistema neural antifurto veicular**. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2016.

ROKACH, L.; MAIMON, O. **Data mining with decision trees: theory and applications**. 2. ed. Singapore: World Scientific Publishing, 2008. (Series in Machine Perception and Artificial Intelligence, v. 81).

SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010.

SOUZA, A. G.; LACERDA, W. S.; FERREIRA, D. D.; CAMPOS, G. L. Sistema de identificação de condutores baseado em métodos de extração de características estatísticas e técnicas de redução de dimensionalidade. In: **XXII Congresso Brasileiro de Automática**, 2018.

VAIANA, R. et al. Driving behavior and traffic safety: an acceleration-based safety evaluation procedure for smartphones. **Modern Applied Science**, v. 8, n. 1, p. 88, 2014.

CAPÍTULO 7

COMPARAÇÃO DE TRENS ELÉTRICOS E MOVIDOS A DIESEL EM TERMOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO TRANSPORTE DE MINÉRIO

***COMPARISON OF ELECTRIC AND DIESEL-POWERED TRAINS IN TERMS OF
ENERGY EFFICIENCY IN MINERAL TRANSPORT***

Cleane Mendes do Carmo
FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
cleanemendes78@gmail.com

Thiago Aguiar Santos
IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho
IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva
IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz
FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

O Brasil conta com um número razoável de ferrovias com foco em transporte de minério. Na atualidade, todas elas utilizam locomotivas movidas à diesel como sua principal fonte propulsora. Este estudo visa

demonstrar a viabilidade da utilização das locomotivas elétricas no modal ferroviário para o transporte dos materiais minerados no Brasil e demonstrar qual dessas fontes propulsoras é mais eficiente energeticamente, pois com o ganho de eficiência energética se ganha também em volume de minério transportado.

Palavras-chave: Eficiência energética, transporte de minério, trens, locomotivas

ABSTRACT

Brazil has a reasonable number of railroads focused on ore transportation. At present, all of them use diesel-powered locomotives as their main source of propulsion. This study aims to demonstrate the feasibility of using electric locomotives in the railway modal for the transportation of mined materials in Brazil and demonstrate which of these propulsive sources is more energy efficient, because with the gain in energy efficiency, there is also a gain in the volume of ore transported.

Keywords: Energy efficiency, ore transport, trains, locomotives

1. INTRODUÇÃO

A mineração tornou-se uma das operações mais rentáveis financeiramente no Brasil, principalmente o minério de ferro, pelo fato de ser utilizado em massa nas indústrias para a produção de aço. Sendo também um dos materiais de grande relevância nas exportações brasileiras. O minério de ferro é extraído e para o seu transporte necessita-se das estradas de ferro, comumente conhecidas como ferrovias.

Hodiernamente, existem três principais jazidas localizadas ao decorrer do território brasileiro. Localizadas nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Pará e junto à essas jazidas também se perpetuam as três principais ferrovias de transporte de minério, sendo elas: MRS Logística (Minas Gerais – Porto de Santos e Rio de Janeiro), EFC – Estrada de Ferro Carajás (Carajás – PA – São Luís – MA) e

EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas (Interior de Minas Gerais – Porto do Espírito Santo).

Para esse modal, se faz necessário o uso dos trens cargueiros para o transporte eficiente do minério até seus pontos de coleta para destinação final. Os trens são movidos pelas locomotivas, sendo elas classificadas pelo seu meio de propulsão.

Segundo a Associação Nacional dos Transportes Ferroviários (ANTF, 2023) no ano de 2023 houve um aumento de cerca de 5% no transporte de cargas no Brasil em relação ao ano de 2022, superando até mesmo o ano de 2018, que até então obtinha o maior volume transportado desde à concessão das ferrovias. Esse aumento se dá devido ao ganho de eficiência energética empregada no modal ferroviário. Sendo notório que há a possibilidade de melhorar ainda mais esses números estudando novas maneiras de ganhar em eficiência energética.

2. METODOLOGIA

2.1 Eficiência energética

A eficiência energética é o atributo que se dá quando se consegue diminuir a utilização de energia para realizar trabalho, mantendo a qualidade e o padrão já obtidos. Desta maneira consegue-se aumentar os resultados e reduzir significativamente os desperdícios. Ela é crucial para o desenvolvimento de uma matriz global, onde surgem inúmeras questões sobre a necessidade de investir em soluções que visam integrar o caminho da sustentabilidade diminuindo impactos ao meio ambiente, custos exorbitantes e desperdícios.

Trazendo a eficiência energética para o meio ferroviário, a eficiência energética visa principalmente o aumento da produtividade. Tendo em vista que os minérios extraídos nas jazidas precisam ser destinados aos seus consumidores finais, sejam esses através do modal rodoviário ou através dos portos. Para isso, existe uma cadeia

produtiva na qual se representa por toneladas as quantidades transportadas durante o ano recorrente. Com o aumento da eficiência energética nesse transporte, consegue-se também, ganhar na cadeia produtiva tendo um aumento significativo no volume final transportado.

Segundo Abate (2024), presidente da ABIFER (Associação Brasileira da Indústria Ferroviária), o setor ferroviário brasileiro tem investido em eficiência energética com o intuito de reduzir o principal ofensor nos custos do transporte ferroviário, que é a tração de seus veículos. As operações ferroviárias brasileiras seguem investindo para garantir uma maior produtividade sem afetar a qualidade de seus produtos, a segurança de seus colaboradores e o meio ambiente.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2024), classifica, no Brasil, a eficiência energética através das letras A+, A, B, B-, C, D, E, F e G, sendo que, quanto mais próximo de A+ maior a eficiência do produto, podendo ser um meio de transporte, eletrodomésticos, imóveis, máquinas industriais e etc. Sendo ainda também classificadas por cores, seguindo o círculo cromático, do vermelho ao verde, sendo que quanto mais próximo de verde mais eficiente energeticamente será o produto.

Pode-se calcular a eficiência energética para descrever o desempenho dos equipamentos de forma mais prática. Para se calcular, faz-se uma relação entre a energia útil produzida e a energia total consumida. Uma maneira prática de calcular é utilizando a equação 1:

$$e = \frac{w}{E} \times 100\% \quad (1)$$

na qual, e é a eficiência energética, w , a energia utilizada para realizar trabalho e E , a energia total consumida.

Há diversas maneiras de calculá-la, podendo também ser mais complexo pois o cálculo irá variar de sistema para sistema, sendo necessário considerar outras variáveis como por exemplo: perdas de energia durante as conversões ou transmissões, fatores de carga e a

eficiência das máquinas e equipamentos. O resultado é expresso em forma de porcentagem, onde valores mais altos significam mais eficiência.

2.2 Transporte de minério

Os caminhões conhecidos como caminhões fora-de-estrada, são veículos de grande porte responsáveis por transportarem o minério extraído das jazidas até os trens para que enfim sejam descarregados nos portos para serem entregues aos clientes de cada companhia. A VALE (2012), uma das grandes mineradoras renomadas no mundo, conta em seu contingente de máquinas com caminhões fora-de-estrada 100% elétricos em fase de testes, visando também a eficiência energética, diminuindo emissões causadas pelo diesel e poluição sonoros nas comunidades próximas de suas operações.

Após o descarregamento dos caminhões os trens cargueiros têm a finalidade de transportar o minério até os portos, para isso, atualmente se utilizam as locomotivas com sua fonte propulsora movidas à diesel. Todo trajeto, desde o carregamento nas minas até o descarregamento nos portos é controlado por um Centro de Controle Operacional (CCO), o qual tem a ciência de todos os trens que transitam pela ferrovia, bem como os equipamentos que fazem a manutenção da linha férrea, as chamadas máquinas de via.

Hoje o Brasil conta com o maior trem do mundo em relação ao transporte de minério, ele conta com 330 vagões e uma extensão de mais de 3500 metros, sendo capaz de transportar mais de 36 mil toneladas. Localizado na EFC (Estrada de ferro Carajás) operada pela mineradora Vale, onde saem, cerca de 18 a 20 trens iguais a esse por dia. Todo esse volume está associado a ganhos que a mineradora obteve ao longo dos anos com estudos voltados para eficiência energética no uso do combustível atual, o diesel.

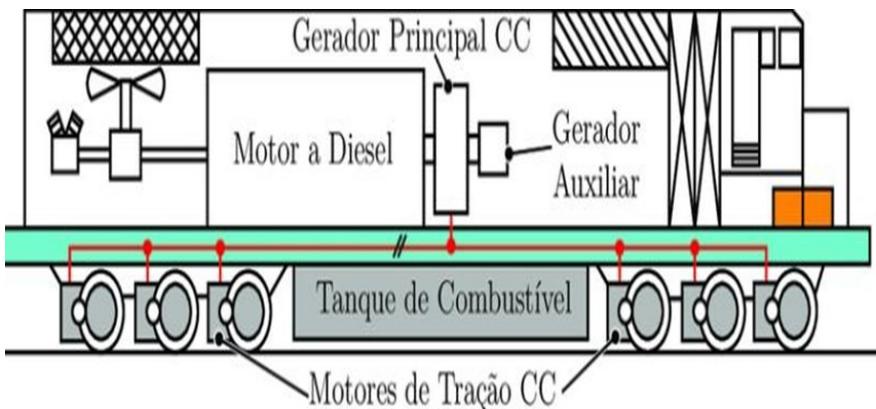
A ANTF conta com um mapa de todas as malhas ferroviárias em que circulam suas associadas (BANMIN, FTC, FTL, MRS, rumo, VALE E VLI) para o transporte de cargas até seus meios de escoamentos.

2.3. Locomotivas

Na antiguidade as locomotivas eram movidas a vapor, onde o combustível, neste caso sendo o carvão ou a lenha, eram utilizados para produzir o vapor para compor a força motriz necessária para impulsionar a locomotiva, as locomotivas à diesel substituíram as que outrora utilizavam o vapor como fonte de energia.

Entretanto, as locomotivas à diesel não são consideradas tão eficientes energeticamente, pois para transferir a força composta pelo motor diesel é necessário um meio de transmissão geralmente hidráulico ou mecânico. O que comumente acontece neste tipo de propulsão é um consumo elevado de combustível e um alto nível de poluição, tanto ao meio ambiente, quanto a comunidade presente nas proximidades das ferrovias por conta do alto teor de poluição sonora.

Para melhorar e eficiência das locomotivas movidas à diesel, criou-se as locomotivas diesel-elétricas, elas funcionam com as mesmas especificações de uma locomotiva à diesel, porém neste caso, a força gerada pelo motor diesel é transferida por meio de um sistema elétrico. A energia elétrica utilizada neste sistema é proveniente de um gerador. Essa energia segue um fluxo, o motor diesel ao ser partido aciona o gerador, que gera corrente contínua, essa corrente contínua é destinada aos motores de tração (Figura 1) que logo em seguida movimentam as rodas motrizes localizadas nos eixos.

Figura 1: Componentes do sistema de tração das locomotivas diesel elétricas

Fonte: Moraes, 2020.

Ao utilizar este tipo de transmissão, é possível diminuir exorbitantemente o consumo de combustível, haja vista que a velocidade de rotação será inversamente proporcional a corrente elétrica no motor e ao mesmo tempo diretamente proporcional ao torque composto no eixo, sendo assim tanto a velocidade quanto o torque da locomotiva são determinados pela velocidade das rotações (RPM) do motor.

Todavia, existem limites, pode-se dizer que quanto maior a velocidade do trem, maior a sua rotação. Para isso, limites são estabelecidos, logo é definido um valor máximo de velocidade para essas locomotivas, tendo em vista de regra um limite máximo também para as rotações do motor. Tudo isso é denominado a partir das características de isolamento de cada motor.

Com a redução do consumo de combustível, mantendo ou até mesmo melhorando a capacidade das locomotivas, ganha-se eficiência energética. Além de reduzir esse consumo, também se reduz os níveis de emissões causados pela combustão.

Logo em seguida, temos as locomotivas elétricas, criada em 1879 pelo alemão Siemens, pesando cerca de 90kg e suportando uma carga de aproximadamente 1700 toneladas. No Brasil, atualmente não

se têm locomotivas elétricas no transporte de minério. O volume transportado por trem de minério é muito elevado, para isso se faz necessário o uso de locomotivas com poder de tração alto. Diferente das locomotivas a diesel, que produzem sua própria energia através de um gerador, as locomotivas elétricas necessitam captar essa energia de outra forma, seja ela por meio de um terceiro trilho ou através da rede aérea. Apesar de serem mais eficientes energeticamente, reduzir a 0 as emissões geradas pela combustão e também sanar um grande ofensor que é a poluição sonora, para se utilizar esse tipo de locomotiva no transporte de minério seria necessário um grande investimento, pois para alcançar o desempenho das locomotivas à diesel as estradas de ferro teriam que ser reestruturadas para o uso da mesma, sendo a partir de uma sapata lateral como terceiro trilho ou a partir de uma rede elétrica aérea, além de também investir em treinamentos e capacitações as companhias mineradoras ou de logística também teriam que investir na aquisição das locomotivas Elétricas.

