

Organizadores:

Eduardo Mendonça Pinheiro

Patrício Moreira de Araújo Filho

Glauber Tulio Fonseca Coelho



# 4iD

ENGÊNHARIA

a era da produção inteligente

2021

  
**Pascal**  
Editora

**6°**  
Volume

EDUARDO MENDONÇA PINHEIRO  
PATRÍCIO MOREIRA DE ARAÚJO FILHO  
GLAUBER TULIO FONSECA COELHO  
(Organizadores)

# ENGENHARIA 4.0

## a era da produção inteligente

VOLUME 6

EDITORA PASCAL  
2021

**2021 - Copyright© da Editora Pascal**

**Editor Chefe:** Prof. Dr. Patrício Moreira de Araújo Filho

**Edição e Diagramação:** Eduardo Mendonça Pinheiro

**Edição de Arte:** Marcos Clyver dos Santos Oliveira

**Bibliotecária:** Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

**Revisão:** Patrício Moreira de Araújo Filho

### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Will Ribamar Mendes Almeida

Prof. Dr. Saulo José Figueredo Mendes

Prof. Dr. Glauber Túlio Fonseca Coelho

Prof. Dr. Raimundo Luna Neres

Prof. Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda

Prof. Dr. Ernane Rosa Martins

Prof. MSc. Paulo Américo Lira de Freitas

Prof. MSc. Carlos César Correia Aranha Junior

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

#### **E57prod**

Engenharia 4.0: a era da produção inteligente. / Eduardo Mendonça Pinheiro, Patrício Moreira de Araújo Filho e Glauber Túlio Fonseca Coelho, (Orgs.). — São Luís: Editora Pascal, 2021.

291 f.; il. – (Engenharia 4.0; v. 6)

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-86707-46-5

D.O.I.: 10.29327/533079

1. Engenharia. 2. Gestão inteligente. 3. Miscelânea. I. Pinheiro, Eduardo Mendonça. II. Araújo Filho, Patrício Moreira de. III. Coelho, Glauber Túlio Fonseca.

CDU: 089.3

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

**2021**

[www.editorapascal.com.br](http://www.editorapascal.com.br)

contato@editorapascal.com.br

## APRESENTAÇÃO

Esta edição da série “Engenharia 4.0: a era da produção inteligente” é o resultado da seleção de vários artigos científicos publicados sobre a temática central da obra. A equipe editorial buscou oportunizar aos acadêmicos, professores e profissionais da atuantes da área, espaço de discussão a respeito da produção inteligente e sua nova fronteira. Vale dizer que esta série pode ter números adicionais no futuro, devido à grande repercussão, interesse de vários pesquisadores e difusão deste novo conhecimento.

O presente volume é composto por 18 capítulos que foram apresentados em eventos regionais, nacionais e internacionais e aqui estão agrupados segundo temática para facilitar a leitura quanto aos interesses difundidos em cada artigo, transformado em capítulo de livro e direcionados a discentes, docentes, pesquisadores e profissionais de Engenharia e áreas afins.

Os Organizadores ressaltam que as temáticas ilustradas nos capítulos desta série científica confirmam o valor da Engenharia 4.0 no contexto empresarial, científico e seus utilitários, mas principalmente vem reforçar a importância do tema de vanguarda e sua aplicabilidade, contribuindo para que as empresas e centros de pesquisa possam identificar projetos com o potencial de desenvolvimento de novas tecnologias e inovação para o futuro da indústria.

Os Organizadores

# SUMÁRIO

## **CAPÍTULO 1..... 9**

### **AVALIAÇÃO DE FATORES DE RISCOS COM TRABALHADORES EM FRIGORÍFICOS**

Rodrigo Couto Santos  
Raimundo Rodrigues Gomes Filho  
Carlos Alberto Chuba Machado  
Ítalo Sabião Sanches  
Édipo Sabião Sanches  
Tainara Regina Cerutti Torres  
Staël Caroline Rego Ribeiro da Silva  
Gilverton Oliveira da Silva  
Mamadou Cellou Abdoulaye Diallo  
João Pedro Rodrigues da Silva  
Fernanda Lamede Ferreira de Jesus

## **CAPÍTULO 2..... 22**

### **AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA DE PAVIMENTO: UM ESTUDO ACERCA DO TRECHO DA BR-135 DE ACESSO AO PORTO DO ITAQUI EM SÃO LUÍS-MA**

Manoel Guterlam Araujo dos Reis Junior  
Sarah Letícia Corrêa Souza  
Thaís Corrêa Souza  
Matheus Macedo Barroso  
Rachid Santos Maluf

## **CAPÍTULO 3..... 44**

### **APROVEITAMENTO DE ÁGUA PROVENIENTE DE SISTEMA DE AR-CONDICIONADO DO PRÉDIO PRINCIPAL DO FÓRUM DESEMBARGADOR SARNEY COSTA: A UTILIZAÇÃO DO ARIETE HIDRÁULICO PARA BOMBEAMENTO SUSTENTÁVEL**

Vinicius Leonardo dos Santos Rocha  
Claudemir Gomes de Santana  
Danielle Cristina dos Santos Lisboa  
Lucas Nadler Rocha  
Renata Medeiros Lobo Muller

**CAPÍTULO 4..... 61**

**MODELAGEM MOLECULAR DE SILA-ADAMANTANO ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ ) E GERMA-ADAMANTANOS ( $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  e  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ ): UM ESTUDO DFT**

Edvan Moreira

Luis Almeida Carvalho

Wesley Kardex Cordeiro de Oliveira

Fernando Marques de Oliveira Moucherek

David Lima Azevedo

**CAPÍTULO 5..... 78**

**SISTEMA ELETRÔNICO PARA CONDICIONAMENTO DE SINAIS DE CÉLULAS DE CARGA**

Diego Luiz de Oliveira Batista

Ricardo Gouveia Teodoro

Aurasil Ferreira Garcia Junior

**CAPÍTULO 6..... 90**

**MODELO BASEADO EM PESQUISA OPERACIONAL E TEORIA DOS GRAFOS APLICADO EM SISTEMA DE MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA**

Lucas Luiz Lunarti

Victor Lunarti Valadão

Maury Meirelles Gouvêa Júnior

**CAPÍTULO 7..... 99**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA MICROESTRUTURA DA ARGAMASSA DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

Alessandro Onofre Rigão

Rubens Matheus Corrêa Fagundes

**CAPÍTULO 8 ..... 118**

**PROJETO VERSÁTIL DE ADAPTAÇÃO DO CONTADOR GEIGER-MÜLLER PARA AFERIÇÃO E QUANTIZAÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE NO AMBIENTE E EM PESSOAS**

Lázaro Luiz Duarte Neto

Marina Abadia Ramos

Adriano Reis da Silva Júnior

Letícia Marques Pinho Tiago

**CAPÍTULO 9..... 126**

**MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA POR MEIO DE ARREFECIMENTO DE PAINÉIS SOLARES COM SUPERVISÃO ONLINE**

Breno Eduardo Silva Mendes  
José Luis Domingos  
Aylton José Alves  
Ghunter Paulo Viajante

**CAPÍTULO 10..... 147**

**MODELAGEM MATEMÁTICA E ANÁLISE DE UM MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL 8/6 ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

Gustavo de Oliveira Machado  
Marcos José de Moraes Filho  
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira  
Luciano Coutinho Gomes

**CAPÍTULO 11..... 163**

**APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA NUM CONTEXTO DE ECONOMIA CIRCULAR**

Dayane Jamax Oliveira Silva  
José Carlos Martins Junior  
Milton Vieira Junior  
André de Lima

**CAPÍTULO 12..... 177**

**RECONSTRUÇÃO VIRTUAL DE OBJETOS POR CAPTURA DE NUVEM DE PONTOS UTILIZANDO DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO**

Angel Rodrigues Ferreira  
Alexandre Carvalho Silva  
Camilo de Lellis Barreto Junior

**CAPÍTULO 13..... 191**

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE FLUXO MAGNÉTICO EM TRANSFORMADORES DE 3 COLUNAS UTILIZANDO O PROGRAMA FEMM**

Camilla de Sousa Chaves  
Elise Saraiva  
José Roberto Camacho  
Marcelo Lynce Ribeiro Chaves

<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>206</b>
<b>AJUSTE DA RAZÃO DE COMPRESSÃO PARA A OBTENÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA EM UM MOTOR OTTOLIZADO DE UM GRUPO GERADOR, OPERANDO COM GÁS LP</b>	
Benilton Luis Nascimento de Oliveira Emerson Freitas Jaguaribe Bruno Leonardo Campêlo de Queiroga Adriano Sitônio Rumão	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>216</b>
<b>UMA ABORDAGEM EDUCACIONAL ACERCA DO ELO ENTRE OS MODELOS TEÓRICOS FÍSICOS-MATEMÁTICOS E SOLUÇÕES DE ENGENHARIA</b>	
Natan Sian das Neves	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>229</b>
<b>BLOQUEIO DE FALHAS DE SOBREPRESSÃO DO CÁRTER DO MOTOR DIESEL EM LOCOMOTIVAS AC44</b>	
Pedro Paulo Rezende Silva Domingos Lucas Costa Brito Hermes Dias Godinho Jorge Nei Brito	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>242</b>
<b>ATENDIMENTO AUTOMOTIVO E RELAÇÕES DE GÊNERO NA CIDADE DE SALVADOR-BAHIA</b>	
Laira Maissa Almeida Silva Paula Galvão Caldas Moreno Vaner José do Prado	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>262</b>
<b>IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ANÁLISE DOS PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE NA FABRICAÇÃO DO PÃO FRANCÊS EM UMA PADARIA EM SÃO LUÍS-MA</b>	
Izabella Vaz Guimarães Laranjeira Adryelle Anchieta Sousa Ayla Kelly Soares Assunção Eduardo Mendonça Pinheiro	
<b>AUTORES</b> .....	<b>269</b>
<b>ORGANIZADORES</b> .....	<b>290</b>



# CAPÍTULO 1

## **AVALIAÇÃO DE FATORES DE RISCOS COM TRABALHADORES EM FRIGORÍFICOS**

ASSESSMENT OF RISK FACTORS WITH WORKERS IN  
SLAUGHTERHOUSES

**Rodrigo Couto Santos**

**Raimundo Rodrigues Gomes Filho**

**Carlos Alberto Chuba Machado**

**Ítalo Sabião Sanches**

**Édipo Sabião Sanches**

**Tainara Regina Cerutti Torres**

**Staël Caroline Rego Ribeiro da Silva**

**Gilverton Oliveira da Silva**

**Mamadou Cellou Abdoulaye Diallo**

**João Pedro Rodrigues da Silva**

**Fernanda Lamede Ferreira de Jesus**

## Resumo

**A**o se pensar em Engenharia 4.0 não se pode deixar de lado a importância de profissões como a Engenharia de Segurança do Trabalho, não apenas direcionada a atividades de construção civil, instalações elétricas ou ambientes confinados, mas também como agente de suporte a atividades menos evidenciadas como frigoríficos, já que estas atividades proporcionam riscos constantes decorrentes de movimentos repetitivos, acúmulo de tarefas, carregamento de pesos e utilização de instrumentos perfurocortantes. Posto isso, foi objetivo deste estudo investigar as principais causas de acidentes do trabalho em um abatedouro-frigorífico de frango de corte com bases de dados administrativos e propor política de controle e prevenção de acidentes e doenças ocupacionais decorrentes do trabalho. Foi possível verificar que os principais fatores de risco são decorrentes de fatores ambientais, preparo do produto e transporte no interior dos frigoríficos. Ao final, concluiu-se que como ferramenta de engenharia 4.0 é necessário haver uma maior combinação entre maximização de lucro corporativo e gerenciamento de riscos à segurança do trabalhador e que o controle de risco em uma empresa identifica níveis de insalubridade e padrões de proteção apropriados.

**Palavras-chave:** Segurança do trabalho, frango de corte, saúde do trabalhador.

## Abstract

**W**hen thinking about Engineering 4.0 one cannot ignore the importance of professions such as Occupational Safety Engineering, not only focused on civil construction activities, electrical installations or confined environments, but also as a support agent for less evident activities such as slaughterhouses, as these activities offer constant risks resulting from repetitive movements, accumulation of tasks, loading of weights and use of sharp instruments. That said, the objective of this study was to investigate the main causes of accidents at work in the slaughterhouse based on administrative databases and to propose a policy for the control and prevention of accidents at work and occupational diseases resulting from work. It was possible to verify that the main risk factors are due to environmental factors, product preparation and transportation inside slaughterhouses. In the end, it was concluded that, as an engineering tool 4.0, there must be a greater combination of maximizing corporate profit and risk management, worker safety and risk control in a company, identifying unhealthy levels and adequate protection standards.

**Keywords:** Work safety, broiler chicken, worker health.



## 1. INTRODUÇÃO

A realidade mundial é preocupante no que diz respeito à ocorrência de acidentes do trabalho e doenças ocupacionais. No Brasil, essa realidade é ainda mais evidenciada devido ao número de ocorrências e a gravidade dos mesmos.

Ao se pensar em Engenharia 4.0 não se pode deixar de lado a importância de profissões como a Engenharia de Segurança do Trabalho, não apenas direcionada a atividades de construção civil, instalações elétricas ou ambientes confinados, mas também como agente de suporte a atividades menos evidenciadas como os frigoríficos (DE FREITAS et al., 2020).

Segundo Stoecker e Jabardo (2018), em geral, define-se refrigeração como o processo de redução de temperatura de um corpo. O desenvolvimento de tecnologias de refrigeração permitiu o desenvolvimento e tornou-se essencial para a manutenção de uma gama de atividades industriais, entre elas a indústria alimentícia em geral, os frigoríficos, a indústria de pescado, as fábricas de gelo, os laticínios e a indústria de bebidas.

Os modelos de investigação de acidentes do trabalho, baseados na análise de dados, geralmente utilizam registros administrativos de notificações de acidentes do local avaliado com o intuito de nortear as tomadas de decisões gerenciais e estratégicas, criação de políticas de controle e prevenção de acidentes e doenças ocupacionais.

Os processos de produção utilizados nas empresas de abate e processamento de carnes são organizados de tal maneira que as atividades de trabalho desenvolvidas apresentam potencial risco à saúde e à segurança dos trabalhadores (MARRA et al., 2017).

Tendo em vista que as atividades de rotina em frigoríficos proporcionam riscos constantes ao trabalhador por serem repetitivas, longas, com acúmulo de tarefas e utilização de instrumentos perfurocortantes, fica evidenciada a necessidade de estudos que contribuam com a gestão do trabalho nestas indústrias em tempos de concepção do 4.0 sustentável.

Posto isso, são objetivos deste estudo investigar as principais causas de acidentes do trabalho em frigoríficos com base em informações relevantes de grandes bases de dados de registros administrativos e desenvolver um modelo que poderá ser utilizado para nortear decisões gerenciais e estratégicas, no que diz respeito às políticas de controle e prevenção de acidentes e às doenças ocupacionais em frigoríficos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Doenças e acidentes de trabalho

Desde as épocas mais remotas o homem vem sofrendo acidentes enquanto trabalha. Grande parte das atividades, às quais ele tem se dedicado, apresentam uma série de riscos em potencial, frequentemente concretizados em lesões que afetam sua integridade física ou sua saúde.

Segundo Vilela et al. (2018), junto com as novas e complexas máquinas surgiram também novos riscos e diferentes tipos de acidentes do trabalho. Todavia, esses acidentes só chamam a atenção dos governantes quando, em virtude do seu elevado número, adquirem as dimensões de um problema social.

No Brasil, somente após a Revolução 1930 é que as reivindicações trabalhistas passaram a contar com uma legislação social ordinária, culminando, a partir de 1943, com a criação da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT) e, em consequência, com a lei n.6.514/77 e a portaria n. 3.214/78 que trata exclusivamente da Segurança e Medicina do Trabalho (BARSANO; BARBOSA, 2018).

Atualmente, as estatísticas de ocorrência de acidentes do trabalho no Brasil são feitas baseadas nas comunicações feitas ao INSS pelo documento de registro oficial dos acidentes do trabalho no Brasil, denominado Comunicação de Acidente do Trabalho - CAT.

Nessa perspectiva, de acordo com Benatti (2018), são considerados acidentes do trabalho as morbidades:

- Doença profissional: produzida ou desencadeada pelo exercício do trabalho peculiar a determinada atividade;
- Doença do trabalho: adquirida ou desencadeada em função de condições especiais em que o trabalho é realizado e com ele se relacione diretamente.

Já do ponto de vista prevencionista, o acidente do trabalho é conceituado como sendo uma ocorrência não programada, inesperada ou não, que interrompe ou interfere no processo normal de uma atividade, ocasionando perda de tempo útil e/ou lesões nos trabalhadores e/ou danos materiais (BARSANO; BARBOSA, 2018).

### 2.2. Caracterização do acidente de trabalho

Administrativamente, a caracterização do acidente do trabalho é realizada estabelecendo-se o nexo entre o trabalho e o acidente, entre a causa e efeito, entre



o acidente e a lesão; entre a doença e o trabalho. Tecnicamente, de acordo com Benatti (2018), o acidente do trabalho é classificado como:

- Acidente típico: decorrente das características da atividade profissional desempenhada pelo acidentado;
- Acidente de trajeto: ocorrido no trajeto entre a residência e o local do trabalho do segurado;
- Acidente devido à doença do trabalho: ocasionado por qualquer tipo de doença profissional produzida ou desencadeada pelo exercício do trabalho.

Ainda segundo o Autor, suas consequências podem ser enquadradas em:

- Simples assistência médica: quando o segurado recebe atendimento médico e retorna imediatamente às suas atividades profissionais;
- Incapacidade temporária: quando o segurado fica afastado do trabalho por um período, até que esteja apto para retomar sua atividade profissional;
- Incapacidade permanente: o segurado fica incapacitado de exercer a atividade profissional que exercia na época do acidente. Essa incapacidade permanente pode ser total, gerando aposentadoria por invalidez ou parcial, proporcionando indenização pela incapacidade sofrida (auxílio-acidente), mas considerando o acidentado apto para o desenvolvimento de outra atividade profissional; e,
- Óbito: o segurado falece em função do acidente do trabalho.

Não são consideradas doenças do trabalho, a doença degenerativa; a doença inerente a grupo etário; a doença que não produz incapacidade laboral e a doença endêmica adquirida por habitantes de região onde ela se desenvolva, salvo comprovação de que resultou de exposição ao trabalho (BENATTI, 2018).

### **2.3. Causas de acidentes de trabalho**

Conforme NR (2020), em 08 de junho de 1978 foi aprovada a Portaria 3.214 que criou vinte e oito Normas Regulamentadoras (NR) referentes à Segurança e Medicina do Trabalho, as quais explicam o detalhamento de aplicabilidade dos artigos constantes na Lei nº 6.514.

As NR's relativas à segurança e medicina do trabalho são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administra-



ção direta e indireta, bem como pelos órgãos dos poderes legislativo e judiciário, isto é, todas as empresas constituídas no país que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) (NR, 2020).

Segundo o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) existem diversos fatores causais de acidentes de trabalho, podendo ser citados:

- Fatores do Ambiente;
- Falhas elétricas;
- Problemas construtivos;
- Riscos com a circulação;
- Meio de acesso usado como posto de trabalho;
- Espaço de trabalho exíguo / insuficiente;
- Ausência /insuficiência de ordem e, ou limpeza;
- Estocagem de materiais inadequada/insegura/perigosa etc;
- Estruturas / componentes radioativos desprotegidos sem sinalização adequada;
- Rua / estrada / caminho inseguro / perigoso / inadequado;
- Terreno irregular (montanhoso, esburacado, pantanoso etc.);
- Presença de animais no local de trabalho;
- Ergonomia inadequada;
- Problemas psicológicos e cognitivos;
- Entre outros.

## 2.4. Causas e fatores de riscos de acidentes

Segundo Luciano et al. (2020), fator de risco é uma condição, atividade, objeto ou substância que cria, introduz ou aumenta a frequência ou gravidade de um evento que gera perda. Incluem-se nessa categoria objetos em geral, equipamen-



tos, materiais, produtos químicos, pessoas, atividades, processos.

A avaliação do risco é um processo global dinâmico para estimar a magnitude do risco e decidir se o risco é tolerável ou não. As consequências (impactos) dos riscos resultam de qualquer interação com o meio ambiente, mesmo que não haja um incidente específico, podendo ser riscos à segurança ou à saúde (SANT'ANNA et al., 2018).

A Gestão de Riscos pode ser definida como a aplicação sistemática de estratégias, procedimentos e práticas com o objetivo de identificar os perigos e analisar, avaliar e controlar os riscos de acidentes (MURÉ et al., 2017).

### **3. ESTUDO DE CASO: RISCOS DE ACIDENTES EM UM ABATEDOURO-FRIGORÍFICO**

O estudo foi realizado de posse do maior número possível de informações pertinentes ao tema, revisão bibliográfica sistemática, NR (2020) e consultoria de Engenheiro de Segurança do Trabalho.

O estabelecimento seguiu classificação de estabelecimentos segundo Decreto 9.013 03/04/2017 - alterado pelo Decreto 9069 de 31/05/2017, classificado como um estabelecimento de produto de origem animal, de carnes e derivados, do tipo matadouro-frigorífico, localizado no Sul do estado de MS, em 2019, onde foi possível aferir e discutir como resultado, a elaboração de um plano de ação que propiciou a antecipação do risco de acidentes de trabalho considerando a estrutura de funcionamento da atividade principal, bem como propor eventuais melhorias no sistema de gestão do risco necessárias para o bom funcionamento da empresa.

O local tem como matéria prima frangos de corte, sendo considerado neste estudo o interior do frigorífico, por ser o local sujeito a maior risco de acidente do trabalho. A Norma Regulamentadora específica para tratar sobre o tema é a NR 36 -SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM EMPRESAS DE ABATE E PROCESSAMENTO DE CARNES E DERIVADOS, porém outras NRs também foram consideradas para que a avaliação fosse mais completa.

Na sequência são identificados os principais riscos que podem culminar em acidente do trabalho, no Quadro 1, onde são detalhados os fatores de riscos, consequências, medidas de controles atuais empregadas pelo frigorífico e, segundo as legislações vigentes, se existe algo que pode ser melhorado visando minimizar riscos à saúde e à segurança dos trabalhadores.



<b>Fatores de Riscos</b>				
	<b>Exposição ao ruído</b>	<b>Exposição ao frio</b>	<b>Exposição ao piso escorregadio</b>	<b>Exposição a queda das caixas.</b>
<b>Consequências à segurança</b>	Não tem	Não tem	Quedas, fraturas, escoriações.	Cortes, lesões.
<b>Consequências à saúde</b>	A pessoa pode adquirir uma PAIR (Perda Auditiva Induzida pelo Ruído)	Doenças pulmonares, viroses, gripes, resfriados	Consolidação viciosa, pseudoartrose	Não tem
<b>Medida de controle atual</b>	Uso de protetor auricular, treinamento sobre o uso de EPI's. Monitoramento com audiometria.	Uniformes térmicos, luva de lã, meias.	Uso de botas de PVC. Limpeza correta e constante do piso.	Atenção após indicação dos locais de maior risco
<b>Medida de controle sugerida</b>	EPI's adequados, melhoramento acústico do local	EPI's adequados, tempo de exposição limitada.	Qualidade das botas de PVC. Uso de piso antiderrapante e limpeza constante.	Boa qualidade do sistema de fixação das caixas nas nóreas e sinalização de atenção.

Quadro 1 - Riscos Ambientais do Frigorífico  
Fonte: Os Autores.

No Quadro 1 pode-se observar os fatores de risco e os riscos inerentes ao processo de espostejamento.

O ruído está entre 80,0 dB (A) e 85,0 dB (A), o que segundo política da empresa se adequa a NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES para turnos de até 8 horas, e caracteriza o fornecimento do equipamento de proteção individual (protetor auricular), sendo que os funcionários devem receber as instruções de uso para que possam usá-los da maneira correta.

Todas as atividades são realizadas a uma temperatura de 10°C a 12°C, o que não caracteriza atividade insalubre de acordo com a NR-15. Segundo legislação específica, a insalubridade só é caracterizada em temperaturas abaixo de 10°C. Como a NR-15 não fixa um valor quanto ao grau de insalubridade por frio, o responsável pela segurança do trabalho fixou segundo a NR 36 (item: Equipamentos de Proteção Individual - EPI e Vestimentas de Trabalho) que os funcionários devam usar uniformes que garantam o conforto térmico, bem como luvas e meias visando a manutenção salutar.

Outro fator de risco observado foi o piso escorregadio. Visto que de acordo a Engenharia de Segurança do Trabalho é sugerido uso de piso antiderrapante visando possíveis acidentes, o mesmo foi proposto para este estabelecimento, devendo ser reformado, aplicado piso antiderrapante para evitar problemas posteriores.





Em toda a seção de desossa encontram-se as noras que transportam a matéria-prima (frango) e as caixas. Parte das instalações possuem proteções físicas contra queda do material transportado e, na parte que não existe proteção, os próprios funcionários já ficam atentos quanto a possíveis quedas, evitando passar quando caixas estão se deslocando. Mesmo assim foi recomendado a adoção da NR 26 - SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA com pintura no piso dos locais que demandam maior atenção, visto que novos funcionários sempre chegam ou que até os antigos podem não estar em momentos de atenção.

Ao se analisar as tarefas individuais e coletivas realizadas no interior do frigorífico foi possível a composição do Quadro 2, referente a tarefas realizadas para preparação do produto comercializado.

Tarefa				
	Chairar facas	Desossa e cortes especiais		
<b>Descrição</b>	Atividade de afiar (chairar) as facas verticalmente. Chairas dispostas com 80 cm de distância lateral entre os funcionários.	Desossar para cortes e refilar pernas de frango. A realização dessas tarefas é de uso contínuo e obrigatório de facas. Apesar da implementação de estratégias preventivas, incidentes ainda ocorrem. O espaço reduzido oferece estresse e riscos de acidentes.		
<b>Fatores de risco</b>	Facas	Facas	Esteiras	Movimentos repetitivos e postura inadequada.
<b>Riscos</b>	Cortes	Cortes	Fraturas, contusões, traumas, prensagens, amputações	Ergonômicos
<b>Consequências à segurança</b>	Danos e Ferimentos.	Danos e Ferimentos.	Danos, Ferimentos, prensagens, fraturas e amputações.	Lesões, artroses
<b>Consequências à saúde</b>	Cicatrizes	Cicatrizes, amputações	Deficiência total, parcial, temporária	LER / DORT
<b>Medida de controle atual</b>	Local específico para a chaira. Realização da tarefa com uso de EPI.	Uso de luva de malha de aço, braceletes anticorte, e EPI's.	Treinamento alertando sobre os riscos. Equipamentos com proteção.	Treinamentos ergonômicos de postura correta.
<b>Medida de controle sugerida</b>	Treinamento quanto a realização da tarefa.	Inspeções periódicas. Treinamentos e diálogos de segurança.	Manutenção periódica das esteiras. Treinamentos e equipamentos com proteção	Ginástica laboral, rodízio de tarefas.

Quadro 2 - Identificação das Tarefas no preparo do produto

Fonte: Os Autores.

Na tarefa de chairar facas observa-se o fator de risco - faca. A atividade de chairar, bem como qualquer outro trabalho que venha a ser realizado com facas deve ser feito com uso de luva de malha de aço. Para desossar e refilar pernas de frango o uso de facas é contínuo e obrigatório. Apesar da implementação de estratégias preventivas, incidentes ainda ocorrem. O espaço reduzido oferece estresse aos funcionários, bem como risco. Estas atividades são resguardadas segundo a NR-36 (item Equipamentos e ferramentas).

As esteiras possuem manutenção preventiva e corretiva. Existem procedimentos operacionais de como realizar as tarefas, bem como ordens de serviço alertando sobre os riscos. Também possuem equipamentos com proteção nas partes móveis. Seguem a NR 12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS que discrimina detalhes de manutenção e operação visando diminuir riscos de acidentes.

E para reduzir riscos de LER / DORT, causados por movimentos repetitivos, a empresa precisa seguir a NR 17 - ERGONOMIA realizando ginástica laboral, treinamentos ergonômicos de postura correta e levantamento de peso para os funcionários.

Ao se analisar as tarefas de transportes realizadas dentro do frigorífico, segundo Quadro 3, fica discriminado que as mesmas são realizadas manualmente e por carrinhos, devendo ser incluído nessa atividade a transferência dos produtos para balança manual.



Tarefa					
	Transportar caixas manualmente	Transportar caixas por carrinhos			Transportar e manusear balanças
<b>Descrição</b>	Transportar caixa pesadas de um lugar para outro.	Transportar caixas com produtos utilizando carrinhos (jacarés).			Transferir as balanças de pesagem manual no frigorífico
<b>Fatores de risco</b>	Caixas pesadas	Caixas com produtos	Carrinhos	Piso desuniforme	Balanças.
<b>Riscos</b>	Quedas, Ergonômicos.	Quedas, Ergonômico	Prensagens	Queda de produtos devido a desuniformidade no piso.	Peso da balança, queda ao transportar.
<b>Consequências à segurança</b>	Danos, traumas, ferimentos.	Danos, traumas, ferimentos.	Danos, traumas, ferimentos, amputações	Danos, traumas, ferimentos.	Cortes, lesões, traumas.
<b>Consequências à saúde</b>	Dores musculares, lombalgia.	Dores musculares, lombalgia.	Deficiência total, parcial, temporária	Dores musculares, lombalgia.	Dores musculares, lombalgia.
<b>Medida de controle atual</b>	Atenção	Atenção e controle de peso	Manutenção preventiva, atenção	Atenção	Orientações quanto ao transporte.
<b>Medida de controle sugerida</b>	Adequar para transporte com o auxílio de carrinhos. Treinamento em segurança.	Ergonomia, Treinamento em segurança.	Ergonomia adequada. Treinamento em segurança.	Adequar piso com material antiderrapante, sinalização	Treinamento em segurança.

Quadro 3 - Identificação das Tarefas de transporte e pesagem manual  
Fonte: Os Autores.

A empresa deve treinar seus colaboradores para transportarem caixas segundo a NR-36 (item Levantamento e transporte de produtos e cargas), onde o carregamento manual constante de produtos e cargas, cujo peso possa comprometer a segurança e saúde dos trabalhadores, deve ser o mínimo possível, adotando carrinhos tipo jacaré.

Assim como no caso de trabalho com o produto, também deve haver uma preocupação com a ergonomia, respeitando-se a NR 17 – ERGONOMIA, realizando ginástica laboral, treinamentos ergonômicos de postura correta e levantamento de peso, para garantir que os riscos sejam reduzidos.

Velocidade da linha deve ser de acordo com a velocidade ideal verificada para os colaboradores, pelos supervisores e chefes de departamento, de forma a aliar salubridade e produção (não atrapalhando rendimento) e Medicina do Trabalho (velocidade que não comprometa a integridade física do funcionário).



Segundo Quadro 3, o principal fator de risco são as caixas. Para minimizar essa exposição, deve-se adotar transporte, se possível na totalidade, com carrinhos. Quanto aos carrinhos, o melhor controle seriam os treinamentos de procedimento operacional, bem como os treinamentos de conscientização dos riscos por parte dos funcionários.

No Quadro 3, o principal risco de exposição é o ergonômico. Assim, deve-se seguir a NR 17 - ERGONOMIA para minimizar as consequências dessas atividades, fiscalizar a ginástica laboral, recolhendo a assinatura dos funcionários ao final de cada ginástica, para garantir que o mesmo esteja se exercitando. No frigorífico avaliado, a ginástica é realizada, porém, ainda existem queixas de dores musculares por parte de alguns colaboradores, sugerindo que haja uma revisão sobre os exercícios e rotinas de trabalho, como rotação na linha de trabalho.

## 4. CONCLUSÕES

Como ferramenta de engenharia 4.0 é necessário haver uma maior combinação entre maximização de lucro corporativo e gerenciamento de riscos à segurança do trabalhador, promovendo uma cultura corporativa de conscientização dos efeitos danosos que o risco pode ter em uma organização, sejam na saúde de pessoas, ativos, lucro e meio ambiente.

O controle de risco em uma empresa identifica níveis de insalubridade e padrões de proteção apropriados a fim de evitar ou minimizar possíveis prejuízos antes que estes venham a acontecer.

Uma abordagem sistemática do gerenciamento de riscos identifica “pontos de influência” dentro do sistema, possibilitando que sejam trabalhadas ações paliativas, a fim de desenvolver bloqueios a passivos e não soluções de sintomas ocasionados por segurança rompida.

## 5. AGRADECIMENTOS

À UFGD pelo apoio do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola.



## Referências

DE FREITAS, C. A.; SILVA, A. R.; DE AGUIAR, D. S.; DA SILVA, M. M.; DA SILVA CARDOSO, A.; MARTINS, D. R.; DE ARRUDA, A. C. S. A evolução da segurança no trabalho aplicada na manutenção industrial 4.0. **REMIPE-Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec**. Osasco, v.6, n.2, p.229-251, 2020.

BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. **Segurança do Trabalho Guia Prático e Didático**. Saraiva Educação SA. 2 ed. 2018, 320p.

BENATTI, A. L. **Gestão e indicadores em segurança do trabalho: uma abordagem prática**. Editora Érica. 2018, 144p.

LUCIANO, É. L.; RÖHM, D. G.; ROSA, J. L.; TIRELLI, M. A.; OKANO, M. T.; RIBEIRO, R. B. Gerenciamento de riscos ocupacionais: uma nova proposta de segurança do trabalho. **South American Development Society Journal**, v.6, n.17, 156, 2020.

MARRA, G. C.; COHEN, S. C.; AZEVEDO NETO, F. D. P. B. D.; CARDOSO, T. A. D. O. Avaliação dos riscos ambientais na sala de abate de um matadouro de bovinos. **Saúde em Debate**, v.41, p.175-187, 2017.

MURÉ, S.; COMBERTI, L.; DEMICHELA, M. How harsh work environments affect the occupational accident phenomenology? Risk assessment and decision making optimization. **Safety Science**, v, 95, p. 159-170, 2017.

NR - Normas Regulamentadoras. Inspeção do Trabalho – Ministério da Economia, 2020 Disponível em: < <https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/legislacao-sst/normas-regulamentadoras?view=default>> Acesso em: 20 mar 2021.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração Industrial**. Editora Blucher. 3 ed. 2018. 530p.

VILELA, R. A. D. G.; JACKSON FILHO, J. M.; QUEROL, M. A. P.; GEMMA, S. F. B.; TAKAHASHI, M. A. C.; GOMES, M. H. P.; ALMEIDA, I. M. D. A expansão do objeto da vigilância em acidente do trabalho: história e desafios de um centro de referência em busca da prevenção. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, p.3055-3066. 2018.

SANT'ANNA, B.; MOREIRA, B.; AMARAL, R.; SARAIVA, R.; RESENDE, M. Avaliação dos riscos ambientais de uma Cozinha Industrial. **Sinapse Múltipla**, v.7, n.2, p.95-99. 2018.



# CAPÍTULO 2

## **AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA DE PAVIMENTO: UM ESTUDO ACERCA DO TRECHO DA BR-135 DE ACESSO AO PORTO DO ITAQUI EM SÃO LUÍS- MÁ**

FUNCTIONAL ASSESSMENT OBJECTIVE OF PAVEMENT: A STUDY  
ABOUT THE BR-135 STRETCH OF ACCESS TO THE PORT OF ITAQUI IN  
SÃO LUÍS-MA

**Manoel Guterlam Araujo dos Reis Junior**

**Sarah Letícia Corrêa Souza**

**Thaís Corrêa Souza**

**Matheus Macedo Barroso**

**Rachid Santos Maluf**

## Resumo

A BR-135 destaca-se pela sua importância para a cidade de São Luís, por ser a única rodovia federal cortando a capital e funcionando também como a única via de entrada e saída da cidade, mas também para o Brasil por ser uma via estratégica de escoamento de grãos do país, atendendo principalmente aos portos da região do Arco-Norte na atividade de exportação graneleira, sendo um dos principais acessos ao Porto do Itaqui. O objetivo principal do trabalho consiste na realização da Avaliação Funcional Objetiva de pavimento na BR 135 do Km que se inicia na entrada do Porto do Itaqui (Avenida dos Portugueses), ao longo da Avenida Engenheiro Emiliano Macieira, que finaliza no Km 44 da BR-135, conforme dispostos na norma DNIT 006/2003 – PRO (metodologia), além disso foram realizadas visitas *in loco* e registro fotográficos que serviram de base no desenvolvimento do estudo. Segundo a mesma norma, obteve como resultado principal a classificação do pavimento que segundo o IGG constatou-se o estado como ruim para o trecho 1 e péssimo para o trecho 2, tendo como principais patologias em predominância: panelas, trincas e desgaste. Além do aspecto constatado em relação às manifestações patológicas, foram identificados outros problemas tais como a alta vegetação no entorno da rodovia e a dificuldade de clareza em relação à sinalização vertical atrelada a esse motivo. Ressalta-se a importância das inspeções e manutenções as quais surgem com a proposta de manter a vida útil da rodovia, principalmente para a BR-135 pelo seu caráter de importância para a economia local e estadual.