A mineradora Vale (2012) juntamente com a Progress Rail, produziu uma locomotiva 100% elétrica sendo sua fonte de energia a bateria. Para tanto serão utilizadas em primeira instância apenas para manobras nos pátios da mineradora.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ANTF registrou um aumento no volume transportado (em TKU) de minério de ferro através das ferrovias, tudo isso graças à avanços em eficiência energética, como pode ser visto na Tabela 1 e na Figura 2.

Tabela 1: Comparação da produção Ferroviária entre os anos de 2022 e 2023
Crescimento da produção ferroviária.

Grupo de Mercadorias	Mil TKU 2022	Mil TKU 2023	Variação
Granéis Agrícolas	18.605.799	20.934.867	12,52%
Minério de Ferro	65.378.688	73.043.126	11,72%
Combustíveis	1.968.281	1.885.542	-4,20%
Contêiner	1.161.872	1.187.931	2,24%
Demais Cargas	7.140.475	7.783.708	9,01%

Fonte: ANTF, 2023

Figura 2: Crescimento do transporte de minério de ferro nas ferrovias.



Fonte: ANTF, 2023.

A ANTF também registrou o crescimento da eficiência energética durante os anos de operação das ferrovias em transporte de minério, demonstrada na Tabela 2:

Tabela 2: Eficiência energética na produção ferroviária

ANO	BILHÕES TKU	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (L/mil TKU)
2017	341	3,19
2018	407	3,22
2019	366	3,23
2020	365	3,23
2021	371	3,06
2022	371	3,23
2023	390	3,33

Ainda de acordo com a ANTF, o minério de ferro é uma das principais cargas transportadas no modal ferroviário, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3: Produção Ferroviária do minério de ferro.

ANO	PRODUÇÃO FERROVIÁRIA (TKU)	% MINÉRIO DE FERRO	% CARGA GERAL
1997	153,8	76%	24%
2000	171,0	73%	27%
2005	236,6	71%	29%
2010	277,7	74%	26%
2015	332,2	74%	26%
2016	341,0	77%	23%
2017	375,1	74%	26%
2018	407,1	75%	25%
2019	366,0	71%	29%

2020	365,0	70%	30%
2021	371,4	70%	30%
2022	371,1	67%	33%
2023	389,5	67%	33%

Fonte: ANTF, 2023.

4. CONCLUSÃO

Em virtude dos fatos mencionados, pode-se esclarecer que ambos os métodos de propulsão podem ser eficientes energeticamente. O diferencial das locomotivas elétricas é o ganho na redução de emissões causadas pela queima do diesel. Para tanto, o investimento ainda é considerado muito alto. Vale ressaltar que as locomotivas a diesel com motores de tração elétricos vieram justamente para aumentar a eficiência energética nas locomotivas.

Tendo em vista que ambos os métodos podem ser eficazes, o maior investimento que se pode fazer é o investimento em estudos tecnológicos que possam oferecer a redução de todos os percalços encontrados no transporte de minério, sejam eles o consumo de combustível, as emissões geradas pelo diesel ou até mesmo a poluição sonora. Todas essas dificuldades podem ser sanadas com o uso das locomotivas elétricas.

REFERÊNCIAS

ABATE, Vicente. *Eficiência energética em ferrovias*. Revista Frotas e Fretes Verdes do Instituto Besc, ed. out. 2021, p. 52–53. Disponível em: <https://abifer.org.br/eficiencia-energetica-em-ferrovias/>. Acesso em: 9 maio 2024.

ANTF. *Relatório de Produção – 4º trimestre 2023*. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1eygNxulFoOWt4Wey-ZHlgbY22m4Zzlb2/view>. Acesso em: 14 maio 2024.

DIAS, Hitchely Gomes; ROSAS, Luis. *Relatório sobre locomotivas diesel-elétricas*. Revista FT. Disponível em: <https://revistaft.com.br/relatorio-sobre-locomotiva-diesel-eletrica-destaque-locomotiva-ac-44-ge/>. Acesso em: 8 maio 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Eficiência energética*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em: 8 maio 2024.

FGV TRANSPORTES. *Transporte ferroviário aumenta 5% em 2023 e atinge maior patamar desde 2018*. Disponível em: <https://transportes.fgv.br/noticias/transporte-ferroviario-aumenta-5-em2023-e-atinge-maior-patamar-desde-2018>. Acesso em: 14 maio 2024.

MASSA. *Ferrovia e mineração de ferro no Brasil: entenda a dependência entre eles*. Disponível em: <https://massa.ind.br/mineracao-de-ferro-no-brasil/>. Acesso em: 14 maio 2024.

MORAES, Caio. *Análise e concepção de um sistema híbrido de armazenamento de energia para aplicação em locomotivas diesel-elétricas*. 2020. Dissertação (Mestrado).

Museu Ferroviário de Bauru. *Locomotiva a vapor*. Disponível em: <https://www.projetomuseuferroviario.com.br/locomotiva-7/>. Acesso em: 10 maio 2024.

NONATO, Lívia. *Eficiência energética: o que é, qual o objetivo e os tipos*. AEVO. Disponível em: <https://blog.aevo.com.br/eficiencia-energetica/>. Acesso em: 8 maio 2024.

O ESPECIALISTA. *Maior trem do mundo escoa 120 milhões de toneladas de minério de Carajás por ano*. Disponível em: <https://oespecialista.com.br/maior-trem-do-mundo-carajas-brasil/>. Acesso em: 16 maio 2024.

PLASSER DO BRASIL. *Máquinas de via*. Disponível em: <https://www.plasser.com.br/pt/home/start.html>. Acesso em: 14 maio 2024.

Programa Potenciaizze. *Eficiência energética: o que é?* Disponível em: <https://www.programa-potencializee.com.br/noticias/eficiencia-energetica/>. Acesso em: 10 maio 2024.

QUESADA, Beatriz. *Produção de minério aumenta e vendas caem no 1º trimestre*. Exame. Disponível em: <https://exame.com/invest/mercados/vale-vale3-producao-de-minerio-de-ferro-aumenta-e-vendas-caem-no-1o-tri/>. Acesso em: 14 maio 2024.

SETTI, José Reynaldo A. *Tecnologia de Transportes*. São Carlos, jan. 2002. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/server/api/core/bitstreams/ac62a4f5-de15-42a1-88eb-1c0551b2a704/content>. Acesso em: 5 maio 2024.

VALE. Vale é a primeira mineradora, entre as grandes do setor, a testar caminhões de 72 toneladas 100% elétricos. Disponível em: <https://vale.com/pt/w/vale-is-the-first-mining-company-to-test-100-electric-72-ton-trucks>. Acesso em: 11 maio 2024.

WILLICH, Julia. *Eficiência energética: o que é, benefícios e como calcular*. Produttivo. Disponível em: <https://www.produttivo.com.br/blog/eficiencia-energetica/>. Acesso em: 8 maio 2024.

CAPÍTULO 8

UM ESTUDO SOBRE GEMBA E POSSÍVEIS APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

A STUDY ON GEMBA AND ITS POSSIBLE APPLICATIONS IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Mariana Paula Oliveira Costa

FACIMP – Faculdade de Imperatriz

Imperatriz – Maranhão

mariana.paula@gmail.com

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão

Pedreiras – Maranhão

thiago.aguiar@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão

Pedreiras – Maranhão

thianne.christina@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão

Pedreiras – Maranhão

ronnyel.silva@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz

FACIMP – Faculdade de Imperatriz

Imperatriz – Maranhão

raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

Este trabalho analisa os processos operacionais do setor de abastecimento de madeira, com foco na integração das atividades de controle de entrada e saída de madeira e produtos químicos utilizados na produção de celulose. A pesquisa destaca o papel estratégico do Núcleo

Avançado Fiscal (NAF) e da Célula de Controle Logístico (CECOL) na gestão logística e administrativa, evidenciando sua contribuição para a eficiência operacional. A metodologia adotada inclui a revisão teórica do conceito de Gemba, aplicado como ferramenta de melhoria contínua e eliminação de desperdícios no ambiente industrial. O modelo foi adaptado ao contexto do setor, incorporando práticas de gestão visual e o uso do quadro Heijunka para monitoramento das atividades mapeadas durante as rondas no Gemba. As análises realizadas permitiram identificar gargalos nos processos de recebimento e estocagem de madeira, especialmente relacionados à resolução de não conformidades. Observou-se que a ferramenta de organização de tarefas (Planner) não estava sendo utilizada de forma eficaz, o que dificultava a identificação e correção de falhas operacionais. Essa ineficiência resultava em perdas de tempo e impacto negativo na produtividade.

Palavras-chave: Abastecimento de madeira, Gemba, melhoria contínua, não conformidades, eficiência operacional.

ABSTRACT

This study analyzes daily operations within the wood supply sector, emphasizing the integration of activities related to the control of wood and chemical inputs essential for pulp production. It investigates the roles of the Advanced Fiscal Nucleus (NAF) and the Logistical Control Cell (CECOL) in managing logistical and administrative processes, highlighting their importance for operational efficiency. The Gemba concept is revisited and adapted to the wood yard context, incorporating management tools such as the Heijunka board to monitor and analyze items identified during Gemba walks. The process flow analysis of wood collection and storage revealed persistent challenges in resolving non-conformities, often resulting in operational disruptions. Additionally, the Planner tool—intended for task organization—was not effectively implemented, leading to failures in issue identification and resolution. These shortcomings hindered process continuity and contributed to significant inefficiencies.

Keywords: Wood Supply Chain; Cellulose Production; Operational Efficiency; Gemba; Heijunka Board; Logistical Control; Advanced Fiscal

Nucleus (NAF); Logistical Control Cell (CECOL); Process Improvement; Non-Conformity Management; Industrial Operations; Task Planning Tools.

1. INTRODUÇÃO

Este estudo descreve os processos operacionais do setor de abastecimento de madeira, com ênfase nas atividades do Núcleo Avançado Fiscal (NAF). Entre suas atribuições estão o registro, via sistema SAP, de notas fiscais, conhecimentos de transporte eletrônico (CT-e), ordens de recebimento (OR), pesagens de caminhões (cheios e vazios), solicitação de novas viagens e lançamento de dados referentes aos produtos químicos que ingressam na fábrica. O NAF atua não apenas na gestão do fluxo de veículos transportando madeira, mas também no controle da entrada e saída de insumos químicos essenciais à produção de celulose.

Outro processo inserido no escopo do setor de abastecimento de madeira é conduzido pela Célula de Controle Logístico (CECOL), responsável por funções administrativas relacionadas ao pátio de estocagem. Entre suas atribuições estão o planejamento das pilhas por densidade, o monitoramento do fluxo de caminhões, o acompanhamento diário do processo de cubagem e o rastreamento dos veículos com apoio da empresa Apisul. Adicionalmente, o CECOL é encarregado de supervisionar as máquinas utilizadas na estocagem de madeira, com base nos boletins de medição.

A principal função do abastecimento de madeira é o elo entre o setor florestal e industrial, uma vez que, faz parte do triple atividades que unem esses dois setores para garantir o andamento do fluxo do processo de extração da celulose.

Em conclusão, o trabalho evidencia a complexidade e a importância dos processos que compõem o setor de abastecimento de madeira, destacando as atividades realizadas no Núcleo Avançado Fiscal (NAF) e na Célula de Controle Logístico (CECOL). A integração desses processos, que envolvem desde o controle e lançamento das

informações no sistema SAP, até o acompanhamento do fluxo de caminhões e o monitoramento da estocagem e cubagem da madeira, é fundamental para garantir a continuidade e eficiência na produção de celulose.

O papel do abastecimento de madeira como elo entre os setores florestal e industrial se mostra crucial, pois ele assegura que as matérias-primas e os insumos necessários, tanto a madeira quanto os químicos, sejam corretamente gerenciados e disponibilizados, sem falhas ou interrupções.

Dessa forma, o setor de abastecimento de madeira não apenas facilita o fluxo contínuo de materiais, mas também exerce um papel estratégico no sucesso operacional da empresa, garantindo que os recursos estejam sempre disponíveis no momento certo, com qualidade e eficiência, refletindo diretamente na produtividade e na competitividade da organização.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Freitas (2011), caracteriza o Gemba como uma palavra japonesa que significa "local real" ou "o lugar onde a virtude ou a verdade é encontrada.", fazendo com que o ato de "Ir ao Gemba" se torne uma prática de gestão primordial para o funcionamento do ambiente industrial.

Dessa forma, Tubino também conceitua tal ferramenta, em sua visão o gemba é uma manufatura enxuta que através de um conjunto de técnicas advindas do Sistema Toyota de Produção (STP) aumentam a eficácia dos sistemas de produção pela eliminação de desperdícios (Tubino, 2009).