**Palavras-chaves:** Avaliação funcional objetiva. Manifestações Patológicas. Pavimento. Rodovia. Porto.

## Abstract

The BR-135 stands out for its importance for the city of São Luís, as it is the only federal highway that cuts through the capital and also works as the only entry and exit route from the city, but also to Brazil for being a strategic route of grain flow in the country, serving mainly the ports of the Arco-Norte region in the bulk export activity, being one of the main accesses to the Port of Itaqui. The main objective of the work is to carry out the Objective Functional Assessment of pavement on BR 135 do Km that starts at the entrance of Porto do Itaqui (Avenida dos Portugueses), along Avenida Engennier Emiliano Macieira, which ends at Km 44 of BR- 135, as provided for in DNIT 006/2003 - PRO (methodology), in addition, on-site visits and photographic records were carried out that served as the basis for the development of the study. According to the same standard, the main result was the classification of the pavement which, according to the IGG, the state was contacted as bad for section 1 and very bad for section 2, with predominant pathologies: pots, cracks and wear. In addition to the aspect found in relation to pathological manifestations, other problems were identified, such as the high vegetation around the highway and the difficulty of clarity in relation to the vertical signs linked to this reason. The importance of the inspections and maintenance that come up with the proposal to maintain the useful life of the highway is emphasized, mainly for the BR-135 due to its character of importance for the local and state economy.

**Key-words:** Objective functional assessment. Paological manifestations. Pavement. Highway. Port.



## 1. INTRODUÇÃO

Tratar da pavimentação é remeter a formação da própria humanidade, fazendo parte desse cenário questões como povoamento, avanços tecnológicos e integração e sua conseqüente urbanização e desenvolvimento de um modo geral. As estradas surgiram com o intuito de proporcionar ação, seja ela uma simples circulação de pessoas ou a importância de formar um corredor de circulação de mercadorias. O Brasil apresenta o modal rodoviário como o predominante na matriz de transporte, acarretando em 61% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros, logo caracteriza-se por ser um setor importante para o desenvolvimento econômico e a garantia de direitos fundamentais da população (CNT, 2019).

Por mais que seja identificada a grande importância das estradas para a civilização, evidencia-se que há uma grande problemática no que tange ao estado de conservação. Segundo dados da Confederação Nacional dos Transportes por meio da Pesquisa CNT de Rodovias (2019) que considera a avaliação de Estado Geral (pavimento, sinalização e geometria), do total de 108.863 quilômetros de rodovias analisadas, 59% apresentam algum problema, sendo que destes cerca de 37.628km apresentam estado regular, 19.039km estado ruim e 7.531km estado péssimo, e, o mais interessante e preocupante é que 78,5% das rodovias em território nacional não são pavimentadas, enquanto que 12,4% apresentam pavimento e predominância nas regiões mais estratégicas a níveis econômicos, influenciando negativamente em cidades que não estão no entorno dos grandes centros.

A questão da pavimentação no Brasil fica mais marcante quando comparada a países de dimensões territoriais próximas, tais como China e EUA os quais dispõem de uma elevada densidade de malha rodoviária em seus territórios, sendo 452,1 e 437,8, respectivamente, enquanto que o Brasil dispõe apenas de 25,1 (valores expressos em Km/1.000Km<sup>2</sup>). Nesse sentido, surge o questionamento de qual a principal problemática inserida nesse cenário, pois o fato de o país apresentar o modal como o principal, ainda carece de infraestrutura adequada, o que acarreta em perdas aos usuários, falta de segurança nas estradas, aumento de viagens, dentre outros. Ribeiro (2017) destaca que o cenário de pavimento vai além da parte estrutural, é um projeto que tem como foco propor a circulação de veículos e pessoas tendo por base a manutenção, para que sua atuação seja dentro dos padrões de segurança, não colocando em risco à ida útil.

Considerando a importância da BR-135 não só para a cidade de São Luís, por ser a única rodovia federal cortando a capital e funcionando também como a única via de entrada e saída da cidade, mas também para o Brasil por ser uma via estratégica de escoamento de grãos do país, atendendo principalmente ao portos da região do Arco-Norte na atividade de exportação graneleira, o objetivo deste trabalho é realizar um diagnóstico das patologias presentes na BR 135, do trecho que inicia-se na entrada do Porto do Itaqui (Avenida dos Portugueses) e seguindo





a Avenida Engenheiro Emiliano Macieira, trecho de saída próximo ao complexo penitenciário da cidade (Km 44), sendo configurado como sendo uma área que apresenta um elevado tráfego de veículos pesados, sendo necessário uma boa serventia do pavimento.

O objetivo desta pesquisa é realizar uma Avaliação Funcional Objetiva dos Pavimentos na BR 135 do Km que se inicia na entrada do Porto do Itaqui (Avenida dos Portugueses), ao longo da Avenida Engenheiro Emiliano Macieira, que finaliza no Km 44 da BR-135. Tal trecho compreende um dos acessos ao porto do Itaqui. Afim de atender o objetivo geral, temos os objetivos específicos da pesquisa que remetem à constatação das principais manifestações patológicas, levantamento fotográfico-quantitativo e constatar as prováveis causas dos problemas de ordem funcional e estrutural evidenciados. O procedimento é regulamentado pela norma DNIT 006/2003, para isso foi necessário realizar inspeção *in loco*, realizar registros fotográficos e a quantificação de cada manifestação patológica, sendo necessário seu entendimento para propor soluções adequadas que sanem a problemática tendo por bases as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

O estudo da pavimentação remete a formação da própria humanidade, integrando aspectos de povoamento, urbanização e desenvolvimento de um modo geral. As estradas propõem mobilidade e ajudam nas relações comerciais. O Brasil se destaca no modal rodoviário como o predominante na matriz de transporte, contudo, evidencia-se que há uma grande problemática no que tange ao estado de conservação. Os trechos analisados caracterizam-se por se apresentarem do tipo ruim, corroborando com os registros fotográficos que registram as manifestações patológicas, sendo de grande predominância panelas, trincas e remendos.

## 2. AS RODOVIAS E O BRASIL: A SITUAÇÃO ATUAL

Historicamente falando o Brasil obteve um avanço no setor de infraestrutura de transporte na década de 30 quando o estado passou a participar ativamente da economia, passando a investir pesado nesse setor estratégico. Contudo, no ano de 1973 o declínio se iniciou sendo marcado pelo fim do milagre econômico, com isso o período áureo dos transportes começou a colapsar, sendo marcado pela crise do setor petrolífero o qual perdurou de 1973 a 1979, o que influenciou negativamente na captação de recursos financeiros/financiamentos externos, concomitantemente, cita-se também a crise de 1980 que influenciou mais ainda nesse conjuntura, sendo a partir desse momento a concretização do setor como um ponto de segundo plano do governo, onde este passou a priorizar investimentos em outras áreas. Logo, passou-se a identificar cada vez mais a deterioração do setor que tem marcas até hoje (CÂMARA, 2006).

De um modo geral a situação das rodovias no Brasil é alarmante, estima-se



que sejam necessários cerca de R\$ 10 bilhões para recuperação de toda malha viária federal, segundo levantamentos do governo, enquanto que algumas outras instituições tais como a Associação Nacional dos Usuários de Transporte (ANUT) e o Sindicato Nacional da Indústria da Construção Pesada (SINICON), estimam R\$ 24 bilhões e R\$ 5 bilhões anuais, respectivamente, para recuperar e pavimentar as principais rodovias do país (BERNUCCI et al., 2008). É um quadro mais preocupante quando é levado em consideração a dependência do Brasil em relação ao modal rodoviário, pois mais de 60% de toda carga é escoado por rodovias, por isso, um quadro de precariedade interfere diretamente na capacidade produtiva do país (GEIPOT, 2001). Essa realidade interfere também em uma má imagem do país frente a outras nações, incluindo países menos desenvolvidos.

Segundo dados do Ranking de Competitividade Global elaborado pelo Fórum Econômico Mundial, em uma lista de 141 países o Brasil contempla a posição 93º no quesito Rodovias, ficando atrás de países como: Chile (16º), Argentina (47º), Uruguai (54º) e Equador (63º). É válido destacar que essa classificação tem por base duas variáveis principais, sendo: conectividade entre as principais cidades do país e qualidade das vias, dentre a qual considera a extensão e funcionalidade (CNT, 2019).

### 3. PAVIMENTO

Tendo como objetivo propor aos usuários conforto e segurança, o pavimento é definido como uma estrutura que contempla uma série múltipla de camadas de espessuras finitas, construídas sobre um ambiente final de terraplanagem, edificados por meio de estudos técnicos e viabilidade econômica, o qual servirá para resistir à esforços oriundos do tráfego de veículos, pessoas e até mesmo do clima (BERNUCCI et al., 2008). Nesse sentido, Balbo (2007) reforça a mesma ideia ao definir o pavimento como estruturas capazes de suportar solicitações mecânicas (esforços) provenientes do tráfego de veículos e influência climática, contudo com a necessidade de sempre minimizar os custos.

Os pavimentos rodoviários dividem-se em dois tipos: flexíveis e rígidos. Porém, vale salientar que recentemente começou a usar-se a denominação Pavimentos de Concreto Portland (concreto-cimento) e Pavimentos Asfálticos, respectivamente, com o intuito de identificar o tipo de revestimento do pavimento, os quais diferem em suas estruturas, conforme identificado pela figura 1.



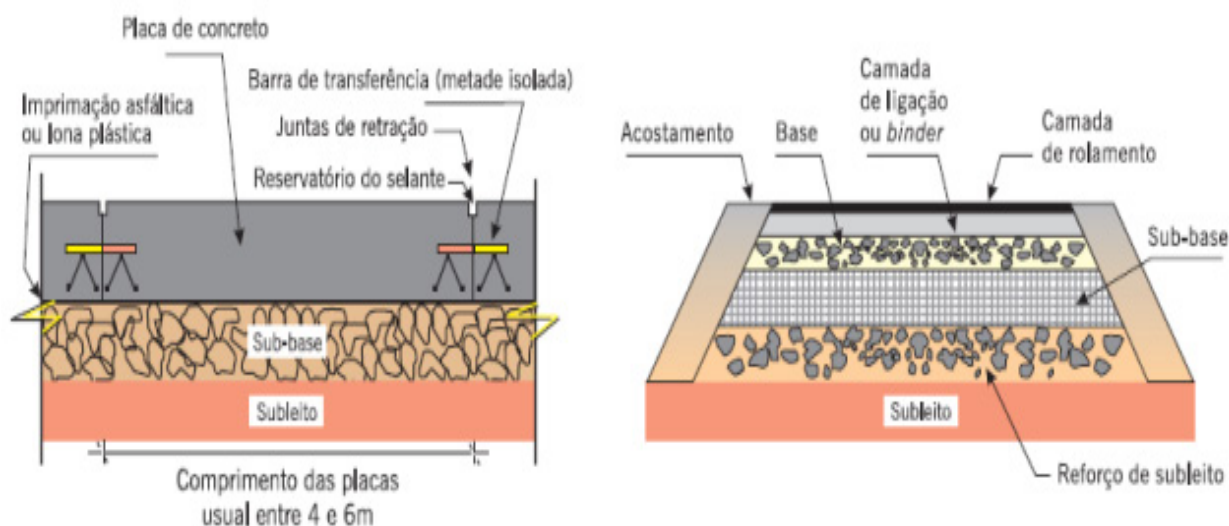


Figura 1: Estrutura dos pavimentos  
 Fonte: Bernucci et al. (2008)

### 3.1 Pavimento flexível

Identificados também como pavimentos asfálticos, são os tipos de pavimentos que apresentam em sua estrutura uma mistura entre agregados e ligantes asfálticos, divididos em quatro camadas, sendo essas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço de sub-leito. Nesse cenário, destaca-se a importância da primeira interface do pavimento que é o próprio revestimento, pois é a camada mais superior a qual é destinada a resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las às camadas inferiores, bem como desempenhar a função de impermeabilizante e proporcionar condições adequadas de rolamento, ou seja, conforto e segurança, por isso, torna-se necessária uma boa condição dessa camada, tendo em vista que o trincamento por fadiga desta está diretamente ligada as cargas impostas, e, associação de outros fatores, tais como envelhecimento do ligantes asfáltico e influência climática.

Medina (1997) destaca a importância do estudo da mecânica dos pavimentos por considerar que os problemas estão interligados e o estudo dessa área surge com o intuito de compreender a associação entre materiais e espessuras das camadas, pois as deformações e vários outros defeitos oriundos são atribuídos aos revestimentos asfálticos.

Além do mais, cabe salientar que o revestimento asfáltico ainda tem outras duas denominações as quais referem-se às camadas, sendo:

- a. Camada de rolamento: caracteriza-se pela camada que fica com o contato direto com as rodas dos veículos.
- b. Camadas de ligação ou camadas intermediárias: são as camadas que fun-

cionam como uma primeira interface entre uma camada e outra. Essas camadas têm um ponto especial que cabe a discussão, pois alguns autores referem-se a elas pelo termo *blinder*, o qual pode acarretar em uma dualidade de sentido, pois na língua inglesa esse termo é relacionado pra identificar o ligante asfáltico e não a própria interface (camada). As camadas do pavimento estão localizadas sobre o sub-leito, por isso, é a plataforma do eixo da via a qual está pronta, após a finalização dos cortes e aterros (BERNUCCI et al., 2008).

Conforme evidenciado pela figura 2, é possível identificar o sistema de camadas de um pavimento, bem como o de tensões solicitantes.

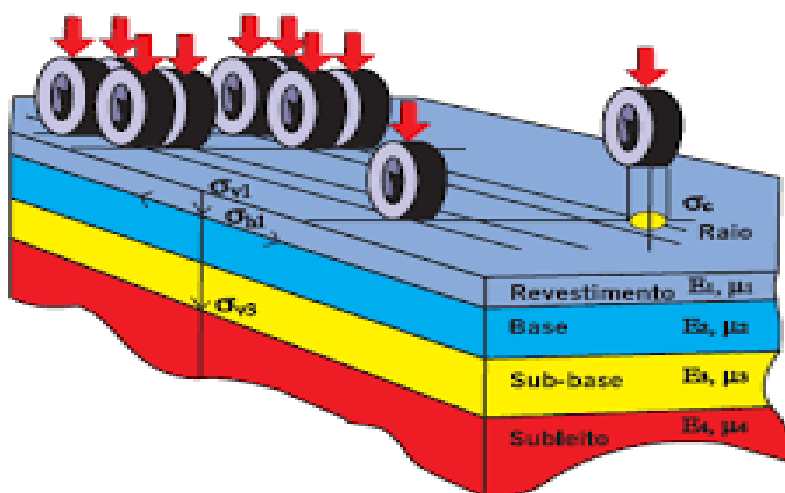


Figura 2: Camadas de um pavimento e tensões solicitantes  
Fonte: Albernaz (1997)

### 3.2 Pavimento rígido

Diferentemente dos pavimentos flexíveis, o pavimento rígido configura-se por apresentar em sua estrutura uma placa de concreto de cimento Portland, identificados muitas vezes como "concreto-cimento". Nesse tipo de pavimento as espessuras são determinadas em função das resistências à flexão das placas de concreto e das próprias camadas subjacentes, sendo essas placas unidas ou não a barras de aço (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo a norma DNIT 047/2004-ES, entende-se pavimento rígido como sendo "o pavimento cuja camada é constituída por placas de concreto de cimento Portland, não armadas ou eventualmente com armadura sem função estrutural, que desempenham simultaneamente as funções de base e de revestimento" (DNIT, 2004d).

### 3.3 Concreto de cimento Portland para pavimento

Torna-se interessante destacar que para a obtenção de uma material de qualidade, alguns parâmetros devem ser seguidos, nesse sentido, para a elaboração de um pavimento rígido de qualidade, é de suma importância que seja considerado as normas NBR 12655 e NBR 12821, as quais são destinadas à execução desse tipo de pavimento e abordam em seu escopo os materiais necessários, a trabalhabilidade adequada da mistura fresca, o produto endurecido (durável e compacto), a permeabilidade e toda solicitação superficial e resistência mecânica necessária para a sua usabilidade (DNIT, 2004d).

Além dos mais, é válido destacar o uso do Cimento Portland adequado para confecção de concreto simples para pavimentação, com isso, destaca-se como os mais adequados:

- a. CP – I (Cimento Portland Comum – NBR 5732);
- b. CP – II (Cimento Portland Composta – NBR 11578);
- c. CP – III (Cimento Portland de Alto Forno – NBR 5735);
- d. CP – IV (Cimento Portland Pozolânico – NBR 5736).

Contudo, a norma DNIT 047/2004-ES faz uma ressalva acerca do uso de outros tipos de cimento, aonde destaca que o uso não é vedado que seja devidamente comprovado a sua adequação. A própria norma ainda menciona o uso de outros materiais como água, agregados aditivos, aços e materiais selantes de juntas, contudo, não será abordado com riqueza de detalhes neste artigo, porém optou-se por citar algumas normas que contribuem no entendimento e tratamento do assunto, sendo essas:

- a. Agregados: NBR 7211;
- b. Água: DNIT 036/2004-ME e DNIT 037/2004-ME;
- c. Aditivos: NBR 11768, ASTM-C 260-77;
- d. Aços: NBR 7480 e NBR 7481;
- e. Material selante de juntas: DNIT 046/2004-EM



## 4. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTOS

A principal funcionalidade dos pavimentos asfálticos é a sua utilização de forma que seja segura e que traga conforto aos usuários. Um pavimento bem produzido e instalado, irá se manter em boa qualidade durante todos os períodos do ano, passando por diversos climas e pesos provenientes das camadas superiores, assim realizado dentro das normas, suportará os diversos defeitos que pode vir a ocorrer com o passar do tempo.

O pavimento que apresenta manifestações patológicas, proporciona a falta de segurança podendo ocasionar acidentes, além de facilitar os assaltos de cargas e passageiros. Além disso, gera mais gastos aos usuários diretos, tendo que se fazer diversas manutenções em seus veículos, e aos usuários indiretos, com os aumentos dos fretes. Alguns exemplos de nomes de patologias, definições e ilustrações podem ser evidenciados seguindo a Norma DNIT 005/2003.

- a) Fenda: Qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas, conforme adiante descrito;
- b) Afundamento: Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (figura 3);
- c) Ondulação ou Corrugação: Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento, conforme ilustrado na (figura 4);



Figura 3: Afundamento  
Fonte: DNIT (2003a)



Figura 4: Ondulação  
Fonte: DNIT (2003a)

- d) Escorregamento: Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua (figura 5);
- e) Exsudação: Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, cau-

sado pela migração do ligante através do revestimento (figura 6);



Figura 5: Escorregamento  
Fonte: DNIT (2003a)



Figura 6: Exsudação  
Fonte: DNIT (2003a)

- f) Desgaste: Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego (figura 7);
- g) Panela ou buraco: Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas (figura 8);



Figura 7: Panela  
Fonte: DNIT (2003a)



Figura 8: Desgaste  
Fonte: DNIT (2003a)

- h) Remendo: Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de "tapa-buraco" (DNIT, 2003a).
- i) Trincas: Configuram-se por serem fendas facilmente vistas a olho nu no pavimento, as quais apresentam fissuras maiores em relação às fendas, expressando-se em dois tipos, isoladas ou interligadas. Nas trincas isoladas, podem aparecer de três tipos, sendo esses: transversal (predominante no eixo ortogonal); longitudinal (eixo paralelo a via) e trinca de retração (associada a retração térmica, não à fadiga). Enquanto que as trincas interligadas aparecem de dois tipos, sendo esses: "couro de jacaré" (por se assemelhar visualmente ao couro de um jacaré) e trinca tipo "bloco", apresentando-se por blocos bem definidos (figuras 9 e 10).



Figura 9: Trinca "couro de jacaré"  
Fonte: DNIT (2003a)



Figura 10: Trinca do tipo bloco  
Fonte: DNIT (2003a)

A avaliação funcional do pavimento é de extrema importância, pois é a responsável por traduzir a sua funcionalidade e condição estrutural, sendo a classificação seguindo procedimentos padronizados (VIEIRA et al., 2016). As manifestações patológicas podem ter origem diversas, bem como a maneira de como se apresentam. A norma DNIT 006/2003, também aborda essa questão acerca de como se manifestam alguns problemas nas camadas de rolamento do pavimento, sendo assim, os problemas podem ser evidenciados de forma ilustrativa conforme segue pelas figuras 11 e 12.

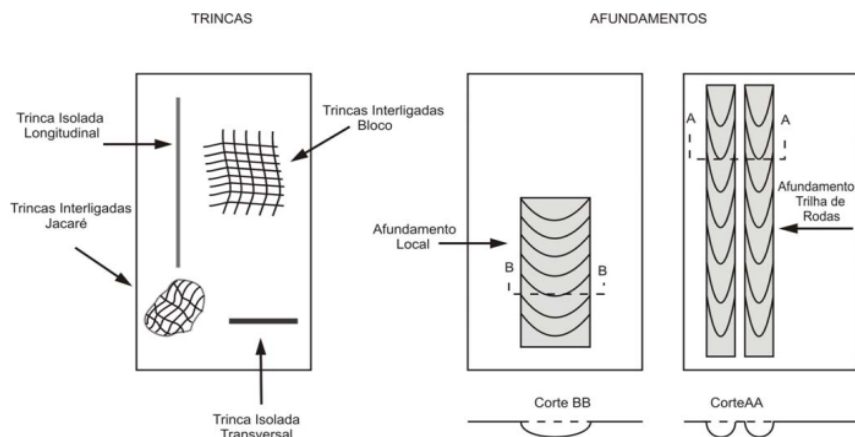


Figura 11: Trincas e afundamentos seguindo a norma 006/2003  
Fonte: DNIT (2003b)

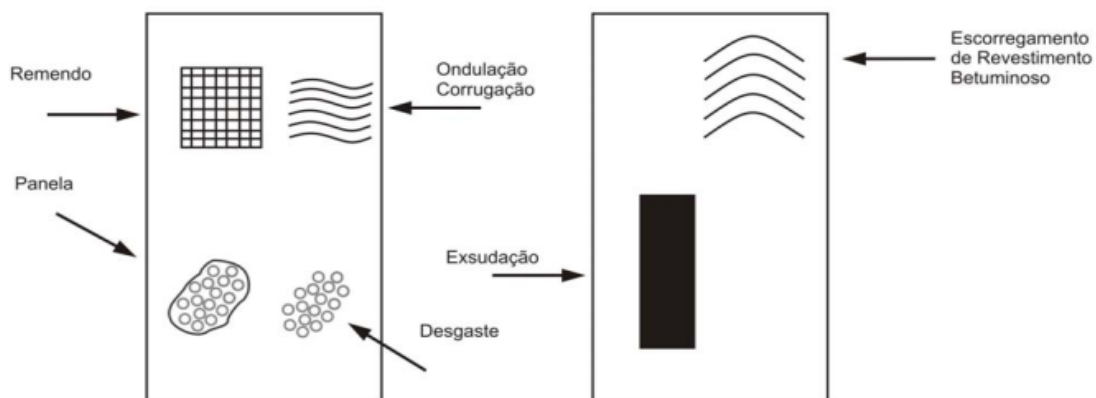


Figura 12: Remendo, painela, desgaste, exsudação e ondulação seguindo a norma 006/2003  
Fonte: DNIT (2003b)



## 5. ÍNDICES DE GRAVIDADE

Para um conhecimento mais aprofundado da influência das manifestações patológicas no pavimento, deve-se considerar os índices de gravidade (individual e global), considerando nesse aspecto o fator de ponderação de cada manifestação, a frequência absoluta ( $fa$ ), a frequência relativa ( $fr$ ) e a quantidade de estações inventariadas nos trechos selecionados ( $n$ ).

### 5.1 Índice de gravidade individual (IGI)

Segundo o DNIT (2003b), para cada uma das ocorrências de manifestações patológicas a um fator de ponderação específico. O IGI é obtido através do produto da frequência relativa ( $fr$ ) identificado acerca de cada manifestação e seu respectivo fator de ponderação ( $fp$ ), conforme expresso pela equação (1).

$$IGI = fr \times fp \quad (1)$$

### 5.2 Índice de Gravidade Global (IGG)

Sendo usados como fatores de ponderação para defeitos em revestimentos em Concreto Asfálticos, o IGG é identificado por ser um método de avaliação de rodovias federais, contudo é muito utilizada também para análise de pavimentos flexíveis (ALMEIDA et al., 2019). Conforme segue na equação 2, pode ser identificado a equação a qual contribuirá na caracterização do pavimento, referindo-se à incidência dos problemas no decorrer do trecho analisado (DNIT, 2003b).

$$fr = \frac{fa \times 100}{n} \quad (2)$$

Onde  $fr$  é a frequência relativa à qual é expressão pela relação entre a frequência absoluta  $fa$  e a quantidade de estação inventariadas, expressa na equação pelo termo  $n$ . Ressalta-se que o método é amplamente utilizado no Brasil como um procedimento objetivo que considera aspectos superficiais de pavimentos rígidos e flexíveis, cuja terminologia dos defeitos analisado se dão por meio do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, o DNIT (DNIT, 2003a).

Segundo Vieira et al. (2016) o estado geral do pavimento nesse sentido é dado por índices de degradação que traduzem o grau de degradação das vias de rolamento do pavimento. Nesse sentido, conforme o quadro 1, identifica-se as manifestações patológicas contempladas pelo DNIT bem como o fator de ponderação de cada uma, a qual interfere de forma particular sobre o pavimento (DNIT, 2003a).

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER "Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia" (ver item 6.4 e Anexo D)	Fator de Ponderação fp
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em percentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Quadro 1: Defeitos no pavimento e fator de ponderação  
Fonte: DNIT (2003a)

Para complementar a classificação do estado do pavimento inventariado, retratando o grau de degradação atingido, considera-se o quadro 2 o qual caracteriza o pavimento segundo o valor de IGG dentro de um intervalo compreendido.

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Quadro 2: Grau de degradação segundo IGG  
Fonte: DNIT (2003b).

## 6. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em um trecho da rodovia federal BR-135 que compreende um dos acessos ao Porto do Itaqui, localizado na Ilha de São Luís - MA, abordando temas que se referem ao estado de conservação e serventia do trecho analisado. Devido a isso, destaca-se que os temas abordados ao logo do trabalho estão relacionados a: pavimentos (em especial o flexível), manifestações patológicas em pavimentos, segurança em rodovias, estado de conservação e manutenção.

A metodologia consiste em uma mistura de aspectos qualitativos e quantitativos, com fins exploratórios e de classificação. A pesquisa teve por base materiais bem conhecidos da comunidade científica na área de estudo, além do uso de artigos, dissertações e relatórios técnicos, principalmente o Relatório de Pesquisa CNT de Rodovias 2019. Na parte de campo, a pesquisa foi desenvolvida por visitas *in loco* para avaliação visual das manifestações patológicas, bem como registros



fotográficos para corroborar com o que foi analisado e a realização da contagem para identificação de frequência relativa e absoluta. Foram realizadas visitas *in loco* para avaliação visual das manifestações patológicas, bem como registros fotográficos-quantitativos. O estudo seguiu os procedimentos dispostos na norma DNIT 006/2003 – PRO a qual prevê a Avaliação Objetiva Funcional, que foi feita por trechos definidos pelo autor. Os dados coletados referem-se a vistorias realizadas no período de 19 a 23 de setembro de 2020. Os valores adquiridos serviram de base para os procedimentos dispostos na norma que posteriormente, foi feito o tratamento dos dados e a determinação do IGI e IGG, onde foi possível classificar o pavimento.

## 7. ESTUDO DE CASO

A área de estudo em questão está inserida na área industrial da cidade de São Luís. O início da avaliação se deu na entrada do Porto do Itaqui até a BR-135 no sentido de saída da cidade (figura 13), próximo ao Complexo Penitenciário de São Luís. A rodovia é caracterizada por ser de via dupla e por apresentar um grande fluxo de veículos pesados, os quais tem destino final o Porto do Itaqui, sendo compreendido por ser um dos maiores canais de escoação de produtos do Arco-Norte. No estudo foi analisado 29km de pavimento, divididos em: 16 km o primeiro trecho (Porto do Itaqui – Saída de São Luís) e 13 km o segundo trecho (Saída de São Luís – Porto do Itaqui).



Figura 13: Área de estudo  
Fonte: Google Earth Pro (2020)

Para o trecho 1 que é iniciado na entrada do Porto do Itaqui, tendo como sentido de análise Porto do Itaqui – Saída de São Luís. Foi identificada as principais manifestações patológicas ao longo do pavimento, as quais foram contabilizadas (frequência absoluta), conforme expressa pelo gráfico 1 servindo de base para os cálculos do IGI e IGG. Dentre as manifestações presentes nesse trecho, as que mais se destacaram foram a forte presença de panelas (figuras 14 e 15).



Figura 14: Painéis  
Fonte: Autor (2020)



Figura 15: Placa superficial  
Fonte: Autor (2020)

As rodovias do Maranhão são muito utilizadas por veículos de cargas, isso porque o porto de Itaqui é o principal ponto para exportação ao norte do país, significando menos custos de exportação (EMAP, 2016). O pavimento rodoviário quando é projetado, tem como principal função a resistência estrutural em relação às tensões geradas pelo tráfego de veículos, e quanto maior a carga, maior é a tensão gerada. Com o passar do tempo e utilização da via, com a repetida demanda da passagem de veículos sobre o pavimento, tem como resultado o surgimento de patologias, nesse trecho evidenciado pela grande presença de diversas manifestações patológicas (gráfico 1), principalmente painéis, as quais, segundo o DNIT (2003a) podem ter diversas causas, mas principalmente à falta de aderência entre as camadas do pavimento, podendo ocasionar deslocamento e desagregação. Nesse sentido, é válido destacar que 64,5% de toda a malha asfáltica sob a gestão pública no Maranhão apresenta como resultado, a classificação de regular, ruim ou péssima, retratando uma realidade negativa das rodovias que têm uma parcela importante na economia do país (CNT, 2019).

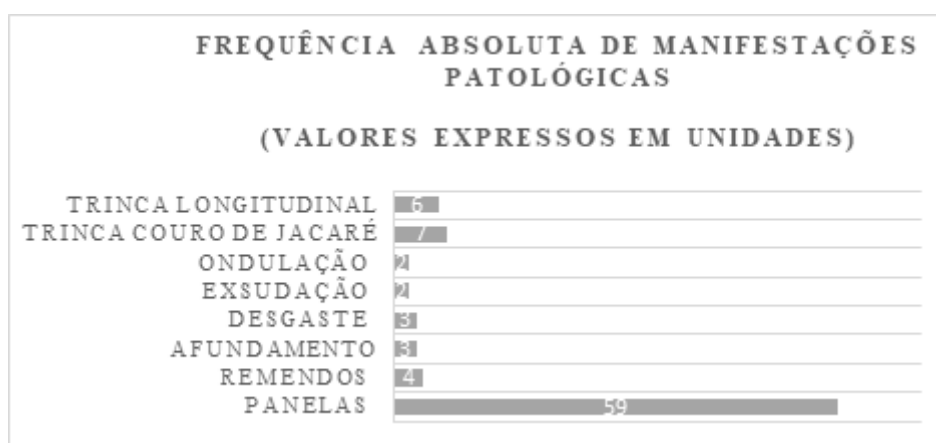


Gráfico 1: Frequência absoluta de manifestações patológicas para o trecho 1  
Fonte: Autor (2020)

Para obtenção dos cálculos e a classificação do pavimento, considerou-se a tabela 1. Vale destacar que, segundo a norma do DNIT (2003b) cabe ao autor a divisão dos trechos de análise. No presente estudo, cada sentido foi escolhido como um trecho, logo obteve-se dois.

**TRECHO 1 (SENTIDO: PORTO DO ITAQUI - SAÍDA DE SÃO LUÍS)**

<b>MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>	<b>FP</b>	<b>IGI</b>
<b>PANELAS</b>	59	118	1	118
<b>REMENDOS</b>	4	8	0,6	4,8
<b>AFUNDAMENTO</b>	3	6	0,9	5,4
<b>DESGASTE</b>	3	6	0,3	1,8
<b>EXSUDAÇÃO</b>	2	4	0,5	2
<b>ONDULAÇÃO</b>	2	4	1	4
<b>TRINCA COURO DE JACARÉ</b>	7	14	0,8	11,2
<b>TRINCA LONGITUDINAL</b>	6	12	0,2	2,4
<b>TOTAL/SOMATÓRIO (IGG)</b>				<b>149,6</b>

Tabela 1: Cálculo detalhado do IGG para o trecho 1  
Fonte: Autor (2020)

Levando em conta o IGG para o trecho 1, obteve-se a classificação como sendo ruim, contudo, chama-se atenção pela grande presença de panelas, mas vale destacar que o trecho em questão apresenta 16 km de extensão, e as manifestações eram mais presentes de forma isolada, principalmente em curvas (retornos), com isso, não coloca em risco o tráfego, mas influencia no aspecto físico do pavimento, pois são nessas regiões que apresentaram maiores desgastes, devido ao fluxo de veículos e a associação entre os pesos destes e a dinâmica de velocidade, interferindo no aspecto físico e funcional, ocasionando deformações permanentes devido à fluência plástica (DNIT, 2003b).

Para o trecho 2, que compreende o sentido contrário ao primeiro, ou seja, sentido de análise Saída de São Luís – Porto do Itaqui, também seguiu o mesmo procedimento realizado no trecho 1, conforme identificado pelas frequências absolutas expressas no gráfico 2, as quais serviram para o cálculo do IGG (tabela 2), a diferença está na incidência das manifestações patológicas. Houve a presença maciça de remendos ao longo do pavimento, o que evidencia manutenções recentes, sendo a principal diferença em comparação ao trecho 1, além do mais, outra diferença identificada é quanto a presença de trincas transversais.

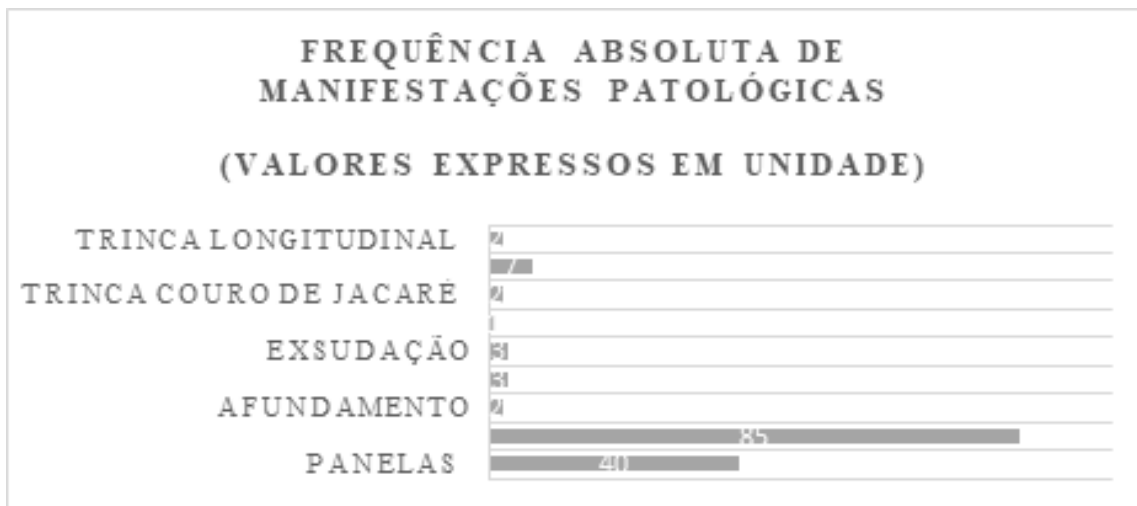


Gráfico 2: Frequência absoluta de manifestações patológicas para o trecho 2  
Fonte: Autor (2020)

**TRECHO 2 (SENTIDO: SAÍDA DE SÃO LUÍS - PORTO DO ITAQUI)**

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	FA	FR	FP	IGI
<b>PANELAS</b>	40	80	1	80
<b>REMENDOS</b>	85	170	0,6	102
<b>AFUNDAMENTO</b>	2	4	0,9	3,6
<b>DESGASTE</b>	3	6	0,3	1,8
<b>EXSUDAÇÃO</b>	3	6	0,5	3
<b>ONDULAÇÃO</b>	1	2	1	2
<b>TRINCA COURO DE JACARÉ</b>	2	4	0,8	3,2
<b>TRINCA TRANSVERSAL</b>	7	14	0,8	11,2
<b>TRINCA LONGITUDINAL</b>	2	4	0,8	3,2
<b>TOTAL/SOMATÓRIO (IGG)</b>				<b>210</b>

Tabela 2: Cálculo detalhado do IGG para o trecho 2  
Fonte: Autor (2020)

Levando em conta o IGG para o trecho 2, obteve-se a classificação como sendo péssimo, tal como o trecho 1. Mesmo que identificadas várias manifestações, de um modo geral, estas não interferem consideravelmente a rodagem de veículos, contudo ressalta-se a importância de manutenções preventivas ao longo do trecho, pois a associação de tráfego pesado e o microclima (radiação solar, chuva, água do mar) podem comprometer os defeitos constatados, por atuar diretamente no aspecto estrutural, pois unem uma série de fatores ambientais que unidos desencadeiam reações físico-químicas que podem originar consequências negativas (COMITÊ EURO-INTERNACIONAL DU BETON, 1990).

Além do estado do pavimento e sua serventia, deve-se considerar também outros aspectos, tais como a sinalização das vias e o prejuízo oriundo a malha não pavimentada (CNT, 2019). Ao longo da análise, identificou-se vários pontos deficientes em relação à sinalização, pois a vegetação alta cobre muitas placas de sinalização, o que pode ocasionar riscos ao tráfego e também a integralidade física dos

usuários, pois pode servir de ponto de apoio para a ação de bandidos, e, em outros aspectos, evidencia à falta de manutenção da rodovia, tal como identificado pela figura 16. Além do mais, dentre os aspectos relevantes que devem ser considerados na análise das vias segundo a Confederação Nacional do Transporte, são os trechos não pavimentados, que contribuem para tornar as viagens mais onerosas. Curiosamente, é válido ressaltar que cerca de 80% da malha nacional, corresponde a vias não pavimentadas (CNT, 2019). Para esse estudo, considerou-se apenas os trechos pavimentados, sendo apenas um pequeno trecho do acostamento sem pavimento, conforme ilustrado pela figura 17.



Figura 16: Sinalização em ponto crítico  
Fonte: Autor (2020)



Figura 17: Sinalização coberta pela vegetação  
Fonte: Autor (2020)

A sinalização é algo crucial para qualquer eixo de rodagem, conforme pode-se perceber pela Pesquisa CNT de Rodovias 2019 ao afirmar:

A sinalização rodoviária possui papel fundamental na segurança dos usuários das vias e se torna cada vez mais essencial à medida que a velocidade operacional e o volume de tráfego crescem. A finalidade precípua dos sinais de trânsito (sinalização vertical, sinalização horizontal, dispositivos auxiliares, sinalização semafórica, sinalização de obras e sinalização de gestos) é oferecer aos usuários das rodovias normas, instruções e informações que visem à circulação correta e segura dos veículos (CNT, p. 48, 2019).

Nesse sentido, o próprio Código Brasileiro de Trânsito (1997) em seu art. 88, destaca:

Nenhuma via pavimentada poderá ser entregue após sua construção, ou reaberta ao trânsito após a realização de obras ou de manutenção, enquanto não estiver devidamente sinalizada, vertical e horizontalmente, de forma a garantir as condições adequadas de segurança na circulação.

Contudo, na prática não é a realidade evidenciada. Cabe salientar que para efeitos de cálculos, a única parte que não foi desenvolvida no estudo foi a medição das flechas dos trilhos de roda, por questões de o pesquisador não dispor do mate-

rial adequado para a realização dessa etapa. A pesquisa considerou apenas o cálculo direto levando em consideração apenas as frequências (absolutas e relativas), fator de ponderação, IGI e IGG. Nesse sentido, cita-se o trabalho de Barroso et al., (2020) o qual seguiu a mesma metodologia, porém a área de estudo foi diferente, pois analisou o Pavimento do Terminal de Passageiros da Ponta da Espera o qual, coincidentemente, tem-se o acesso por meio da BR-135.

Ainda se tratando das flechas, cabe destacar que durante a análise do pavimento, foi identificado alguns pontos de exsudação, nos dois trechos, e, estes comumente apresentam-se nos pavimentos asfálticos nas trilhas de rodas (onde deveria ser realizado a medição das flechas). Segundo a norma DNIT 005/2003, a exsudação é uma consequência do excesso de ligantes betuminosos na superfície, no qual tende a ocorrer uma migração dos ligantes pelo revestimento, ocasionado pela má dosagem da mistura associada ao excesso de temperatura especificada.

Manter a vida útil das faixas de rolamentos é essencial, para a via que tem um grande fator de importância. Outro ponto que merece destaque ao ser analisado é quanto à segurança da via, não relacionando exclusivamente ao pavimento, mas no que se refere à sinalização e áreas de acostagem. A segurança da via é deficiente no que se refere à sinalização e áreas de acostagem. Boa parte das placas de sinalização encontram-se encobertas pela vegetação, principalmente nas áreas de curva (locais caracterizados por serem pontos onde encontram-se os maiores índices de acidentes nas rodovias), dificultando a visualização e servindo ponto de esconderijo para assaltantes, o que dificulta ainda mais a segurança na via. As áreas de acostagem apresentam espaços limitados e áreas de grande deterioração, alguns sem camada pavimentada, sendo assim, alguns pontos não chegam a atender os domínios federais estipulados por lei. Os índices de gravidade encontram-se corroboram com a analisado *in loco*, contudo, é necessário manutenções, pois a associação entre tráfego pesado e características naturais locais, associados ao tempo, tendem a piorar a situação, sendo assim destaca-se a necessidade de preservação da via, pois a associação entre tráfego pesado e características naturais locais, associados ao tempo, tendem a piorar a deterioração.

Haja visto que é de suma importância o conhecimento acerca dos estudos no ramo da matriz de transporte, surge a necessidade da conscientização, da preservação do domínio federal e destacar a importância da implementação de planos de manutenção, corretiva e preditiva, para assim desfrutar de uma boa serventia da BR-135.





## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o local em que se encontra o trecho analisado no presente estudo e a sua finalidade, por funcionar como uma das principais rotas de escoamento de granéis sólidos no país, destaca-se a importância da BR-135 e do estudo que surgiu com a proposta de identificar a real situação funcional. Dados os procedimentos metodológicos, foi possível identificar que segundo o IGG que o pavimento é classificado como ruim, tendo em vista a grande presença de manifestações patológicas, principalmente: panelas, trincas e remendos. Os trechos analisados apresentam algumas manifestações que tem expressão de modo isolados que em alguns pontos não atrapalham a funcionalidade do rolamento, contudo, interfere na questão da serventia e segurança que caso não tratados por meio de manutenções tendem a piorar a atual situação das faixas de rolamento.

As principais patologias encontradas têm causas diversas, porém destaca-se como principais, o excesso de peso nas camadas de rolamento e falta de manutenção. Nesse quesito, outro ponto que corrobora com essa ideia é a alta vegetação no entorno da rodovia que tende a encobrir a sinalização vertical, sendo assim, um outro ponto que merece atenção no trecho, pois interfere na segurança de tráfego e na segurança pública, pois poderá servir de abrigo a assaltantes. As inspeções e manutenções surgem com a proposta de manter a vida útil da rodovia, para a via que tem um fator de grande importância para a economia local e estadual, pois ela representa um grande peso econômico para a cidade e o país.

## Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM-C 260-77: air-entraining admixture for concrete**. In: \_\_\_\_\_. 1978 Annual Book of ASTM standards. Philadelphia, Pa. V. 14, 1978.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732: Cimento Portland comum: especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5735: Cimento Portland de alto-forno: especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5736: Cimento Pozolânico: especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregado para concreto: especificação**. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 7480: Bases e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado: especificação**. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7481: Telas de aço soldada – armadura para concreto: especificação**. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578: Cimento Portland Composto: especificação**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 11768: Aditivos para concreto de Cimento Portland: especificação**. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto – preparo, controle e recebimento: procedimento**. Rio de Janeiro, 1996.



- \_\_\_\_\_. **NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório: procedimento.** Rio de Janeiro, 1996).
- ALBERNAZ, C. A. V. **Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia da deflexão.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.
- ALMEIDA, A. F. M. et al. **Proposta de adaptação do índice de gravidade global para avaliação de tratamentos superficiais por penetração.** In: Anais do 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte – ANPET, Balneário Camboriú, SC, 2019. Disponível em: <[http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20IV/2\\_187\\_AC.pdf](http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20IV/2_187_AC.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2020.
- BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BARROSO, Matheus Macedo et al. **AVALIAÇÃO FUNCIONAL OBJETIVA DE PAVIMENTO NO TERMINAL DA PONTA DA ESPERA EM SÃO LUÍS-MA.** In: Anais da VII Semana de Engenharia do Maranhão. Anais... São Luís(MA) UFMA, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/viisengema/196410-AVALIA-CAO-FUNCIONAL-OBJETIVA-DE-PAVIMENTO-NO-TERMINAL-DA-PONTA-DA-ESPERA-EM-SAO-LUIS-MA>>. Acesso em: 25 set. 2020.
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras; Abeda, 2008.
- BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro.** Lei Nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Presidência da República. Casa Civil. Sub-chefia para assuntos jurídicos. Brasília, DF, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9503Compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503Compilado.htm)>. Acesso em: 25 set. 2020.
- CÂMARA, M. T. (2006). **Uma metodologia para avaliação de desempenho de infra-estruturas de transporte concedidas:** aplicação às concessões de rodovias federais brasileiras. Dissertação (Mestrado em Transportes). Publicação T.DM 011A-2006, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 226 p., 2006.
- COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BETON. **CEB – Fip Model Code for Concrete Structures.** Thomas Telford, London, 1990.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. CNT (2019). **Pesquisa CNT de rodovias 2019.** 236 p. Brasília: CNT: SEST SENAT, 2019. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultima-versao/gerencial.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2020.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT (2003a). **Norma 005/2003-TER - Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa, IPR. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, IPR: 2003.
- \_\_\_\_\_. (2003b). **Norma 006/2003-PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirígidos - Procedimento.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, IPR: 2003.
- \_\_\_\_\_. (2003c). **Norma 008/2003-PRO. Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos Procedimento.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa, IPR. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, IPR: 2003.
- \_\_\_\_\_. (2004a). **Norma 036/2004-ME. Pavimento rígido – água para amassamento do concreto de Cimento Portland – ensaios químicos: método de ensaio.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa, IPR. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, IPR: 2004.
- \_\_\_\_\_. (2004b). **Norma 037/2004-ME. Pavimento rígido – água para amassamento do concreto de Cimento Portland – ensaios comparativos: método de ensaio.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa, IPR. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, IPR: 2004.
- \_\_\_\_\_. (2004c). **Norma 046/2004-EM. Pavimento rígido – selante de juntas: especificação.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, IPR: 2004.
- \_\_\_\_\_. (2004d). **Norma 047/2004 – ES. Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com**



**equipamento de pequeno porte – Especificação de serviço.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa, IPR. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.

EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP. **O maranhão é estratégico para escoamento da safra pelo Itaqui.** Disponível em: <<https://www.portodoitaqui.ma.gov.br/imprensa/noticia/o-maranhao-e-estrategico-para-o-escoamento-da-safra-pelo-itaqui>>. Acesso em: 24 set. 2020.

GRUPO EXECUTIVO DE INTEGRAÇÃO DA POLÍTICA DE TRANSPORTES - GEIPOT. **Anuário estatístico dos transportes.** Ministério dos transportes. 1970, 1976, 1981, 1986, 1992, 2001.

MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos.** 1. ed. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1997. 380 p.

RIBEIRO, ANTONIO JÚNIOR & BEZERRA, FRANCISCO & NETO, JOSÉ. (2017). **Metodologia Prática de Avaliação de Patologias no Pavimento Asfáltico em Avenida de Fortaleza/CE.** Conexões - Ciência e Tecnologia. 11. 91. 10.21439/conexoes.v11i6.904.

VIEIRA, S.A.; PINHO JR, A.A.E.; OLIVEIRA, F.H.L.; AGUIAR, M.F.P. (2016). **Análise comparativa de metodologias de avaliação de pavimentos através do IGG e PCI.** Revista Conexões, Ciência e Tecnologia. 10, n. 3, 20- 30pp. DOI: [doi.org/10.21439/conexoes.v10i3.799](https://doi.org/10.21439/conexoes.v10i3.799).



# CAPÍTULO 3

## **APROVEITAMENTO DE ÁGUA PROVENIENTE DE SISTEMA DE AR-CONDICIONADO DO PRÉDIO PRINCIPAL DO FÓRUM DESEMBARGADOR SARNEY COSTA: A UTILIZAÇÃO DO ARIETE HIDRÁULICO PARA BOMBEAMENTO SUSTENTÁVEL**

THE USE OF WATER FROM THE AIR CONDITIONING SYSTEM OF THE  
MAIN BUILDING OF THE DISNEYARD FORUM SARNEY COSTA: THE USE  
OFF HYDRAULIC RAM FOR SUSTAINABLE PUMPING

**Vinicius Leonardo dos Santos Rocha**

**Claudemir Gomes de Santana**

**Danielle Cristina dos Santos Lisboa**

**Lucas Nadler Rocha**

**Renata Medeiros Lobo Muller**

## Resumo

Os equipamentos de ar-condicionado são dispositivos amplamente difundidos na sociedade e por consequência de mudanças climáticas, estes tratam de gerar conforto térmico a determinados ambientes, algo alcançado com maior facilidade ao longo dos anos e do aperfeiçoamento tecnológico. O trabalho destes dispositivos produz um insumo de grande valia para as atividades humanas, no entanto programas para utilização destes recursos gerados ainda são tímidos. O implemento de medidas sustentáveis é algo que ganha destaque na atualidade, com isto o carneiro hidráulico é uma alternativa para substituir, ou no mínimo reduzir os investimentos com aparelhos que utilizem energia elétrica para bombeamento. O investimento em águas condensadas somado a dispositivos como o carneiro hidráulico, pode trazer um custo-benefício diferenciado, para instituições que possuem, grande quantidade de aparelhos de ar-condicionado, como é o caso do Fórum, gerando assim alívio na rede pública de fornecimento de água.

**Palavras-chave:** Ar-condicionado, Água, Carneiro hidráulico

## Abstract

Air-conditioning equipment is a widespread device in society and as a result of climate change, it tries to generate thermal comfort in certain environments, something that has been achieved with greater ease over the years and technological improvement. The work of these devices produces an input of great value for human activities, however programs to use this generated resource are still timid. The implementation of sustainable measures is something that stands out today, with this the hydraulic ram is an alternative to replace, or at least reduce investments with devices that use electrical energy for pumping. The investment in condensed water added to devices such as the hydraulic ram, can bring a different cost-benefit, for institutions that have a large number of air conditioning units, such as the Forum, thus generating relief in the public supply network of water.

**Keywords:** Air-conditioning, Water, Ram

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei Nº 9433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), instituiu a política nacional de recursos hídricos, esta objetiva assegurar as atuais e futuras gerações a disponibilidade de água, no entanto na prática isto não é a realidade. A dificuldade ao acesso a água pode significar o fracasso de uma comunidade, pois a água como matéria-prima faz parte de praticamente todos os processos dentro da rotina humana.

O material condensado tem ganhado destaque pelo fato de ser um produto de qualidade para determinadas atividades humanas, e que vem crescendo em quantidade acompanhado as temperaturas que crescem a cada ano no globo terrestre trazendo um aumento no número de aparelhos de arrefecimento. A análise de empresas sobre o condensado mostra o Brasil como local promissor pra investimento em tecnologias que utilizem como base o fluido adquirido do processo dos ar-condicionado (NASSAR,2015).

De acordo com o exposto este trabalho visa propor o uso destas águas condensadas geradas por aparelhos de ar - condicionado, como meio de aliviar as redes de abastecimento urbano, fazendo assim com que as concessionárias se concentrem em trabalhar por polos mais distantes da realidade urbana, sanando assim a falta de água potável no interior dos Estados. O estudo trata também de um meio alternativo para bombeamento que possa reduzir os gastos com relação a faturas energéticas, utilizando o aríete hidráulico conhecido como carneiro hidráulico, dispositivo muito conhecido no meio rural, para transporte de água onde existe carência no fornecimento de energia elétrica. O dispositivo já é muito utilizado na agricultura, pecuária e também no bombeamento de águas pluviais (BONETTI,2016).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A crise de água no século 21, segundo especialistas é mais de caráter gerencial do que real no quesito de esgotamento dos recursos. Conforme dados cerca de 97,3 % da água contida no planeta é salgada, e 2,7% restante são águas doces, estas ainda divididas em águas subterrâneas, calotas polares e enfim águas superficiais, ou seja, rios e lagos (LEME,2010).

Segundo Borsoi (1997), levando em consideração dados da Associação Brasileira de Recursos Hídricos, estima-se que cerca de 30% da água tratada é direcionada para abastecimento urbano, 23% na indústria e 40% para irrigação. A conjuntura de recursos hídricos de 2018, retrata o consumo total de água no Brasil de 1158 m<sup>3</sup>/s, onde deste valor quase 70% é consumido pela irrigação agrícola. O surgimento desenfreado de centros urbanos, tem gerado uma série de proble-



mas em se tratando do tema abastecimento e tratamento, pois a partir daí surgem áreas não planejadas, que necessitam de suprimento de água e aumentaram a descarga de recursos hídricos contaminados e estes por sua vez, afetarão outras fontes ainda integras, por falta de tratamento.

## 2.1 Equipamentos de Refrigeração

Sistemas de refrigeração são um conjunto de equipamentos que submetem o ar a certas condições, fazendo com que sejam alteradas as características como umidade relativa, temperatura, velocidade e pureza do ar (CREDER,2004). Estes equipamentos são regidos pela ABNT NBR 16401/2008, que especifica os padrões para a melhor qualidade do ambiente em que for instalado. Os sistemas de refrigeração são compostos por quatro dispositivos principais, são eles evaporador, condensador, compressor e dispositivo de expansão. O evaporador é responsável pela eliminação do ar quente ambiente, através de transferência do calor do ambiente para o fluido refrigerante. O condensador assim como o evaporador é um permutador de calor, no entanto neste o fluido frigorígeno circula pelo interior do condensador, transferindo o calor do fluido refrigerante para o ambiente externo. Na Figura 1 temos o esquema de refrigeração.

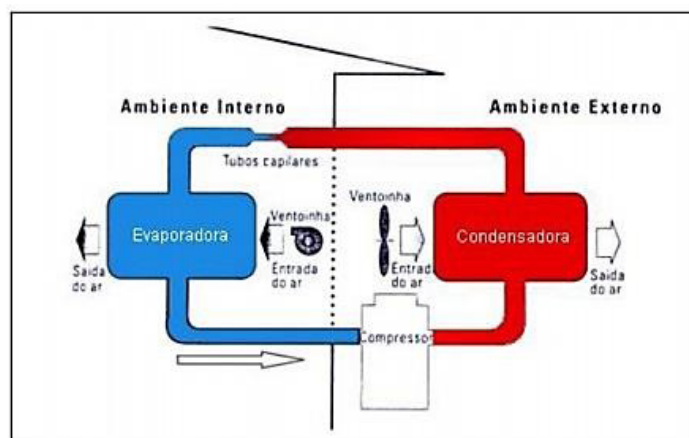


Figura 1 – Funcionamento de sistema de refrigeração  
Fonte: Antonovicz e Weber (2013) apud RIGOTTI, (2015)

Os compressores têm a função de aumentar a pressão do fluido refrigerante e promover a circulação deste fluido no sistema. Os principais tipos de compressores são os de palhetas, scroll, parafusos, centrífugos e os alternativos (SILVA, 2005). Por fim os dispositivos de expansão atuam como controladores de precisão da quantidade de fluido refrigerante que penetra no evaporador garantindo rapidez e eficiência desta operação, seu objetivo é manter pressão necessária entre condensador e evaporador.

## 2.2 Água condensada em equipamentos de refrigeração

Quando o ar externo escoar pela serpentina, inicia-se uma troca de calor entre o ar quente e úmido e o ar da superfície da serpentina o qual está em uma temperatura mais baixa devido ao fluido de baixa temperatura (NASSAR,2015). No momento da troca de calor o ar quente passa a ter uma temperatura menor, e o vapor de água contido no ar acaba por se condensar na superfície da serpentina. Após condensar-se na superfície da tubulação este escoar para local definido como dreno que o lança fora do sistema.

A empresa Atmos, especializada em climatização fez estudo sobre aproveitamento de condensado de serpentina, estas são um conjunto de tubulações metálicas localizadas dentro do evaporador, por onde passa o fluido refrigerante. A Atmos efetuou uma simulação energética para um prédio de 1000 m<sup>2</sup>, de área construída em determinadas cidades brasileiras (NASSAR,2015). Foram considerados alguns parâmetros para simulação:

- Escritório com concentração;
- Dispersão de calor pela iluminação: 12 w/m<sup>2</sup>;
- Paredes de alvenaria com 70% de área envidraçada na envoltória e vidro comum.

Na Figura 2 é demonstrado o volume em litros de água condensada no mês, apontado diferentes situações nas cidades de estudo.

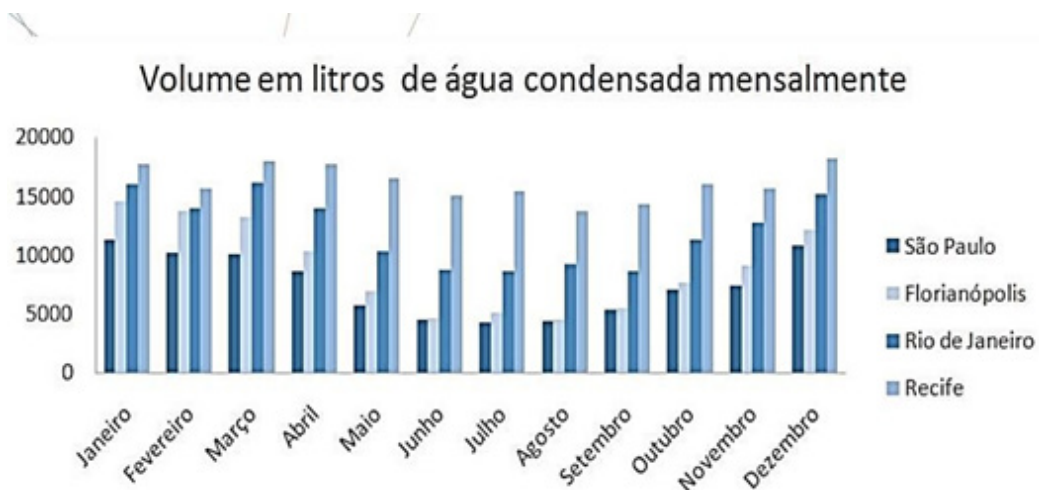


Figura 2 – Volume em litros de água condensada mensalmente  
Fonte: Adaptado de Nassar (2015)

A presença de variações climáticas entre as cidades escolhidas para o estudo, vai representar uma diferença na umidade entre cada uma delas, sendo assim diferentes os volumes gerados pelos equipamentos em cada localidade, sendo que o volume mais baixo é em São Paulo, que tem uma umidade do ar muito variável, ora 40 ora 90%, gerado de 90 L/m<sup>2</sup>. Já na cidade de Recife que tem menor varia-



ção na umidade, está ficando entre 60 e 80% o volume de água chegou a 195 L/m<sup>2</sup>. Logo pode-se concluir que as localidades que tenham uma umidade que se mantém em padrões altos, no caso, acima de 60% a geração de condensado é bem maior (NASSAR, 2015).

Estudos feitos com mudas de goiabeira analisaram quatro situações, irrigação com 100% água de poço artesiano, 100% água de ar-condicionado, 50% água de ar-condicionado 50% efluente agroindustrial e 100% de água de efluente agroindustrial, os resultados demonstraram que os parâmetros de desenvolvimento entre a água de poço artesiano se assemelham ao tratamento das mudas com água de ar-condicionado (NÓBREGA,2017). Este fluido na maioria das vezes é descartado sem lhe imputarem nenhum uso, sendo que apesar de não servir para consumo este resíduo ainda apresenta menos impurezas que as águas cinzas, muito reaproveitadas atualmente. O condensado pode ser utilizado para atividades de fins menos nobres como é o caso da irrigação, lavagens e abastecimento de aparelhos sanitários.

## 2.3 Carneiro Hidráulico

O Carneiro hidráulico é uma bomba de recalque que tem seu funcionamento independente de eletricidade ou de combustíveis fósseis, pois este trabalha utilizando energia do líquido para assim recalcar-lo para um determinado local. Segundo Horne e Newman (2005), o carneiro tem como vantagens a não necessidade do uso de nenhum combustível para seu funcionamento, baixo custo de operação e de aquisição, e seu uso pode ser diário durante 24 horas sem a emissão de gases e outros componentes prejudiciais à saúde humana (apud CARARO,2007, p.350). Na Figura 3 temos o esquema de funcionamento.

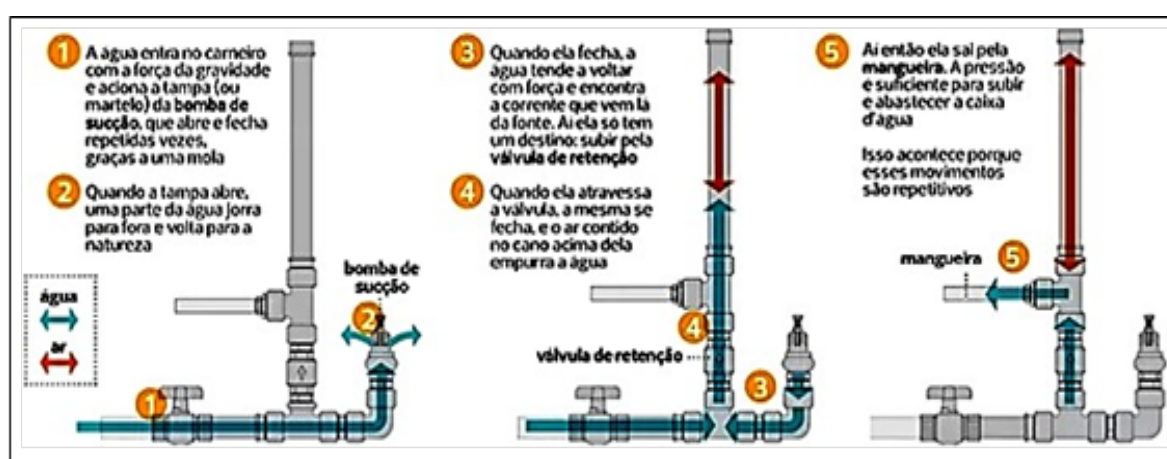


Figura 3 – Esquema de funcionamento de carneiro hidráulico.  
Fonte: Adaptada da Revista Globorural (2015)

Os componentes do carneiro hidráulico são de fácil acesso, de maneira que o mesmo pode ser executado de maneira caseira, eles são listados na Figura 4.

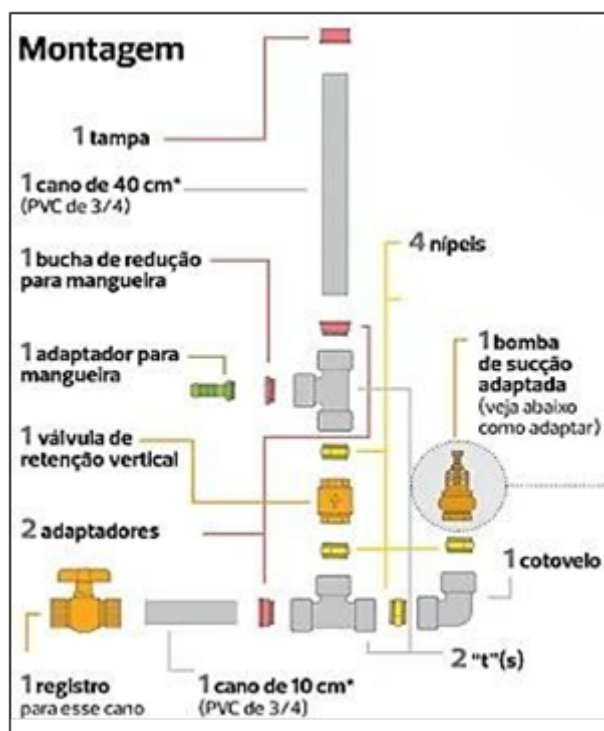


Figura 4 – Componentes de um carneiro hidráulico  
 Fonte: Adaptada da Revista Globorural (2015)

O rendimento do carneiro hidráulico, está associado principalmente a altura da fonte e da altura de recalque, mas também é importante salientar que quanto menores forem as perdas de cargas que são resultado da inserção de conexões como joelhos, curvas e luvas, maiores serão as distâncias ou alturas alcançadas pelo dispositivo (BONETTI,2016).

### 3. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na capital do estado do Maranhão, São Luís, especificamente no Fórum Desembargador Sarney Costa, situado na Avenida Professor Carlos Cunha, Bairro do Calhau, com coordenadas 2°30'10.8" S 44°16'42.8" W. O local específico de instalação do projeto, é situado no jardim nas proximidades da entrada para o 2º subsolo no Fórum. Este local é inclusive o ambiente onde são drenadas as águas provenientes dos aparelhos de ar-condicionado dos racks referentes a ala 6 do prédio.

Para elaboração do estudo foram utilizados para modelagem do sistema de coleta e abastecimento, os softwares Auto Cad 2017, Sketchup 2017 e o software Google Maps, assim como os materiais listados de acordo com a Tabela 1.

Nº	Item	Ø	Quantidade
1	Reservatório de 240 litros	-	2 und
2	reservatório de 50 litros	-	1 und
3	Tubo pvc soldável	1/2	12 m
4	Tubo pvc soldável	3/4	10 m
5	Tubo pvc soldável	1 1/4	10m
6	Tubo pvc soldável	1 1/2	4 m
7	Válvula pvc soldável	1 1/2	1 und
8	Joelho pvc soldável 90°	1/2	5 und
9	Joelho pvc soldável 90°	3/4	2 und
10	Joelho pvc soldável 45°	1/2	6 und
11	Flange pvc roscável	1 1/2	2 und
12	Flange pvc roscável	1/2	1 und
13	Flange pvc roscável	3/4	3 und
14	Adaptador roscável	1/2	2 und
15	Adaptador roscável	3/4	4 und
16	Redução pvc soldável	50x40	3 und
17	Redução pvc soldável	40x32	1 und
18	Redução pvc soldável	32x25	1 und
19	Curva pvc soldável de 90°	3/4	1 und
20	Registro pvc soldável	3/4	2 und
21	Taps pvc soldável	3/4	1 und
22	Tê pvc soldável	1/2	2 und
23	Tês pvc soldável	3/4	2 und
24	Válvula pvc roscável pé de crivo	3/4	1 und
25	Válvula pvc roscável de retenção	3/4	2 und
26	Braçadeiras de latão	1/2	10und
27	N Nippl Nipples pvc roscável	3/4	5 und
28	União pvc soldável	3/4	2und
29	Joelho pvc soldável bucha de latão 90°	3/4	2 und
30	Sensor nível de líquidos ICOS	-	2 und
31	bomba Bomba submersa 660,220 v	-	1und
32	Válvula Válvula pvc soldável retenção	3/4	2und
33	Torneira de Jardim	-	1 und

Tabela 1 – Lista de material para montagem de sistema  
Fonte: Acervo do autor, (2020)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Captação da água condensada

Para a captação da água foi utilizado um reservatório de 240 litros, o qual foi suspenso por uma estrutura de andaimes para a sua sustentação, e isto nesse caso específicos, com o objetivo de criar uma coluna de água que atenda as condições

de funcionamento do carneiro hidráulico mantendo o regime ininterrupto de bombeamento.

As vazões adquiridas no dreno por meio de verificações in loco podem demonstrar, o potencial de geração de água pelos aparelhos de ar-condicionado, que são desperdiçados quando não adotadas estratégias de aproveitamento. Na Figura 5 temos o volume de condensados.

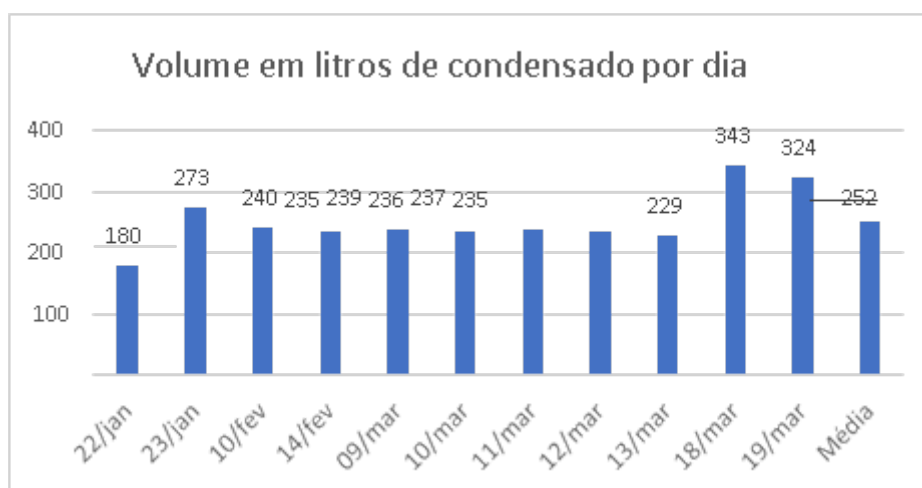


Figura 5 – Volume de condensado obtido em dias.  
Fonte: Acervo do autor, (2020)

#### 4.1.1 Condensado x Btu

Algo a se considerar é que os resultados obtidos representam somente cinco equipamentos. Para o caso de se estimar as vazões unitárias faz-se necessário a divisão dos resultados por cinco, e com isto pode-se chegar a um valor estimado de condensado gerado para cada BTU. Tomando-se a média de vazões diárias tem-se a Equação 1.

$$Q = 10,5 \text{ l/h}$$

$$Q = \frac{10}{5} \text{ und}$$

$$Q = 2.1 \text{ l/h}$$

Deste modo cada equipamento fornece em seu funcionamento 2,1 litros de água por hora. Cada equipamento tem uma potência de 12.300 BTUS, assim por regra de três é possível se mensurar quanto 1 BTU gera de condensado. Para critérios de melhor entendimento a unidade em litros será convertida para mililitros esse valor e expresso na Equação 2.



$$\frac{12.300BTUS}{1BTU} = \frac{2100 ml}{x}$$

$$x = 0,17 \frac{m}{BTUS}$$

Em tese são gerados 0,17 mililitros por hora para cada BTU de potência por equipamentos de refrigeração. Esta informação será válida quando forem avaliados os quantitativos de aparelhos e forem levantadas as quantidades de BTUS, presente no prédio.

## 4.2 Sistema de operação do carneiro hidráulico

O reservatório para captação fora colocado na posição que gerava 2,30 metros de altura de coluna d'água, ou seja, a proporção na altura é de 1:2, isto considerando a altura da tubulação de recalque que é de 4,60 metros. A Tabela 2 mostra os valores de rendimento considerados por conta das alturas de alimentação e recalque.

Proporção (h/H)	Aproveitamento R %
1/2	0,6
1/3	0,55
1/4	0,5
1/5	0,45
1/6	0,4
1/7	0,35
1/8	0,3

Tabela 2 – Aproveitamento de água por diferença entre alturas  
Fonte: Adaptado de Filho e Viana (2002)

O rendimento do carneiro hidráulico é alcançado pela fórmula, considerando que foram checadas as vazões de entrada 60 l/ min e vazão de recalque 1,875 l/ min sendo expresso na Equação 3.

$$R = \frac{1,875 * 4,6}{60 * 2,3} * 100$$

$$R = 6,25\%$$

Para a altura em que estavam a alimentação e o recalque o rendimento deveria ser de 60% neste caso a vazão de recalque seria expressa na Equação 4.



$$0,6 = \frac{q * 4,6}{60 * 2,3}$$

$$\frac{82,8}{4,6} = q$$

$$q = 18l/min$$

A vazão de recalque deveria ser de 18 L/ min, no entanto, algumas considerações devem ser feitas quanto a classificação de rendimento. O primeiro fato é que a tubulação de recalque do estudo não foi executada com mangueiras, isto por conta de critérios estéticos, desta forma um implemento de acessórios na tubulação de pvc rígido, gerou diversas perdas de carga no sistema reduzindo o rendimento mesmo as posições em relação as alturas serem satisfatórias.

O segundo fato trata a respeito das dimensões do carneiro hidráulico estas, para uma vazão de 3600 l/h como é o caso deste estudo, deveriam ser de 2" para a alimentação e 3/4 "para recalque, expresso na Tabela 3.