Com esses conceitos, Chaves afirma que a principal função de tal ferramenta é formar pessoas da mesma área ou áreas afins que desenvolvem voluntariamente atividades contínuas de melhoria e inovação nos ambientes onde operam. Afirmando que: "A atividade contínua e o acompanhamento gerencial permitem que estes grupos amadureçam e atinjam gradativamente a autonomia. O crescimento se

dá pelo desafio de compartilhar a responsabilidade pelo resultado do trabalho realizado. Cada vez que isto ocorre, os participantes ampliam sua habilidade e se tornam mais autônomos." (Chaves, 2000)

Depreende-se, portanto, que tal ferramenta é de suma importância para um bom desenvolvimento de um processo, buscando sempre a melhoria continua e a capacitação dos colaboradores que visitam o gemba, tornando real a fala de Liker, que afirma que a efetiva melhoria contínua é baseada em uma ideia de prosperidade ao longo prazo, com a eliminação de perdas e no desenvolvimento da equipe, reiterando sempre sobre o respeito e o desafio. Complementando autores como Gonzalez e Martins que afirmam que para garantir que a melhoria contínua aconteça, todos os envolvidos precisam estar conscientes do quanto ela é importante e de como precisam contribuir para o seu sucesso, além de possuírem competências para a solução de problemas devem estar sempre motivados para se empenharem para melhorar os processos.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada para analisar e aprimorar os processos do setor de abastecimento de madeira, com ênfase na aplicação da ferramenta Gemba. O objetivo foi identificar e implementar práticas que promovam a melhoria contínua e a eficiência operacional. O processo metodológico foi dividido nas seguintes

3.1 Levantamento e Análise dos Processos Existentes

O primeiro passo envolveu um levantamento detalhado dos processos de recebimento de madeira e químicos, como também, de estocagem. Acompanhando todos os responsáveis por cada processo e realizando reuniões diárias para levantar as informações e dando início a todo o planejamento estratégico para entendimento das necessidades e melhorias que poderiam ser impostas na área, além

disso, a participação nas agendas mensais da área ajudaram na compreensão do processo e foi identificado que eram nessas agendas que eram mapeadas as principais dores do processo.

3.2 Revisão Teórica e Definição do Modelo de Gemba

Após a etapa de levantamento e de análise de processos foi o momento de identificar qual metodologia utilizar para melhora os processos da área e após muitos estudos foi identificado que a melhor opção seria a dos 4P's de (Philosophy, Process, People and Partners e Problem. Solving) de Link e Meier para realizar o estudo e implementação da ferramenta na área que consiste em promover a melhoria contínua e a eficiência organizacional. O conceito central dessa ferramenta está em focar em quatro elementos essenciais que precisam ser harmonizados para garantir o sucesso de processos produtivos e operacionais em uma organização.

3.3 Desenvolvimento e Planejamento da Implementação

A implementação de modelos de gestão voltados à melhoria contínua exige uma análise profunda dos processos em execução, o envolvimento dos colaboradores e a criação de mecanismos eficazes para monitorar e corrigir as falhas identificadas. Um estudo de seis meses realizado em uma organização do setor industrial, com base no modelo dos 4Ps de Meier e Liker, serviu como um campo de aplicação prática para testar a eficácia de um processo de acompanhamento diário e preenchimento das não conformidades nas atividades de produção. O objetivo foi aprimorar os processos operacionais e garantir que a equipe estivesse ativamente envolvida na identificação e resolução de problemas, a fim de melhorar o desempenho geral da organização.

O estudo foi baseado na aplicação prática dos 4Ps do Sistema Toyota de Produção, que envolve os pilares de Filosofia, Processo,

Pessoas e Parceiros e Solução de Problemas. A metodologia foi adotada para compreender de forma mais profunda os desafios enfrentados no dia a dia do setor e, com isso, identificar áreas de melhoria para aumentar a eficiência operacional e reduzir desperdícios.

- Filosofia: A filosofia que orientou o estudo foi a de melhoria contínua e respeito pelas pessoas, onde todos os envolvidos no processo foram estimulados a colaborar ativamente para a identificação de oportunidades de melhoria.
- Processo: A análise dos processos existentes foi fundamental para a identificação de gargalos e pontos de ineficiência. Durante o estudo, foi feita uma avaliação detalhada das etapas de produção e dos fluxos de trabalho para implementar ajustes que visassem a otimização dos processos.
- Pessoas e Parceiros: O fator humano foi central no estudo, pois a implementação do modelo de Gemba – que implica em observar diretamente o local de trabalho e envolver os colaboradores no processo de tomada de decisões – exige que as pessoas estejam ativamente envolvidas na identificação de problemas e nas soluções propostas.
- Solução de Problemas: O uso de ferramentas para solução de problemas e o preenchimento das não conformidades foi uma etapa crítica do processo, garantindo que as falhas fossem documentadas, analisadas e resolvidas de maneira sistemática.

3.4 Execução e Monitoramento

A principal estratégia de acompanhamento foi a realização de rondas diárias pelos colaboradores, onde eles se dedicaram a observar, registrar e analisar os processos em tempo real. As rondas ocorreram ao longo de um período de seis meses e envolveram todos os membros da equipe, desde líderes de pátio até os gestores da área de produção. O principal objetivo dessas rondas foi identificar não conformidades no

fluxo de trabalho, registrar falhas e propor soluções de forma colaborativa.

Durante as rondas, foi possível observar de perto os problemas e desafios enfrentados pelos colaboradores em suas atividades diárias. Por exemplo, em alguns pontos do processo de produção, foram identificadas falhas na organização do espaço físico, dificuldades no manuseio de materiais e insumos e falhas nos equipamentos utilizados, que afetavam diretamente a produtividade e a qualidade do produto final.

Cada membro da equipe tinha a responsabilidade de realizar a inspeção das áreas sob sua supervisão e de registrar as não conformidades identificadas em um relatório estruturado. Esse documento foi parte essencial da metodologia adotada, pois não apenas documentava o problema, mas também apontava possíveis causas e sugeria soluções. Além disso, a criação de um quadro de monitoramento visual, utilizando ferramentas como o Heijunka e o 5W2H, ajudou a organizar a identificação das falhas, as responsabilidades e os prazos para a resolução das pendências.

O preenchimento das não conformidades era uma parte crítica do processo, pois garantia que todos os problemas encontrados durante as rondas fossem devidamente documentados e acompanhados. O preenchimento das não conformidades foi feito por meio de formulários e ferramentas digitais que permitiam o registro detalhado do problema, com informações sobre sua causa raiz, impacto no processo e a urgência de sua resolução.

Para garantir a eficácia da ação corretiva, cada não conformidade identificada foi tratada com base no modelo de análise de causa raiz (por exemplo, o Diagrama de Ishikawa ou 5 Porquês), que permitia aprofundar a análise do problema. As equipes foram incentivadas a não apenas apontar o erro, mas também a investigar suas causas e propor soluções que pudessem ser aplicadas de imediato ou a médio/longo prazo.

Após o preenchimento do relatório de não conformidade, as ações corretivas foram atribuídas a responsáveis específicos. Em muitos casos, isso envolveu a implementação de treinamentos rápidos,

ajustes na operação ou até mesmo a substituição de equipamentos que estavam apresentando falhas constantes. O acompanhamento diário das ações corretivas era feito pelos líderes da equipe, que monitoravam de perto a execução das soluções e avaliavam sua eficácia.

4. AVALIAÇÃO E AJUSTES

Os primeiros resultados do estudo mostraram que a implementação das rondas diárias e o processo de preenchimento das não conformidades tiveram um impacto positivo nos indicadores de eficiência operacional. Através da análise das falhas identificadas e das ações corretivas implementadas, foi possível reduzir significativamente os desperdícios de tempo e materiais, além de melhorar a qualidade do produto.

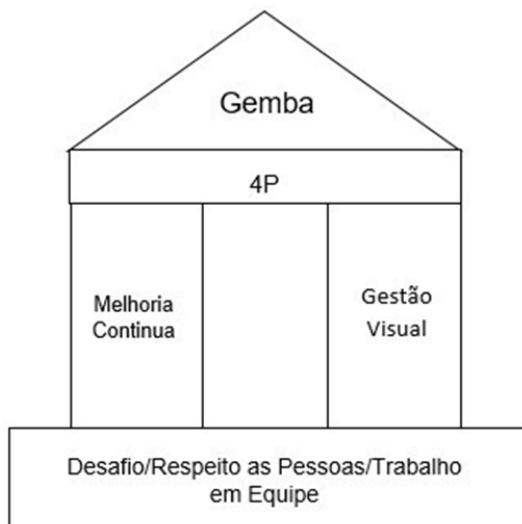
No entanto, alguns desafios também foram enfrentados durante o processo de implementação. Um dos principais obstáculos foi a resistência inicial de algumas equipes em adotar a cultura da melhoria contínua. Embora o modelo dos 4Ps tenha sido bem recebido pela maior parte dos colaboradores, a mudança de mentalidade e a adaptação ao novo processo de identificação e correção de problemas levou algum tempo. Além disso, a integração de novas ferramentas digitais para o registro das não conformidades também exigiu um período de treinamento e adaptação.

Outro desafio foi garantir que todas as ações corretivas fossem executadas no prazo estipulado e com a devida qualidade. Para superar esse obstáculo, foram implementadas reuniões semanais de acompanhamento, nas quais os líderes e os gestores discutiam o andamento das ações e ajustavam os planos de ação quando necessário.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente o projeto foi desenvolvido com base em um conceito denominado de Casa do Gemba, que informa os pilares e estrutura que ele está fixado, como mostra a Figura 1.

Figura 1: Casa Gemba



Fonte: Autores.

Com o conceito casa do gemba visualizado na imagem acima, denota-se que tal prática tem como base o desafio onde todos os dias a equipe responsável pela vistoria precisará propor novas táticas de identificação de não conformidades, afim de desenvolver a capacidade de resolução de problemas de forma mais eficaz, o respeito as pessoas, sempre reiterando que colaboração é fundamental para a implementação desse processo e o trabalho em equipe, uma vez que, a união será primordial na realização da ferramenta no dia a dia do ambiente da área.

Os pilares da casa são erguidos por dois preceitos importantes, o primeiro é o de melhoria continua, que ao ser implementado, tem

como principal finalidade sempre procurar a melhoria dos processos, visando a otimização do tempo e processos, evitando os desperdícios e a gestão visual, que tem como objetivo garantir que os problemas que estão “ocultos” sejam postos à tona e assim solucionados.

No topo, encontra-se a ferramenta 4P (Philosophy, Process, People and Partners e Problem. Solving), que de acordo com os autores Liker e Meier (2007) elas representam um diferencial perante as empresas tradicionais, que se tornam indispensável neste processo. Nesse ínterim, o 1P refere-se a filosofia, o que será usado para caracterizar e dar o ritmo a ferramenta, que nesse caso será, “Ir ao Gemba é conhecer suas limitações e lutar contra elas, o segundo aborda o processo, que é a eventual criação de um fluxo que traga os problemas à tona para que assim, possam ser resolvidos, não deixando nada oculto, essa etapa será implementada nas rondas diárias. O terceiro P, refere-se a pessoas e parceiros, que tem como objetivo ouvir os principais envolvidos no processo, levantando líderes em potencial, para que monitorem e acompanhem cada passo da execução das vistorias. O Quarto e último, trata da solução dos problemas, essa etapa em que se aplica todo o conhecimento visto na casa do gemba, onde deve acompanhar as não conformidades ver p para compreender as situações garantindo aprendizagem contínua e melhoria no desenvolvimento dos colaboradores em resolução de problemas.

Nesse contexto, entende-se que os principais objetivos do Gemba são evitar os desperdícios de tempo, processo e movimentação, através de análises de ambientes que são responsáveis diretos pelas atividades que mobilizam o setor em que o mesmo será aplicado. Além disso, o mesmo movimenta o fluxo de pessoas e possibilita o desenvolvimento de pessoal e o contato maior com os que vivem diariamente no gemba, uma vez que, ir até lá garante a integração com outros setores e visa compreender as atividades que não estão do dentro do escopo diário da equipe, fazendo com que a equipe se envolva em todo o processo produtivo das atividades analisadas.

5.1 Etapas de Criação

Para a implementação desse procedimento faz-se necessário compreender as demandas do ambiente em que ele será aplicado, sempre levando em consideração que precisa -se elaborar etapas de identificação de necessidades para que a ferramenta tenha o seu objetivo alcançado, assim para a criação do mesmo é importante realizar um estudo com alguma ferramenta de análise , como por exemplo, a FMEA (Failure Modeand Effect Analysis, que possibilita a análise de desvios e falhas de processos que vai contribuir no gemba para a identificação das rotas de vistoria, uma vez que, as rotas que tiverem o maior número de não conformidades, precisaram receber uma atenção mais rigorosa.

Outro fator de extrema importância das etapas de criação é a elaboração das equipes, que devem ser compostas por representantes de cada setor da área, para que assim, possa garantir que cada parte integrante terá oportunidade de participar do fluxo de melhoria e na agregação de valor, uma vez que, cada setor poderá contribuir com ideia de resolução, promovendo um brainstorming em tempo real. Nesse interim, precisa- se também designar não só os setores que serão avaliados, como também os maquinários e equipamentos que precisaram passar por uma vistoria diária, garantindo que sempre estejam em pleno funcionamento e que não gerem paradas no processo, como exemplificados na Tabela 1.

Na Tabela 1 pode-se verificar os integrantes das rotas, suas respectivas atividades e a frequência de participação, assim, consegue-se definir de forma ainda mais clara sobre papéis e responsabilidades, dando uma visão geral sobre o compromisso do setor com a ferramenta, alinhando com o conceito de casa Gemba, onde entende-se que ir até as não conformidades, analisa-las e criar planos de ação tornam o cotidiano da área mais eficaz e dinâmico.

Na Tabela 2 de cronograma semanal, precisou-se dividir os dias da semana em relação a quais áreas seriam visitadas, para que toda a área do pátio de madeira passasse pela integração da ferramenta,

usou-se todos os dias da semana devido a fábrica ter o funcionamento de 24 horas, assim, todos os dias são vistoriadas áreas diferentes.

Tabela 1: Cronograma de Integrantes

Cronograma de Integrantes		
Integrantes	Atividade	Dias de Participação
Auxiliar Administrativo	Acompanhar Vistorias	Seg á Sex
Analista de Turno	Relatório de Gemba	Seg á Sex
Analista Sênior	Monitoramento das Equipes	1 Vez na Semana
Gestor da Área	Acompanhamento dos Resultados	1 Vez na Semana
Líder de Pátio	Vistorias Diárias	Seg á Sex
Técnico em Segurança	Acompanhar Andamento em Relação a Segurança	Seg á Sex
Responsável Cubagem	Acompanhar Vistorias	Sexta
Responsável Multidocker	Acompanhar Vistorias	Seg á Sex

Fonte: Autores.

Tabela 2: Cronograma Semanal

Cronograma Semanal	
DIA	Rotas
Segunda	Oficina de Gruas
Terça	Pátio Principal (Leste)
Quarta	Pátio Principal (Oeste)
Quinta	Pátio Secundário e Curva da Mesa 3
Sexta	Pátio de Cubagem
Sábado	Logmeter e Ponto de Apoio
Domingo	Pátio Principal (Geral)

Fonte: Autores.

Nesta análise, faz-se necessário também utilizar ferramentas que organizem esse processo, afim de garantir que todos os envolvidos entendam de forma clara sobre os acontecimentos monitorados no gemba, para que a disposição de informações sejam entregues de forma rápida e eficaz, fazendo com que todos, sendo eles inseridos ou não na equipe executante do gemba, estejam a par dos problemas encontrados e que possam ajudar com melhorias afim de integrar cada vez mais no processo de desenvolvimento da área.

Nesse contexto, para utilizar de forma coerente e que gere os resultados propostos, precisa-se utilizar ferramentas de apoio que dão continuidade no fluxo de informação do processo, sendo a primeira a Tabela 3, que é o Heijunka, onde se dispõe de informações de responsável, prazo e eficácia na resolução de não conformidades.

Tabela 3: Heijunka.

HEIJUNKA						
MÊS:						
Responsável	Análise	1 Seman a	2 Seman a	3 Seman a	4 á 5 Seman a	Cadeia de Ajuda

Fonte: Autores.

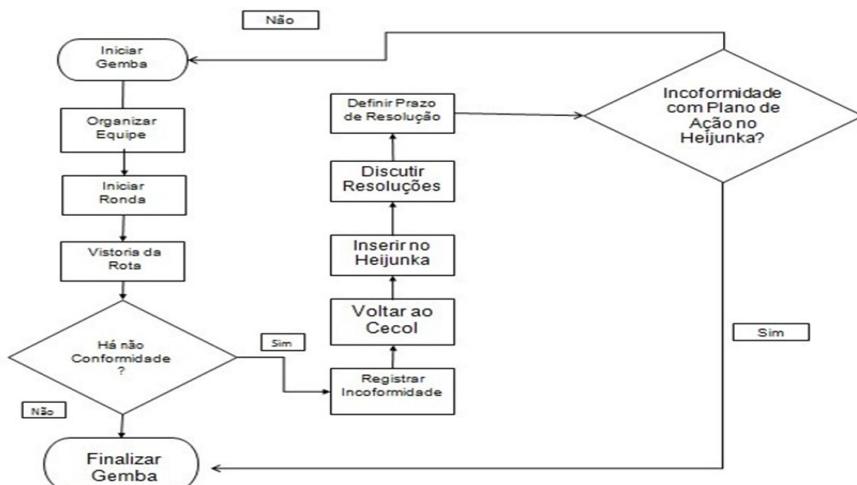
A Tabela 3, conhecido como Heijunka, que vem do *Lean* como uma ferramenta para acompanhamento de processos é utilizado como uma forma de inserir as informações coletadas nas rotas gembas, criando assim, um plano de ação a vista, uma vez que, ele fica localizado na área central do setor administrativo, fazendo com que todos possam acompanhar as não conformidades localizadas, informar os responsáveis pela resolução, definir um plano de ação e se necessário, solicitar uma cadeia de ajuda, informando no quadro quem poderia apoiar nas tratativas dos pontos sinalizados.

Em resumo, o processo do gemba pode ser exemplificado em um fluxograma que possibilita a compreensão de cada etapa da ferramenta, com o exemplo a seguir, fazendo com que seja possível visualizar cada etapa e como será sua realização, como pode ser visto no fluxograma da Figura 2.

Na Figura 2, conseguimos verificar todo o fluxo criado para a execução de uma rota gemba, iniciando com a organização da equipe, vistoria da área conforme o dia da semana disponibilizado na Tabela 2, se na rota for localizado alguma não conformidade, volta-se para área para registrar na Tabela 3 - heijunka, discute-se as resoluções, define-se os prazos e após a inserção de todas as informações na Tabela 3, termina-se a rota diária de gemba do dia.

Em conclusão, a implementação do conceito de Casa do Gemba no contexto descrito visa transformar a abordagem de resolução de problemas, promovendo uma gestão mais eficiente e colaborativa. O uso da filosofia 4P (Philosophy, Process, People, and Problem Solving) como base para a estrutura da Casa do Gemba facilita a identificação e solução de não conformidades de forma contínua, otimizada e centrada nas pessoas.

Figura 2: Fluxograma – Gemba.



Fonte: Autores.

A integração de diferentes equipes e setores, juntamente com o acompanhamento sistemático através de ferramentas como o FMEA, o Heijunka e o fluxograma, assegura que os processos sejam analisados de maneira meticulosa e que as melhorias sejam implementadas de forma coordenada. A periodicidade das vistorias e o cronograma bem estruturado garantem que todos os envolvidos estejam alinhados com as metas e os objetivos da ferramenta, promovendo a identificação de problemas ocultos e a implementação de soluções práticas.

A transparência gerada pela gestão visual, aliada ao fluxo constante de informações, reforça a importância do trabalho em equipe e da colaboração, elementos essenciais para a melhoria contínua. Portanto, a aplicação da Casa do Gemba, com suas práticas e ferramentas, se configura como um diferencial estratégico para o desenvolvimento de processos mais eficazes e dinâmicos, impulsionando tanto a eficiência operacional quanto o crescimento das equipes envolvidas, criando um ciclo virtuoso de aprendizado e inovação no ambiente de trabalho.

6. CONCLUSÃO

Em síntese, o estudo apresenta uma visão integrada dos processos do setor de abastecimento de madeira, evidenciando a relevância do controle logístico e químico para a produção de celulose. A análise das atividades do NAF e do CECOL revela sua complexidade e impacto na eficiência operacional. A aplicação dos princípios do Gemba, por meio da Casa do Gemba e ferramentas como o Heijunka, demonstrou potencial para promover melhorias contínuas e eliminar desperdícios. A participação ativa das equipes e o uso adequado das metodologias de gestão resultaram em avanços significativos na qualidade, produtividade e redução de falhas.

REFERÊNCIAS

- CHAVES, Neuza Maria Dias. *Caderno de campo do CCQ*. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2000.
- FREITAS, E. B. de. *Entendendo o Gemba*. Blog Engenharia de Produção. Disponível em: <http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com/2011/03/entendendo-o-gemba.html>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- GONZALEZ, R. V. D.; MARTINS, M. F. *Melhoria contínua no ambiente ISO 9001:2000: estudo de caso em duas empresas do setor automobilístico*. Revista Produção, v. 17, n. 3, p. 592–603, 2007.
- LIKER, J. K. *O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo*. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- LIKER, J. K.; MEIER, D. *O modelo Toyota: manual de aplicação – um guia prático para a implementação dos 4Ps da Toyota*. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- TUBINO, D. F. *Planejamento e controle da produção: teoria e prática*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CAPÍTULO 9

REUSO E TRATAMENTO DE ÁGUA EM CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS: UMA VISÃO BIBLIOGRÁFICA

***WATER REUSE AND TREATMENT IN RESIDENTIAL CONDOMINIUMS: A
LITERATURE REVIEW***

Andressa Eeven dos Santos Rodrigues

FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
andressaevem@hotmail.com

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz

FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

A questão discutida recebe com o passar dos anos mais movimentos em prol de sua manutenção como a “Declaração Universal dos Direitos da Água”, redigida pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 22 de março de 1992. No Brasil, já existem programas de tratamento de

esgoto, voltados para o reuso, porém, tem sido utilizado para usos não domésticos. Diante disso, o objetivo do estudo consiste em analisar os custos e benefícios do uso sustentável da água em condomínios residenciais. A pesquisa foi realizada através da revisão de literatura utilizando diversos artigos que obedeceram aos critérios de inclusão estabelecidos, sendo eles “água”, “condomínios”, “reuso”, “economia”. Cabe sugerir nesse estudo a continuidade do mesmo, enfocando ainda mais a questão do reuso da água, nos condomínios residenciais, não somente pela questão ambiental, mas também pela questão econômico-financeira, desenvolvendo novas pesquisas ainda mais abrangente, por exemplo, que consiga identificar e medir o aproveitamento de águas das chuvas e o reuso nas regas de jardins e outros fins permitidos por lei.

Palavras-chave: Ar Água, Condomínios, Reuso, Economia.

ABSTRACT

The issue discussed receives, over the years, more movements in favor of its maintenance, such as the “Universal Declaration of Water Rights”, written by the United Nations (UN) on March 22, 1992. In Brazil, there are already water protection programs sewage treatment, aimed at reuse, however, has been used for non-domestic uses. Therefore, the objective of the study is to analyze the costs and benefits of sustainable water use in residential condominiums. The research was carried out through a literature review using several articles that met the established inclusion criteria, namely “water”, “condominiums”, “reuse”, “economy”. It is worth suggesting in this study that it be continued, focusing even more on the issue of water reuse in residential condominiums, not only for environmental reasons, but also for economic-financial issues, developing new, even more comprehensive research, for example, that can identify and measure the use of rainwater and reuse for garden watering and other purposes permitted by law.

Keywords: Air Water, Condominiums, Reuse, Economy.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional nas cidades tem impulsionado a criação de condomínios residenciais para atender à demanda por moradia, exigindo abastecimento de água potável para uso doméstico e limpeza de áreas comuns. Diante dos desafios atuais de escassez hídrica, a implantação de subestações para o tratamento e reuso de água surge como alternativa viável, considerando que nem toda água utilizada nas residências precisa ser descartada imediatamente (LEAL, 2013).

O reuso de águas cinzas, provenientes de lavatórios e pias, apresenta grande potencial, pois atividades como lavagem de pisos e irrigação não exigem elevados padrões de pureza. Essa prática contribui para a preservação ambiental e pode gerar retorno financeiro ao reduzir os gastos com concessionárias (MELO, 2019). Embora o Brasil detenha 12% da água doce mundial, grande parte da população enfrenta dificuldades de acesso à água de qualidade, agravadas por infraestrutura precária e desperdícios no consumo humano e agrícola (ANAZAWA; HERNÁNDEZ; DO CARMO, 2019).

A proposta de reuso consciente de água cinza visa reduzir o consumo de água potável em atividades secundárias e minimizar o despejo de esgoto nos corpos hídricos (CARDOSO; MELO; DALFOVO, 2015). A implantação de sistemas de reuso em condomínios tem se mostrado eficaz, desde que haja viabilidade técnica e econômica, promovendo benefícios ambientais e sociais (CARRASQUEIRA, 2019).

Para ampliar essa prática, é essencial incentivar políticas públicas voltadas à preservação dos recursos hídricos, difusão de informações e desenvolvimento de tecnologias que promovam a sustentabilidade (CIRILO, 2015). A potabilidade da água distribuída aos moradores deve ser monitorada para garantir a saúde coletiva. Diante da crescente relevância do tema, é necessário adotar ferramentas que mensurem e divulguem os resultados obtidos com a economia de água.