Vazão alimentação L/h	Ø entrada	Ø saída
420 a 900	1"	1/2"
660 a 1560	1 1/4"	1/2"
1320 a 2700	2"	3/4"
4200 a 7200	3"	1 1/4"

Tabela 3- Relação da vazão com diâmetros de saída e entrada  
Fonte: Adaptado de Filho e Viana (2002)

A mecânica dos fluidos tem como um dos princípios a equação da continuidade. Esta equação tem a compreensão que para cada massa de fluido que transita em meio a um conduto a mesma quantidade será a que o deixará (BRUNETTI,2008). Dito isto algumas energias são consideradas nesta equação, as mesmas que são levadas em consideração no projeto.

Desta forma para acompanhar a vazão e ter mais desempenho o carneiro hidráulico, composto por válvulas, niples e adaptadores deveria seguir os mesmos diâmetros que a tubulação de entrada expresso na Figura 6.

Peça Nº	Material	Diâmetro de entrada			Quant.
		1"	2"	3"	
1	Garrafa Pet 2 litros	-----	-----	-----	01
2	Tampa da garrafa com furo Ø 15/mm	-----	-----	-----	01
3	Bucha redução	-----	1" x ¾"	2" x ¾"	01
4	Tê PVC branco rosca	¾"	1"	1"	01
5	Bucha redução PVC branco rosca	¾" x ½"	1" x ¾"	2" x 1"	01
6	Adaptador preto para mangueira	½"	¾"	1"	01
7	Niple PVC branco	¾"	1"	2"	01
8	Bucha de redução PVC branco rosca	1" x ¾"	2" x 1"	3" x 2"	01
9	Válvula retenção vertical (tipo Docol)	1"	2"	3"	01
10, 12	Niple galvanizado	1"	2"	3"	02
11	Tê galvanizado	1"	2"	3"	01
13	Válvula de poço docol (latão docol)	1"	2"	3"	01
14	Parafuso com três porcas e uma aruela	5/16 ou M8	5/16 ou M8	5/16 ou M8	01
15	Mola do acionador da válvula de descarga para vaso sanitário marca (hydra)				01

Figura 6– Materias para confecção de carneiro hidráulico com diâmetro de 1", 2" e 3"  
 Fonte: Adaptado de Filho e Viana (2002)

### 4.3 Automação do Sistema

A manutenção do nível de água nos reservatórios deve ser constante para que não haja futuros imprevistos na operação que possam deixar processos desamparados (BACURAU,2011). Para compensar esta situação será feita uma automação, ou seja, otimização de processo por meio de ferramentas eletro- mecânicas. No caso do sistema de estudo o desejado é que haja continuidade no abastecimento, de forma que haja uma mínima interferência humana para que haja continuidade no suprir das necessidades de água. Deste modo ao exaurir-se a água do reservatório superior e abrir-se uma válvula o carneiro começa sua operação, no entanto o seu funcionamento como já citado gera uma determinada perda. Para reduzir esta perda foi instalado um reservatório abaixo de sua cota com sensores de nível e uma bomba submersa.

Os sensores utilizados serão sensores laterais para água, combustíveis e lubrificantes da marca Icos LA 16M-40, estes possuem duas indicações "ON ou OFF", deste modo com as informações geradas pelo nível de água, os sensores farão o acionamento ou desacionamento da bomba. O fechamento do sistema reduziu o desperdício para 23%, sendo perdidos apenas 51 litros na operação do carneiro e recalçados 168 litros. A bomba trabalhará o equivalente a 40 minutos caso o carneiro opere de maneira a exaurir o reservatório de seu abastecimento.

Como a bomba é um equipamento de baixa potência o seu custo de operação é muito baixo, sendo que a sua operação mensal se resumiria em um valor de R\$ 3,96, isto se colocando que esta iria operar uma vez durante cada dia da semana.

A bomba possui uma vazão de 270 até 1750 l/h, o que significa que está pode ser aproveitada em situações em que o reservatório de água utilizado estiver em cotas maiores. Na Figura 7 temos.



Figura 7 – Reservatório para coleta de água de perda  
Fonte: Acervo do Autor, (2020)

#### 4.4. Impacto do Aproveitamento do Fórum

Para análise do impacto do aproveitamento de água no recinto, faz-se necessário, o levantamento dos quantitativos de máquinas de ar-condicionado presentes no prédio. Para isto será analisado apenas o prédio principal, onde cada andar possui 16 gabinetes, dentro destes estão localizados 7 equipamentos de ar-condicionado, os mesmos detalhados onde temos: 1 unidade de 7500 Btus, 2 unidades de 15400 Btus, 3 unidades de 9600 Btus, 1 unidade de 19100 Btus. No prédio se somam 80 gabinetes e o funcionamento destes segue o regime de 10 horas por dia e 5 dias por semana, sendo assim caso sejam analisados por Btus o prédio possui podendo determinar a Equação 5.

$$\textit{Total de Gabinetes} = 86.200 * 80$$

$$\textit{Total de Gabinetes} = 6.896.000 \text{ Btus}$$

Como visto anteriormente a estimativa de geração para 1 Btu é de 0,17 ml de água btu em 1 hora, então temos a Equação 6.

$$\textit{Total de Água} = 6.896.000 * 0,17 \text{ ml}$$

$$\textit{Total de Água} = 1172 \text{ l/h}$$



$$\text{Total de Água} = 1.172 * 10 \text{ horas}$$

$$\text{Total de Água} = 11.732 \text{ l/ dia}$$

Será utilizado no cálculo com apenas 60% da capacidade de geração isto porque, durante o dia ocorrem diversos, acontecimentos, que fazem as pessoas não utilizarem o ar-condicionado como, sensibilidade, menores temperaturas durante parte da manhã e final de tarde etc. Durante um mês de funcionamento o prédio principal do Fórum apenas com os ar-condicionado dos gabinetes, foram gerados mais de 150 m<sup>3</sup> de água.

Dentro do prédio todo existem três diferentes tipos de dispositivos de descarga. O primeiro com caixas acopladas, o segundo são válvulas de descarga e o terceiro mecanismo que se utiliza de descarga de água são os mictórios estes possuindo, uma válvula de pressão que restringe o fluxo de água com certa quantidade. No total têm-se: 55 mictórios, 190 bacias com caixas acopladas, 25 vasos com válvula de descarga. Então temos a Equação 7.

$$\text{Consumo}_{\text{água}} = (55 (\text{mictórios}) * 1,5\text{l} + 190 * 6\text{l} + 25(\text{válvulas}) * 10,4\text{l}) * 4$$

$$\text{Consumo de água} = 6040 \text{ litros/dia}$$

Caso fossem aproveitadas as águas provenientes dos condicionadores, dentro da hipótese que cada aparelho sanitário seja utilizado por dia 4 vezes ainda assim restariam pelo menos 1000 litros de água diariamente para serem utilizados em outras atividades. No entanto o prédio ainda conta com outros aparelhos que se encontram em suas laterais, e que funcionam ininterruptamente, assim aparelhos em anexo e subsolos, ou seja, a quantidade de água gerada ainda é muito maior, do que a quantidade que o empreendimento demanda.

Ao longo de 1 ano são consumidos por aparelhos sanitários 1.593,6 m<sup>3</sup> de água, ao passo que 1.858,3 m<sup>3</sup>, são gerados. Tomando-se o princípio de volume excedente, no período de um ano 263,7 m<sup>3</sup>, de água poderiam ser utilizados de outras maneiras no prédio, ou ser cedido pela instituição para órgãos da administração pública para agregar em suas atividades.

No ano de 2020 o Fórum teve um gasto médio mensal de 548 m<sup>3</sup> de água, este número ainda não é o real pois o prédio faz uso do abastecimento por poços, o que reduz os gastos cobrados pela concessionária. O impacto em custos ao se fazer uso da água gerada por aparelhos de ar-condicionado, poderia abater mensalmente 150 m<sup>3</sup>, deste faturamento, ou seja, R\$ 2140,79, isto é considerado o dobro caso as formas de tarifação de esgoto continuem as mesmas pois, só seria cobrado aquilo que foi cedido pela concessionária. Temos o cálculo na Equação 8.



$$R\$ 136,04 + 135 \text{ m}^3 * R\$ 14,85$$

*R\$ 2140,79/mês*

*R\$ 4281,58/mês*

O resultado seria de R\$ 4281,58 ao mês reduzidos das tarifas de água, ao longo de 1 ano, os custos com o abastecimento seriam muito reduzidos, o mesmo ocorreria com as tarifas de esgoto obrigando as concessionárias a se adequarem a estes novos cenários. O uso do carneiro hidráulico, trará benefícios como a redução nas contas de energia visto que este trabalha, como já visto com a energia contida no fluido, o seu trabalho pode reduzir as horas de trabalho de bombas centrífugas contidas no prédio.

O consumo energético da bomba centrífugas ao longo do ano é relevante estando na ordem de R\$7.000,00 ao ano o trabalho de uma única bomba. Desta maneira a implementação de um dispositivo aríete hidráulico no bombeamento em um projeto de aproveitamento como este, é de suma importância para a sustentabilidade, pois como visto anteriormente o carneiro é capaz de responder a excelentes alturas, quando se trata de bombeamento, isto dependendo de uma boa coluna de água e de quantidade de água que sustente o funcionamento da bomba.

## 5. CONCLUSÃO

Esta pesquisa demonstrou alguns pontos que serão tratados a seguir. Em relação ao desempenho do dispositivo carneiro hidráulico pode-se perceber que o mesmo, pode ter uma utilidade mais ampla dentro da construção civil, caso sejam realizados maiores estudos com intuito avaliar as diversas aplicações. Os resultados obtidos neste trabalho foram muito valiosos pois mostraram que um pequeno dispositivo, construído com pouco recurso, pode cooperar quando se trata de bombeamento, trazendo efeitos sustentáveis a um empreendimento.

Deve-se dar ressalva quanto aos rendimentos propostos em literaturas, estes muitas vezes não condizem com a realidade isto por que existem certos fatores que devem ser considerados na estimativa de rendimento. Com isto pode-se afirmar que o Carneiro hidráulico pode substituir alguns usos de bombas hidráulicas, com a vantagem de não usar energia elétrica, fazendo com que as operações relacionadas a jardinagem e determinadas lavagens de equipamentos e áreas, possam ser realizadas de forma sustentável.

Quanto em relação as vazões, estas são altamente relevantes para que os futuros projetos de construção sejam adaptados garantindo eficiência no processo de bombeamento mecânico. O potencial apenas de uma determinada amostra



de aparelhos, pode trazer uma economia de mais de R\$ 4.000,00 ao longo de um mês, o que é algo promissor principalmente, neste momento em que a otimização de recursos tem grande valor. O prédio gera água suficiente para deixar todas as bacias sanitárias independentes de águas fornecidas pela concessionária.

Outro fato descoberto durante as análises de dimensionamento e operação do sistema, está relacionado a metodologia de tarifação feita pela concessionária, esta apresenta uma disparidade em relação ao volume de esgoto cobrado, pois observou-se que o volume de água gerado sai do prédio como esgoto, não é computado, uma vez que a companhia de água, cobra a tarifa água/esgoto pelo consumo de água de entrada no empreendimento.

Isto além de trazer sobrecarga para os dispositivos de tratamento de esgoto, ainda pode influenciar em cálculos que possam determinar a construção de estações de tratamento, isto por que tem-se um volume de água gerado, não calculado pela a maioria dos empreendimentos e órgãos públicos.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil.2018**: informe anual/Agência Nacional de Águas. Brasília:ANA, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-02: **Instalações de ar-condicionado** - Sistemas centrais e unitários Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

BACURAU, R. M.; de Melo Júnior, J. C. F. ; LEAL, B. G. ; SOARES, S. A. F. **Sistema Eletrônico para Controle do Nível de Água em Reservatórios**. In: ERBASE - Escola Regional de Computação Bahia Alagoas Sergipe, 2011, Salvador - BA. WTIC-BASE, 2011.

BONETTI, Tiago. **Alternativas visando potencializar o uso do carneiro hidráulico no bombeamento de água das chuvas**. Trabalho de Conclusão de Curso . Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Catarinense. Rio do Sul, 2016

BORSOI, Zilda Maria Ferrão ;Torres,Solange Domingo Alencar.**A política de recursos hídricos no Brasil**.1997. Revista do BNDS, v.4, n.8, Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos. **Diário Oficial da republica Federativa do Brasil**, Brasília, 09 jun. 1997.p.470.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluídos**. 2 ed. revisada. São Paulo. Editora: Pearson Prentice Hall, 2008.

CARARO, Denis C; DAMASCENO, Flavio,A; GRIFFANTE,Greta; ALVARENGA, Lívia, A. **Características construtivas de um carneiro hidráulico com materiais alternativos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 4, p. 349-354, 2007.

CODEVASF – **CODEVASF garante acesso a água para quase 1 milhão de pessoas em dois anos**. Disponível em: < <http://www.codevasf.gov.br/noticias/2014/codevasf-garante-acesso-a-agua-para-quase-1-milhao-de-pessoas-em-dois-anos/> □ Acesso em 11.set.2020

CREDER, Hélio. **Instalações de ar condicionado**. 6º ed. São Paulo. Editora: LTC, 2004.

SILVA, MARCELINO NASCIMENTO. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial**. PROCEL, Rio de Janeiro, 2005.NÓBREGA, Éverson Pedrosa; DE ARRUDA SARMENTO, Maria Iza; DE MELO RODRIGUES, Maria Lucimar. **Desenvolvimento inicial de mudas de goiabeira irrigadas com diferentes tipos de água**. Revista de Agroecologia no Semiárido-(Sousa-PB) v, v. 1, n. 2, p. 01-09, 2017.

NASSAR, Bruno; MOURA, Cláudio. **Aproveitamento de condensado das serpentinas**. ATMOS Engenharia de Climatização, 2015. Disponível em: <http://www.atmosclimatizacao.com.br/artigos-tecnicos/aproveitamento-de-condensado-das-serpentinas>. Acesso em: 20 de agosto 2020.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias** / Edson José de Arruda Leme. – São Carlos: EdUFSCar, 2010.

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, **Split-type, heat pump air conditioners, service manual**. Catálogo OB275. Tokyo. Japan, 2003. 198p NASSAR, Bruno; MOURA, Cláudio. **Aproveitamento de condensado das serpentinas**. ATMOS Engenharia de Climatização, 2015.

MATHIAS, João. **Como fazer carneiro hidráulico**. Revista Globo Rural, 2015. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/vida-na-fazenda/noticia/2015/05/como-fazer-o-carneiro-hidraulico.html>. Acesso em: 10 de agosto 2020.

PONSONI, Janieli Andressa et al. **Aplicabilidade do carneiro hidráulico na construção civil**. 3 ° Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, novembro, 2012. Disponível em: [snscs.imed.edu.br](http://snscs.imed.edu.br). Acesso em : 12 de agosto 2020.

RIGOTTI, Pedro Antonio Cardias. **Projeto de aproveitamento de água condensada de sistema de condicionadores de ar**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2014.

FILHO, G. L.T; VIANA, A. N.; **Carneiro Hidráulico, O que é e como construí-lo**. Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos (CERPCH). Itajubá. 2002. Disponível em: [www.hidrovector.com.br](http://www.hidrovector.com.br) . Acesso em: 7 de agosto 2020.



# CAPÍTULO 4

## **MODELAGEM MOLECULAR DE SILA-ADAMANTANO ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ ) E GERMA-ADAMANTANOS ( $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$ e $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ ): UM ESTUDO DFT**

MOLECULAR MODELING OF SILA-ADAMANTANE ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ ) AND GERMA-ADAMANTANE ( $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  and  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ ): A DFT STUDY

**Edvan Moreira**

**Luis Almeida Carvalho**

**Wesley Kardex Cordeiro de Oliveira**

**Fernando Marques de Oliveira Moucherek**

**David Lima Azevedo**

## Resumo

Os nanodiamantes ou diamantóides são os análogos moleculares de um diamante a granel, composto por estruturas em forma de gaiola terminadas com átomos de Hidrogênio para evitar ligações pendentes. Apesar de todo o enorme potencial para os diamantóides, outros tipos de nanoestruturas semelhantes aos diamantóides foram propostas e investigadas, a saber, sila-adamanto e germa-adamantano. Na literatura, a maioria das nanoestruturas do tipo diamantoidal é composta por átomos do grupo 14 da tabela periódica, devido às suas semelhanças com o átomo de Carbono. Os diamantóides propostos mostraram interessantes propriedades eletrônicas, ópticas, vibracionais e estruturais em comparação com diamantóides isolados na forma pristina. Buscamos através de cálculos baseados na Teoria do Funcional da Densidade (DFT) avaliar variações do composto Adamantano, encontradas primeiramente por meio de dopagens com átomos de Silício e posteriormente com átomos de Germânio. As dopagens nos permitiram encontrar três estruturas, uma denominada sila-adamantano e as outras duas batizadas de  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  e  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  (germa-adamantanos) escolhidas por possuírem o menor nível de energia estrutural em comparação às outras possibilidades de dopagem. Nessas nanoestruturas, encontramos dados eletrônicos como *gaps* de energia, caracterizando-as como semicondutores, espectros de absorção óptica e os potenciais termodinâmicos como entalpia, entropia, e energialivre que mostrou uma espontaneidade próxima à temperatura ambiente e, valores da capacidade térmica em função da temperatura, considerando os cálculos das aproximações LDA-PWC e B3LYP.

**Palavras chave:** Nanoestruturas, Adamantano, Sila-adamantano, Germa-adamantano.

## Abstract

Nanodiamonds or diamantoids are the molecular equivalents of a bulk diamond, composed of cage-shaped structures ended with Hydrogen atoms to prevent pending bonds. Notwithstanding all the large potential for diamantoids, another kind of nanostructure like diamantoids has been proposed and studied, namely sila-adamantane and germa-adamantane. In the literature, most of the nanostructures of the diamantoid type are constituted of atoms of group 14 of the periodic table, due to their similarities with the Carbon atom. These diamantoids revealed interesting electronic, optical, vibrational, and structural properties correlated to pristine diamantoids. Within DFT calculations we explore to evaluate varieties of the Adamantane compound, firstly through Silicon doping and later by Germanium. The doping enabled us to find three structures, one called sila-adamantane and the other two named  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  and  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  chosen for having the lowest level of structural energy. In these arrangements, we find electronic data such as energy GAPS in the order of semiconductors, optical absorption and thermodynamic potentials such as enthalpy, entropy, and free energy that exhibit spontaneity close to room temperature and values of thermal capacity as a function of temperature, considering the calculations functional LDA-PWC and B3LYP.

**Keywords:** Nanostructures, Adamantane, Sila-adamantane, Germa-adamantane.



## 1. INTRODUÇÃO

Mediante ao cenário científico das simulações estarem cada vez mais evidentes, este trabalho traduz-se na investigação dos compostos Sila-adamantano ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ ) e Germa-adamantano ( $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  e  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ ), estruturas da família dos adamantóides, via modelagem computacional. Os adamantóides são hidrocarbonetos saturados que possuem de forma genérica a fórmula estrutural  $\text{C}_{4n+6}\text{H}_{4n+12}$ , onde  $n$  deve assumir valores inteiros ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) para dar origem às estruturas, como: diamantano, triamantano, tetramantano, etc (GARCIA, 2010).

A molécula de sila-adamantano ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ ) é um composto de estrutura molecular, do tipo gaiola, idêntica à molécula de adamantano ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ), a qual é sua primitiva, uma vez que a molécula  $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$  é um possível nanomaterial advindo de um processo de substituição atômica no qual há uma substituição de todos os átomos de carbono (C), por átomos de silício (Si), devido ambos possuírem características semelhantes e, o silício ser um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre (27,7%), perdendo apenas para o oxigênio (46,6%) (CARRON, 2002). Enquanto que a molécula de germa-adamantano se diferencia dos demais adamantóides por possuir dopagens de Germânio alterando suas propriedades conforme o número de substituições de átomos de Carbono.

Estruturas moleculares, como a da molécula de sila-adamantano e germa-adamantano, podem ser estudadas à ótica da Física Atômica e Molecular, que é o ramo da Física que explica as estruturas moleculares, as ligações químicas e as propriedades físicas que as moléculas apresentam. Ela tem como objetivo básico o estudo das leis fundamentais da Física que regem o comportamento da matéria no nível molecular e suas interações com agentes externos, como interações com campo eletromagnético, ou pressão hidrostática.

Sabemos que dois ou mais átomos (iguais ou diferentes) podem se combinar através de ligações químicas para formarem moléculas estáveis, que se caracterizam como sistemas físicos multi particulares em escala atômica, e que necessitam de um tratamento puramente quântico, uma vez que queremos calcular suas propriedades físicas.

Para efetuarmos tais cálculos devemos recorrer à equação de Schrödinger que, entretanto, nesse caso não é uma tarefa fácil de resolvê-la diretamente. Devido a essa dificuldade, as primeiras tentativas de contornar esse problema foram feitas por Thomas e Fermi (THOMAS, 1927; FERMI, 1928), onde ao invés de se trabalhar com  $n$  funções de onda  $\psi$ , passaram a utilizar diretamente a energia como um funcional da densidade eletrônica associada à de um gás homogêneo de elétrons. Tal abordagem abriu caminho para a formulação de um novo método que ficou conhecido como Teoria do Funcional da Densidade (*Density Functional Theory – DFT*), que tem como alicerce os teoremas de Hohenberg e Kohn (HOHENBERG;



KOHN, 1964) e as equações de Kohn e Sham (KOHN; SHAM, 1965) que implicam no surgimento de um termo adicional denominado energia de troca e correlação que é calculado apenas através de algumas aproximações, como por exemplo, a Aproximação da Densidade Local (*Local Density Approximation – LDA*) (PERDEW; WANG, 1992) e a Aproximação do Gradiente Generalizado (*Generalized Gradient Approximation – GGA*) (PERDEW *et al.*, 1996).

O advento da DFT possibilitou o desenvolvimento do estudo de nanoestruturas que possuem grandes aplicações tecnológicas. Neste trabalho, utilizamos a DFT sobre a base das aproximações LDA e GGA por meio do código DMol3 presente no software *Material Studio*, para investigarmos as propriedades estruturais, eletrônicas, ópticas e termodinâmicas da molécula de sila-adamantano e germa-adamantano levando em consideração a otimização de sua geometria para o melhor desempenho no estudo das suas propriedades.

## 2. METODOLOGIA

Para realizar as simulações foi utilizado o programa *Materials Studio*, que possui em sua interface vários pacotes de programas. Os pacotes utilizados foram o Forcite Plus e o DMol3. O BIOVIA *Materials Studio Forcite* é uma ferramenta avançada das equações de movimento, que permite apurações rápidas e confiáveis dentro do limite clássico, de energia e otimização de geometria (DATASHEET, 2014).

Ao levar as estruturas (Adamantano e Adamantóides) ao seu mínimo local de energia, com um arranjo estrutural mais estável, via *Forcite*, iniciou-se as simulações no *Materials Studio DMol3*, uma ferramenta de modelagem que usa a DFT para simular processos químicos e prever propriedades de materiais de maneira rápida e precisa (DATASHEET, 2016).

Após as otimizações, foram investigadas as propriedades ópticas, eletrônicas e termodinâmicas previstas nesse trabalho. Ao inquirir as propriedades, foi levado em consideração aproximações de potenciais de troca e correlação: LDA (Aproximação da Densidade Local), GGA (Aproximação do Gradiente Generalizado) e o B3LYP. As parametrizações escolhidas foram PWC para o LDA, e HCTH para o GGA. LDA é geralmente utilizada em sistemas com baixa variação de cargas na(s) molécula(s) o que remete ao comportamento de um gás uniforme. Nessas condições eletrônicas a energia de troca-correlação total pode ser dada por:

$$E_{XC}^{LDA}[\rho(\mathbf{r})] = \int \rho(\mathbf{r}) \varepsilon_{XC}[\rho(\mathbf{r})] d\mathbf{r}, \quad (1)$$

onde  $\varepsilon_{XC}[\rho(\mathbf{r})]$  é a energia de troca-correlação de um gás eletrônico homogêneo de densidade  $\rho(\mathbf{r})$  igual a um gás não homogêneo. Na condição homogênea podemos separar o termo de troca-correlação em duas partes (facilitando o tratamento





numérico), assim podemos dizer que:

$$\varepsilon_{XC}[\rho(\mathbf{r})] = \varepsilon_X[\rho(\mathbf{r})] + \varepsilon_C[\rho(\mathbf{r})]. \quad (2)$$

Com a necessidade de corrigir os erros da não localidade ou não homogeneidade da densidade eletrônica, introduziu-se correções a partir da densidade dos gradientes eletrônicos. No início, com a introdução dos gradientes, os cálculos ficaram mais complexos e no geral, essa complexidade não implicou em resultados mais precisos que os encontrados pelo funcional LDA, até que com testes de expansões de  $\rho(\mathbf{r})$  e  $\nabla\rho(\mathbf{r})$  foi possível gerar o funcional GGA. O Funcional GGA é bastante preciso, mas assim como o LDA, possui as suas limitações, falhando em relação a cálculos de forças fracas como por exemplo interações de van der Waals.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Propriedades Estruturais

- **Molécula de Sila-adamantano ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ )**

As posições atômicas da estrutura molecular  $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$  (sila-adamantano) foram extraídas a partir de dados experimentais fornecidos por Bagrii (1989). Essa estrutura molecular está representada na Figura 1.

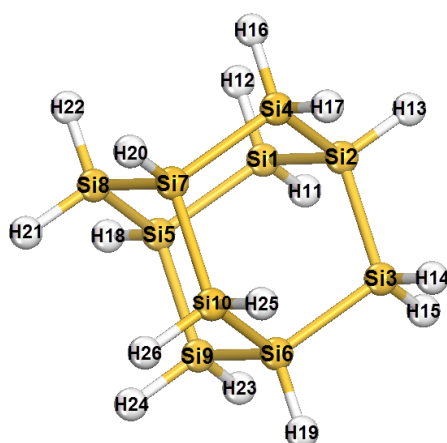


Figura 1 – Estrutura da molécula de Sila-adamantano ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ )  
Fonte: Autoria própria (2021)

Os comprimentos de ligação calculados para a molécula de sila-adamantano que também foram obtidos com uso de dois funcionais de troca e correlação: LDA-PWC e GGA-HCTH, cujos resultados são comparados na Tabela 1. No caso da molécula sila-adamantano ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ ), o comprimento da ligação silício-silício experimental é  $\sim 2,36 \text{ \AA}$ , os comprimentos de ligação encontrados experimentalmente são maiores até cerca de 1,48%, em comparação com os valores LDA-PWC, e para a aproximação GGA-HCTH estimou-se um melhor acordo com os dados experimentais, com diferença de apenas 0,21% e, para os comprimentos de li-

gação silício-hidrogênio apresentados, os resultados são semelhantes aos obtidos por Ramachandran e Manogaran (2006) ( $\sim 1,49 \text{ \AA}$ ) usando outros funcionais. Os ângulos de ligação calculados para sila-adamantano são mostrados na Tabela 2. Para o sila-adamantano, os ângulos Si-Si-H são  $\sim 109,6^\circ$  ( $\sim 109,6^\circ$ ) e H-Si-H (de  $\text{SiH}_2$ ) são  $\sim 108,0^\circ$  ( $\sim 107,8^\circ$ ) utilizando o funcional de troca-correlação LDA-PWC (GGA-HCTH).

Distâncias (em $\text{\AA}$ )	LDA	GGA
Si1 - Si2	2.325	2.356
Si1 - Si5	2.325	2.356
Si2 - Si3	2.325	2.356
Si2 - Si4	2.325	2.355
Si3 - Si6	2.325	2.356
Si4 - Si7	2.325	2.356
Si5 - Si8	2.325	2.357
Si5 - Si9	2.325	2.356
Si6 - Si9	2.325	2.356
Si6 - Si10	2.325	2.356
Si7 - Si8	2.325	2.356
Si7 - Si10	2.325	2.356
Si1 - H11	1.499	1.495
Si1 - H12	1.494	1.494
Si2 - H13	1.502	1.497
Si3 - H14	1.499	1.495
Si3 - H15	1.499	1.495
Si4 - H16	1.499	1.495
Si4 - H17	1.499	1.495
Si5 - H18	1.502	1.498
Si6 - H19	1.502	1.497
Si7 - H20	1.502	1.498
Si8 - H21	1.499	1.494
Si8 - H22	1.499	1.495
Si9 - H23	1.499	1.495
Si9 - H24	1.499	1.494
Si10 - H25	1.499	1.495
Si10 - H26	1.499	1.495

Tabela 1 – Comprimentos de ligação da molécula de sila-adamantano. Os resultados de LDA e GGA são mostrados para comparação.  
Fonte: Autoria própria (2021)

Ângulos (em graus)	LDA	GGA
Si1-Si2-Si3	109.391	109.618
Si1-Si2-Si4	109.225	109.272
Si1-Si5-Si8	109.380	109.127
Si1-Si5-Si9	109.226	109.295
Si2-Si3-Si6	109.695	109.635
Si2-Si4-Si7	109.772	109.390
Si2-Si1-Si5	109.807	109.876
Si3-Si2-Si4	109.308	109.327
Si3-Si6-Si10	109.296	108.907
Si3-Si6-Si9	109.365	109.670
Si4-Si7-Si8	109.390	109.617
Si4-Si7-Si10	109.291	109.493
Si5-Si9-Si6	109.785	109.566
Si5-Si8-Si7	109.717	109.749
Si6-Si10-Si7	109.807	109.693
Si8-Si5-Si9	109.348	109.459
Si8-Si7-Si10	109.284	109.147
Si9-Si6-Si10	109.317	109.635

Tabela 2 – Ângulos de ligação da molécula sila-adamantano. Os resultados de LDA e GGA são mostrados para comparação.

Fonte: Autoria própria (2021)

## • Moléculas de Germa-adamantano

A gaiola de adamantano possui dois tipos de Carbono, um que chamaremos de C(1) e outro que chamaremos de C(2), o átomo de Carbono do tipo C(1) está ligado a três átomos de Carbono do tipo C(2) e a um átomo de Hidrogênio, enquanto o átomo de Carbono do tipo C(2) está ligado a dois átomos de Carbono do tipo C(1) e a dois átomos de Hidrogênio (H). Para o  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  seguimos a mesma orientação com exceção de um Germânio ligado a três Carbonos do tipo C(2), já no  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  temos dois tipos de Germânio que nomeamos como Ge(1) e Ge(2), de modo que o Ge(1) se encontra ligado a dois átomos de Ge(2) e os átomos de Ge(2) podem encontrar-se ligados ao Ge(1) e em um único caso a um C(2), (Figura 2).

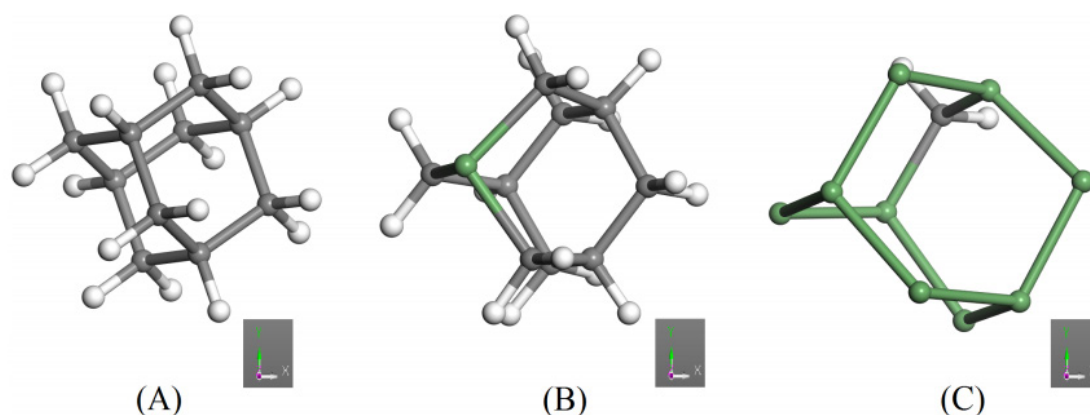


Figura 2 – Estruturas moleculares: (A) Adamantano ( $C_{10}H_{16}$ ); (B) primeira proposta de Germa-adamantano ( $Ge_1C_9H_{15}$ ); segunda proposta de Germa-adamantano ( $Ge_9C_1H_2$ ). Numeração omitida dos átomos em suas ligações.

Fonte: Autoria própria (2021)

A Tabela 3 mostra os comprimentos de ligações entre os átomos de Carbono-Carbono (C-C) e Carbono-Germânio (C-Ge). Como esperado, os comprimentos são os mesmos para cada funcional, mas com as dopagens houveram pequenas deformidades nos comprimentos de ligações. Fazendo um comparativo entre essas moléculas vemos que a molécula  $Ge_9C_1H_2$  teve maior alteração nos seus comprimentos de ligações, isso pode ser justificado pela quantidade de Germânio introduzido. Vale ressaltar que, as ligações Carbono-Hidrogênio (C-H) não foram mostradas em nenhuma das tabelas porque elas estão presentes para fechar a camada de valência e manter a estrutura estável, além disso, suas distâncias não se alteraram nas referidas ligações C(1)-H e C(2)-H.

$C_{10}H_{16}$				$Ge_1C_9H_{15}$				$Ge_9C_1H_2$			
LIGAÇÃO	LDA	GGA	B3LYP	LIGAÇÃO	LDA	GGA	B3LYP	LIGAÇÃO	LDA	GGA	B3LYP
C1-C5	1,514	1,531	1,540	C1-C5	1,513	1,536	1,542	Ge1-C5	1,971	1,970	2,488
C1-C2	1,514	1,531	1,540	C1-C6	1,513	1,536	1,545	Ge1-Ge6	2,433	2,458	2,500
C2-C4	1,514	1,531	1,541	C1-C7	1,511	1,534	1,549	Ge1-Ge7	2,433	2,458	2,376
C2-C3	1,514	1,531	1,536	C2-C5	1,513	1,536	1,542	Ge2-C5	1,971	1,970	2,497
C3-C6	1,514	1,531	1,540	C2-C8	1,513	1,536	1,543	Ge2-Ge8	2,433	2,458	2,514
C4-C7	1,514	1,531	1,540	C2-C9	1,511	1,534	1,553	Ge2-Ge9	2,433	2,458	1,996
C5-C8	1,514	1,531	1,541	C3-C6	1,513	1,536	1,544	Ge3-Ge6	2,466	2,455	2,511
C5-C9	1,514	1,531	1,535	C3-C8	1,513	1,536	1,543	Ge3-Ge8	2,466	2,455	2,464
C6-C9	1,514	1,531	1,540	C3-C10	1,511	1,534	1,548	Ge3-Ge10	2,571	2,571	2,380
C6-C10	1,514	1,531	1,541	Ge4-C7	2,002	2,038	1,970	Ge4-Ge7	2,466	2,455	2,475
C7-C8	1,514	1,531	1,540	Ge4-C9	2,002	2,038	1,970	Ge4-Ge9	2,466	2,455	1,949
C7-C10	1,514	1,531	1,536	Ge4-C10	2,002	2,038	1,971	Ge4-Ge10	2,571	2,582	2,775

Tabela 3 – Comprimento de ligação, em angstrom (Å), entre os átomos nas estruturas  $C_{10}H_{16}$ ,  $Ge_1C_9H_{15}$  e  $Ge_9C_1H_2$ .

Fonte: Autoria própria (2021)



## 3.2. Propriedades Eletrônicas

### • Molécula de Sila-adamantano ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ )

As Figuras 3 e 4 descrevem a densidade eletrônica de estados (DOS) para a molécula de sila-adamantano dentro das abordagens LDA-PWC e GGA-HCTH para efeito de comparação. Podemos observar a DOS abaixo do nível de Fermi (0.0 eV), que demarca a energia do nível mais alto ocupado no estado fundamental de um sistema de  $N$  elétrons, ou seja, é o último nível ocupado quando começamos a preencher os níveis com elétrons a partir do nível de menor energia. E a DOS acima do nível de Fermi mostra que o primeiro estado desocupado possui menor energia na aproximação LDA em relação a aproximação GGA, importante para a estimativa do *gap* de energia (energia da lacuna proibida), que caracterizará se o material é isolante, semicondutor ou condutor.

A energia da lacuna proibida, que é a diferença de energia dos orbitais HOMO-LUMO, está apresentada na Tabela 4, onde calculamos um menor valor considerando a aproximação LDA (4,6 eV) e um maior valor para a aproximação GGA (5,1 eV), incluindo ainda os valores das energias em Hartree dos orbitais HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) e LUMO (*Lowest Unccupied Molecular Orbital*) em cada aproximação ( $1 \text{ eV} \approx 0.037 \text{ Ha}$ ), caracterizando assim este nanomaterial como um semicondutor de *gap* largo dentro da metodologia que nós empregamos e que coincidiu com resultados estimados na literatura. Isso reforça a aplicabilidade do sila-adamantano como semicondutor melhor ainda do que a molécula de adamantano, que é composta somente por átomos de Carbono e apresenta um *gap* de energia da ordem de 7 eV. O orbital HOMO está associado à capacidade de uma molécula para doar elétrons, enquanto que o orbital LUMO indica sua capacidade de aceitar elétrons, isto é, maior orbital molecular ocupado – HOMO e menor orbital molecular desocupado – LUMO.

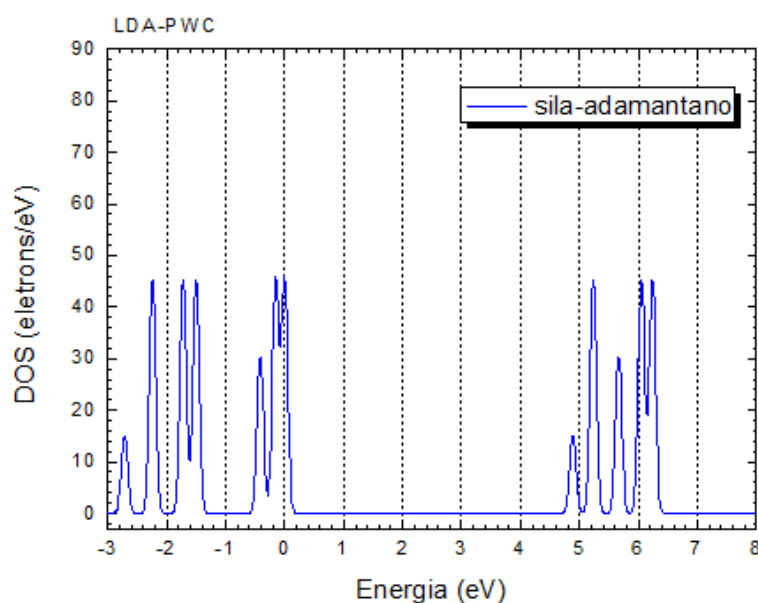


Figura3 – Densidade eletrônica de estados (DOS) calculada dentro da abordagem LDA.  
Fonte: Autoria própria (2021)

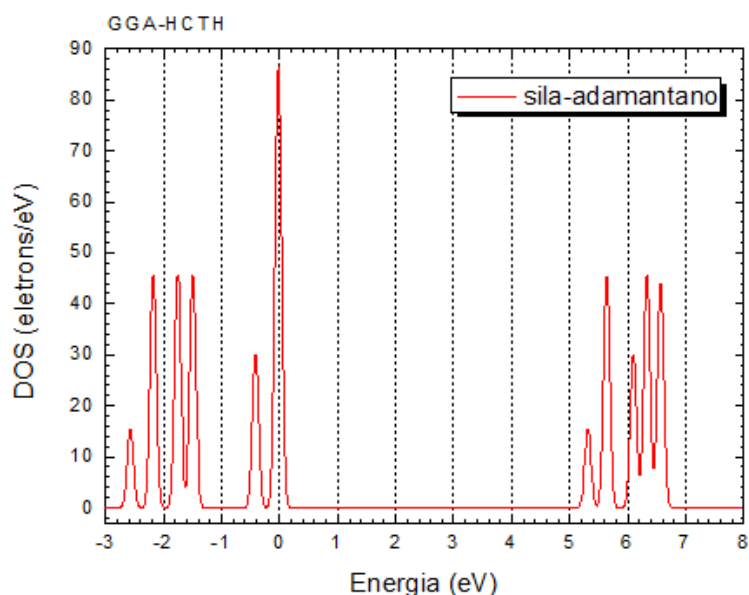


Figura 4 – Densidade eletrônica de estados (DOS) calculada dentro da abordagem GGA.  
Fonte: Autoria própria (2021)

Molécula de Sila-adamantano	GGA	LDA
HOMO (Ha)	-0.258996	-0.253636
LUMO (Ha)	-0.063624	-0.073892
Gap de energia (eV)	5.17	4.62

Tabela 4 – Energias dos orbitais HOMO e LUMO calculadas nas abordagens GGA-HCTH e LDA-PWC.  
Fonte: Autoria própria (2021)

## ● Molécula de Germa-adamantano

Conforme vemos na Tabela 5 os valores dos *gaps* de energia para o Adamantano são de 7,072 e 7,452 eV respectivamente, nas aproximações LDA e GGA. Esses valores são muito próximos de 7,6 eV encontrados por Drummond ao usar o método Monte Carlo quântico (DRUMMOND, 2005). Ainda em conformidade com a literatura, vemos que os *gaps* de energia para  $C_{10}H_{16}$  se aproximam bastante com o valor experimental 6,55 eV previsto em (LANDT, 2009), com uma estimativa de diferença de 7,969 % para LDA e 13,770 % para a aproximação GGA.

	LDA			GGA			B3LYP		
	$C_{10}H_{16}$	$Ge_1C_9H_{15}$	$Ge_9C_1H_2$	$C_{10}H_{16}$	$Ge_1C_9H_{15}$	$Ge_9C_1H_2$	$C_{10}H_{16}$	$Ge_1C_9H_{15}$	$Ge_9C_1H_2$
LUMO	0,567 eV	-3,394 eV	-3,205 eV	0,820 eV	-3,576 eV	-4,139 eV	1,532 eV	-2,429 eV	-3,023 eV
HOMO	-6,505 eV	-4,255 eV	-4,541 eV	-6,632 eV	-4,509 eV	-4,352 eV	-7,473 eV	-5,031 eV	-4,988 eV
<i>gaps</i>	7,072 eV	0,861 eV	1,336 eV	7,452 eV	0,933 eV	0,213 eV	9,005 eV	2,602 eV	1,965 eV

Tabela 5 – Comparativo entre as energias dos orbitais HOMO e LUMO, seu gap de energia (eV), conforme os funcionais LDA, GGA e B3LYP no DMol3.

Fonte: Autoria própria (2021)

Não temos comparativos experimentais para as estruturas dopadas (a final



são propostas), mas sabemos que a energia do HOMO representa a capacidade de doar elétrons de um composto, enquanto o LUMO mede a capacidade de aceitar elétrons e a diferença LUMO-HOMO nos permite determinar a estabilidade molecular (BAHL, 2010) e portanto, com os dados acima, podemos ver que dos três compostos estudados a molécula  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  possui a menor estabilidade tanto no ponto de vista do funcional LDA/PWC e GGA/HCTH quanto no B3LYP. Outra consequência das dopagens são os níveis de energia, a medida que introduzimos Germânio os *gaps* foram diminuindo tornando as estruturas dopadas semicondutoras.

### 3.3. Propriedades Ópticas

- **Molécula de Sila-adamantano ( $\text{Si}_{10}\text{H}_{16}$ )**

Na Figura 5 indicamos o espectro de absorção óptica da molécula de sila-adamantano, constatando que ocorre absorção na faixa de ultravioleta (UV) entre aproximadamente 216 e 228 nm, região de UVC e ultravioleta médio (MUV). Constituído-se desta forma, um nanomaterial com aplicações que possam evitar até mesmo danos biológicos crônicos como alterações degenerativas nas células, tecidos e vasos sanguíneos, evitando efeitos como câncer e catarata, a partir de compostos que funcionem como protetores solares, tecidos etc., além de ser aplicado, obviamente, na indústria nanoeletrônica como material semicondutor.

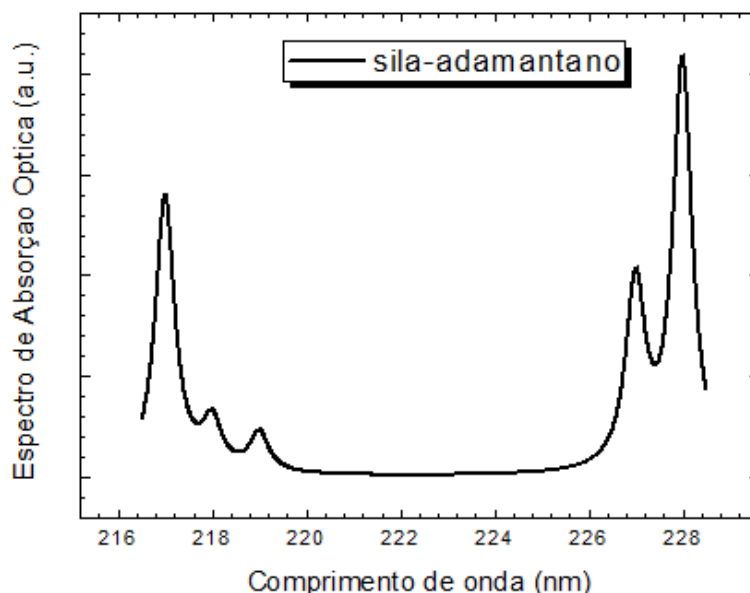


Figura 5 – Espectro de absorção óptica.  
Fonte: Autoria própria (2020)

## • Molécula de Germa-adamantano

Conforme mostra a Figura 6, as moléculas  $C_{10}H_{16}$  e  $Ge_1C_9H_{15}$  possuem um comportamento espectral mais acentuado entre as fronteiras do ultravioleta (UV) e do visível, mas também podemos notar que a estrutura com uma dopagem possui uma contribuição dentro do espectro visível apresentando um pequeno pico de intensidade na faixa de 475 nm. Essa contribuição foi resultado da introdução de Germânio, o que pôde ser confirmada pela estrutura  $Ge_9C_1H_2$  visto que com nove dopagens seu comportamento espectral nos mostrou estar na faixa do visível com maior absorção próximo a 600 nm.

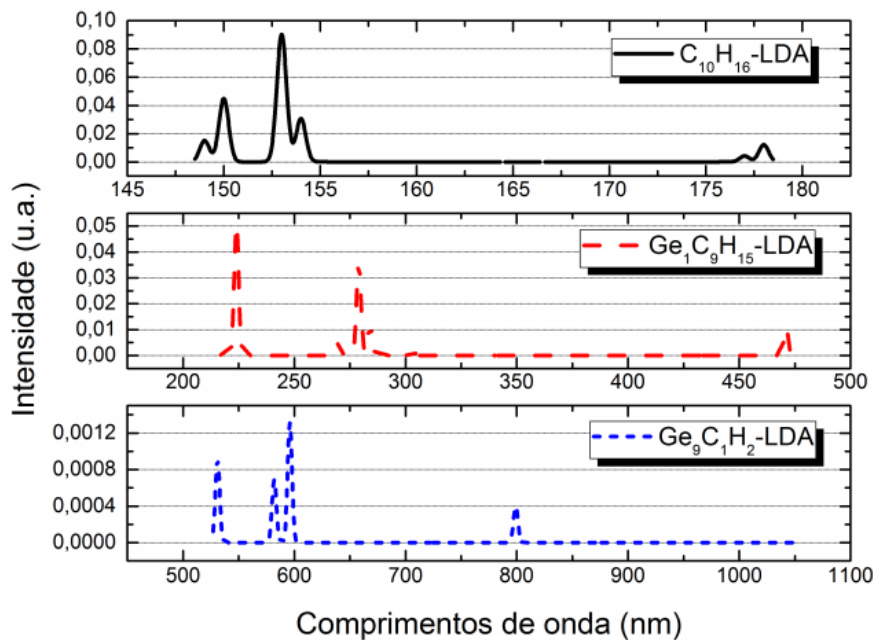


Figura 6 – Espectros de Absorção Óptica em função do comprimento de onda (nm) para a molécula de Adamantano ( $C_{10}H_{16}$ ) e Germa-adamantanos:  $Ge_1C_9H_{15}$  e  $Ge_9C_1H_2$  utilizando o funcional LDA/PWC  
Fonte: Autoria própria (2021)

## 3.4. Propriedades Termodinâmicas

Na Figura 7(a) temos a entalpia para a molécula de Adamantano e para as moléculas de Germa-adamantano, das quais obtivemos usando os funcionais LDA e B3PYP, para comparação. As entalpias nos mostram que os resultados individuais para cada molécula nos funcionais LDA e B3LYP estão próximos um do outro, isso para as moléculas de  $C_{10}H_{16}$  e  $Ge_1C_9H_{15}$ , representadas respectivamente pelos valores "cheios e vazios" de quadrados e círculos, enquanto que a molécula  $Ge_9C_1H_2$  os resultados foram quase os mesmos. Observando os resultados como um todo, temos que a energia de entalpia para as moléculas  $C_{10}H_{16}$  e  $Ge_1C_9H_{15}$  estão respectivamente com 140 kcal/mol e 120 kcal/mol de diferença de entalpia com relação a  $Ge_9C_1H_2$  que possui aproximadamente  $H = 20$  kcal/mol, o que indica que a proposta  $Ge_9C_1H_2$  perdeu uma considerável estabilidade estrutural se comparada à molécula original. Vale ressaltar que esses valores de  $H$ , são para temperaturas  $T$  próximas de zero, mas à medida que a mesma aumenta,  $H$  também aumenta de



forma aproximadamente linear para  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ , mas para as outras duas, entre  $T = 200 \text{ K}$  e  $T = 600 \text{ K}$  temos um comportamento não linear.

Conforme a Figura 7(b), temos os resultados termodinâmicos correspondentes à entropia da molécula de Adamantano e das moléculas de Germa-adamantano calculadas a partir dos funcionais LDA e B3LYP. Ao traçar os resultados, obtivemos valores próximos para as moléculas de  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$  e  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$ , e um comportamento diferente para a molécula de  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ . A diferença indica que quanto maior o número de dopagens de Germânio no Adamantano, maior a entropia à medida que a temperatura aumenta. Conforme os gráficos, temos um comportamento aproximadamente linear para as moléculas  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$  e  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$ , e um comportamento não linear para a  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ , com a curva entrópica mais acentuada entre as proximidades de  $0 \text{ K}$  e  $298,15 \text{ K}$ , mas vemos que ela apresenta um comportamento mais linear após a temperatura ambiente.

Conforme os resultados de  $H$  e  $S$ , obtivemos a Energia Livre (Figura 7c) e, como apresentado, as moléculas  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$  e  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$ , independente do funcional, não expuseram espontaneidade para temperaturas até  $1000 \text{ K}$ , enquanto a molécula de  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  expôs espontaneidade antes mesmo de atingir a temperatura ambiente. Fisicamente, isso significa que em contraste com as outras estruturas, a molécula  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  libera energia com facilidade e as ligações moleculares ocorrem naturalmente em temperatura ambiente, o que pode ser justificado pelo número de dopagens de Germânio.

Por tratarmos de sistemas moleculares utilizamos a capacidade térmica a pressão constante  $C_p$  que nos deu taxas da variação de entalpia por unidade de temperatura em processos isobáricos. A Figura 7(d) mostra o comportamento  $C_p$  das moléculas estudadas, em que, independente do funcional, as moléculas  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$  e  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  possuem a capacidade  $C_p$  muito próximas, com uma pequena diferença entre  $120 \text{ K}$  e  $400 \text{ K}$ . Uma outra característica dessas curvas é que possuem uma taxa de crescimento não linear nas proximidades de  $0 \text{ K}$  até  $440 \text{ K}$ , e após isso, apresentam uma taxa de crescimento aproximadamente linear na capacidade térmica  $C_p$  em função do aumento da temperatura  $T$ . Já a molécula  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  apresentou uma taxa acentuada nas proximidade de  $0 \text{ K}$  até as proximidades de  $100 \text{ K}$ , após isso, temos um aumento na capacidade térmica  $C_p$  muito pequena apesar da taxa crescente de temperatura  $T$ .



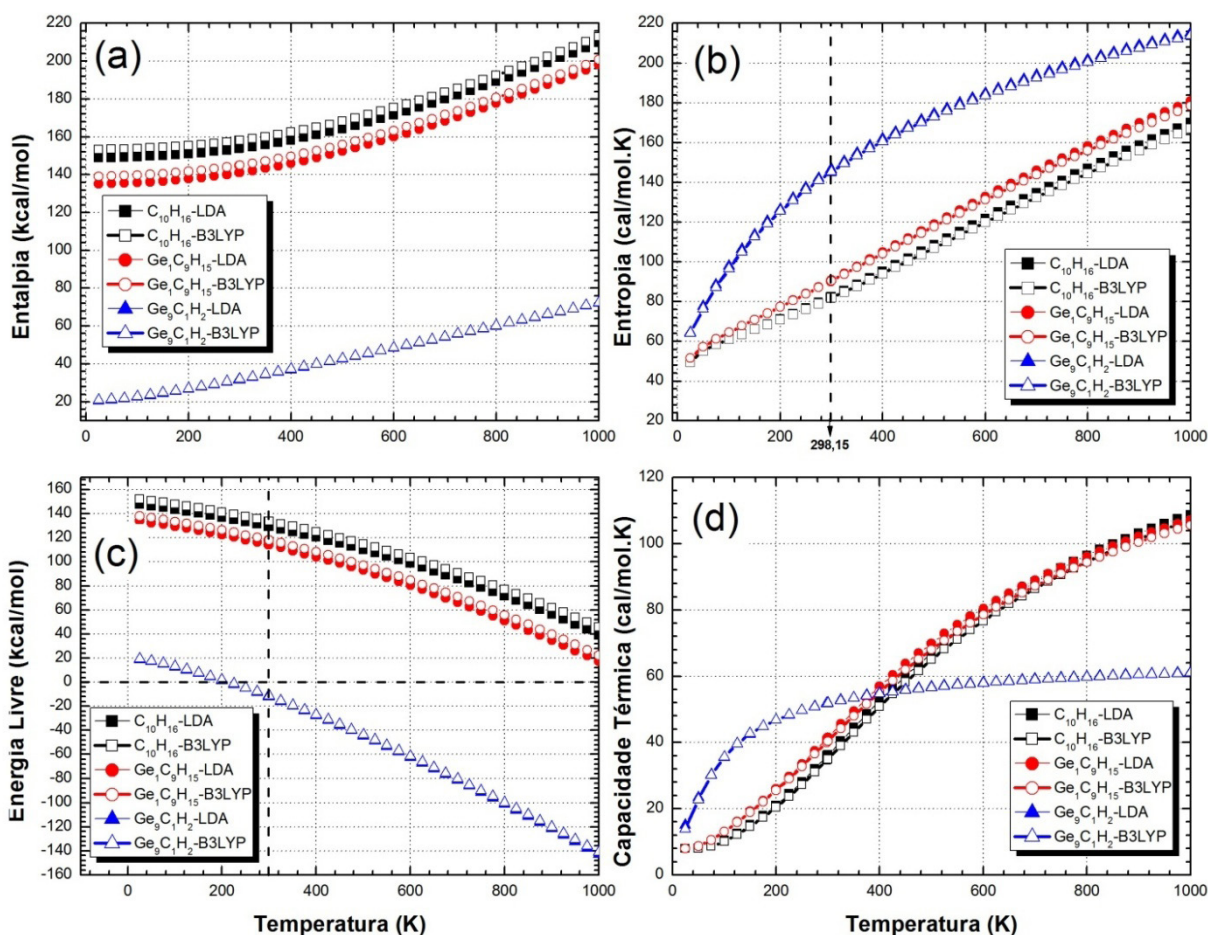


Figura 7 – Potenciais termodinâmicos: (a) Entalpia; (b) Entropia; (c) Energia Livre e (d) Capacidade térmica ( $C_p$ ) da molécula de adamantano- $C_{10}H_{16}$  (quadrados em preto “cheios e vazios”) e das duas mléculas de Germa-adamantano-  $Ge_1C_9H_{15}$  e  $Ge_9C_1H_2$  (círculos em vermelho “cheios e vazios” e triângulos em azul “cheios e vazios”, respectivamente), a partir das aproximações LDA e B3LYP em função da temperatura. Fonte: Autoria própria (2021)

## 4. CONCLUSÕES

Realizamos cálculos teóricos no domínio da Física Quântica dentro do formalismo da Teoria do Funcional da Densidade – DFT utilizando os potenciais de troca e correlação LDA-PWC e GGA-HCTH para as molécula de sila-adamantano e germa-adamantano. A estrutura geométrica do sila-adamantano foi otimizada com respeito a energia até a obtenção de um mínimo em energia. A estrutura final obtida foi comparada com os resultados obtidos experimentalmente, onde se obteve um bom acordo entre os resultados teóricos e experimentais para a estrutura molecular, propriedades eletrônicas e ópticas. A diferença HOMO-LUMO relacionada à molécula de sila-adamantano está prevista para  $\sim 5,0$  eV (Tabela 4), caracterizando-a como material semiconductor de *gap* largo (praticamente um isolante), propicio a aplicações na nanotecnologia, além de apresentar absorção óptica na região de radiação UV, permitindo aplicações também no ramo da nanobiotecnologia.

Para a molécula de germa-adamantano foram escolhidas as estruturas  $Ge_1C_9H_{15}$  e  $Ge_9C_1H_2$  por apresentarem maior estabilidade estrutural. Propostas as estruturas,



podemos comparar suas propriedades com a molécula de Adamantano. Os dados de otimização mostraram que no estado fundamental a molécula  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  apresentou maior estabilidade que a molécula  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ , pois os resultados estruturais indicaram que não houveram grandes deformações nos comprimentos de ligações, o que indica ter preservado a geometria inicial. Conforme as otimizações, o passo seguinte consistiu em verificar as propriedades eletrônicas, mostrando que conforme o número de dopagens de Germânio no Adamantano, as estruturas dopadas se tornam semicondutoras, visto que independente do funcional os *gaps* de energia foram na ordem de 1 eV, ver Tabela 5. Outro efeito relevante das transições eletrônicas puderam ser vistas nas propriedades ópticas, essas mostraram que podemos calibrar a absorção óptica da molécula de Adamantano por meio das dopagens de Germânio, o que ficou evidente com os resultados ópticos (Figura 6). No que se refere aos resultados termodinâmicos, a estrutura que recebeu uma única dopagem apresentou valores de entalpia  $H$  maiores do que a que recebeu nove substituições e isso entrou em concordância com os resultados da entropia  $S$ , pois segundo a Figura 7b a molécula de  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  obteve menor entropia que a molécula de  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ . Ainda sobre os resultados termodinâmicos, podemos salientar os resultados para a energia livre de Gibbs, que nos permitem dizer que a estrutura  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$  pode ser produzida em temperatura ambiente, algo que é de suma importância para manipulação experimental.

Tais resultados nos levam a concluir que a molécula  $\text{Ge}_1\text{C}_9\text{H}_{15}$  possui um número maior de aplicações possíveis, pois ela carrega características muito semelhantes a do composto Adamantano. Mas, isso não desqualifica a molécula  $\text{Ge}_9\text{C}_1\text{H}_2$ , pelo contrário, isso significa que temos uma estrutura nova com propriedades interessantes a nível de aplicações, como o resultado da capacidade térmica ( $C_p$ ) que nos mostrou que mesmo com o aumento da temperatura, após 200 K,  $C_p$  não teve grandes alterações, mostrando que isolantes térmicos podem ser construídos com base nessa estrutura.

Em âmbitos gerais esses resultados computacionais nos permitem ter uma ideia do comportamento das moléculas estudadas, o que nos poupa tempo e custos financeiros para um trabalho experimental, visto que este nos deu dados com valores e margens de erros aceitáveis por serem coerentes com a literatura disponível acerca da molécula de Adamantano ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ).



## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA, pelo suporte financeiro através do projeto Universal – 01108/19. O Prof. David Lima Azevedo agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT pelo suporte financeiro através do projeto PRONEX CNPq/FAPEMAT – 850109/2009, à Fundação de Apoio a Pesquisa do Distrito Federal – FAP/DF, Edital 04/2017, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Edital 12/2017-PQ).

## Referências

- BAGRII, E.I. Adamantanes: Synthesis, Properties, Applications (In Russian), Nauka, Moscow, 1989.
- BAHL, A.; BAHL, B. S.; TULI, G. D. Essentials of Physical Chemistry. [S.l.]: Multicolour, 2010. 1144 p. 16.
- BARONI, S.; GIRONCOLI, S. de; CORSO, A. D. Phonons and related properties of extended systems from density-functional perturbation theory. INFM, v. 1, n. 4, p. 52, 2018. 9
- CAPELLE, K. A Birds-Eye View of Density-Functional Theory. Journal of Physics, v. 36, n. 4, p. 1318–1543, 2006. 9
- CARRON, W., GUIMARÃES O. As faces da física: volume único. São Paulo: Moderna, 2002.
- CEPERLEY, D. M., ALDER, B. J. 1980. Ground State of the Electron Gas by a Stochastic Method. Physical Review Letters, 45, 566-569.
- DATASHEET. Biovia Materials Studios Dmol3. 2016. Disponível em: < <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/BIOVIA/PDF/biovia-material-studio-dmol3.pdf>>. Acesso em: 02 fev 2020.
- DATASHEET. Biovia Materials Studios Forcite. 2014. Disponível em: < [https://www.gga.asia/upload/pdf/479/forcite-plus\\_20170927140523.pdf](https://www.gga.asia/upload/pdf/479/forcite-plus_20170927140523.pdf)>. Acesso em: 02 fev 2020.
- DELLEY, B. 2000. From molecules to solids with the DMol 3 approach. The Journal of Chemical Physics, 113, 7756-7764.
- DINIZ, E. M. Estudo por primeiros princípios de nanofios e aglomerados metálicos encapsulados por nanotubos de carbono. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
- DRUMMOND, N. D.; WILLIAMSON, A. J.; NEEDS, R. J.; G., G. Physical Review Letters, p. 95, 2005.
- DUARTE, H. A. ÍNDICES DE REATIVIDADE QUÍMICA A PARTIR DA TEORIA DO FUNCIONAL DE DENSIDADE: FORMALISMO E PERSPECTIVAS. Química Nova, v. 24, n. 4, p. 501–508, 2001. ISSN 501-508. 8 GARCIA, J. C. Propriedades Físicas de Diamantóides. 4–8 p. Tese (Doutorado) — Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.
- FERMI, E. 1928. Eine statistische Methode zur Bestimmung einiger Eigenschaften des Atoms und ihre Anwendung auf die Theorie des periodischen Systems der Elemente. Zeitschrift für Physik, 48, 73-79.
- FISCHER, J., BAUMGARTNER, J., MARSCHNER, C. 2005. Synthesis and Structure of Sila-Adamantane. Science, 310, 825.
- GRIFFITHS, D. J. Mecânica Quântica. 2. ed. Rio de Janeiro: Pearson, 2011. 128-129 p. 8.
- HAMPRECHT, F. A., COHEN, A. J., TOZER, D. J., HANDY, N. C. 1998. Development and assessment of new exchange-correlation functionals. The Journal of Chemical Physics, 109, 6264-6271.



- HOHENBERG, P., KOHN, W. 1964. Inhomogeneous Electron Gas. *Physical Review*, 136, B864-871.
- KOHN, W., SHAM, L. J. 1965. Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects. *Physical Review*, 140, A1133-A1138.
- MIRANDA, W. D. S. A., COUTINHO, S. S., TAVARES, M. S., MOREIRA, E., AZEVEDO, D. L. 2016. Ab initio vibrational and thermodynamic properties of adamantane, sila-adamantane (Si<sub>10</sub>H<sub>16</sub>), and C<sub>9</sub>Si<sub>1</sub>H<sub>16</sub> isomers. *Journal of Molecular Structure*, 1122, 299-308.
- PERDEW, J. P., BURKE, K., ERNZERHOF, M. 1996. Generalized Gradient Approximation Made Simple. *Physical Review Letters*, 77, 3865-3868.
- PERDEW, J. P., WANG, Y. 1992. Accurate and simple analytic representation of the electron-gas correlation energy. *Physical Review B*, 45, 13244-13249.
- RAMACHANDRAN, G., MANOGARAN, S. 2006. Vibrational spectra of adamantanes X<sub>10</sub>H<sub>16</sub> and diamantanes X<sub>14</sub>H<sub>20</sub> (X = C, Si, Ge, Sn): A theoretical study. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 766, 125-135.
- THOMAS, L. H. 1927. The calculation of atomic fields. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 23, 542-548.



# CAPÍTULO 5

## **SISTEMA ELETRÔNICO PARA CONDICIONAMENTO DE SINAIS DE CÉLULAS DE CARGA**

ELECTRONIC SYSTEM FOR CONDITIONING LOAD CELLS SIGNALS

**Diego Luiz de Oliveira Batista**

**Ricardo Gouveia Teodoro**

**Aurasil Ferreira Garcia Junior**

## Resumo

**E**m medições de grandezas físicas é comum se utilizar transdutores e sensores, onde os sinais elétricos são direcionados para sistemas de aquisição de dados e posterior análise computacional. Mas para que o sinal analógico proveniente do transdutor seja corretamente enviado ao sistema de aquisição de dados, é necessário o desenvolvimento de um circuito para realizar a conexão entre o transdutor e o sistema em questão. Tal procedimento é conhecido como condicionamento de sinais. O presente trabalho apresenta um circuito para calibração e obtenção dos sinais de células de carga, sendo tais sinais direcionados para o sistema de aquisição de dados USB-6001 para posterior análise no software LabVIEW, ambos da National Instruments Corporation. O arranjo de circuito apresentado neste trabalho foi utilizado no processo de calibração e medição de força em dois modelos diferentes de células de carga.

**Palavras-chave:** Calibração de Células de Cargas, Condicionamento de Sinais, Instrumentação Eletrônica, Transdutores, USB-6001.

## Abstract

**I**n measurements of physical magnitude it is common to use transducers and sensors, where the electrical signals are directed to data acquisition systems and later computational analysis. But for the analog signal coming from the transducer to be correctly sent to the data acquisition system, it is necessary to develop a circuit to make the connection between the transducer and the system in question. Such procedure is known as signal conditioning. The present work presents a circuit for calibrating and obtaining the load cell signals, which signals are directed to the USB-6001 data acquisition system for further analysis in the LabVIEW software, both from the National Instruments Corporation. The circuit arrangement presented in this work was used in the calibration and force measurement process in two different load cell models.

**Keywords:** Load Cell Calibration, Signal Conditioning, Electronic Instrumentation, Transducers, USB-6001.



# 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico, pode-se medir diversas grandezas físicas por meio de transdutores. Transdutores são dispositivos que podem alterar uma forma de energia em outra (DUNN, 2006). Para um transdutor funcionar adequadamente, é necessário dimensionar um circuito de condicionamento de sinais. O condicionamento de sinais refere-se a modificações ou alterações necessárias para corrigir variações nas características de entrada/saída de um transdutor (DUNN, 2016), como amplificação e filtragem do sinal.

As células de carga são componentes que empregam extensômetros fixados na superfície de uma peça (DOEBELIN; MANIK, 2007). A mudança de resistência em um elemento de célula de carga é proporcional ao grau de deformação elástica do componente estrutural do material no qual o extensômetro está fixado (DUNN, 2016). A variação da tensão elétrica obtida na saída de uma célula de carga é muito baixa, sendo importante o uso de amplificadores operacionais para elevar o nível de tensão e, assim, garantir o maior uso possível da faixa de operação previamente configurada do conversor ADC (Analog to Digital Converter) (DOEBELIN; MANIK, 2007). Por se tratar de um sinal DC (Direct Current) de baixa intensidade, tipicamente se utiliza amplificadores de instrumentação para aumentar sua amplitude (DUNN, 2016). Um amplificador de instrumentação pode fornecer um alto ganho de tensão, uma alta razão de rejeição em modo comum (CMRR - Common Mode Rejection Ratio), offsets de entrada baixos e uma impedância de entrada alta (MALVINO; BATES, 2016).

No presente trabalho, optou-se por utilizar o amplificador de instrumentação AD620. O AD620 é um amplificador de instrumentação de baixo custo e alta precisão que requer apenas um resistor externo, denominado  $R_G$ , para definir ganhos entre 1 e 10.000 (DEVICES, 2011). Além disso, com sua alta precisão de 40 ppm de não linearidade máxima, baixa tensão de offset de entrada de 50  $\mu V$  e CMRR mínimo de 100 dB, é ideal para uso em sistemas de aquisição de dados precisos, como balanças e interfaces de transdutores (DEVICES, 2011).

Sendo o ruído um sinal puramente aleatório, o valor instantâneo e/ou a fase da forma de onda não podem ser previstos em qualquer momento (MANCINI, 2003). Para minimizar seus efeitos no circuito, utilizou-se dois filtros passa baixa. Os filtros são componentes que possuem diversas aplicações dependendo da sua localização no circuito (PADMANABHAN, 2012). Podem ser empregados em conversores ADC como anti-aliasing (MANCINI, 2003), na área de telecomunicações com o objetivo de minimizar frequências indesejáveis (PERTENCE JR, 2015) e na instrumentação eletrônica atenuando ruídos (PADMANABHAN, 2012).





## 2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é apresentar o desenvolvimento de um arranjo eletrônico que promova a calibração de células de carga que irão posteriormente formar um conjunto eletroeletrônico com aplicação em testes de precisão, onde os dados serão adquiridos pelo sistema de aquisição de dados USB-6001 da National Instruments Corporation.

O circuito contará com um estágio formado por uma fonte simétrica responsável pela alimentação dos componentes eletrônicos do circuito e da célula de carga, um amplificador de instrumentação encarregado de aumentar a intensidade do sinal elétrico, filtros para eliminar possíveis sinais de ruídos e um regulador de offset.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do circuito e para testes experimentais para o levantamento de dados, montou-se uma fonte simétrica com duas baterias de  $12\text{ V}$  e reguladores lineares de tensão, LM7805CV e LM7905CV, para obtenção de  $+5\text{ V}$  e  $-5\text{ V}$  na saída. Dois modelos diferentes de células de carga foram testados. O primeiro modelo será aplicado para forças de tração, sendo seu fundo de escala (valor máximo ao qual o sensor/transdutor pode ser submetido) de aproximadamente  $100\text{ N}$  e sensibilidade de saída de  $2\text{ mV/V}$ . O segundo modelo de célula de carga atuará com forças de compressão e possui um fundo de escala de  $500\text{ N}$ , sendo que no presente trabalho utilizou-se de duas células para obter-se um fundo de escala maior, de  $1.000\text{ N}$ . A sensibilidade de saída do segundo modelo que foi submetido às forças de compressão é de  $1\text{ mV/V}$ .

A baixa amplitude do sinal, devido aos esforços propositalmente inseridos nas células de carga, requer a sua amplificação. No presente trabalho utilizou-se o amplificador de instrumentação AD620 alimentado com  $+5\text{ V}$  e  $-5\text{ V}$  com o propósito de se obter uma elevada precisão para sinais DC (ZUMBAHLEN et al., 2011). Como os dois modelos de células foram alimentados com  $+5\text{ V}$  e sabendo-se da sensibilidade de saída de cada célula, com a finalidade de tornar o sistema menos sensível à ruídos e garantir que o sistema não sature, definiu-se um ganho,  $G$ , de  $50$ , a partir da equação (1), para o AD620, com o resistor  $R_G$  igual à, aproximadamente,  $1\text{ k}\Omega$ . Portanto, a tensão máxima de saída no AD620 será de  $0,5\text{ V}$  quando a célula de tração, que possui maior sensibilidade, for submetida ao seu fundo de escala, garantindo que o AD620 não irá atingir a saturação.

$$R_G = \frac{49,4\text{ k}\Omega}{G - 1} \quad (1)$$

Na entrada do amplificador AD620 montou-se um filtro passivo diferencial pas-

sa baixas de primeira ordem especificamente para interferência de rádio frequência (RFI), devido aos amplificadores de instrumentação não possuírem, virtualmente, rejeição em modo comum para sinais acima de  $20\text{ kHz}$  (KITCHIN; COUNTS, 2003). Recomenda-se que o bandwidth (largura de banda) em modo comum do filtro passivo seja inferior à  $10\%$  do bandwidth do amplificador de instrumentação com um ganho unitário (KITCHIN; COUNTS, 2003). Para definir-se os valores dos resistores e capacitores que integram o filtro, utilizou-se as equações (2) e (3), onde  $C_D$  se refere ao capacitor para sinais diferenciais e  $C_C$  se refere ao capacitor para sinais comuns as duas entradas do amplificador. É recomendável que o valor do capacitor  $C_C$  seja, pelo menos, dez vezes maior que o valor do capacitor  $C_D$  (KITCHIN; COUNTS, 2003).

$$FilterFreq_{DIFF} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot (2 \cdot C_D + C_C)} \quad (2)$$

$$FilterFreq_{CM} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C_C} \quad (3)$$

Com a equação (2) configura-se a frequência de corte para sinais diferenciais, sendo o sinal diferencial utilizado para determinar-se a resposta em frequência do filtro. Já com a equação (3), determina-se a frequência de corte para sinais em modo comum, ou seja, para sinais de RFI. No presente trabalho, estipulou-se uma frequência de corte para sinais diferenciais, com base na equação (2), de, aproximadamente,  $2,8\text{ kHz}$ . Para sinais em modo comum, definiu-se uma frequência de corte, a partir da equação (3), de, aproximadamente,  $58,95\text{ kHz}$ , o que está abaixo de  $10\%$  do valor de largura de banda do AD620 com um ganho unitário. Por meio da função de transferência do filtro passivo diferencial, obteve-se o diagrama de Bode mostrado na Figura 1.