A escolha do tema “Reuso e tratamento de água em condomínios residenciais” justifica-se pela sua contribuição à

sustentabilidade e à preservação ambiental. Como parte integrante do meio ambiente, os indivíduos têm responsabilidade direta na sua proteção e equilíbrio. Este estudo propõe verificar se ações sustentáveis estão sendo adotadas em condomínios residenciais.

O objetivo geral é apresentar estudos atualizados sobre os custos e benefícios do uso sustentável da água em condomínios residenciais. Os objetivos específicos são: discutir a relação entre água e sustentabilidade; analisar o funcionamento dos sistemas hídricos em condomínios; e ilustrar o custo-benefício da reutilização da água nesses ambientes.

2. METODOLOGIA

Conforme Lakatos e Marconi (2009), este estudo adotou o método hipotético-dedutivo, partindo da identificação de lacunas no conhecimento e da formulação de hipóteses sobre fenômenos observáveis. O enfoque da pesquisa é fenomenológico, buscando compreender a essência dos fatos a partir da percepção investigativa. Segundo Gil (2008, p. 136), “a pesquisa fenomenológica inicia-se com uma interrogação”, refletindo a insatisfação do pesquisador diante do que se pensa saber.

Quanto aos procedimentos metodológicos, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, considerada adequada por permitir amplo acesso a informações dispersas e aprofundamento teórico sobre o tema (GIL, 2008). De acordo com Marconi e Lakatos (2009, p. 43), esse tipo de pesquisa envolve o levantamento de obras publicadas, livros, revistas e documentos, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato com o que já foi produzido, possibilitando a resolução de problemas conhecidos e a exploração de novas abordagens.

O levantamento bibliográfico incluiu materiais catalogados em bibliotecas, editoras e plataformas digitais, com delimitação temporal entre 2013 e 2023. As fontes consultadas foram artigos científicos disponíveis na Scientific Electronic Library Online (SCIELO) e no Google Scholar.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a Agência Nacional de Águas (2012), o setor urbano consome 26% da água bruta do país, enquanto a construção civil é responsável por 16% da água potável. O uso da água não se limita à fase de construção: em edifícios residenciais convencionais, os sanitários podem representar até 70% do consumo total, elevando os custos condomoniais (CARVALHO, 2014). O uso de fontes alternativas pode reduzir esse consumo em até 40%, além de mitigar impactos ambientais (CORDEIRO; JÚNIOR, 2011).

O reuso da água traz benefícios como redução da demanda sobre mananciais, economia de energia, menor investimento em infraestrutura e melhoria dos processos industriais (CARVALHO, 2014). No Brasil, perdas nos sistemas de abastecimento chegam a 40%, o que reforça a importância do combate ao desperdício e da adoção de práticas eficientes (MORELLI, 2005). A conservação da água envolve estratégias para reduzir o consumo, melhorar o uso e gerar retorno financeiro (MAY, 2006).

Em condomínios, o reuso geralmente parte da água limpa utilizada em banhos, lavagens de roupas e louças (FABRÍCIO, 2020). Essas águas, por não exigirem contato direto posterior, podem ser reaproveitadas por meio de tubulações específicas (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017). A água da chuva também pode ser utilizada, desde que sua qualidade seja monitorada conforme normas vigentes, considerando parâmetros como poluição orgânica e metais (AQUINO, 2019).

O reuso é eficaz em condomínios com lavanderias e chuveiros coletivos, gerando economia e segurança hídrica (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017). No entanto, exige tratamento adequado devido à presença de impurezas e micro-organismos (BATISTA; QUEIROZ; OLIVEIRA, 2014). Seu uso é indicado para fins não potáveis, como limpeza de áreas comuns, irrigação e descargas sanitárias (FABRÍCIO, 2020).

Águas cinzas não incluem efluentes de vasos sanitários ou cozinhas, por apresentarem maior carga contaminante (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017). A água pluvial, embora menos arriscada, também requer cuidados específicos. A NBR 13969/1997 permite o uso de água do chuveiro ou máquina de lavar em descargas sanitárias após desinfecção simples. Contudo, a ausência de tubulações separadas em apartamentos dificulta a implementação, tornando o investimento elevado.

Para condomínios com alto consumo em áreas comuns, é recomendável a implantação de sistemas de reuso interligados à rede hidráulica, promovendo sustentabilidade e redução de custos (AQUINO, 2019).

O sistema hidráulico para água de reuso deve ser totalmente independente das redes de água potável e esgoto, com pontos de saída devidamente sinalizados e diferenciados da água pluvial. Funcionários responsáveis devem receber instruções específicas de manejo (FABRÍCIO, 2020). O projeto funciona como uma estação compacta de tratamento (Etar), composta por coletores e tubulações que conduzem efluentes de chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar até reservatórios, onde são tratados e redistribuídos para usos não potáveis (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

Apesar da ausência de legislação específica sobre reúso de água, existem manuais técnicos que orientam sua aplicação, promovendo economia de recursos naturais e redução de gastos com esgoto (BATISTA; QUEIROZ; OLIVEIRA, 2014). No Brasil, 83,3% da população tem acesso à água tratada, mas cerca de 35 milhões ainda estão excluídos desse serviço. Além disso, 37% da água tratada é perdida antes de chegar ao consumidor (AQUINO, 2019).

A situação é ainda mais crítica no tratamento de esgoto. Apenas 50,3% da população possui acesso à coleta, enquanto mais de 100 milhões de brasileiros permanecem sem atendimento adequado (COSTA; MOTA, 2022; D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017). O saneamento básico compreende serviços como abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais (MELO, 2019).

O esgotamento sanitário envolve a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos efluentes, sendo um direito garantido pela Lei nº 11.445/07, que estabelece diretrizes para o saneamento básico no país (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017). Essa legislação também prevê a universalização do acesso aos serviços, exigindo planejamento, regulação e fiscalização por parte da gestão pública (AQUINO, 2019).

A drenagem urbana inclui infraestrutura para transporte, retenção e tratamento das águas pluviais, além de ações preventivas como limpeza e fiscalização das redes (SILVA, 2014). Quando implantado corretamente, o saneamento básico contribui para a redução de doenças, melhora da qualidade de vida e desenvolvimento social, desde que acompanhado por uma administração municipal eficiente (FABRÍCIO, 2020).

Por fim, o saneamento é um indicador fundamental de desenvolvimento, impactando positivamente a saúde pública, educação, turismo, valorização imobiliária e preservação dos recursos hídricos (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

No contexto brasileiro, alternativas como o Aproveitamento das Águas Pluviais (AAP), Reciclagem das Águas Cinza (RAC) e Recuperação das Águas Residuárias (RAR) têm sido adotadas para fins não potáveis, seguindo tendências observadas em outros países (REZENDE, 2016). Nos Estados Unidos, a primeira norma de reuso foi estabelecida em 1918, na Califórnia, e em 1970 o estado passou a investir no desenvolvimento de tecnologias para atender à crescente demanda hídrica (SILVA; PINHEIRO, 2022).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou diretrizes em 1989 e 2006 para o uso seguro de águas residuárias, com foco em critérios microbiológicos e riscos associados à agricultura e aquicultura (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017; FERREIRA et al., 2018). O reuso da água, embora historicamente praticado de forma desordenada, é viabilizado pelo próprio ciclo hidrológico, que permite sua reutilização natural (FABRÍCIO, 2020).

No Japão, o crescimento urbano acelerado impulsionou o desenvolvimento de sistemas de reuso desde 1964, com aplicações em

descargas sanitárias, recreação, indústria, agricultura e derretimento de neve (AQUINO, 2019). Na década de 1980, cerca de 130 sistemas eram instalados anualmente, totalizando 2.100 em 1996, com recuperação de 324.000 m³/dia, sendo 0,8% destinado ao uso doméstico (FERREIRA et al., 2018).

Esses sistemas concentram-se em áreas metropolitanas como Tóquio e Fukuoka, onde a instalação de redes duplas de distribuição é obrigatória em novas edificações. O tratamento é realizado por meio de membranas ativadas, tecnologia que se expandiu diante das exigências crescentes sobre a qualidade da água (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017). Pesquisas globais continuam a explorar essas tecnologias, buscando aprimorar seu desempenho e contribuir para a qualidade de vida da população (FERREIRA et al., 2018).

É necessário informar que existem dois tipos de sistema de reuso de água para condomínios. O primeiro consiste em reaproveitar águas cinzas e o outro é projetado para captar águas pluviais ou água das chuvas. A água cinza é aquela oriunda de lavagem de roupas e pias de banheiro, que acabam sendo discorridas para tubulações individuais. Todavia, essas tubulações são diferentes das usadas para descarga, pias de cozinha e banho (AQUINO, 2019).

Devido ao fato de condomínios, na maioria das vezes, ter um número elevado de moradores e, consequentemente, grande produção de águas cinzas, a instalação de um sistema de reuso de água para condomínios acaba sendo a melhor solução para economizar água e evitar o desaguamento de fluidos poluidores em corpos hídricos (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

O recurso natural acaba sendo reaproveitado através da instalação de um sistema de reuso de água para condomínios específico para condomínios. Ao final do mês, a conta de água já dá mostras de uma considerável economia e toda a população acaba sendo beneficiada, pois principalmente pela situação de crise que o país atravessa, o sistema permite menos gastos do fluido proveniente de abastecimento público (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

Por não oferecer tratamento com produtos químicos, o sistema de reuso de água para condomínios é indicado para quem deseja

aplicá-la em atividades como lavagem de áreas externas, automóveis (não para enxaguar), descarga, irrigação, etc. Cabe alertar que a água não serve para consumo humano ou de animais, lavagem de roupa ou louça, lavagem ou preparação de alimentos (FERREIRA et al, 2018).

O sistema de reuso de água para condomínios é feito de forma diferente do que transfere água potável. Esse primeiro se preocupa em tratar o fluido com o objetivo de que ele seja reaproveitado para diversos serviços realizados por funcionários e consequentemente por moradores. Nas edificações mais novas, os engenheiros passam a ter um foco maior na construção com uso de água potável ou sistema de reuso de água para condomínios (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

O reuso da água, prática antiga e cada vez mais difundida globalmente, tornou-se essencial diante da crescente demanda hídrica (FABRÍCIO, 2020). A água residuária, quando tratada conforme os padrões exigidos, pode ser reaproveitada com benefícios ambientais e econômicos, como no caso da água recuperada proveniente de esgoto ou fontes de qualidade inferior (AQUINO, 2019).

A gestão ambiental envolve custos internos — ligados à prevenção e manutenção — e externos, mais difíceis de mensurar, relacionados aos impactos da atividade empresarial (FERREIRA et al., 2018). A contabilização desses custos ainda representa um desafio, especialmente no reconhecimento de passivos ambientais decorrentes da negligência com a legislação e práticas sustentáveis (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017; FABRÍCIO, 2020).

Ativos ambientais, por sua vez, são bens destinados à preservação e recuperação do meio ambiente, podendo gerar benefícios tangíveis e intangíveis. Quando não mensuráveis, devem ser evidenciados por meio de notas explicativas nas demonstrações contábeis (AQUINO, 2019; FERREIRA et al., 2018).

No Brasil, programas de financiamento apoiam iniciativas em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), com destaque para projetos voltados à gestão hídrica e recuperação de passivos ambientais (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017; AQUINO, 2019). A conservação da água é estratégica, especialmente em regiões com

escassez, como reforçado pelo Conselho Econômico e Social da ONU, que recomenda o uso de águas de qualidade inferior em atividades que não exigem potabilidade (CARVALHO, 2014).

Águas como esgotos domésticos, pluviais e salobras devem ser vistas como fontes alternativas, desde que tratadas adequadamente com tecnologias específicas (MANCUSO; SANTOS, 2003). O gerenciamento da demanda, segundo Braga (2009), envolve práticas que promovem o uso eficiente da água sem comprometer a higiene e o conforto.

O BNDES oferece crédito para projetos ambientais alinhados ao desenvolvimento sustentável, incluindo iniciativas em condomínios residenciais, que ainda carecem de incentivos mais acessíveis para adoção de sistemas de reuso (FABRÍCIO, 2020). Considerando que o consumo médio por pessoa no Brasil ultrapassa 200 litros/dia, ações educativas e orientações como as da SABESP são fundamentais para promover o uso racional da água (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

O reuso da água tem ganhado crescente atenção de autoridades, poder público e sociedade, sobretudo diante da escassez hídrica e do esgotamento das fontes disponíveis. O reuso para fins não potáveis já é amplamente adotado por indústrias, na agricultura, em postos de lavagem de veículos e em descargas sanitárias, configurando-se como alternativa relevante para a sustentabilidade (AQUINO, 2019).