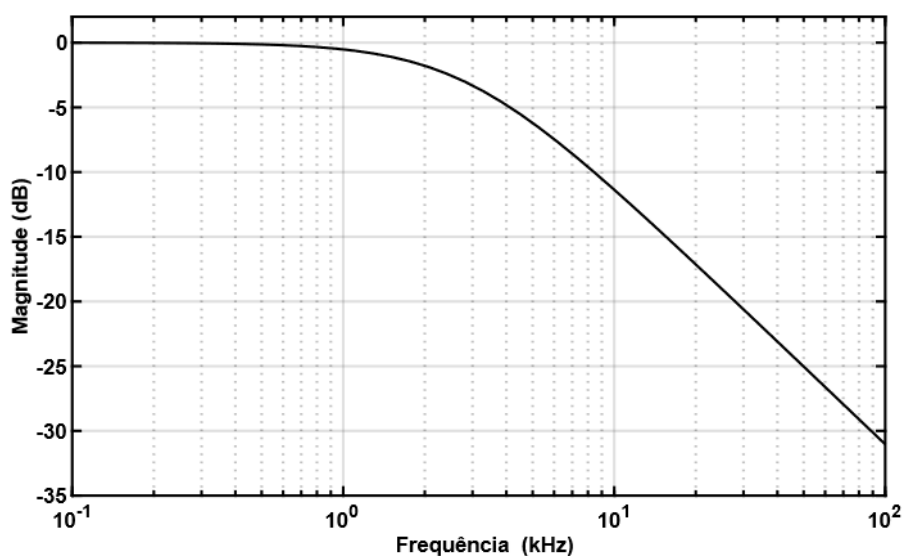


Figura 1 – Resposta em frequência do filtro passivo diferencial passa baixas  
Fonte: Próprios autores

O sinal amplificado na saída do AD620 é direcionado para a entrada de um filtro ativo passa baixas de quarta ordem. Calculou-se os componentes do filtro de forma

a obter-se uma resposta Butterworth que possui, como principais características, um ganho unitário e sem ripple para sinais abaixo da frequência de corte, e uma atenuação de  $80 \text{ dB}$  por década para um filtro de quarta ordem (WEBSTER, 1999). Definiu-se uma frequência de corte de, aproximadamente,  $40 \text{ Hz}$ . Para se determinar os valores dos componentes, como resistores, a partir da frequência de corte de  $40 \text{ Hz}$ , utilizou-se a equação (4) com base no modelo de filtro ativo de segunda ordem mostrado na Figura 2, onde para se obter um filtro de quarta ordem, simplesmente conectou-se dois filtros de segunda ordem em série. Na equação (4),  $a_i$  e  $b_i$ , são valores tabelados conforme o tipo de resposta que se deseja no filtro ativo e  $f_c$  é a frequência de corte.  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_1$  e  $R_2$  na equação (4), são os capacitores e resistores mostrados na Figura 2. Ressalta-se que, no presente trabalho, todas as casas decimais da função  $\pi$  da calculadora foram consideradas nos cálculos na equação (4).

$$R_{1,2} = \frac{a_i \cdot C_2 \mp \sqrt{a_i^2 \cdot C_2^2 - 4 \cdot b_i \cdot C_1 \cdot C_2}}{4 \cdot \pi \cdot f_c \cdot C_1 \cdot C_2} \quad (4)$$

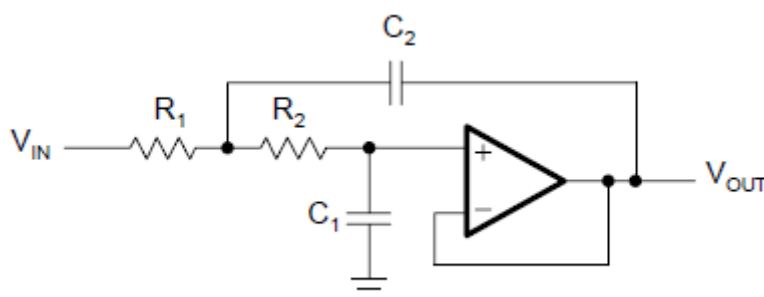


Figura 2 – Filtro ativo passa baixas de segunda ordem  
Fonte: Mancini (2003)

Após a definição dos valores dos componentes, a partir da função de transferência do filtro ativo, obteve-se a resposta em frequência, mostrada na Figura 3, para o filtro ativo de quarta ordem.

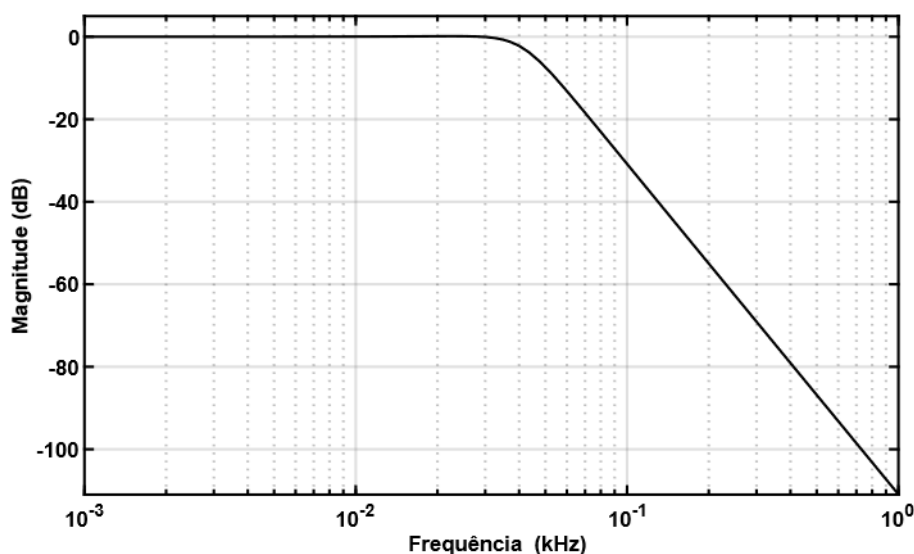


Figura 3 – Resposta em frequência do filtro ativo passa baixas de quarta ordem  
Fonte: Próprios autores

Durante os testes experimentais, para a aquisição dos sinais de ambas as células de carga provenientes da saída do circuito de condicionamento de sinais e posterior análise computacional, utilizou-se o sistema de aquisição de dados USB-6001 da National Instruments Corporation. Trata-se de um dispositivo com uma taxa de amostragem máxima de  $20\text{ kS/s}$  e um ADC com 14 bits de resolução (INSTRUMENTS, 2014). Possui 8 entradas analógicas para conexão simples e 4 para conexão em modo diferencial, com uma faixa de tensão máxima de  $\pm 10\text{ V}$  (INSTRUMENTS, 2014). No presente trabalho, conectou-se os sinais ao USB-6001 em modo diferencial. Para conexões em modo diferencial, a National Instruments Corporation recomenda a configuração mostrada na Figura 4 para sistemas alimentados por baterias, por exemplo.

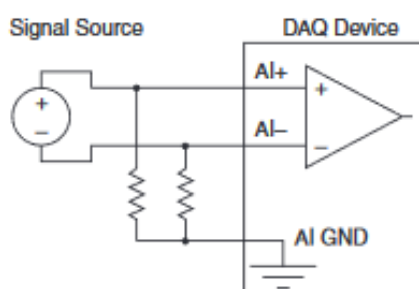


Figura 4 – Configuração de ligação em modo diferencial  
Fonte: Instruments (2014)

Os dados digitalizados provenientes do USB-6001 foram interpretados e apresentados pelo software LabVIEW. No Anexo – A é possível observar o esquemático completo do circuito de condicionamento de sinais que foi montado para os testes práticos, feito no software gratuito EasyEDA, sendo possível notar cada estágio que o compõe.

Uma força desconhecida pode ser mensurada pelos seguintes meios (WEBSTER, 1999):

- a) Equilibrar a força desconhecida contra uma massa padrão através de um sistema de alavancas;
- b) Medindo a aceleração de uma massa conhecida;
- c) Igualando-a a uma força magnética gerada pela interação de uma bobina e um ímã;
- d) Distribuir a força em uma área específica para gerar pressão e depois medir a pressão;
- e) Convertendo a força aplicada na deformação de um elemento elástico.

No presente trabalho, as células de carga utilizadas empregam o método descrito em e) para medição de força, uma vez que são estruturas que se deformam de forma elástica conforme uma força é aplicada sobre sua superfície, sendo essa

deformação convertida em um sinal elétrico por um conjunto de resistores instalados em sua superfície em configuração de ponte de Wheatstone.

Para se realizar a calibração das duas células de carga, primeiramente determinou-se os valores das forças de referência por meio de uma balança de precisão adotando-se  $9,81 \text{ m/s}^2$  como a aceleração da gravidade. A acurácia do arranjo eletrônico, composto pelo circuito de condicionamento de sinais e transdutor, informa a capacidade de se obter valores próximos aos valores de referência (PALLAS-ARENY; WEBSTER, 2012). Para o cálculo da acurácia relativa ( $ER$  - Erro Relativo), tanto em relação ao fundo de escala ( $ER_{FE}$ ) quanto em relação ao valor de referência ( $ER_{VR}$ ), utilizou-se a equação (5) e (6), onde, primeiramente, calculou-se os erros relativos de cada média e cada valor de referência e, posteriormente, tirou-se a média dos erros. O erro de repetibilidade,  $E_r$ , dado que descreve a incapacidade de um sensor/transdutor apresentar o mesmo valor sob condições idênticas, foi determinado com base na equação (7), onde  $\max(\Delta r)$  é a maior diferença entre duas medidas sob condições idênticas, ou seja, presentes no mesmo ciclo de carga e descarga. A precisão  $P$  de uma  $n$ -ésima medida foi calculada por meio da equação (8), onde  $x_n$  se refere à  $n$ -ésima medida que se deseja conhecer sua precisão e  $\bar{x}$ , é a média das medidas realizadas em todos os ciclos de carga e descarga. A histerese máxima,  $H_m$ , dado que descreve a maior diferença entre duas medidas obtidas no processo de carga e descarga no mesmo ciclo, foi calculada usando-se a equação (9), onde  $\max(\Delta r)$  é a maior diferença entre duas medidas sob condições idênticas, ou seja, presentes no mesmo ciclo de carga e descarga.

$$ER_{VR} = \frac{\text{valor medido} - \text{valor real}}{\text{valor real}} \cdot 100 \quad (5)$$

$$ER_{FE} = \frac{\text{valor medido} - \text{valor real}}{\text{fundo de escala}} \cdot 100 \quad (6)$$

$$E_r = \frac{\max(\Delta r)}{\text{fundo de escala}} \cdot 100 \quad (7)$$

$$P = \left( 1 - \left| \frac{x_n - \bar{x}}{\bar{x}} \right| \right) \cdot 100 \quad (8)$$

$$H_m = \max(\Delta r) \quad (9)$$

Para o primeiro modelo de célula de carga, inicialmente realizou-se o processo de calibração por meio de carga e descarga até atingir a força máxima de  $48,10 \text{ N}$  e, logo em seguida, retirou-se progressivamente os pesos, voltando a condição de força nula, ou seja,  $0 \text{ N}$ . O ajuste de offset foi realizado somente uma única vez antes de se iniciar o processo de calibração do primeiro modelo de célula de carga para se obter  $0 \text{ V}$  quando a célula se encontrava com  $0 \text{ N}$ . Para a calibração do

segundo modelo de célula de carga seguiu-se os mesmos procedimentos anteriormente descritos para o primeiro modelo, com uma força mínima de  $4,27\text{ N}$  e máxima de  $137,21\text{ N}$ . Novamente, o ajuste de offset para se obter  $0\text{ V}$  enquanto a célula se encontrava com força nula foi realizado somente uma única vez antes do processo de calibração.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a calibração do primeiro modelo de célula de carga, obteve-se a equação  $F = 202,05 \cdot V - 0,30$  com coeficiente de correlação  $0,999546$ . A equação foi utilizada para medições de forças em Newton, onde se submeteu a célula de cargas às mesmas forças utilizadas anteriormente, seguindo a sequência de carga e descarga três vezes. Os dados podem ser vistos na Tabela 1, onde  $C$  se refere à carga,  $D$ , é descarga e  $DP$ , é desvio padrão. Para o primeiro modelo, o maior desvio padrão observado foi para a média de  $26,31\text{ N}$ . A acurácia relativa média em relação ao fundo de escala,  $ER_{FE}$ , é de  $0,21\%$ . No entanto, a acurácia relativa média em relação aos valores de referência,  $ER_{VR}$ , é de aproximadamente  $1,78\%$ . O erro de repetibilidade,  $E_r$ , é de aproximadamente  $2,02\%$ , onde tomou-se como base de cálculo as forças de  $25,97\text{ N}$  e  $27,99\text{ N}$  que se encontram no processo  $D2$  e  $D3$ , respectivamente. A precisão,  $P$ , da maior parte das medidas realizadas é de  $100\%$ , sendo que a precisão da força de  $25,97\text{ N}$  é de, aproximadamente,  $98,71\%$  e, da força mensurada de  $27,99\text{ N}$ , de, aproximadamente,  $93,61\%$ . A histerese máxima,  $H_m$ , é de  $2,02\text{ N}$  entre as força de  $27,99\text{ N}$  e  $25,97\text{ N}$  referentes ao terceiro ciclo de carga e descarga.

Força [N] - Referência	C1 [N]	D1[N]	C2[N]	D2[N]	C3[N]	D3[N]	Média	DP
0	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	-0,30	0,00
13,03	13,84	13,84	13,84	13,84	13,84	13,84	13,84	0,00
26,59	25,97	25,97	25,97	25,97	25,97	27,99	26,31	0,80
48,10	48,19	48,19	48,19	48,19	48,19	48,19	48,19	0,00

Tabela 1 – Resultados experimentais da célula de carga de tração.  
Fonte: Próprios autores

Já para o segundo modelo, obteve-se a equação  $F = 1886,47 \cdot V - 15,03$  com coeficiente de correlação de  $0,999819$ . Como no primeiro modelo, a equação foi utilizada para o mesmo processo já descrito. Os dados são mostrados na Tabela 2. Obteve-se desvio padrão nulo para todas as médias, conforme mostrado na Tabela 2. A acurácia relativa média em relação ao fundo de escala,  $ER_{FE}$ , é de  $-0,0005\%$ . Já em relação à força de referência,  $ER_{VR}$ , é de  $-2,36\%$ . O erro de repetibilidade,  $E_r$ , é de  $0,00\%$  devido ao fato de nenhuma medida apresentar diferença em condições idênticas, tanto em relação ao processo de carga quanto em relação ao processo de descarga. A precisão,  $P$ , de todas as medidas é de  $100\%$ , já que nenhuma medi-

da apresentou diferença em relação à média. A histerese máxima,  $H_m$ , é nula, pois as medidas entre os processos de carga e descarga são iguais em todos os ciclos.

A sensibilidade do sistema, constituído pelo circuito e célula de carga, é de  $0,005 V/N$  para o primeiro modelo de célula de carga, e  $0,0006 V/N$  para o segundo modelo de célula de carga. No entanto, a resolução do conjunto, dado que mostra o menor valor detectável, está condicionado à resolução do conversor ADC do sistema de aquisição de dados USB-6001. Como a faixa de operação do ADC é de  $20 V$  e possui um número de bits de  $2^{14}$ , sua resolução é de, aproximadamente,  $1,22 mV$ . Portanto, a resolução da célula de carga para tração é dada pela equação (10), e para a célula de carga de compressão, pela equação (11).

$$\frac{1,22 mV}{5 mV/N} = 0,244 N \quad (10)$$

$$\frac{1,22 mV}{0,6 mV/N} = 2,033 N \quad (11)$$

O filtro ativo de quarta foi testado em diversas frequências e, como esperado com base em seu gráfico na Figura 2 de resposta em frequência, pode-se confirmar seu correto funcionamento. A implementação do filtro passivo para diminuição de RFI se mostrou funcional durante o uso do circuito, para o levantamento dos dados já apresentados, em laboratório.

Força [N] - Referência	C1[N]	D1[N]	C2[N]	D2[N]	C3[N]	D3[N]	Média	DP
4,27	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	0,00
60,01	60,43	60,43	60,43	60,43	60,43	60,43	60,43	0,00
115,70	117,02	117,02	117,02	117,02	117,02	117,02	117,02	0,00
137,21	135,89	135,89	135,89	135,89	135,89	135,89	135,89	0,00

Tabela 2 – Resultados experimentais da célula de carga de compressão.  
Fonte: Próprios autores

## 5. CONCLUSÃO

Satisfatoriamente o circuito condicionador de sinal propôs uma nova metodologia de calibração de célula de carga por meio das equações e do coeficiente de correlação de cada elemento analisado. Além disso, apesar dos dados obtidos nos processos de carga e descarga não possuírem exatidão em relação aos valores de referência, pode-se notar uma boa precisão nas medidas realizadas. No entanto, o sistema apresenta uma acurácia relativa (erro relativo) em relação aos valores de referência,  $ER_{VR}$ , razoavelmente baixa para os dois modelos de células de carga.

Como possível melhoria, pretende-se transferir o circuito para uma placa de circuito impresso protegida por uma case. Os resistores utilizados possuíam uma variação de fábrica em torno de 5%, sendo recomendado o uso de resistores de precisão com variação menor ou igual à 1%. Capacitores com pouca variabilidade na sua capacitância em função da temperatura também são recomendados na construção de filtros. Além de transferir o circuito para uma placa de circuito impresso, a utilização de cabos blindados com aterramento torna o sistema menos suscetível de sofrer interferência eletromagnética radiada através dos cabos.

Os dados obtidos experimentalmente mostrados na Tabela 1 e Tabela 2, não atingiram o fundo de escala de ambas as células de carga devido a indisponibilidade no laboratório de algum equipamento capaz de simular forças entre 100 N e 1.000 N. No entanto, para as futuras aplicações das células de carga, os valores máximos aplicados nas células de carga ultrapassam aquelas em que serão submetidas.

Com a implementação das melhorias sugeridas, pretende-se utilizar o circuito em duas propostas diferentes. A primeira, para a célula de carga de compressão, consistirá em um sistema para medição da potência líquida de motores elétricos. Já a segunda proposta, com a célula de tração, trata-se de um arranjo para a mensuração da força de preensão palmar.

## Referências

- DEVICES, Analog. AD620 Datasheet. Low cost, Low Power **Instrumentation Amplifier**, 2011.
- DOEBELIN, Ernest O.; MANIK, Dhanesh N. Measurement systems: application and design. 2007.
- DUNN, William C. **Introduction to instrumentation, sensors, and process control**. Artech House, 2006.
- INSTRUMENTS, National. **USER GUIDE NI USB-6001/6002/6003**. Austin: National Instruments, 2014. 27 p. Disponível em: <https://www.ni.com/pdf/manuals/374259a.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2019.
- KITCHIN, Charles; COUNTS, Lew; GERSTENHABER, Moshe. Reducing rfi rectification errors in in-amp circuits. **Analog Devices Inc, Application Note (AN-671)**, 2003.
- MALVINO, Albert; BATES, David. **Eletrônica**: volume II. 8. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2016.
- MANCINI, Ron. **Op amps for everyone: design reference**. Newnes, 2003.
- PALLAS-ARENY, Ramon; WEBSTER, John G. **Sensors and signal conditioning**. John Wiley & Sons, 2012.
- PADMANABHAN, Tattamangalam R. **Industrial instrumentation: Principles and design**. Springer Science & Business Media, 2012.
- PERTENCE JR, Antonio. **Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos-8**. Bookman Editora, 2015.
- WEBSTER, John G. (Ed.). **The Measurement, Instrumentation, and Sensors: Handbook**. Springer Science & Business Media, 1999.
- ZUMBAHLEN, Hank et al. (Ed.). **Linear circuit design handbook**. Newnes, 2011.





## ANEXO A – Esquemático do circuito de condicionamento de sinais

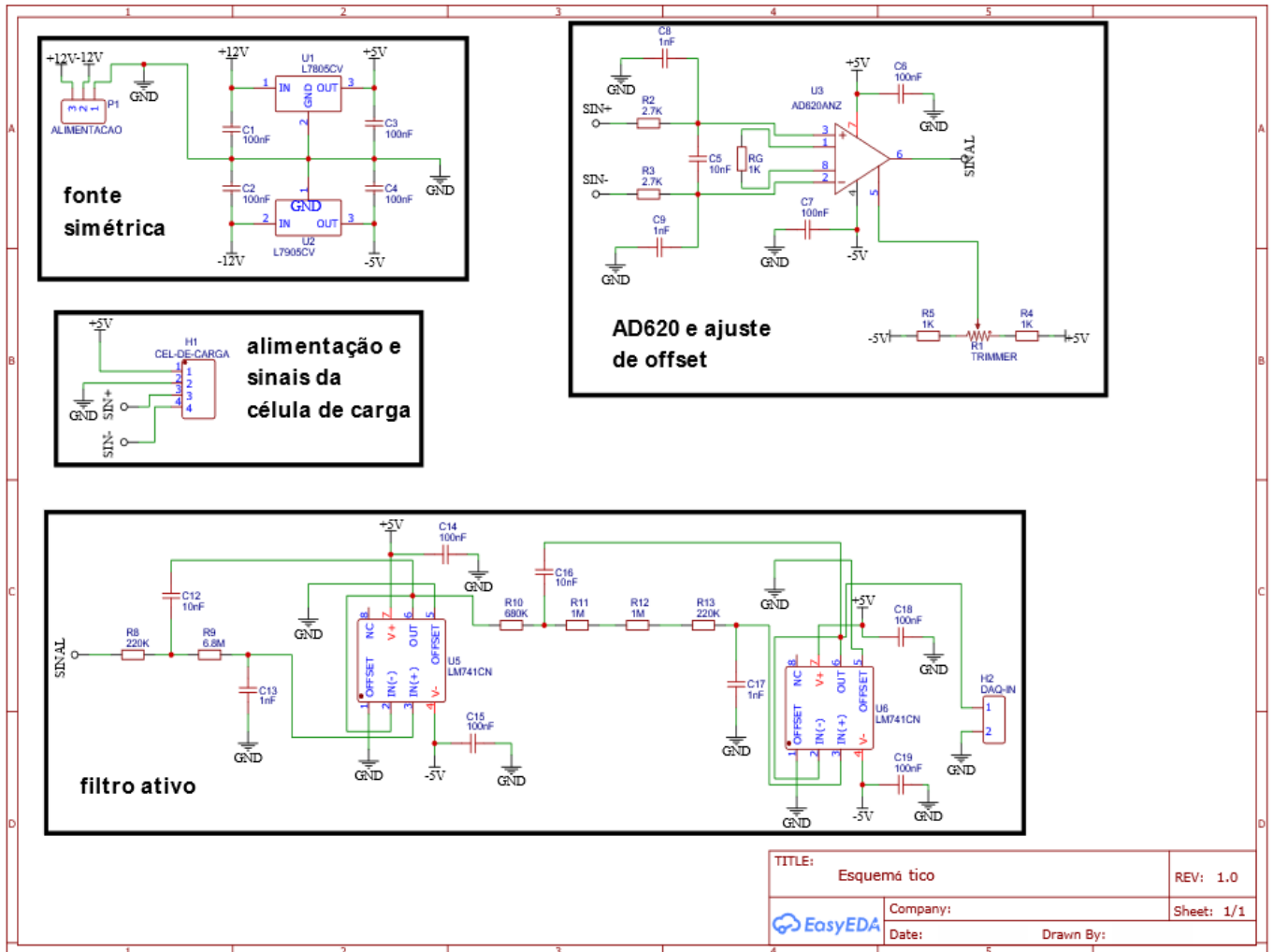


Figura 5 – Esquemático do circuito eletrônico de condicionamento de sinais  
Fonte: Próprios autores

# CAPÍTULO 6

## **MODELO BASEADO EM PESQUISA OPERACIONAL E TEORIA DOS GRAFOS APLICADO EM SISTEMA DE MEDIÇÃO FASORIAL SINCRONIZADA**

MODEL BASED ON OPERATIONAL RESEARCH AND GRAPH THEORY  
APPLIED TO WIDE AREA MEASUREMENT SYSTEMS

**Lucas Luiz Lunarti**

**Victor Lunarti Valadão**

**Maury Meirelles Gouvêa Júnior**

## Resumo

Esse trabalho apresenta um modelo baseado em Pesquisa Operacional (PO) e Teoria dos Grafos para propiciar a viabilidade de um Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS). Com um SMFS é possível monitorar o Sistema Elétrico de Potência (SEP) de forma mais eficiente e robusta. O modelo proposto aborda características físicas e econômicas de um SMFS e foi aplicado para os sistemas de 14, 30 e 57 barras dos sistemas testes do IEEE. Os resultados mostraram que o modelo proporciona um aumento da viabilidade de um SMFS de forma completa.

**Palavras-chave:** Pesquisa Operacional, Sistema de Medição Fasorial Sincronizada, Teoria dos Grafos.

## Abstract

This work presents a model based on Operational Research and Graph Theory to provide the viability of a Wide Area Measurement System (WAMS). With a WAMS it is possible to monitor the Electric Power System more efficiently and robustly. The proposed model addresses the physical and economic characteristics of WAMS and was applied to the 14, 30 and 57 bus systems of the IEEE test systems. The results showed that the model provides a increase in the viability of WAMS.

**Keywords:** Graph Theory, Operational Research, WAMS.

## 1. INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência está se tornando cada vez mais complexo e, como consequência, seu monitoramento também. Com essa consequência, surgiu uma demanda na área de desenvolvimento de novas tecnologias de monitoramento do Sistema Elétrico de Potência (SEP) (GHOSH et al., 2017).

O Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS) surgiu como uma opção para o melhoramento do SEP, aumentando a sua confiabilidade e segurança. Os principais equipamentos de um SMFS são dois, a PMU do inglês, Phasor Measurement Unit, e o PDC do inglês, Phasor Data Concentrator. De forma resumida, a PMU é responsável por realizar medidas de tensões e correntes em forma de módulo e fase e o PDC é responsável por organizar essas medições e etiquetar em função do tempo (BASETTI e CHANDEL, 2017).

O objetivo desse trabalho é encontrar as melhores barras do sistema elétrico para instalar os dois principais equipamentos do SMFS, supracitados acima. Desta forma, contribuindo para o aumento da viabilidade da instalação de um SMFS e, como consequência, aumentando a confiabilidade e segurança do monitoramento do SEP.

Esse trabalho está dividido em cinco seções. A seção 1 é apresentada a Introdução do trabalho, a seção 2 é relacionada ao Referencial Teórico, a seção 3 apresenta a Metodologia do trabalho, na seção 4 é encontrado os Resultados e na seção 5 é apresentada a Conclusão do artigo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Essa seção apresenta os conceitos básicos relacionados a Sistema de Medição Fasorial Sincronizada, Pesquisa Operacional e Teoria dos Grafos.

### 2.1 Sistemas de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS)

A PMU e o PDC são os principais equipamentos do SMFS. A PMU é responsável por coletar medidas de tensão (V) e corrente (I) das barras do SEP. O PDC é responsável por receber as medidas realizadas pela PMU e organizá-las no tempo, criando uma referência temporal. A Figura 1 apresenta os principais componentes de uma PMU (PHADKE e THORP, 2008).



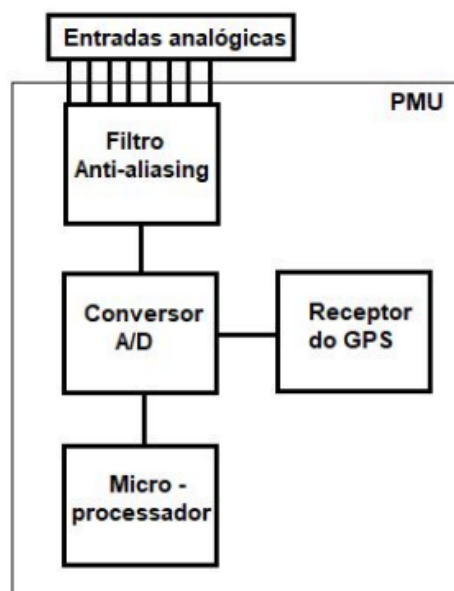


Figura 1 – Hardware básico de uma PMU  
 Fonte: Adaptado de Phadke e Thorp (2008)

As entradas analógicas, abordada na Figura 1, são sinais de tensão e corrente. Esses sinais são recebidos juntamente com ruídos, esses ruídos são filtrados por anti-aliasing e são discretizados por meio do conversor A/D. Os sinais no tempo discreto são analisados, normalmente, pela Transformada Discreta de Fourier (TDF) através do microprocessador, apresentando as tensões e correntes em sua forma fasorial (PHADKE e THORP, 2017).

Essas medidas, após todas essas etapas supracitadas, são enviadas para o PDC para a sua organização e etiquetagem temporal. Dessa forma, têm-se todas as medidas de tensão e corrente organizadas no tempo, como uma fotografia do estado do sistema elétrico de potência. Essas medidas coletadas pela PMU são enviadas para o PDC por meio da rede de comunicação, normalmente são enviadas via fibra ótica (PHADKE e THORP, 2017). A Figura 2 apresenta um Sistema de Medição Fasorial Sincronizada (SMFS) completo, com as PMUs, PDCs e dois possíveis caminhos para rede de comunicação (DUBEY et al., 2018).

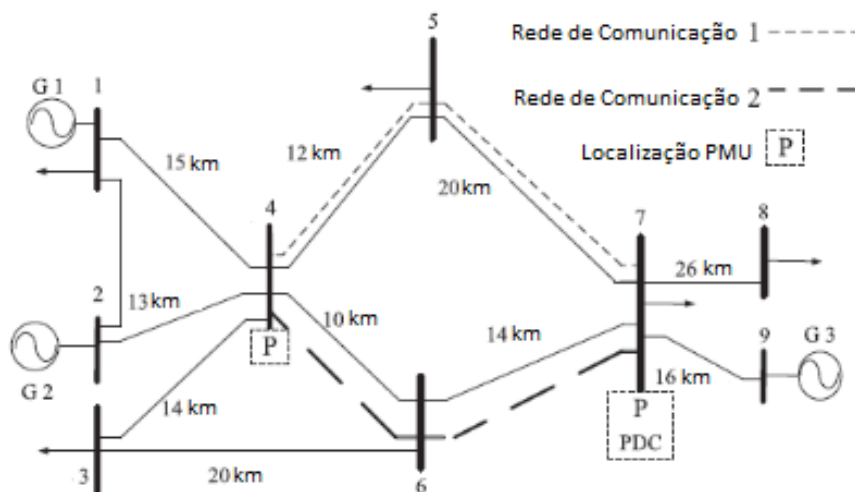


Figura 2 – Sistema de Medição Fasorial Sincronizado  
 Fonte: (DUBEY et al., 2018).

Um SMFS ideal seria a instalação de PMUs em todas as barras do SEP, porém isso não é financeiramente viável, desta forma, há regras na literatura para a alocação de PMUs em barras específicas. Essas regras são enumeradas a seguir (BE-DEKAR ET AL., 2011):

- a) Ao instalar a PMU em uma barra do SEP, a tensão fasorial desta barra será obtida e todas as correntes fasoriais das barras conectadas a essa barra também serão obtidas;
- b) Se duas barras estão conectadas entre si e uma delas está com a PMU instalada, a grandeza de tensão da barra sem PMU instalada pode ser calculada;
- c) Se duas barras estão conectadas entre si e as tensões de ambas são conhecidas, então é possível calcular a corrente entre elas.

Baseando nessas três regras apresentadas, é possível monitorar o SEP completamente sem a necessidade de instalação de PMUs em todas as barras do SEP, tornando assim a viabilidade de um SMFS.

## 2.2 Pesquisa Operacional (PO)

A Pesquisa Operacional (PO) pode ser definida como a aplicação de métodos científicos em problemas complexos com o objetivo de auxiliar em tomadas de decisões. Normalmente são utilizados em processos relacionados a recursos, buscando um auxílio na tomada de decisão na alocação eficiente de recursos (LACHTERMACHER, 2016).

Alguns dos problemas relacionados à PO podem ser conhecidos como problemas de programação linear. Esses problemas são de programação matemática em que a função objetivo e as suas restrições são lineares. Dois métodos normalmente são utilizados para solucionar problemas de Programação Linear, o método simplex e o método de resolução gráfica (LACHTERMACHER, 2016).

## 2.3 Teorias dos Grafos

Os Grafos são modelos altamente versáteis para analisar uma ampla gama de problemas práticos em que pontos e conexões entre eles têm alguma interpretação física ou conceitual. Colocar tal análise em bases sólidas requer definições básicas (GROSS et al., 2019).

Um Grafo  $G = (V, E)$  é uma estrutura matemática que consiste em dois con-



juntos  $V$  e  $E$ . Os elementos de  $V$  são chamados de vértices (ou nós), e os elementos de  $E$  são chamados de arestas. Cada aresta possui um conjunto de um ou dois vértices associados a ela, que são chamados de *endpoints*. Diz-se que uma aresta une seus pontos de extremidade. Um vértice unido por uma aresta a um vértice  $v$  é considerado vizinho de  $v$ . A vizinhança (aberta) de um vértice  $v$  em um grafo  $G$ , denotado  $N(v)$ , é o conjunto de todos os vizinhos de  $v$ . A vizinhança fechada de  $v$  é dada por  $N[v] = N(v) \cup \{v\}$ . Quando  $G$  não é o único grafo em consideração, as notações  $VG$  e  $EG$  (ou  $V(G)$  e  $E(G)$ ) são usados para os conjuntos de vértices e arestas de  $G$ , e as notações  $NG(v)$  e  $NG[v]$  são usados para as vizinhanças de  $v$  (GROSS et al., 2019).

### 3. METODOLOGIA

O modelo proposto é baseado nas regras básicas de alocação de PMUs. Com essas regras é possível modelar um problema de Programação Linear conforme é apresentado a seguir:

$$\min = \sum_{k=1}^n X_n C_n \quad (1)$$

sujeito a

$$f(x) \geq m \quad (2)$$

sendo,

$n$  o número de barras;

$X$  um vetor binário;

$C$  o custo na barra  $n$ ;

$m$  o monitoramento do SEP, para operação normal  $m = 1$ , para contingência  $n-1$  é  $m = 2$ .

Para solucionar esse problema de alocação de PMUs, pode ser utilizado o método *Simplex*. Para encontrar alocação do PDC do SMFS é utilizado um algoritmo baseado na teoria dos grafos, o algoritmo de Dijkstra. O princípio de funcionamento do algoritmo de Dijkstra é apresentado na Figura 3, onde uma barra inicial é escolhida e a partir dela é encontrada a menor distância dela para todas as outras barras. Desta forma, é possível encontrar a menor distância entre as PMUs e os PDCs em um SMFS.



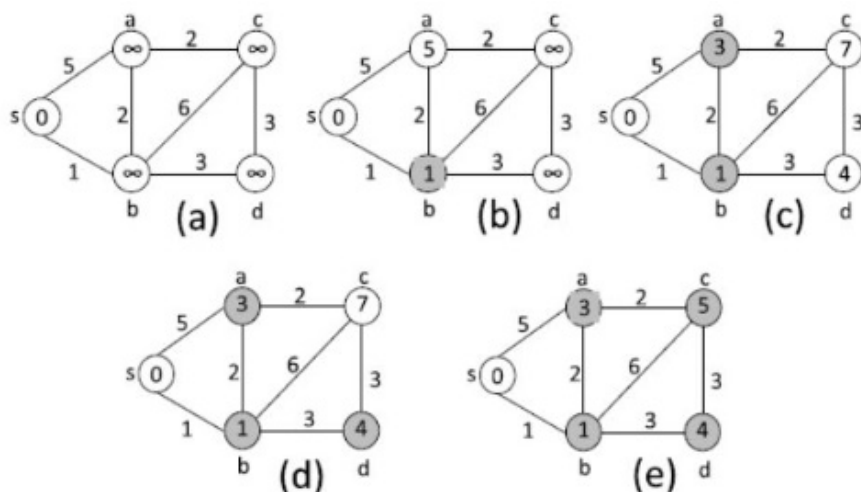


Figura 3 – Algoritmo de Dijkstra  
 Fonte: (DUBEY et al., 2018).

## 4. RESULTADOS

Essa seção apresenta os resultados do modelo proposto para um Sistema de Medição Fasorial Sincronizada aplicadas para os sistemas testes do IEEE 14, 30 e 57 Barras. Com o objetivo de aumentar a eficiência do modelo proposto, também é abordado um sistema de contingência  $n-1$ , onde o sistema deve permanecer totalmente monitorado mesmo com a perda de um equipamento. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o sistema operando em condições normais de operação.