Existem diferentes modalidades de reuso. O indireto sem planejamento ocorre quando a água utilizada é lançada no meio ambiente e reutilizada posteriormente, sem controle, após sofrer alterações naturais como diluição e autodepuração (AQUINO, 2019). Já o reuso indireto com planejamento envolve o lançamento controlado de efluentes tratados em corpos d'água para posterior aproveitamento (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017). Em sua forma mais rigorosa, esse tipo prevê controle sobre novos lançamentos, garantindo que o efluente tratado atenda aos padrões de qualidade exigidos (AQUINO, 2019).

O reuso direto com planejamento, por sua vez, consiste no encaminhamento de efluentes tratados diretamente ao local de reaproveitamento, sem descarte ambiental intermediário, sendo comum em indústrias e sistemas de irrigação (FABRÍCIO, 2020).

A reciclagem de água ocorre por meio do reuso interno antes do descarte no sistema geral de tratamento, funcionando como fonte suplementar para o uso original. Trata-se de uma forma específica do reuso direto planejado, com aplicação comum em irrigações de parques, jardins e áreas agrícolas (AQUINO, 2019).

Diante da crescente escassez hídrica, torna-se urgente adotar ferramentas que permitam identificar, mensurar e divulgar desperdícios e ganhos obtidos com a economia de água (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

Na construção de condomínios, além dos custos tradicionais da construção civil, há custos ambientais adicionais voltados à preservação, incluindo os relacionados ao tratamento e reuso de águas cinza (AQUINO, 2019).

Diante disso, a melhor maneira para calcular esses custos são cada vez mais realizar estudos mais aprofundados. Nesse momento, a avaliação do impacto ambiental permite esclarecer à administração do condomínio uma visão mais próxima possível do que o empreendimento pode fazer, dentro da sua realidade, para evitar, ou seja, colaborar com o meio ambiente, ao contrário do que normalmente acontece na maioria das organizações, onde a avaliação do impacto ambiental deixa claro a comunidade as agressões que tal empreendimento pode causar ao meio ambiente (D'AGOSTIN; BECEGATO; BAUM, 2017).

Entretanto, não se trata somente de reutilizar a água, mas de fazer um racionamento inteligente da mesma nos condomínios, como por exemplo, individualização das contas de água, controle dos registros e redução da duração do banho.

4. CONCLUSÃO

A gestão eficiente dos recursos hídricos em ambientes residenciais, especialmente em condomínios, representa um desafio crescente diante da escassez de água e da necessidade de práticas sustentáveis. Este estudo evidenciou que a adoção de tecnologias de reuso, inspeções periódicas, equipamentos economizadores e ações educativas voltadas ao consumo consciente são estratégias viáveis e eficazes para reduzir desperdícios e otimizar o uso da água.

A análise demonstrou que, mesmo em contextos urbanos, é possível implementar soluções simples e de baixo custo, como redutores de vazão, sistemas de descarga eficientes e reaproveitamento da água da chuva, promovendo benefícios ambientais e econômicos. A atuação proativa dos gestores condominiais, aliada ao engajamento dos moradores, é essencial para consolidar uma cultura de sustentabilidade e garantir a continuidade das ações.

Além disso, destaca-se a importância da educação ambiental como ferramenta estratégica para transformar hábitos e promover mudanças comportamentais duradouras. A disseminação de informações, o uso de tecnologias acessíveis e o planejamento integrado são pilares fundamentais para enfrentar os desafios da gestão hídrica e contribuir para a preservação dos recursos naturais.

Portanto, recomenda-se a ampliação de estudos sobre o reuso da água em condomínios, considerando suas implicações técnicas, econômicas e sociais. A construção de modelos replicáveis e adaptáveis pode fortalecer políticas públicas e iniciativas privadas voltadas à sustentabilidade urbana, assegurando qualidade de vida e equilíbrio ambiental para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ANAZAWA, T. M.; HERNÁNDEZ, M. H.; DO CARMO, R. Escassez hídrica pela perspectiva dos desastres socialmente construídos: as

percepções dos atores institucionais nos casos do Brasil e México. *Anais*, p. 1-22, 2019.

AQUINO, Solimar Alves de. Viabilidade técnica e financeira do reuso de águas cinzas em um condomínio residencial. Trabalho de Conclusão de Curso. Planaltina – DF, 2019.

BATISTA, F. G. A.; QUEIROZ, F. R. P.; OLIVEIRA, D. S. Percepção socioambiental do reuso das águas residuárias em condomínios verticais da cidade de Campina Grande-PB. *HOLOS*, Ano 30, v. 6, 2014. Artigo submetido em abril de 2013 e aceito em dezembro de 2014.

BRAGA, Elizete Duarte. Estudos de reuso de água em condomínios residenciais. Dissertação (Mestrado). Itajubá – MG, dez. 2009.

CARDOSO, E. R.; MELO, A. S. S. A.; DALFOVO, W. C. T. Municipalização plena dos serviços de saneamento básico em Mato Grosso: efeitos e condições de desempenho. In: *Encontro Nacional de Economia*, 43., 2015, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ANPEC, 2015.

CARVALHO, Nathália Leal. Reutilização de águas residuárias. *REMOA*, v. 14, n. 2, p. 3164–3171, mar. 2014.

CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. *Revista USP*, n. 106, p. 45-58, 2015.

CNBB – CONFERÊNCIA NACIONAL DOS BISPOS DO BRASIL. *Casa comum, nossa responsabilidade: texto base*. Brasília: Editora CNBB, 2015.

CORDEIRO, Roberto Batista; JÚNIOR, Antonio Robles. Custos e benefícios com o reuso da água em condomínios residenciais: um desenvolvimento sustentável. Artigo elaborado em 2011. Disponível em: http://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eitt/ix_ciclo_2011_artigo_roberto_baptista.pdf. Acesso em: 13 maio 2024.

COSTA, Thales Henrique Silva; MOTA, Francisco Suetonio Bastos. Análise quantitativa de águas cinzas em um condomínio residencial. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 2, mar./abr. 2022.

D'AGOSTIN, Andressa; BECEGATO, Valter Antônio; BAUM, Camila Angélica. Revisão sobre técnicas e tratamentos de águas para reuso doméstico. *Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REJ*, Jataí – GO, n. 28, jan./jul. 2017.

FABRÍCIO, Assucena Gomes. Implantação de sistema de reuso de águas cinzas em condomínio residencial. Trabalho de Conclusão de

Curso. Fortaleza, 2020.

FERREIRA, Claudenize Palmeira et al. Custos de implantação e manutenção de sistemas de reaproveitamento de águas cinzas: um estudo de caso no Residencial Cedro. In: *Congresso Brasileiro de Custos*, 25., 2018, Vitória. *Anais...* Vitória – ES, 12 a 14 nov. 2018.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LEAL, Bruno Luis. Viabilidade de reuso de águas cinzas: estudo de caso em condomínio vertical em Cuiabá – MT. Cuiabá, 2013.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. *Reuso de água*. Barueri – SP: Manole, 2003.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. *Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MAY, Simone. Conservação e reuso de água em edifícios: reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais para consumo não potável. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), 2006.

MELO, Tales George Silva. Água de reuso: alternativa para a redução de consumo de água e preservação de recursos hídricos. Monografia. Paracatu, 2019.

MORELLI, Eduardo Bronzatti. Reuso de água na lavagem de veículos. Dissertação (Mestrado). São Paulo, 2005.

MOTA, Thatiane Rodrigues; OLIVEIRA, Dyonisio Matias de; INADA, Paulo. Reutilização da água dos aparelhos de ar-condicionado em uma escola de ensino médio no município de Umuarama – PR. In: *Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar*, 8., 2011, Maringá. *Anais eletrônicos...* Maringá – PR: CESUMAR, 25 a 28 out. 2011.

REZENDE, Amanda Teixeira de. Reuso urbano de água para fins não potáveis no Brasil. Trabalho Final de Curso. Juiz de Fora: Faculdade de Engenharia da UFJF, 2016.

SILVA, Mayssa Alves da. Reuso de água: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas. *Revista do CEDS*, n. 1, p. 1–10, ago./dez. 2014.

SILVA, Tiago Rodrigues da; PINHEIRO, Conrad Elber. O potencial econômico da combinação entre sistemas domésticos de reutilização de água potável em um condomínio residencial de São José dos Campos – SP. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – 1º semestre, 2022.

CAPÍTULO 10

SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA UTILIZANDO ARDUINO NO COMBATE À COVID-19

SIMULATION OF A TEMPERATURE CONTROL SYSTEM USING ARDUINO IN THE FIGHT AGAINST COVID-19

Janaína Ferreira da Silva

IFBA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia
Feira de Santana – Bahia
janainafsilva8@gmail.com

José Luiz de Souza Freitas

IFBA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia
Feira de Santana – Bahia
josefreitas@ifba.edu.br

Mara Tatiane de Souza Tavares

IFS – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Sergipe
Lagarto – Sergipe
mara.tavares@ifs.edu.br

Thianne Christina Freire de Carvalho

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thianne.christina@ifma.edu.br

Thiago Aguiar Santos

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
thiago.aguiar@ifma.edu.br

Ronnyel Carlos Cunha Silva

IFMA – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Maranhão
Pedreiras – Maranhão
ronnyel.silva@ifma.edu.br

Raiana Batista da Luz
FACIMP – Faculdade de Imperatriz
Imperatriz – Maranhão
raianabatistaluz@gmail.com

RESUMO

O monitoramento da temperatura corporal tornou-se uma prática essencial no combate à COVID-19, especialmente devido à febre ser um sintoma comum da infecção por Sars-CoV-2. Este trabalho apresenta o desenvolvimento e simulação de um protótipo de sistema de controle de temperatura utilizando Arduino, com o auxílio da plataforma virtual Tinkercad. O projeto foi implementado em duas etapas: escolha do ambiente de simulação e montagem do circuito com componentes como Arduino UNO R3, resistores, LED RGB, sensor de temperatura e piezoelettrico. Foram testados dois sistemas: um com sinalização visual por LED e outro com alertas visuais e sonoros. Ambos apresentaram desempenho satisfatório, demonstrando a viabilidade do uso de tecnologias acessíveis no apoio à triagem de sintomas da COVID-19.

Palavras-chave: Monitoramento, Temperatura, Simulação, Arduino.

ABSTRACT

Body temperature monitoring has become a key practice in combating COVID-19, as fever is a common symptom of SARS-CoV-2 infection. This study presents the development and simulation of a temperature control system prototype using Arduino, implemented through the Tinkercad virtual platform. The project involved two stages: selecting the simulation environment and assembling the circuit with components such as Arduino UNO R3, resistors, RGB LED, temperature sensor, and piezoelectric buzzer. Two systems were tested—one using visual LED signals and the other combining visual and audible alerts. Both systems performed satisfactorily, demonstrating the feasibility of using accessible technologies to support symptom screening during the pandemic.

Keywords: Monitoring, Temperature, Simulation, Arduino.

1. INTRODUÇÃO

A pandemia causada pelo novo coronavírus (SARS-CoV-2), constitui um dos maiores desafios de saúde do século XXI, tendo em

vista que esta é responsável pela contaminação de milhões de habitantes, e por mais de três milhões de óbitos em uma escala global. O fato deste ser um vírus descoberto recentemente é uma das justificativas por sua alta taxa de transmissão, além da existência de múltiplas formas de disseminação, seja ela feita pelo contato direto com pessoas infectadas, ou simplesmente, pelo contato com superfícies e objetos utilizados por indivíduos contaminados.

Segundo a OMS, os principais sintomas observados em indivíduos infectados, são cansaço, dor de cabeça, alteração de paladar e olfato, tosse seca e febre, fazendo com que a testagem e o isolamento de pessoas que estejam apresentando tais sinais necessitem ser feita de maneira mais ágil possível, para que essa infecção possa ser contida.

A febre é uma enfermidade ocasionada pela ativação de fatores pirogênicos, que são produtos metabólicos ativados no centro regulador de temperatura presente no hipotálamo, e estes atuam modificando o valor térmico ideal para o funcionamento do organismo (Guyton, 2006). Estas alterações são frequentes em infecções, se fazendo bastante presente também nos indivíduos contaminados pela Sars-CoV-19, cerca de 56,2% dos infectados sintomáticos apresentam tais características, e devido a essas informações, cientistas, engenheiros e estudiosos de forma geral, estão buscando formas cada vez mais rápidas e eficazes de se obter dados que possam indicar possíveis contaminações, e assim ter um diagnóstico e um monitoramento de maneira mais precoce alcançando melhores resultados quanto à disseminação do vírus.

Considerando essas informações, este trabalho teve como objetivo principal desenvolver um sistema de monitoramento de controle de temperatura, utilizando um dispositivo eletrônico que fornece um protótipo que tenha a possibilidade de armazenamento e disponibilização dessas informações por meio de um banco de dados, pretendendo obter o monitoramento da temperatura corporal para que esta seja utilizada na detecção de uma possível contaminação pelo Sars-Cov-2.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Pandemia do Novo Coronavírus

Segundo a Organização Mundial da Saúde, entre dezembro de 2019 e março de 2020, a epidemia do COVID-19 se propagou da China, que foi o local onde diagnosticaram os primeiros casos, para o resto do mundo, chegando ao Brasil oficialmente em 26 de fevereiro, dia esse em que foi confirmado o primeiro caso importado do país. O primeiro caso de transmissão interna brasileira ocorreu no dia 5 de março, e desde então foi iniciada uma curva exponencial rumo aos atuais 15.812.055 casos confirmados no dia 19 de maio de 2021. Em 17 de março, a primeira morte foi notificada, e a partir desta se iniciou uma cruel caminhada que levou o Brasil a alcançar mais de 441.691 mil óbitos, confirmados para a mesma data supracitada.

Analizando o contexto da pandemia, a não descoberta de terapias farmacológicas que tiveram a sua eficácia testada e comprovada, como medicamentos curativos ou vacinas durante os meses iniciais (Schmidt, 2020), encarregou os profissionais da área de saúde, para que estes estabelecessem medidas com o intuito de evitar ou diminuir o contágio do coronavírus pela população.

Entretanto a recente implementação de terapias eficazes em questão de tratamento, ainda não conseguiu frear a alta transmissão desse vírus, já que além das vacinas desenvolvidas não garantirem a “não infecção”, estas ainda não foram distribuídas adequadamente pelos países, tendo os menos desenvolvidos ficado com uma parcela bem menor desses medicamentos, fazendo com que a Covid-19 ainda consiga provocar inúmeros impactos no mundo inteiro, tanto de maneira coletiva, afetando esferas socioeconômicas, e políticas, quanto de forma individual atingindo não somente o físico, mas também o psicológico, impactando os sentimentos e emoções humanas.

2.2 Métodos de Monitoramento para Evitar a Disseminação do Vírus

As estratégias para contenção da transmissão do vírus e controle da pandemia do COVID19 vão desde as medidas voltadas para isolamento do indivíduo doente às medidas de controle extremo voltadas para a comunidade, tais como: (1) isolamento: manutenção de pessoas com COVID-19 separadas de pessoas não infectadas; (2) quarentena: restrição de pessoas que supostamente foram expostas à COVID-19, mas não estão doentes, porque não foram infectadas ou porque ainda estão no período de incubação; (3) distanciamento social: envolve medidas que têm como objetivo reduzir as interações em uma comunidade, a exemplo do fechamento de escolas e locais de trabalho, suspensão de alguns tipos de comércio e cancelamento de eventos para evitar aglomeração de pessoas e (4) bloqueio (lockdown): refere-se à medida extrema de distanciamento social aplicada a toda uma comunidade, cidade ou região (SMITH E FREEDMAN, 2020).

No momento atual, diversos testes de vacinas já foram concretizados, e vários desses imunizantes estão sendo utilizados, entretanto o uso de máscaras, higienização das mãos, o distanciamento e o isolamento social ainda são as principais maneiras de se evitar a disseminação do vírus.

As formas mais utilizadas e também mais eficazes no rastreamento do vírus são os exames de detecção como o RT-PCR (Reação em cadeia da Polimerase), que amplifica o ácido nucléico do vírus, a fim de identificar o seu RNA na corrente sanguínea do paciente, ou os testes sorológicos que analisam a presença de anticorpos no sangue que são detectáveis a partir do sétimo dia após início dos sintomas (Ponte, 2020).

A medição de temperatura em lugares públicos também foi uma medida bastante implementada, principalmente na fase inicial da pandemia, para que as pessoas pudessem adentrar locais fechados, sendo criados inúmeros Projetos de Lei e exigências, tanto a nível Estadual quanto pelos poderes Federais, como as PLs 689/2020 e 4047/2020 que estabeleciam as medidas necessárias para

enfrentamento da pandemia do novo Coronavírus, e dentre estas a aferição da temperatura corporal da população para o acesso à locais públicos.

2.3 O uso da Tecnologia na Pandemia

Durante a pandemia, a tecnologia, que já era bastante frequente na vida da maioria da população, ganhou um espaço ainda maior, se fazendo presente no cotidiano da maioria dos indivíduos, seja mantendo contatos sociais por meio de videochamadas, por dar continuidade a esquemas de trabalho pelo home office, ou por dar seguimento às aulas, além de ter sido, e ainda continua possuindo bastante eficácia no monitoramento da disseminação da Covid-19. Esse controle pode ser feito de diversas formas, como análises do número de leitos e respiradores que estão disponíveis em cada hospital, a quantidade de indivíduos vacinados, e mapeamento da transmissão são algumas das alternativas utilizadas atualmente com o intuito de monitoramento da pandemia do SARS-Cov-2.

A facilitação de processos cotidianos que vem sendo realizado pelos eletrônicos, os torna cada vez mais essenciais em diversas esferas da vida de toda a população, mas também se faz necessário o seu aperfeiçoamento, para que estes possam acompanhar as demandas atuais, principalmente no auxílio da detecção de sintomas do vírus Cov-19. Muitos desses equipamentos são utilizados para se conseguir monitorar a temperatura corporal, já que a sua alteração é um dos sinais mais frequentes na infecção do coronavírus, à distância, para que não seja necessário o contato direto entre o profissional de saúde e o paciente. Essas ferramentas foram bastante empregadas principalmente em fronteiras e estabelecimentos comerciais, com o intuito de diminuir as chances de alastramento da doença, por meio de identificação precoce, adotando medidas de isolamento nesses indivíduos supostamente contaminados (Folha, 2020).

Muitos são os equipamentos utilizados para conseguir tais resultados de modo rápido, e para tal finalidade, ferramentas como o

arduino são amplamente utilizadas. Esse dispositivo é uma plataforma que possui baixo custo e uma programação rápida, tornando-o bastante difundido no meio dos eletrônicos, justamente por conta dessas características (McRoberts, 2011).

2.4 Arduino

O Arduino foi desenvolvido com os seguintes objetivos; de ter uma boa funcionalidade, barato, fácil de programar, acessibilidade aos estudantes e projetistas amadores. O Arduino é considerado um hardware aberto, significa que qualquer pessoa poderá alterar, montar e personalizar o arduino.

A placa Arduino é composta por um microcontrolador Atmel, circuitos de entradas/ saídas, que pode ser conectada facilmente a um computador, e ser programado através do seu IDE (Integrated Development Environment) que utiliza a linguagem C/C++. Existem infinitas formas de utilização do microcontrolador (BANZI, 2012). Podemos citar exemplos de automação residencial, criação de robôs, entre outros.

O Arduino é um dispositivo de fácil implementação do código fonte e tem funcionalidade de realizar o controle do sistema. Esse controle é realizado pela interpretação dos dados recebidos, ou seja, a unidade central receberá dados (sinais elétricos) dos sensores e produzirá um efeito posterior na saída, alimentação de sinal elétrico no módulo relé que colocará em funcionamento outros componentes eletroeletrônicos. Considerando estas informações, este trabalho terá o intuito de desenvolver protótipos e, por meio de simulações utilizando o arduino, elaborar um sistema de monitoramento de controle de temperatura, e assim auxiliar no combate à pandemia do novo coronavírus.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido consultando bibliografia técnica e sites especializados em programação. Todos os componentes necessários para o funcionamento do protótipo foram simulados em um ambiente virtual através do aplicativo Tinkercad, que nada mais é que uma ferramenta de modelagem e programação onde utiliza-se a linguagem C++ (mesma empregada pela plataforma Arduino) assim reproduzindo os comandos criados para executar as ações no circuito virtualmente. Essa plataforma é muito utilizada, e seu uso é indicado, principalmente para pessoas que estão começando a programar, já que o Tinkercad é fundamentado no conceito de blocos de montagem, fazendo com que os indivíduos que tenham o interesse na utilização deste aplicativo não necessitem de conhecimentos prévios sobre linguagens de programação, facilitando o processo de prototipagem.

O Arduino é um dispositivo que possui inúmeros benefícios em sua utilização, como o baixo preço de custo, e facilidade de programação, e por esses motivos foi escolhido para a execução desta simulação, visto a sua alta funcionalidade. Todos os testes foram realizados no programa online Autodesk Tinkercad, uma plataforma que possui grande variedade de componentes utilizados de modo físico juntamente com o Arduino, e por esta razão é bastante utilizado já que permite a programação, a montagem dos circuitos e a testagem de sua funcionalidade, criando assim a possibilidade de fazer tais experimentos mesmo não possuindo os componentes materiais ou ainda, sem os riscos de danificar os elementos físicos que seriam utilizados em projetos concretos.

As simulações contaram com a presença de uma placa de ensaio, um Arduino UNO R3, fios condutores, placa de ensaio, 3 resistores de 150Ω , Led RGB, sensor de temperatura e Piezo/Buzzer.

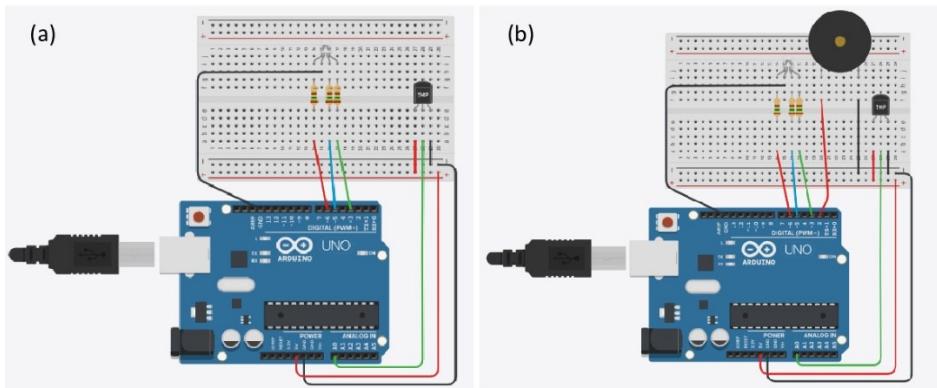
O Led RGB é um dispositivo eletrônico que possui quatro terminais, sendo um deles o terra, e os outros três correspondem às cores: vermelho (red), verde (green) e azul (blue), assim é possível ter a representação visual tanto destas cores primárias, quanto de suas

possíveis combinações (Alves, 2013). Também foi utilizado o Sensor de Temperatura TMP36, este é um componente que opera com voltagens que podem variar de 2,7 V a 5,5 V, seu funcionamento acontece a partir da variação de temperatura que ocorre no ambiente analisado, e a partir dessas alterações, diferentes voltagens são emitidas pelo sensor (Hernández, 2019). No protótipo também foi adicionado o Piezo, ou Buzzer, que se configura como um elemento que emite sinais sonoros de diferentes frequências de acordo com o sinal elétrico recebido (Santos, 2020).

A metodologia de montagem foi feita por meio da programação em blocos e dividida em duas situações. Na primeira testagem (Figura 1a), foi utilizado um sensor de temperatura que irá simular as temperaturas corporais, e com base nos valores determinados, o led RGB irá apresentar diferentes cores, representando algumas variações que o indivíduo analisado pode apresentar: Roxo para indicar temperaturas abaixo de 36°C, a cor Verde representa os valores entre 36°C e 38°C, já o Amarelo será indicativo de temperaturas maiores ou igual a 38°C e menores que 40°C, e a cor Vermelha será atribuída para temperaturas acima de 40°C.

Já na simulação 2 (Figura 1b) foi inserido um Piezo, juntamente aos outros elementos descritos anteriormente, com o intuito de produzir, além do efeito visual provocado pelo led RGB, um alerta sonoro sempre que o indivíduo apresentar uma temperatura corporal a partir de 40°C, representando uma febre muito alta, o que exigiria uma maior urgência no seu atendimento.

Figura 1: (a) Montagem da simulação; (b) Montagem da simulação 2.

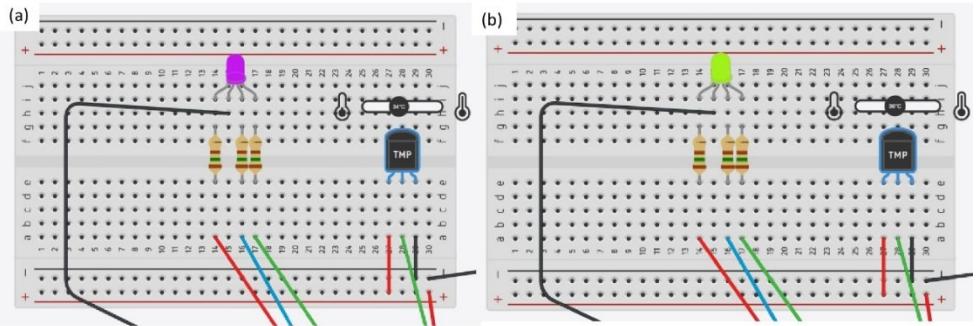


Fonte: Autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a montagem dos circuitos eletrônicos, foram obtidas as seguintes ocorrências, em que foi determinado que o Led RGB, presente na simulação com o intuito de fornecer os sinais visuais, representa as seguintes situações: o roxo quando aceso (Figura 2a), informa ao usuário que o paciente possui uma temperatura abaixo da normalidade (hipotermia), quando o led apresentar a cor verde (Figura 2b) será o indicativo de uma temperatura dentro dos parâmetros normais.