ALOCAÇÃO SMFS 14, 30 e 57 BARRAS IEEE			
Sistema Teste	Quantidade PMUs	Localização PMUs	Localização PDC
IEEE 14 Barras	4	2, 8, 10 e 13	4
IEEE 30 Barras	10	3, 5, 8, 10, 11, 12, 19, 23, 26 e 30	9
IEEE 57 Barras	27	1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 9, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 36, 38, 39, 41, 44, 46, 47, 50, 53 e 54.	24

Tabela 1 – Sistema de Medição Fasorial Sincronizada em Condições Normais de Operação

Note que para um para monitorar um sistema do IEEE de 14, 30 e 57 barras, com o modelo proposto, são necessários apenas 4, 10 e 27 PMUs respectivamente. Desta forma, não é necessária a instalação de PMU em todas as barras do SEP para monitorá-lo completamente. A Tabela 2 apresenta os resultados com o modelo proposto para os sistemas IEEE de 14,30 e 57 barras, considerando um sistema em contingência  $n-1$ , isto é, um sistema de segurança, onde todas as barras devem ser monitoradas pelo menos duas vezes.



ALOCAÇÃO SMFS 14, 30 e 57 BARRAS IEEE

Sistema Teste	Quantidade PMUs	Localização PMUs	Localização PDC
IEEE 14 Barras	9	1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10 e 13.	4 e 5
IEEE 30 Barras	21	1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 29 e 30.	9 e 6
IEEE 57 Barras	33	1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 19, 20, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 41, 43, 44, 46, 47, 50, 51, 53, 54, 56 e 57.	24 e 28

Tabela 2 – Sistema de Medição Fasorial Sincronizada Operando sob Contingência n-1

Desta forma, essa seção apresenta a alocação de PMUs e PDCs em um SMFS de forma otimizada, ou seja, não é necessária a instalação de PMUs em todas as barras do SEP sob condições normais de operação e contingência n-1 para monitorar o sistema elétrico completamente. Essa alocação otimizada proporciona uma viabilidade maior na implementação de um SMFS.

## 5. CONCLUSÃO

A inclusão da medição fasorial tende a aumentar de acordo com os incentivos do sistema elétrico. Este trabalho apresentou um método baseado em Pesquisa Operacional e Teoria dos Grafos, mais especificamente em Programação Linear e Algoritmo de Dijkstra aplicado à alocação de PMUs e PDCs. A contribuição do trabalho apresentado está na consideração da alocação simultânea de PMUs e PDCs. Este artigo permitiu a alocação de um Sistema de Medição Fasorial Sincronizada para os sistemas IEEE 14 e 30 e 57 barras.

## Referências

BASETTI, Vedik; CHANDEL, Ashwani K. Optimal PMU placement for power system observability using Taguchi binary bat algorithm. **Measurement**, v. 95, p. 8-20, 2017.

BEDEKAR, Prashant P.; BHIDE, Sudhir R.; KALE, Vijay S. Optimum PMU placement considering one line/one PMU outage and maximum redundancy using Genetic algorithm. In: **The 8th Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand-Conference 2011**. IEEE, 2011. p. 688-691.

DUBEY, Rahul; POPOV, Marjan; MURO, Jose de Jesus Chavez. Cost effective wide area measurement systems for smart power network. **IEEE Power and Energy Technology Systems Journal**, v. 5, n. 3, p. 85-93, 2018.

GHOSH, Pronob K.; CHATTERJEE, Soumesh; ROY, Biman Kr Saha. Optimal PMU placement solution: graph theory and MCDM-based approach. **IET Generation, Transmission & Distribution**, v. 11, n. 13, p. 3371-3380, 2017.

GROSS, Jonathan L.; YELLEN, Jay.; ANDERSON, Mark. **Graph theory and its applications**. Third Edition, CRC press, 2019.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional na tomada de decisões** . Grupo Gen-LTC, 2016.

PHADKE, Arun G.; THORP, James S. **Synchronized phasor measurements and their applications**. New York: Springer, 2008.

PHADKE, Arun G.; THORP, James S. **Synchronized phasor measurements and their applications**. New York: Springer, 2017.



# CAPÍTULO 7

## **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA MICROESTRUTURA DA ARGAMASSA DE ALVENARIA ESTRUTURAL**

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE MICROSTRUCTURE OF  
STRUCTURAL MASONRY MORTAR

**Alessandro Onofre Rigão**  
**Rubens Matheus Corrêa Fagundes**

## Resumo

A argamassa de assentamento tem como função principal fazer a união entre os blocos, resistindo e distribuindo os esforços atuantes ao longo das paredes. Encontram-se na literatura diversos trabalhos focados no comportamento de concretos e argamassas de cimentos e areia em altas temperaturas. Porém ainda não há muitas referências focadas no desempenho de argamassas para alvenaria estrutural. O presente trabalho busca trazer subsídios a este assunto, mediante breve revisão bibliográfica focada na microestrutura de argamassas e trabalhos acerca de argamassas para concreto em altas temperaturas, dando ênfase a um estudo de caso do comportamento de argamassa de alvenaria estrutural em temperaturas elevadas. Os resultados apontam que as argamassas para alvenaria estrutural, quando aquecidas, tem grande degradação. Além disso, o tipo de agregado tem influência na estabilidade química dessas argamassas estruturais.

**Palavras chave:** Argamassa, Altas temperaturas, Alvenaria estrutural.

## Abstract

The main function of the laying mortar is to make the union between the blocks, resisting and distributing the loads along the walls. There are several papers in the literature focus on the behavior of concrete and mortar of cement and sand at high temperature. However, there are few references about structural masonry mortar performance. The current paper seeks to bring benefits in this theme. Short literature review focus on mortar microstructure and papers about concrete mortar in high temperature was conducted. A case report about structural masonry mortar behavior in high temperature was emphasized. The results point to the structural masonry mortars, when heated, they have large damage. Besides that, the aggregate type influences the chemical stability of these structural mortars.

**Key-words:** Mortar, High temperatures, Structural masonry.



## 1. INTRODUÇÃO

A argamassa em relação às suas aplicações, de modo geral, classifica-se de assentamento ou revestimento. Argamassas para assentamento podem ter ou não função estrutural. Já em relação a de revestimento, normalmente as propriedades mais relevantes são sua resiliência e aderência em detrimento da sua resistência mecânica.

Independente da sua aplicação, os componentes básicos são areia, cimento, cal e água, podendo ou não possuir aditivos. O cimento possui a função principal de conferir resistência mecânica, já a cal contribui principalmente na trabalhabilidade e resiliência, enquanto que a areia, serve como material inerte, aumentando o volume da argamassa e reduzindo o consumo dos demais materiais. Mohamad (2015) alerta que a cal em alguns casos é substituída por aditivos plastificantes ou incorporadores de ar as quais resultam em uma menor resistência de aderência e compressão, comparativamente às produzidas com cal.

O mesmo autor ressalta que a função principal da argamassa de assentamento é transmitir todas as ações verticais e horizontais atuantes de forma a solidarizar as unidades, criando uma estrutura única. Logo, evidenciando uma das principais propriedades da argamassa em estado endurecido, a aderência, pois esta propriedade contribui com a estanqueidade da parede para resistir às tensões de tração devidas a ações externas ou, ainda, em esforços internos, devido a deformações impostas de retração e variações térmicas.

O objetivo do trabalho é trazer contribuições ao estudo da argamassa de assentamento de alvenaria estrutural. Assim, o trabalho aborda uma breve revisão focada no entendimento da microestrutura da argamassa, além de trabalhos focados neste tema. Posteriormente é apresentado um estudo de caso considerando a argamassa estrutural frente a altas temperaturas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Utilizada na ligação entre os blocos, a argamassa de assentamento garante a distribuição uniforme dos esforços ao longo dos planos das paredes. Composta de cimento, agregado, água e cal ou mesmo algum aditivo para melhorar alguma de suas propriedades, a argamassa de assentamento é composta por uma complexa microestrutura.

## 2.1 Microestrutura do agregado miúdo

As areias em sua maioria que apresentam o quartzo como componente predominante, cujo mineral tem grande resistência às ações de agentes externos. Em algumas podem coexistir outros minerais como os feldspatos possivelmente alterados, micas e outros minerais.

A cor que as areias apresentam relaciona-se no geral com a sua composição mineralógica. Como por exemplo, as areias siliciosas são brancas, quando puras, assim como, as areias calcárias. As areias basálticas são negras, bem como as que são ricas em matéria orgânica ou em compostos de magnésio. Os compostos de ferro conferem às areias coloração amarelada ou esverdeada. São inatacáveis pelos ácidos e são praticamente insolúveis na água.

## 2.2 Propriedades da microestrutura do cimento

Produzido mediante a moagem do clínquer e adição de sulfatos de cálcio, o cimento Portland, tem suas principais fases constituintes do tipo silicato. Sendo o responsável pelas fases dos silicatos, a mistura e moagem do calcário e da argila a qual obtém-se o clínquer. O cimento anidro (clínquer) possui quatro principais componentes: alita ( $C_3S$ ), belita ( $C_2S$ ), celita ( $C_3A$ ) e ferrita ( $C_3AF$ ), cujas fórmulas químicas seguem, a representação simplificada da química do cimento (CASCUDO et al., 2010). Segundo Mehta e Monteiro (2008) no cimento Portland as respectivas quantidades variam entre 45 e 60%, 15 e 30%, 6 e 12% e 6 e 8%. Os mesmos autores definem o cimento anidro como um pó cinza composto de partículas angulares com dimensões que variam normalmente de 1 a  $50\mu m$ .

Quando o cimento anidro é disperso em água ocorrem diversas interações, sendo esta etapa definida como hidratação do cimento. Para Mehta e Monteiro (2008) existe quatro principais fases sólidas na pasta do cimento hidratada que podem ser analisadas por microscopia e eletrônico de varredura (MEV): Silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio, Sulfoaluminatos de Cálcio e Grão de clínquer não hidratados.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o silicato de cálcio hidratado (C-S-H) representa de 50% a 60% do volume total de sólidos existente na pasta de cimento hidratado (Figura 1). É a principal fase proveniente da hidratação do cimento, onde o  $C_3S$  ao entrar em contato com a água, inicia sua hidratação em poucas horas, sendo assim, considerado o principal responsável pela resistência mecânica nas primeiras idades da hidratação. Sendo o  $C_2S$  é o principal responsável pela resistência mecânica após os 28 dias de cura.



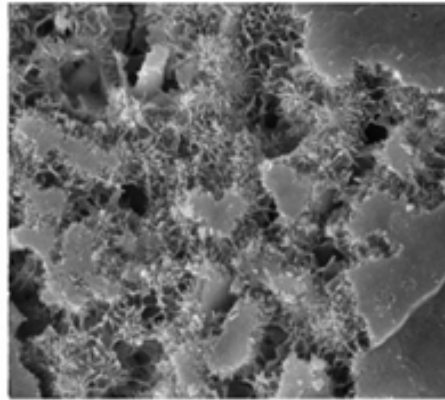


Figura 1 – MEV do silicato de cálcio hidratado em uma pasta de cimento Portland  
Fonte: Cascudo et al. (2010)

O hidróxido de cálcio tem formato prismático hexagonal distinto e ocupa de 20% a 25% do volume de sólidos da pasta hidratada, conforme Mehta e Monteiro (2008). É formado através da cal livre e reações de hidratação dos silicatos ( $C_3S$  e  $C_2S$ ). Também conhecido como portlandita, é o principal responsável pela manutenção do pH da pasta (CASCUDO et al., 2010).

Mehta e Monteiro (2008) descrevem que os sulfoaluminatos de cálcio ocupam de 15% a 20% do volume de sólidos na pasta de cimento hidratada, possuindo um papel secundário nas relações microestrutura-propriedade.

Contudo os mesmos autores estabelecem que durante os estágios iniciais da hidratação, a relação iônica sulfato/alumina da solução geralmente favorece a formação de trissulfato hidratado (etringita), que forma cristais prismáticos na forma acicular. Ainda nas pastas de cimento puro, a etringita eventualmente se transforma em monossulfato hidratado, o qual forma cristais de placas hexagonais (Figura 2). Essa última transformação deixa o concreto de cimento Portland vulnerável ao ataque por sulfato.

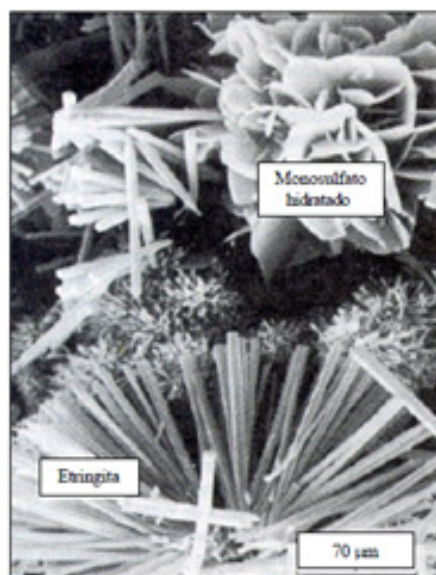


Figura 2 – MEV de cristais hexagonais característicos de monossulfato hidratado e cristais aciculares de etringita  
Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

Variando da distribuição do tamanho das partículas do cimento anidro e do grau de hidratação, alguns grãos de clínquer não hidratados podem ser encontrados na microestrutura de pastas de cimento hidratados (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Pelo espaço limitado entre as partículas em hidratação de clínquer, os produtos em hidratação tendem a se cristalizar bem juntos às partículas de clínquer em hidratação. O que resulta como um revestimento em torno das partículas do clínquer em hidratação.

## 2.3 Propriedades da microestrutura da cal

A cal é um aglomerante derivado de rocha calcária, contendo basicamente carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). A obtenção é feita através da moagem e aquecimento em fornos industriais em um processo denominado calcinação.

Cincotto, Quarcioni e John (2010) definem a cal como um ligante inorgânico, composto de cálcio e de magnésio sendo produzido a partir de rochas carbonáticas. Existem duas formas de cal, a virgem e a hidratada.

A cal virgem é constituída de óxidos de cálcio e magnésio. Cincotto, Quarcioni e John, (2010) mencionam que a origem das matérias primas tem influência composição, morfologia dos grãos e estado de agregação, bem como as condições de calcinação, resultando em áreas diferenças nas áreas específicas das cales (Figura 3).

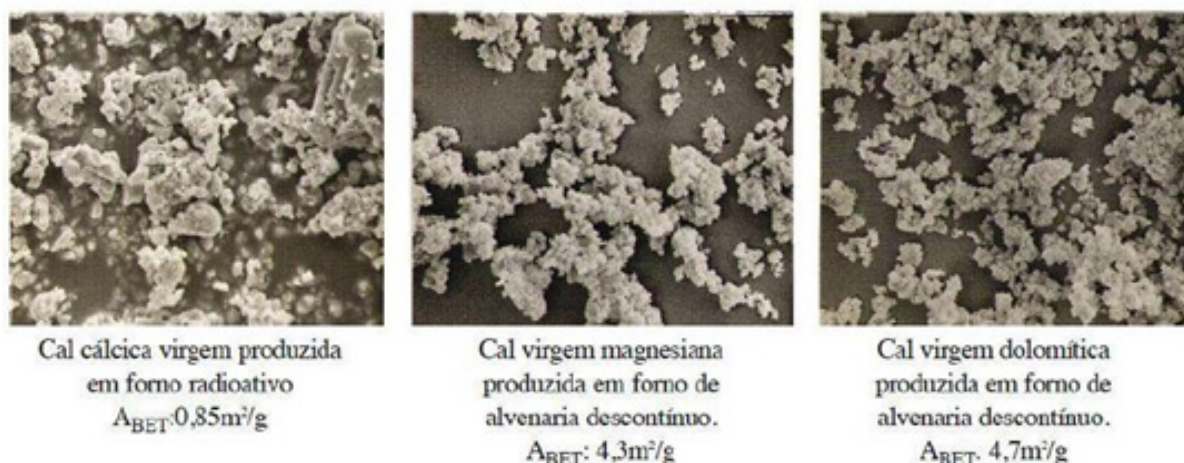


Figura 3 –Micrografias de cales obtidas de diferentes matérias primas, apliadas em 3000x  
Fonte: Cincotto, Quarcioni e John (2010)

A cal hidratada é a mais utilizada na construção civil sendo constituída de hidróxidos de cálcio e de magnésio, além de uma pequena fração de óxidos não hidratados. O hidróxido de cálcio tem características de cristalizar na forma de placas hexagonais, todavia devido às cargas superficiais, elas empilham, aderindo-se segundo o plano da maior dimensão. Desta forma, o aspecto do produto industrial ao microscópio eletrônico de varredura é o de partículas aglomeradas (CINCOTTO et al., 2010).



## 2.4 Propriedades da microestrutura da argamassa

A argamassa é um material polifásico, possuindo 3 fases distintas (Figura 4): interface pasta-agregado, pasta e agregado. O agregado, para argamassas de resistências convencionais, normalmente não é o limitante da resistência. Sua contribuição maior é para características não relacionadas à resistência como trabalhabilidade, textura e acabamento.

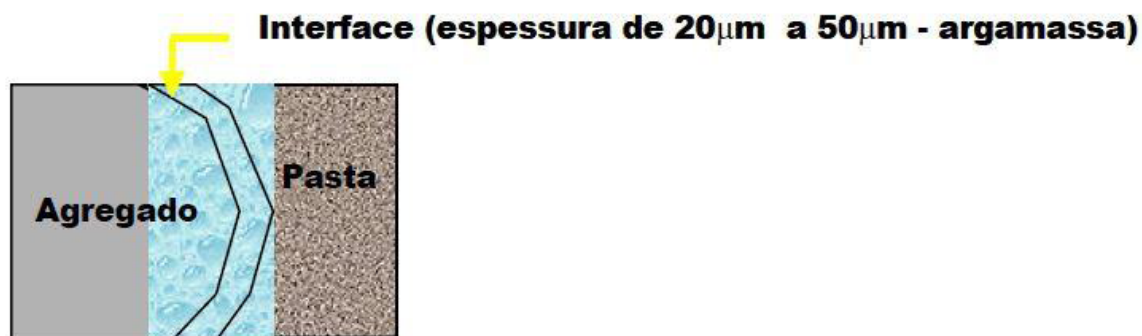


Figura 4 –Interface agregado/pasta  
Fonte: Silva e Liborio (2002)

A granulometria do agregado pode interferir na quantidade de água da mistura, influenciando a resistência final da argamassa. Além disso, a rugosidade superficial altera a aderência entre a pasta e o agregado.

A zona de transição (Figura 5) corresponde a região de contato entre a pasta e os agregados. Costuma ser a região mais frágil na matriz da argamassa.

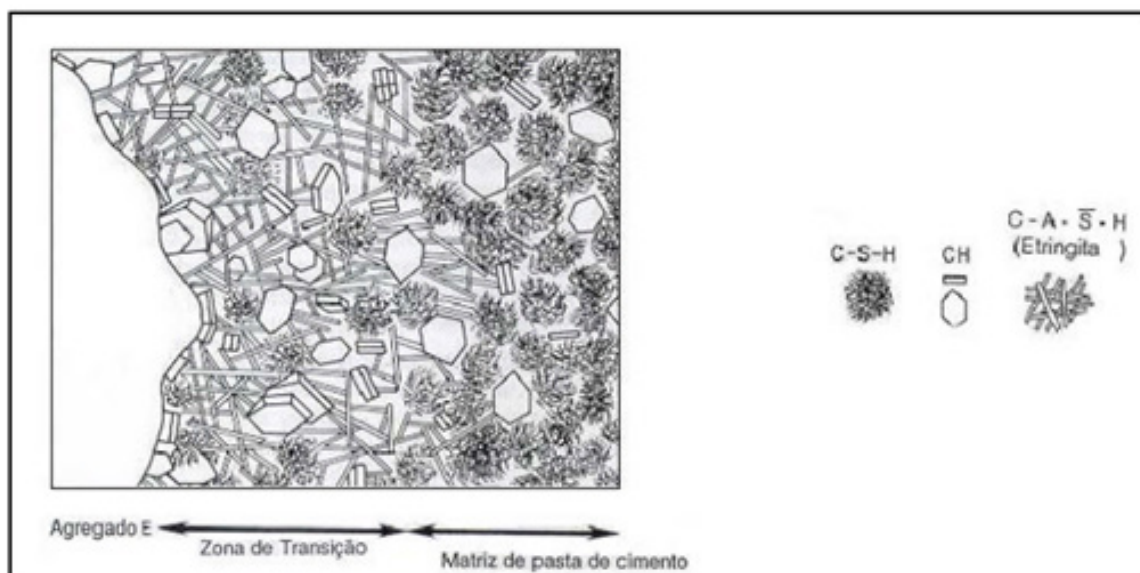


Figura 5 –Representação esquemática da zona de transição entre a pasta de cimento e agregado  
Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

Essa região possui alta porosidade, havendo poros relativamente grandes, contendo grandes cristais de Hidróxido de Cálcio (CH). A microestrutura na zona de transição apresenta as seguintes características:

- apresenta maior quantidade de cristais de hidróxido de cálcio e de etringita, sendo esses materiais mais bem formados e de maior tamanho do que aqueles presentes na matriz (região fora da zona de transição);
- os cristais de hidróxido de cálcio estão orientados, preferencialmente, de modo que seus planos basais de clivagem são, aproximadamente, perpendiculares à superfície do agregado;
- a porosidade da interface é maior do que na matriz.

## 2.5 Influência dos materiais na composição da pasta argamassa

Argamassa estrutural endurecida possui basicamente etringita, hidróxido de cálcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de cálcio. A etringita está numa composição maior na região de interface com o bloco, conforme menciona Polito e Brandão (2010). A cal na composição da argamassa tem como papel principal dar maior plasticidade e resiliência.

A cal na composição da argamassa auxilia na retenção de água, contribuindo para a sua resiliência, além disso, devido ao pequeno tamanho dos grãos, reduz o atrito interno do material, melhorando a plasticidade.

A influência da cal sobre a consistência e trabalhabilidade das argamassas provém das condições de coesão interna que a mesma proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta e da coesão do agregado.

## 2.6 Estudos de argamassas em altas temperaturas

Farzadnia et al. (2013a) pesquisaram o efeito na composição química, microestrutura e propriedades mecânicas em argamassas de alta resistência com nano aluminas com percentual de 1%, 2% e 3%. Avaliou-se a alteração desses parâmetros a temperatura de 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 600°C, 800°C e 1000°C.

Para investigação das alterações na microestrutura foi realizado ensaios de XRD (difração de raios X), DSC (calorímetro de varredura diferencial) e MEV (microscopia eletrônica de varredura). A nano alumina melhorou em mais de 16% a resistência residual a compressão das amostras. Com relação ao aumento do módulo de elasticidade, energia de absorção e redução na permeabilidade foi observada para o uso de 1% de nano alumina.

Os resultados da XRD mostraram uma menor intensidade de hidróxido de



cálcio com a presença da nano alumina em temperatura ambiente. Os picos de hidróxido de cálcio foram menores em 400°C com a presença da nano alumina e desapareceram em 800°C. Ao mesmo tempo, houve perda de massa em duas fases até 300°, de 300°C a 1000°C indicando uma evaporação da água física e quimicamente combinada na matriz cimentícia respectivamente. Até 200°C a perda de massa foi pequena em todas as amostras, havendo uma perda maior quando atingia 300°C. A adição de nano alumina não alterou a perda de massa em todas as temperaturas.

Os resultados sugerem que adição de 1% de nano alumina é a proporção mais vantajosa para reduzir o aumento da permeabilidade durante o aquecimento. A adição de 1% de nano alumina aumentou o ganho de resistência das amostras em até 16%. Porém, percentuais maiores de nano alumina (acima de 2%) reduziram a resistência à compressão.

Alterações da composição química, mudanças micro estruturais e resistência mecânica residual de argamassas de alta resistência com presença de nano titânio com 1%, 2% e 3% em altas temperaturas a patamares de até 1000°C foram avaliados por Farzadnia et. al. (2013b). Realizou-se ensaios de XRD, MEV e permeabilidade ao vapor. A resistência residual a compressão, energia de absorção e módulo de elasticidade foram obtidos. A incorporação de nano titânio aumentou a resistência em até 14%, energia de absorção e módulo de elasticidade das argamassas em temperaturas até 600°C.

A adição de nano titânio aumentou a resistência a compressão em altas temperaturas em até 15,8% com a máxima resistência obtida com uso de 2% de nano  $TiO_2$ . A energia de absorção por unidade de volume aumentou quando nano titânio foi adicionado à matriz cimentícia. Em temperaturas acima de 300°C, houve redução da energia de absorção de forma mais significativa. Até 800°C, a adição de 2% de nano titânio mostrou-se com melhor comportamento que as demais amostras.

A adição de nano titânio mostrou comportamento mais frágil se comparado a amostras de controle até 600°C. A adição de 1% de nano titânio obteve o melhor efeito no módulo de elasticidade relativo, pois a perda do módulo de elasticidade foi mais gradual se comparada às demais amostras.

A adição do nano titânio reduziu a perda de massa até 300°C e aumentou para temperaturas de 300°C a 1000°C se comparada as amostras de controle. A XRD mostrou que o uso de 2% de nano titânio reduziu o pico de hidróxido de cálcio (CH) em temperatura ambiente, os picos de CH foram mais identificados em 400°C e 800°C. A adição de 1 a 2% de nano titânio reduziu levemente a permeabilidade das argamassas em temperatura ambiente. Essa tendência continuou em 300°C, com alteração em 600°C, quando as amostras de controle foram menores que as de nano titânio.

Andreini et al. (2015) realizaram um programa experimental para analisar os



efeitos das altas temperaturas nas propriedades mecânicas dos materiais das alvenarias (blocos e argamassas). Foram ensaiadas uma série de amostras cilíndricas (corpo de provas de 10 x 20 cm). Os corpos de prova foram aquecidos em forno mufla e desenvolvido aparato especial para manter a temperatura e realizar os ensaios mecânicos.

As amostras de argila mostraram bom comportamento sob altas temperaturas, mantendo sua resistência mecânica. A resistência a compressão permaneceu praticamente inalterada até a máxima temperatura investigada (700°C). A resistência a compressão das amostras de concreto celular autoclavado mostraram ganho de resistência até 200°C, após esse patamar observou-se redução da resistência.

O concreto leve com argila expandida mostrou uma máxima redução da resistência a compressão da ordem de 30% na ausência de pré-carregamento na faixa de 500-600°C.

O concreto leve com Lapilli vulcânico mostrou uma deterioração das propriedades mecânicas com magnitude similar próxima da máxima temperatura ensaiada (600°C). Mostrando ainda redução substancial do módulo de elasticidade aparente com o aumento da temperatura.

O concreto leve para fachada, manteve sua resistência a compressão com o aumento da temperatura. Contudo o comportamento a deformação foi similar ao concreto leve com lapilli vulcânico. O módulo de elasticidade aparente mostrou redução da ordem de 50% na máxima temperatura testada (600°C).

A argamassa tipo M5 (5 MPa) apresentou pequeno aumento da resistência até 400°C e alto nível de redução após essa temperatura com redução de 50% para temperaturas maiores. As argamassas tipo M10 (10 MPa) apresentaram menor redução da resistência em 600°C. Se comparada ao argamassa M5, obteve melhor comportamento em termos da resistência última.

Ergün et. al. (2013) avaliaram o efeito do traço de cimento na resistência de concretos expostos a altas temperaturas. Para esse estudo, foram moldados corpos de prova com duas dosagens de cimento (250 e 350 kg/m<sup>3</sup>) para avaliar a resistência residual após a exposição a altas temperaturas.

Os corpos de prova foram aquecidos a diversos patamares de temperatura, variando de 100 a 800°C, sendo resfriados lentamente ao ar livre. Após essa etapa, as amostras foram ensaiadas para verificação da resistência residual e demais propriedades mecânicas.

Os ensaios indicaram que temperaturas acima de 400°C causam degradação mais acentuada no concreto, havendo maior perda de resistência mecânica. Além disso, verificou-se que a redução da resistência mecânica do concreto causado pelas altas temperaturas não são influenciadas pela dosagem de cimento.



Demirel e Keleştemur (2010) avaliaram o efeito das altas temperaturas em concretos moldados com pedra pomes finamente moída (FGP) nas proporções de 5%, 10%, 15% e 20% em substituição ao cimento. Além disso, avaliou-se também do efeito da adição de fumo de sílica (SF) nessas amostras. Os corpos de prova foram submetidos a aquecimento de 400°C, 600°C e 800°C. Observou-se que as adições minerais ao concreto reduziram o peso unitário e resistência a compressão. Adicionalmente, ao elevar a temperatura acima de 600°C, a perda de massa e resistência foi mais expressiva em misturas contendo FGP e SF.

Os autores comentam que a redução do peso unitário era esperada ao realizar a adição de FGP e SF, pois esses materiais têm densidade menor que o cimento.

Conforme os pesquisadores, a redução do peso do concreto ocorre quando se expõe este a altas temperaturas devido a perda de água aderida à pasta de cimento e ocorrência de vazios de ar no concreto. A maior perda de massa ocorreu para as amostras com FGP e SF ao serem submetidas a 800°C.

A redução da resistência foi maior para temperaturas acima de 600°C, esse resultado foi devido a perda de água de cristalização resultando em uma redução do  $\text{Ca(OH)}_2$ , além disso devido a alterações da morfologia e formação de microfissuras. Observou-se a decomposição do  $\text{Ca(OH)}_2$  e do gel de C-S-H, principalmente em 800°C, resultando em total deterioração do concreto, sendo uma das causas da perda de resistência mecânica.

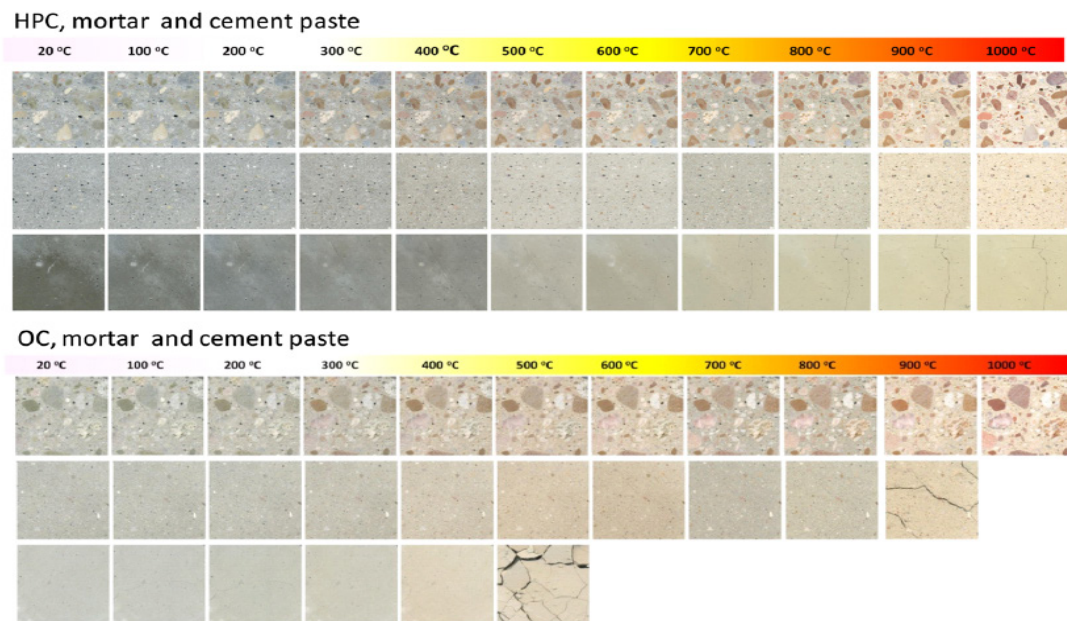
A grande redução da velocidade do pulso ultrassônico entre 400 e 800°C indicou que o estado físico das amostras de concreto tiveram deterioração rápida nessa faixa de temperatura.

A microscopia eletrônica confirmou a deformação dos cristais de  $\text{Ca(OH)}_2$  e gel de C-S-H em 600°C. Portanto, o estudo sugere que a temperatura crítica para as amostras contendo FGP e FGP com SF é de 600°C, pois todas as fases cristalinas do  $\text{Ca(OH)}_2$  e do gel de C-S-H mostraram estruturas amorfas nesta temperatura ao invés de características de estruturas cristalinas.

Hager (2014) realizou a análise da alteração de cor no concreto sob a influência das altas temperaturas. Segundo a pesquisadora, as primeiras alterações de cores são devidas a desidratação da pasta de cimento, posteriormente, as demais mudanças são oriundas das transformações químicas dentro dos agregados. A análise da alteração de cor no concreto pode ser utilizada para estimar o nível de dano ocorrido no concreto após a ação das altas temperaturas.

Para o estudo foram utilizados concretos convencionais e concreto de alto desempenho expostos a temperaturas de 100 a 1000°C. A alteração das cores foi analisada via software de análise de cores RGB de imagens. Sendo que os resultados da alteração de cor para as amostras de concreto convencional (OC) e concreto de alto desempenho (HPC) do estudo estão mostrados na figura 6.





**Figure 1. Colour change of high performance and ordinary concrete, mortar and cement paste heated to temperatures ranging from 100°C to 1000°C.**

Figura 6 –Alteração de cor nos concretos  
Fonte: Hager (2014)

O trabalho via análise de imagem de amostras de concreto após ação das altas temperaturas mostrou-se adequado para estimativa da máxima temperatura de exposição. Observou-se no estudo que agregados contendo ferro na sua mineralogia, tiveram maiores alterações de cor em temperaturas acima de 250°C.

### 3. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA ARGAMASSA DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM TEMPERATURAS ELEVADAS

O estudo de caso foi dividido em duas etapas. Em uma primeira etapa, foi selecionada uma argamassa de 4 MPa onde realizou-se a análise da perda de resistência mecânica e perda de massa. Posteriormente, foram selecionadas argamassas de várias resistências e realizado um estudo comparativo da perda de resistência e alteração química.

#### 3.1 Descrição dos materiais

Para reduzir o número de variáveis a serem controladas, foi utilizada argamassa de assentamento estrutural industrializada, pois possuem um controle tecnológico maior.

Moldou-se lotes de corpos de prova prismáticos de dimensões 4 x 4 x 16 centímetros, para serem ensaiados após sua exposição às condições de altas tempe-

raturas.

Na primeira etapa do estudo, as argamassas de 4 MPa foram analisadas quanto à redução da resistência e diminuição de densidade nas temperaturas de 400°C e 900°C. A escolha da temperatura de 400°C foi baseada no fato das principais pesquisas sobre argamassas para concreto, mostrarem que este patamar de temperatura não causa grande degradação no material, quando resfriado lentamente, já a temperatura de 900°C foi escolhida por ser próxima da temperatura de ensaio das paredes no trabalho de Rigão (2012).

O forno utilizado para a realização dos ensaios era um forno trifásico dotado de resistências elétricas de aço Kanthal A, com potência nominal de 18 kW e permitindo operar a uma temperatura de até 1340°C, conforme especificação do fabricante.

### 3.2 Resultados da primeira parte do estudo

As argamassas aquecidas a 400°C, após à exposição às altas temperaturas, foram deixadas dois dias em condições ambientais antes de serem ensaiadas à ruptura, para verificar se haveria alguma degradação visível. Observou-se que essas amostras não apresentaram nenhuma modificação visível no seu aspecto após esse período. No instante da ruptura dessas argamassas, foi feita também a ruptura do lote de argamassa que se manteve a temperatura ambiente, para análise da redução da resistência.

O lote que ficou à temperatura ambiente obteve uma resistência média à tração de 1,05 MPa e de 4,10 MPa para compressão, com desvio padrão de 0,10 MPa na tração e 0,33 MPa na compressão. Já as argamassas submetidas à temperatura de 400°C alcançaram uma resistência média à tração de 0,41 MPa e 2,32 MPa à compressão com desvio padrão de 0,04 MPa na tração e 0,23 MPa na compressão. Neste caso, a resistência residual na tração ficou em 39% e 56,6% na compressão. Já as argamassas expostas à temperatura de 900°C não obtiveram resistência significativa quando rompidas. Quando deixadas em condições ambientais tiveram elevada deterioração, indicando que essa temperatura é suficiente para promover a degradação completa das argamassas.

Observando os resultados, sugere-se que a resistência mecânica das argamassas estruturais são mais sensíveis às altas temperaturas em comparação às argamassas compostas somente de cimento e areia. No estudo de Karahan (2011), as argamassas compostas de cimento e areia, aquecidas a 400°C e mantidas em temperatura ambiente por 24 horas antes da ruptura, a resistência residual à compressão foi de 92%, já a 800°C a resistência ficou em 28%. Ainda, quando as amostras foram deixadas por 7 dias na temperatura ambiente, a resistência residual à compressão dessas teve redução em relação às ensaiadas 24 horas após a



retirada do forno. Isso confirma que após a exposição a grandes aquecimentos, o contato com o ambiente promove reações nos constituintes das argamassas que reduzem sua resistência. Comportamento observado nos ensaios, uma vez que as argamassas submetidas a 900°C, após 48 horas, ficaram tão frágeis que impediam seu manuseio sem que houvesse desagregação do material.