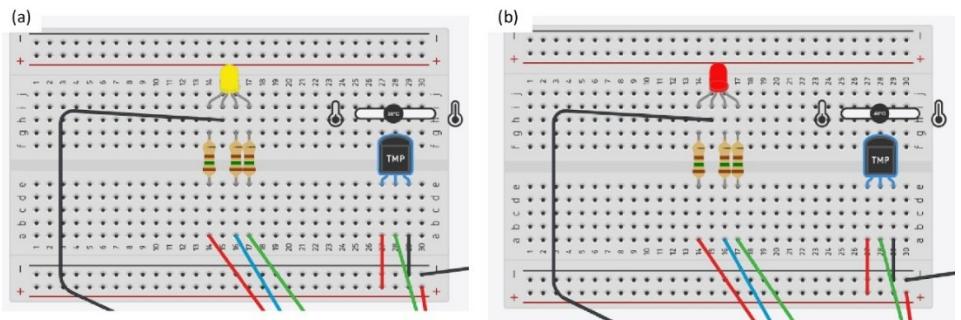
Figura 2: (a) Simulação representando temperaturas abaixo da normalidade; (b) Simulação representando temperaturas dentro dos parâmetros de normalidade.



Fonte: Autores.

Caso o led acionado possuir a cor amarela (Figura 3a) significa que o indivíduo analisado apresenta um quadro de febre moderada ou alta, e por último o led vermelho (Figura 3b) será ativado quando o paciente apresentar uma temperatura corporal que indique um quadro de febre muito alta.

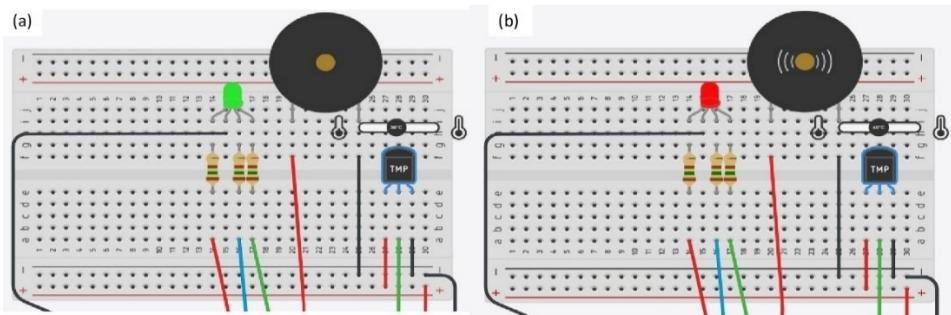
Figura 3: (a) Simulação representando febre moderada/alta; (b) Simulação representando febre muito alta



Fonte: Autores

Na segunda parte do projeto foi inserido um Piezo, que será ativado sempre que o paciente apresentar uma febre considerada muito alta (Figura 4b), para que a combinação entre o efeito visual, da luz do led, juntamente com o efeito sonoro emitido por este componente, sejam mais efetivos em notificar a urgência da enfermidade.

Figura 4: (a) Simulação com o Piezo desativado; (b) Simulação com o Piezo ativado.



Fonte: Autores.

Em ambos experimentos os resultados obtidos foram correspondentes ao esperado pela simulação.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi feita a criação de um protótipo que fosse capaz de produzir uma simulação, com o intuito de representar a temperatura corporal humana, e a partir das variações dessas condições, elementos implementados no projeto iriam produzir alterações visuais e sonoras, alertando assim o observador sobre o estado de saúde do indivíduo analisado. Apesar de se tratar apenas de um protótipo, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios e compatíveis com o esperado, tendo o potencial de ser implementado com os componentes físicos, facilitando o monitoramento da variação

de temperaturas corporais, tornando a interpretação das variáveis mais eficazes. Além de mostrar a importância da evolução dos métodos tecnológicos, e como tais práticas podem facilitar e tornar alguns métodos e situações mais acessíveis para a sociedade.

Também é válido ressaltar o desempenho da plataforma Autodesk Tinkercad, que permitiu a implementação desse projeto de modo fácil e didático, tendo sido fundamental para a produção deste trabalho. Desta forma, recomenda-se que futuramente se implemente esse experimento em formato físico, podendo ser usada também na construção de medidores de temperatura que mantenham uma distância segura entre os indivíduos, para que assim os resultados dessa simulação possam ser utilizados para aferições e análises das condições de saúde que se referem às temperaturas corporais, principalmente durante esse período árduo e preocupante que estamos vivenciando.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. M.; SILVA, A. L. C.; CASTRO PINTO, M. de; SAMPAIO, F. F.; FONSECA ELIA, M. da.** Uso do hardware livre Arduino em ambientes de ensino-aprendizagem. *Jornada de Atualização em Informática na Educação*, v. 1, n. 1, p. 162–187, 2013. Disponível em: <https://br-ie.org/pub/index.php/pie/article/view/2346>.
- BANZI, Massimo.** *Primeiros passos com o Arduino*. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2012.
- FOLHA DE S. PAULO.** Para cientistas, robôs podem ajudar no combate à pandemia de Covid-19. 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/equilibrioesaude/2020/03/para-cientistas-robos-podem-ajudar-no-combate-a-pandemia-de-covid-19.shtml>.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E.** *Tratado de fisiologia médica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- HERNÁNDEZ, D. V. L.** Escoger el mejor sensor de temperatura para Arduino. 2019. Disponível em: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/SensoresTemArdui.pdf>.

HOSPITAL DA ESCOLA DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE ZHE-JIANG. *Manual COVID-19: prevenção e tratamento.* Tradução de Flávia Vieira Guimarães Hartmann; colaboradores: Vanessa Guimarães Campos et al. Brasília: FEPECS, 2020. Disponível em: <http://www.cmm.zju.edu.cn/cmmenglish/2020/0320/c32029a1986784/page.htm>.

MICROBERTS, Michael. *Arduino básico.* 1. ed. São Paulo: Novatec, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Disponível em: <https://saude.gov.br/>.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Disponível em: <https://www.who.int/countries/bra/>.

ONU BRASIL. Brasil confirma primeiro caso de infecção pelo novo coronavírus. 27 fev. 2020. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/brasil-confirma-primeiro-caso-de-infeccao-pelo-novocoronavirus/amp/>.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Folha informativa – COVID-19 (doença causada pelo novo coronavírus). Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19>.

ORNELL, F.; SCHUCH, J. B.; SORDI, A. O.; KESSLER, F. H. P. “Pandemic fear” and COVID-19: mental health burden and strategies. *Brazilian Journal of Psychiatry*, 2020. Disponível em: <https://www.rbppsychiatry.org.br/details/943/en-US/-pandemic-fear--and-covid-19--mental-health-burden-and-strategies>.

PONTE, Gabriella. Quais exames são usados para o diagnóstico da COVID-19? 28 ago. 2020. Disponível em: <https://www.bio.fiocruz.br/index.php/br/noticias/1785-quais-exames-sao-usados-para-o-diagnostico-da-covid-19>.

SANTOS, F. A.; CAMPOS, G. L.; OLIVEIRA, P. S. de. Modelagem e representação de vehicular functions. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, v. 6, n. 1, p. 54–63, 2021. Disponível em: <https://revisitas.poli.br/~anais/index.php/repa/article/view/1419>.

SCHMIDT, B.; CREPALDI, M. A.; BOLZE, S. D. A.; NEIVA-SILVA, L.; DEMENECH, L. M. Saúde mental e intervenções psicológicas diante da pandemia do novo coronavírus (COVID-19). *Estudos de Psicologia (Campinas)*, v. 37, e200063, 2020. DOI: 10.1590/1982-0275202037e200063.

UFMG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. UFMG participa do sequenciamento de 19 genomas do coronavírus. [2020].

Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/pesquisadores-de-ufmg-ufrj-e-lncc-sequenciam-genoma-de-19-exemplares-do-covid-19>.

UNA-SUS – UNIVERSIDADE ABERTA DO SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. 2020. Disponível em: <https://www.unasus.gov.br/noticia/organizacao-mundial-de-saude-declara-pandemia-de-coronavirus>.

WILDER-SMITH, A.; FREEDMAN, D. O. Isolation, quarantine, social distancing and community containment: pivotal role for old-style public health measures in the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak. *Journal of Travel Medicine*, v. 27, n. 2, p. taaa020, 2020. DOI: 10.1093/jtm/taaa020. PMID: 32052841; PMCID: PMC7107565.

SOBRE OS ORGANIZADORES



Thianne Christina Freire de Carvalho

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2021), com ênfase em Engenharia e Ciências Térmicas. Graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Sergipe - UFS (2018). Atuou como professora substituta do IFS – Campus Lagarto (2022 – 2024) e da UFS (2024 – 2025). Atualmente é professora EBTT do IFMA – Campus Pedreiras/MA.



Ronnyel Carlos Cunha Silva

Doutorando em Ciência da Computação (2021–2025) pelo programa UFMA/UFPI. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Piauí (2020), com ênfase em Automação e Controle de Sistemas. Graduado em Engenharia Elétrica pela UFPI (2015). Atua nas áreas de Automação e Controle, Ciência de Dados, Energias Renováveis, Técnicas de Inteligência Artificial e Tecnologias Ativas aplicadas ao ensino de Engenharia Elétrica. Atualmente é professor EBTT do IFMA – Campus Pedreiras/MA.



Raiana Batista da Luz

Mestre em Agroenergia (2018) pelo Programa de pós-graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Especialista em Engenharia de Segurança do trabalho pela UCAM-Universidade Cândido Mendes. Graduada no curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) com mobilidade Acadêmica na Universidade Federal do Paraná (UFPR). Atuou como professora do IFMA na área de segurança do trabalho. Fundou o projeto de empreendedorismo social Enactus Facimp (2018). Atualmente é docente de nível superior na Facimp e professora conselheira da Enactus Facimp

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abastecimento de madeira, 116, 118, 119, 120, 131
Água, 6, 72, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147
Algoritmo genético, 29, 31, 32, 35, 39, 40
Ambiente industrial, 117, 119
Ambiente virtual, 11, 13, 19, 25, 155
Aplicações térmicas, 29
Aprendizagem de máquinas, 90, 92, 101
Aquisição de dados, 57, 59, 60, 61, 71
Arduino, 11, 18, 19, 21, 25, 149, 154, 155, 160, 161

B

Bluetooth, 57, 60, 62, 63

C

Condomínios, 134, 135, 136, 137, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145
Condutividade térmica, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40
COVID-19, 9, 148, 149, 151, 152, 161

D

Difusividade térmica, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40

E

Eficiência energética, 6, 30, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113
Eficiência operacional, 117, 120, 122, 124, 131

F

Ferroviário, 104, 105, 106, 112, 114

G

Gemba, 117, 119, 120, 121, 122, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132
Geração solar fotovoltaica, 42, 44, 45, 46, 47

I

Iluminação, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25
Incêndio, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 25, 26

J

Jogadores de xadrez, 75, 77, 78, 84, 86

L

Locomotivas, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 113, 114

M

Materiais condutores, 29, 30
Monitoramento, 17, 57, 59, 60,
62, 63, 71, 73, 117, 118, 119,
123, 149, 150, 153, 154, 159

P

Planejamento energético, 42, 44
Produção de celulose, 116, 118,
119, 131
Propriedades térmicas, 29, 30,
31, 33, 35, 39, 40

R

Redes neurais, 6, 42, 44, 45, 48,
51, 53, 54, 55, 75, 78, 79, 81,
82, 84, 85, 86
Redes neurais artificiais, 42, 44,
45, 48, 53, 54, 55, 78, 79, 86
Regressão linear múltipla, 42,
45, 46, 48, 49, 51, 52, 53, 54
Reuso, 6, 134, 135, 137, 138,
139, 140, 141, 142, 143, 144,
145, 146

S

Simulação, 11, 13, 17, 19, 23,
25, 39, 45, 149, 155, 156, 157,
159, 160
Sistema de aquisição, 57, 60,
61, 71
Sistema de aquisição e
monitoramento, 57
Sistema de segurança, 11
Sistema fotovoltaico, 42, 45, 54,
55, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 71, 72
Sistema OBD-II, 90, 91
Sistemas automáticos
integrados, 25

T

Temperatura corporal, 149, 150,
153, 156, 158, 159
Tinkercad, 11, 19, 25, 149, 155,
160
Transporte de minério, 103, 104,
107, 110, 111, 113
Tratamento de esgoto, 134, 138

X

Xadrez, 75, 76, 77, 78, 81, 82,
83, 86, 88