Para o estudo da perda de massa, as argamassas antes de serem submetidas à temperatura de ensaio, foram secas em estufa e após pesadas para ter seu peso seco. A tabela 1 ilustra o peso das amostras antes e após o ensaio, bem como a redução na sua massa.

Temperatura	Ident. CP	Peso seco (g)	Peso após ensaio (g)	Redução de massa	Média
400°C	AF1	487,19	479,41	1,60%	1,65%
	AF2	484,59	475,67	1,84%	
	AF3	487,66	480,26	1,52%	
900°C	BF1	494,88	467,97	5,44%	5,67%
	BF2	493,8	466,15	5,60%	
	BF3	495,91	466,34	5,96%	

Tabela 1 – Alteração de massa das amostras devido ao aquecimento.  
Fonte: Rigão (2012)

Analisando os dados da tabela 1, é possível observar que o aumento de temperatura não causou grande perda de massa das argamassas analisadas, pois quando se considera que não existe mais resistência (900°C) a perda média de massa foi de 5,67%.

### 3.3 Resultados da segunda parte do estudo

Os lotes moldados e submetidos à temperatura de 900°C possuíam resistências nominais que variavam de 4 a 12 MPa. As argamassas de resistências de 4, 6 e 8 MPa eram do fabricante A e as de resistências 10 e 12 MPa, do fabricante B.

Ao serem retiradas do forno, as argamassas ensaiadas permaneciam íntegras ainda (Figura 7). Transcorridos dois dias, todas as amostras tiveram completa deterioração, impossibilitando seu manuseio (Figura 8).



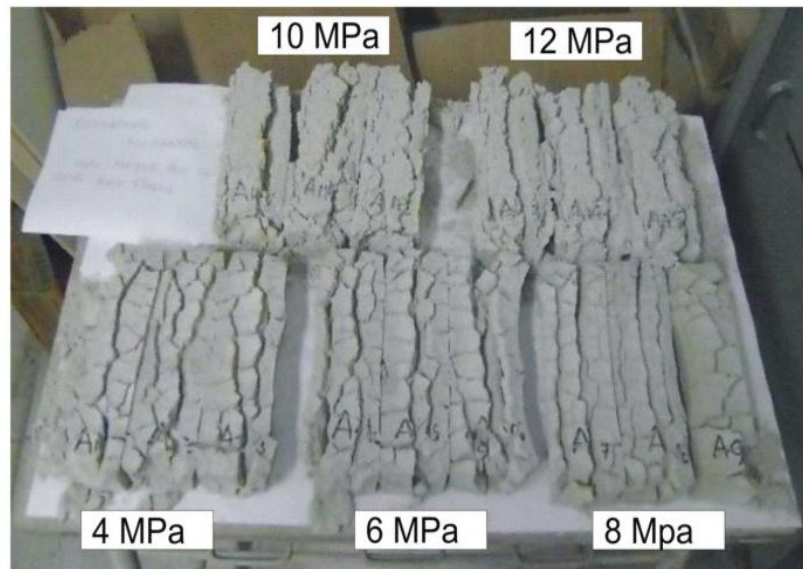
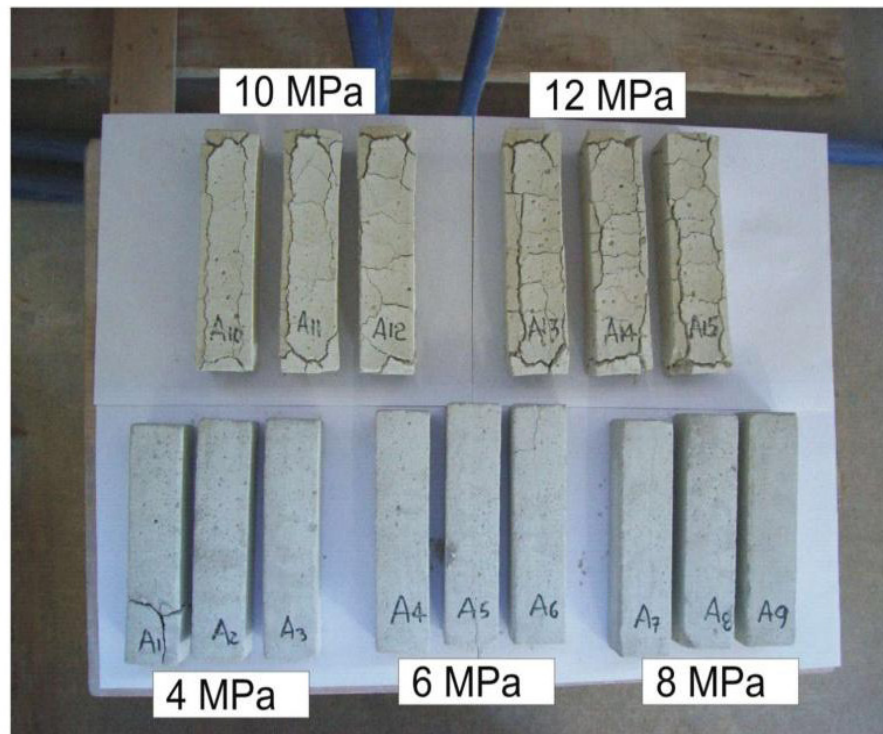


Figura 7 – Argamassas aquecidas após a retirada do forno  
Fonte: Rigão (2012)

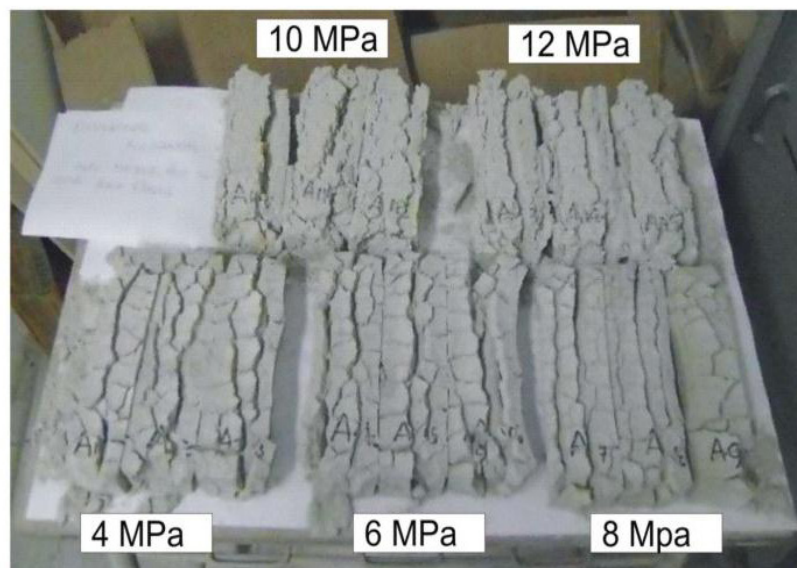
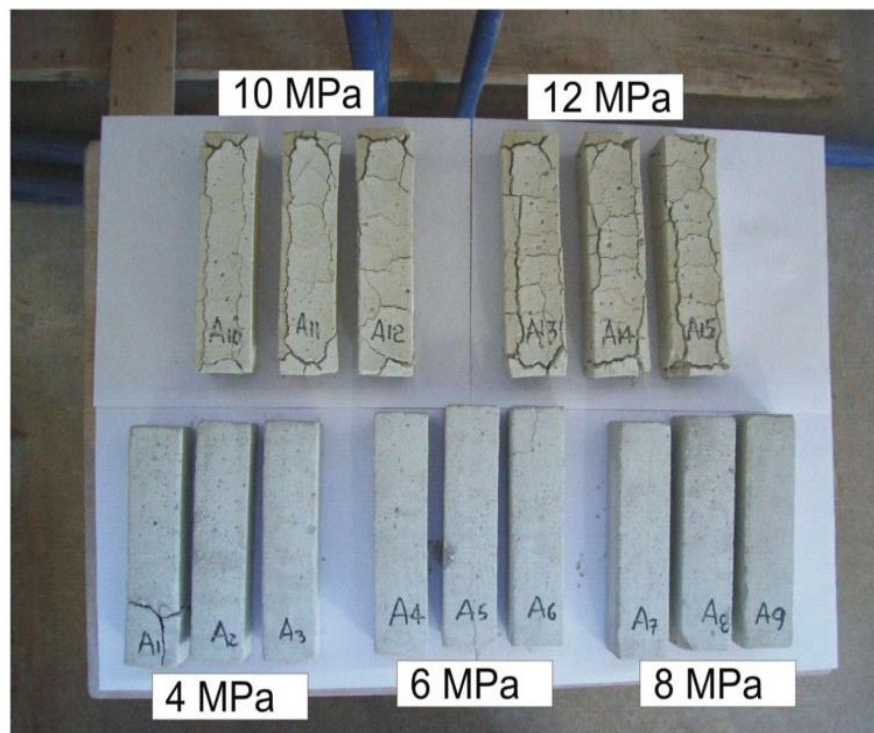


Figura 7 – Argamassas aquecidas transcorrido dois dias.  
 Fonte: Rigão (2012)

Como as argamassas eram industrializadas, não se conheciam seus traços, portanto não foi possível fazer uma análise detalhada de todas as variáveis responsáveis por este comportamento. As argamassas de maior resistência (10 e 12 MPa), possuíam certamente um maior teor de cimento em relação às demais e também foi descoberto que o agregado utilizado era de origem calcárea (evidenciado pela análise química posteriormente). O cimento, ao se hidratar, passa por diversas reações intermediárias, e que depois ao se estabilizar, entre outros componentes, forma C-S-H (silicato de cálcio hidratado) e este componente, ao ser aquecido a

altas temperaturas, perde água da sua molécula, causando retração. Já o calcário, a temperaturas próximas de 600°C, apresenta modificação da sua estrutura e alteração de volume. Por essas razões, acredita-se que as argamassas de resistências mais elevadas apresentaram fissuração maior em relação às demais.

Argamassas estruturais possuem grande concentração de hidróxido de cálcio e estas, ao serem aquecidas, passam por um processo de calcinação, originando óxido de cálcio. Esse componente ao reagir com a água volta a formar o hidróxido de cálcio, sendo uma reação expansiva. Possivelmente, as argamassas após a retirada do forno possuíam grande concentração de óxido de cálcio e nenhuma umidade. Ao serem deixados no ambiente, absorveram umidade, e o óxido de cálcio transformou-se em hidróxido de cálcio. Acredita-se que esse motivo foi o responsável pela degradação completa das amostras.

Com a finalidade de estudar uma possível alteração nos componentes químicos das argamassas antes e após o aquecimento, foi realizado um ensaio de caracterização química em algumas argamassas.

Das argamassas submetidas ao aquecimento de 900°C, foram selecionados três lotes. Desses lotes, foram escolhidas as argamassas de 6 MPa, 8 MPa e 10 MPa, sendo que a composição química dessas amostras foi comparada com amostras de mesma resistência que permaneceram à temperatura ambiente.

A análise química das amostras foi realizada utilizando o método de fluorescência de raios-X e a perda ao fogo, com aquecimento de 405 até 1000°C. A tabela 2 apresenta a análise química das amostras antes e após a exposição às altas temperaturas.

<b>Amostra</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>NaO<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Perda fogo</b>
ARG 6N	76,1%	1,35%	0,93%	10,6%	2,52%	0,08%	0,19%	0,50%	6,4%
ARG 6F	78,3%	1,42%	0,85%	11,4%	2,71%	0,08%	0,21%	0,52%	3,1%
ARG 8N	74,0%	1,46%	0,85%	11,8%	2,76%	0,07%	0,20%	0,55%	6,6%
ARG 8F	79,3%	1,39%	0,70%	11,0%	2,57%	0,09%	0,21%	0,52%	2,6%
ARG 10N	13,3%	1,69%	1,21%	33,7%	16,8%	0,11%	0,20%	0,29%	33,4%
ARG 10F	16,2%	2,11%	1,52%	42,3%	21,2%	0,14%	0,25%	0,36%	14,4%

Tabela 2 – Análise química das argamassas.  
Fonte: Rigão (2012)

A primeira coluna da tabela apresenta a designação das argamassas ensaiadas. O número refere-se à resistência característica da argamassa, o índice "N" designa a amostra que ficou a temperatura ambiente e o índice "F" a amostra submetida ao aquecimento.

Nas argamassas de 6 e 8 MPa, a composição percentual dos elementos químicos analisados foi bem semelhante para essas duas resistências, pois as argamas-

sas são oriundas do mesmo fabricante (fabricante A). A perda ao fogo nas argamassas de 6 e 8 MPa foi pequena, com valores próximos a argamassas de cimentos compostos encontrados na literatura como de 5,12 % para um cimento composto com 31,8% de cinza volante (SAHAMARAN et al, 2007) ou de 4,97% para um cimento CPII Z 32 (SILVA; CAMPITELI, 2008). As amostras de 10 MPa, apresentaram valores de perda ao fogo bem elevados se comparados às argamassas de menor resistência. Esse comportamento pode estar ligado ao tipo de agregado utilizado nas argamassas.

Foi possível inferir que o agregado utilizado na argamassa de 10 MPa é proveniente de uma rocha calcária dolomítica ou magnesiana, pois o teor de CaO e MgO é mais elevado que as demais amostras.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo realizar uma breve revisão sobre a microestrutura da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural. Foi realizado um estudo de revisão sobre a microestrutura dos seus constituintes, como forma de subsidiar o estudo de caso.

No estudo de caso, verificou-se que argamassas após serem expostas a altas temperaturas, principalmente a 900°C, não tiveram resistência residual e os corpos de prova ficaram totalmente degradados. As argamassas de maiores resistências (10 e 12 MPa) mostraram maior incidência de fissuras, provavelmente devido a maior concentração de cimento e o fato do agregado ser de origem calcária.

Na análise química, observou-se que o tipo de agregado usado tem influência na estabilidade química da argamassa ao ser submetida a temperaturas elevadas, pois agregados silicosos conferiram menor alteração química em relação aos calcários, que se decompõem a temperaturas menores, causando maior degradação da pasta na argamassa.

## Referências

ANDREINI, M. et al. Mechanical behavior of masonry materials at high temperatures. **Fire and Materials**, v. 39, n. 1, p. 41-57, 2015.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; HASPARYK, N. P. Microestrutura dos Materiais Cerâmicos. Cap. 11. ISAIA, G. C. (Org./Ed.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

CINCOTTO, M. A.; QUARCIONI, V. A.; JOHN, V. M. Cal na Construção Civil. Cap. 22. ISAIA, G. C.(Org./Ed.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2010.



- DEMIREL, B.; KELEŞTEMUR, O. Effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with finely ground pumice and silica fume. **Fire Safety Journal**, v. 45, n. 6, p. 385-391, 2010.
- ERGÜN, A. et al. The effect of cement dosage on mechanical properties of concrete exposed to high temperatures. **Fire Safety Journal**, v. 55, p. 160-167, 2013.
- FARZADNIA, N.; ALI, A. A. A.; DEMIRBOGA, R. Characterization of high strength mortars with nano alumina at elevated temperatures. **Cement and Concrete Research**, v. 54, p. 43-54, 2013a.
- FARZADNIA, N. et al. Characterization of high strength mortars with nano Titania at elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 43, p. 469-479, 2013b.
- HAGER, I. Colour change in heated concrete. **Fire Technology**, v. 50, n. 4, p. 945-958, 2014.
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ªEd, São Paulo: IBRACON, 2008.
- MOHAMAD, Gihad. **Construções de alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Blucher, 2015.
- POLITO, G. A. N. de C.; BRANDÃO, P. R. G. **Caracterização microestrutural da interface argamassa mista / bloco cerâmico**. Ambiente Construído, Belo Horizonte, Jul./Dez, 2010.
- RIGÃO, A. O. **Comportamento de Pequenas Paredes de Alvenaria Estrutural Frente a Altas Temperaturas**, 2012, 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- SAHMARAN, M.; KASAP, O.; DURU, K.; YAMAN, I. O. **Effects of mix composition and water-cement ratio on the sulfate resistance of blended cements**. Cement and Concrete Composites, Vol 29, 2007, p. 159-167.
- SILVA, N. G. da; CAMPITELI, V. C. **Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 4, out/ dez 2008, p. 21-35.
- SILVA, V. S.; LIBORIO, B. L. **Estudo da microestrutura da interface argamassa/substrato de concreto através da microscopia eletrônica de varredura**. CBECIMAT, Natal, Nov., 2002.

# CAPÍTULO 8

## **PROJETO VERSÁTIL DE ADAPTAÇÃO DO CONTADOR GEIGER-MÜLLER PARA AFERIÇÃO E QUANTIZAÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE NO AMBIENTE E EM PESSOAS**

VERSATILE PROJECT FOR ADAPTING THE GEIGER-MÜLLER COUNTER  
FOR IONIZING RADIATION MEASUREMENT AND QUANTIZATION IN  
THE ENVIRONMENT AND PEOPLE

**Lázaro Luiz Duarte Neto**  
**Marina Abadia Ramos**  
**Adriano Reis da Silva Júnior**  
**Letícia Marques Pinho Tiago**

## Resumo

**R**adiação é energia que se propaga a partir de uma fonte emissora através de qualquer meio, podendo ser classificada como energia em trânsito, forma de energia que consegue promover a ionização de moléculas e espécies químicas causando alterações indesejadas, inclusive de saúde. Partículas altamente energéticas como partículas alfa, os elétrons e os pósitrons são emitidos espontaneamente de núcleos radioativos encontrados diariamente na natureza. As lesões e danos nas estruturas fisiológicas são ocasionados pela modificação da estrutura química de moléculas corporais. Devido às atividades naturais e humanas é importante manter um controle acerca das quantidades e doses dessas radiações que estamos expostos a todo tempo, dessa forma decidimos pela criação de um equipamento de medição de radiação ionizante fundamentado na busca de ferramentas nas publicações bibliográficas atuais. Usaremos um aparato de Geiger-Müller circuitado eletronicamente, relativamente simples e de baixo custo, composto por um tubo Geiger-Müller, um circuito de alta tensão e um divisor de tensão para a leitura em um microcontrolador (medidor) para a leitura e interpretação dos dados. O circuito de alta tensão que alimenta o tubo será projetado de forma a manter 400 V em corrente contínua de maneira estável necessária para o bom funcionamento do equipamento.

**Palavras chave:** Geiger-Müller, Prototipação, Radiação

## Abstract

**A**bstract - Radiation is energy that spreads from an emitting source by any means, and can be classified as energy in transit, a form of energy that can promote the ionization of molecules and chemical species causing undesirable changes, including health. Highly energetic particles such as alpha particles, electrons and positrons are spontaneously emitted from radioactive nuclei found daily in nature. The injuries and damages in the physiological structures are caused by the modification of the chemical structure of the body's molecules. Due to natural and human activities, it is important to maintain control over the quantities and doses of these radiation to which we are exposed at all times, so we decided to create an ionizing radiation measurement equipment from the search for tools in current bibliographic publications. We will use electronically a Geiger-Müller device, relatively simple and low cost, composed of a Geiger-Müller tube, a high voltage circuit and a voltage divider for reading in a microcontroller (meter) for reading and interpreting the data. The high voltage circuit that supplies the valve will be designed to maintain 400 V in direct current in a stable manner necessary for the proper functioning of the equipment.

**Key-words:** Geiger-Müller, Prototyping, Radiation



## 1. INTRODUÇÃO

A radiação é uma forma de energia que viaja a partir de ondas ou partículas energizadas, que podem ser divididas entre radiações ionizantes, assim como a radiação solar e não ionizantes - tal como as ondas de rádio (DONYA et al., 2014).

Radiação ionizante é um tipo de radiação com força suficiente para remover elétrons presos na órbita do átomo com o qual está interagindo, tornando-os carregados ou ionizados (De Almeida Moreira, 2011). A radiação não ionizante é um modelo de radiação de baixa frequência e baixa energia, que se propaga através de uma onda eletromagnética, proveniente de um campo elétrico e um campo magnético, podendo ser constituídas a partir de fontes naturais e não naturais (INCA, 2019?).

No cotidiano as pessoas estão expostas às radiações de fundo por meio principalmente do radônio, proveniente das rochas da crosta terrestre e, para saber o quanto dessas radiações atingem o ser humano, usamos uma unidade de medida do Sistema Internacional de Unidades denominado de dose equivalente. A dose equivalente (H) é uma medida da dose de radiação num tecido. Esta grandeza tem maior significado biológico que a dose absorvida, pois permite relacionar os diversos efeitos biológicos de vários tipos de radiação. A sua unidade no Sistema Internacional é Sievert (Sv).

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

A dose equivalente é obtida através da dose absorvida multiplicada por dois fatores ponderantes apropriados adimensionais. A dose média recebida pelas pessoas por meio da radiação de fundo é de cerca de 2,4 mSv/ano, podendo variar de 1 a 10 mSv/ano (Thomas et al., 2016).

A literatura atualizada cita uma grande variedade de efeitos não térmicos adversos à saúde humana, provenientes da exposição prolongada às radiações de RF (Radiofrequência) devido a ondas de TV, monitores, celulares e microondas além das alterações causadas pelos aparelhos como do eletroencefalograma (EEG) e imageamento causando letargia, geração de prematuros, distúrbios do sono, distúrbios comportamentais, perda de memória recente, dificuldades de concentração, doenças neurodegenerativas, abortamento, má formação fetal, linfoma, leucemia e câncer, entre outros. Campos elétricos e eletromagnéticos interagem de forma inequívoca com os sistemas biológicos, além da sua penetração nos órgãos e tecidos, estes são regidos por delicadas reações bioeletroquímicas que sustentam o processo vital e recebem a influência daqueles campos (CONDESSA DODE, 2006).

Radiação é energia que se propaga a partir de uma fonte emissora através de qualquer meio, podendo ser classificada como energia em trânsito (OKUNO, 2013).





As partículas alfa, os elétrons e os pósitrons são também emitidos espontaneamente de núcleos dos átomos radioativos advindos de materiais da natureza (OKUNO, 2013). A radiação pode se apresentar também em forma de onda eletromagnética, constituída de campo elétrico e campo magnético oscilantes, perpendiculares entre si e que se propagam no vácuo com a velocidade da luz. Uma onda eletromagnética é caracterizada pelo comprimento de onda ou pela frequência da onda e as várias faixas constituem o espectro eletromagnético, indo de ondas de frequência extremamente baixa, passando por ondas de rádio, de TV, microondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta até chegar aos raios-X e raios gama. Durante vários séculos houve muita polêmica quanto à natureza da luz, se ela era uma onda ou se era constituída de partículas (OKUNO, 2013). Dessa forma entendemos as amplas possibilidades de alteração da matéria (espaço e via de propagação dessa radiação). Sabendo disso, é de extrema importância a determinação da quantidade de radiação a qual o ser humano está exposto, a fim de prever os riscos provenientes de exposição excessiva. Para tal monitoramento utilizam-se medidores de radiação ionizante e o principal deles é o contador de Geiger-Müller (GM). O contador Geiger-Müller (GM) é um instrumento científico criado em 1928 por Hans Geiger e Walter Müller. O contador GM foi um dos primeiros instrumentos elétricos que conseguia detectar as radiações alfa, beta e gama. O contador GM detecta a presença de radiação usando a capacidade que as partículas radioativas têm de ionizar certas moléculas. O contador tem duas partes principais - um tubo selado, ou câmara, cheio de gás e um display de informações. A câmara cheia de gás (normalmente argônio) é submetida a uma tensão elétrica que mantém a parede do tubo negativa em relação a um fio positivo que corre ao longo do seu eixo, esse fio atrai elétrons, criando outros pares de íons e enviando uma corrente através dele. Quando as partículas radioativas entram em contato com os átomos de argônio, convertem alguns deles em íons positivos mais elétrons. Sob a ação do campo elétrico, os íons migram para a parede do cilindro e os elétrons para o fio. Essa dupla migração causa um pulso de corrente que é transmitida a um amplificador. A corrente vai para o display e move uma agulha em uma escala ou exibe um número em uma tela, indicando o nível de radiação local (KORFF, 2013). O uso do contador GM, nesse projeto, possibilita a construção de equações e processamento de dados com possibilidade de reproduzir informações úteis e de fácil conversão em sinais simplificados que servirão de ensaios na construção de um medidor externo com alvo no público em geral, com capacidade de captar radiações emitidas pelo corpo humano, enquanto exposto às condições ambientais cotidianas, sendo que tais informações servirão de referências de prevenção e educação à população quanto aos perigos da rotina a que são expostos, normalmente, levemente. Justificamos o uso de microcontrolador para compor o aparato com a expectativa de obter como resultados as doses de radiação a partir dos valores recebidos pelo contador GM.



## 2. METODOLOGIA

Através de uma adaptação de um contador GM para dosagem de energia ambiente apresentamos um esquema matemático de análise, verificação e um modelo de mensuração. O esquema consiste em um equipamento contendo como base o tubo GM acoplado a sistemas de resistores, capacitores, um transformador, diodos, transistores e circuitos integrados de acordo com o esquema da Figura 1.

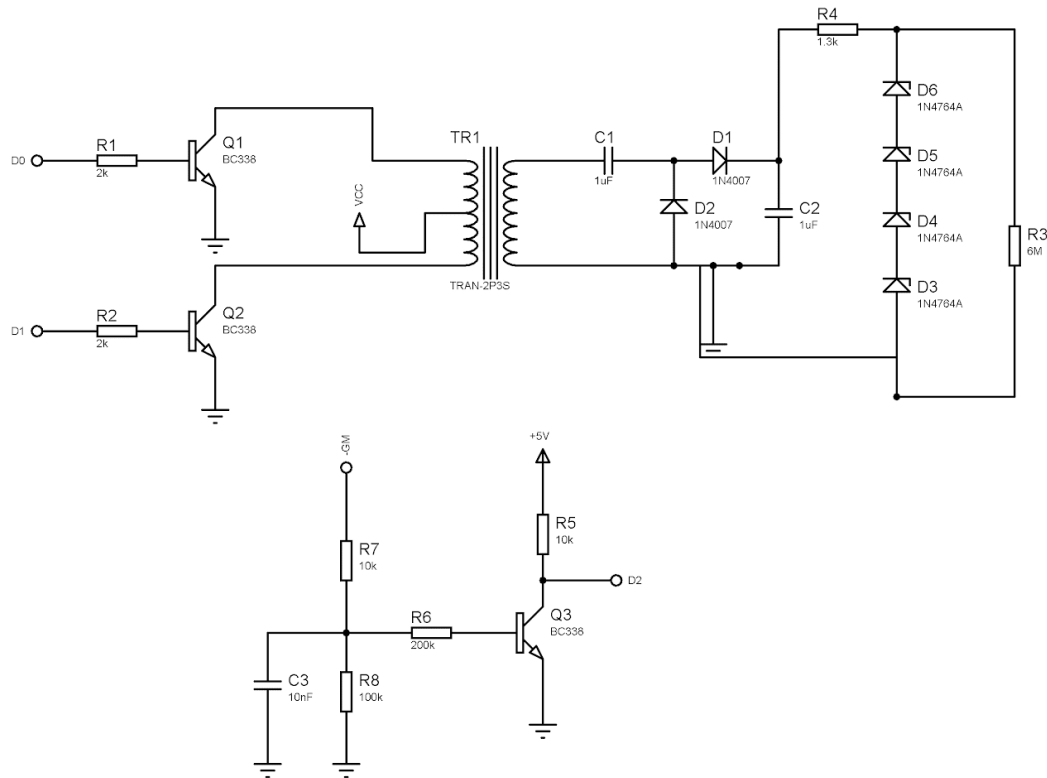


Figura 1 – Esquema elétrico do gerador de alta tensão do contador GM.  
Fonte: Autoria Própria (2020)

Como apresentado na Figura 1, o gerador de alta tensão consiste em um inversor composto por dois transistores TBJ 3 do tipo NPN. Uma tensão de 5V é aplicada a base do transistor, de forma a fluir 2,5 mA de corrente sabendo que a corrente no coletor é caracterizada como sendo  $I_c = hfe \cdot I_b$ .

Devido ao ganho do transistor ( $hfe$ ), a corrente de coletor será de 250 mA, o que é mais que suficiente para alimentar a carga e os diodos zener, uma vez que  $I_{zt} = 2,5$  mA e temos 3,125 mA no nó entre o capacitor C2 e o diodo D1 com essa configuração. A transformação de corrente e tensão é caracterizada por  $2 \cdot \frac{N_s}{N_p} = \frac{V_{c2}}{V_p} = \frac{I_p}{I_{c2}}$ .

O resistor R3 representa o conjunto composto pelo tubo GM, o divisor resistivo e a saída do sinal oriundo da detecção de radiação. O medidor de radiação do tipo GM é composto por um gerador de tensão, um tubo GM e um contador de pulsos, que no nosso caso é o microcontrolador ATMEGA328P programado usando a IDE

do Arduino.

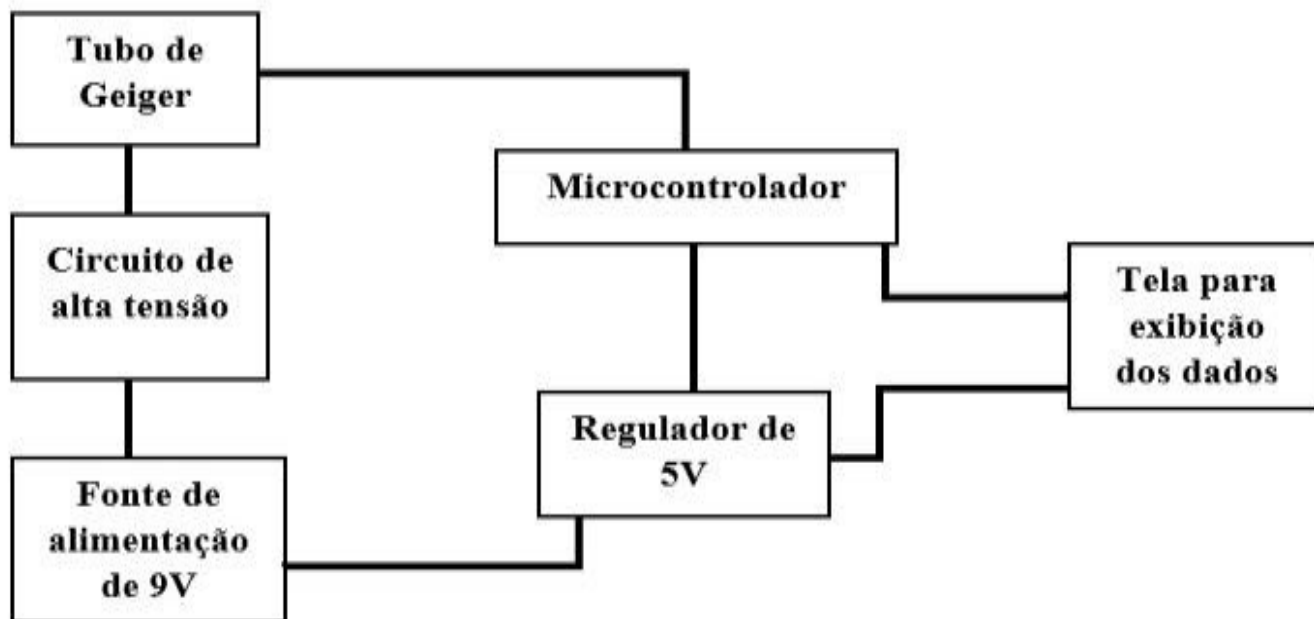


Figura 2 – Esquema de funcionamento do contador GM.  
Fonte: Autoria Própria (2018)

O contador GM será construído de acordo com o esquema da Figura 2, respeitando as tensões e correntes em cada parte do sistema.

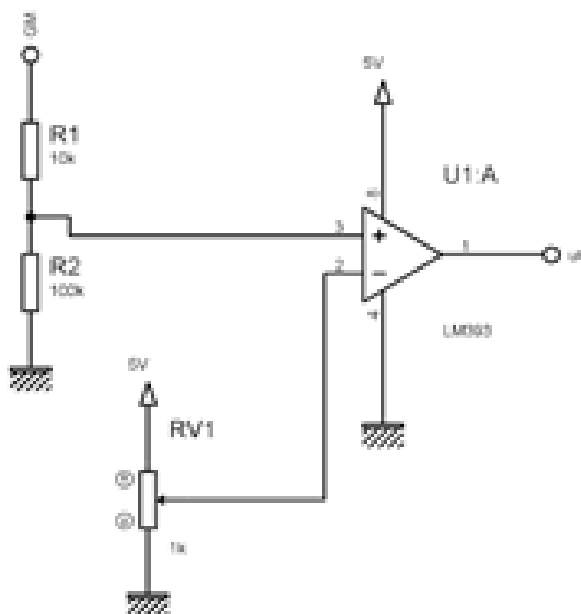


Figura 3 – Saída de sinal para o microcontrolador.  
Fonte: Autoria Própria (2020)

A saída do sistema para o microcontrolador está representada na Figura 3 (uC) e é caracterizada por um nível lógico alto quando um feixe de radiação passa pelo tubo. O comparador de tensão LM393 é usado para minimizar o efeito dos espúrios de tensão provenientes de ruídos diversos. As entradas do comparador de tensão são ligadas a dois divisores resistivos, sendo um para ajuste do limiar de detecção, composto por um potenciômetro como dois resistores em série, e o outro para

a tensão de saída após um feixe de radiação passar pelo tudo. A relação entre a tensão de entrada e a tensão de saída do divisor de tensão resistivo é dada por

$$V_o = V_i \cdot \left[ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right].$$

A saída será representada por um nível lógico de 5V a cada feixe de radiação que passar pelo tubo GM, o que será contado pelo microcontrolador e interpretado para a quantidade de radiação emitida pelo corpo analisado. Posteriormente à construção desse esquema eletrônico será criado um software que irá computar a quantidade de pulsos de radiação por minuto e hora. Com esses dados serão calculados os níveis de radiação obtidos por meio da multiplicação desses por constantes que converterão CPM e CPS (Contas por minuto e por segundo, respectivamente) em  $\mu\text{Sv/s}$ ,  $\mu\text{Sv/min}$ ,  $\mu\text{Sv/h}$ ,  $\text{mSv/s}$ ,  $\text{mSv/min}$ ,  $\text{mSv/h}$ . Apesar do aparato ser de baixo custo, não é necessariamente acessível a qualquer cidadão devido à dificuldade de acesso à alguns componentes. Por situações inesperadas da pandemia e problemas administrativos da empresa Correios, esses fatores impossibilitaram os testes do aparato. Entretanto, pretende-se montar todo o esquema descrito, de forma teórica, em um dos laboratórios de biofísica (UFU - Umuarama) e calibração em ambiente controlado. Após essa etapa de calibração, pretendemos encontrar um valor (que pode ser uma constante) que será utilizada no software desenvolvido.

### 3. CONCLUSÃO

O presente trabalho é uma proposta de desenvolvimento de uma ferramenta de acessibilidade funcional a todo cidadão não ligado à área da radiação e proporciona, ao mesmo tempo, acompanhar os níveis de radiação ao qual está submetido no cotidiano como sistema de obtenção de informações úteis à saúde.

Em suma, o equipamento, simples e de baixo custo, composto por um contador GM e acoplado a um microcontrolador, descrito neste artigo possui um sistema semiaberto que permite maiores possibilidades de expansão e flexibilidade para uso em conjunto com outros aparatos de software e hardware tendo em vista os contadores GM comerciais atuais com custos elevados.

Este equipamento será usado posteriormente para a busca e medição de radiação ionizante no meio ambiente e será feito a quantização e análise dos dados coletados.



## Referências

CONDESSA DODE A.; DINIZ LEÃO M.; CONDESSA DODE D. Poluição Ambiental e Exposição Humana em relação às Radiações Eletromagnéticas oriundas do Sistema de Telefonia Celular. **Medições de Radiações Eletromagnéticas**, 2006.

DE ALMEIDA MOREIRA, J. Radiobiologia – Efeito das radiações ionizantes na célula – e formas de proteção das radiações ionizantes, **Universidade da Beira Interior**, 2011.

DONYA, M.; RADFORD, M.; ELGUINDY, A.; FIRMIN, D. and YACOUB, M. Radiation in medicine: Origins, risks and aspirations. **Global Cardiology Science and Practice**, vol. 2014, no. 4, p. 57, 2014.

INCA - Instituto Nacional de Câncer. Radiações não ionizantes. Disponível em: < <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/radiacoes/radiacoes-nao-ionizantes> > Acesso em: 31 de Agosto de 2020.

KORFF, S. How the Geiger Counter started to crackle: Electrical counting methods in early radioactivity research. **Annalen der Physik**, vol. 525, no. 6, pp. A88-A92, 2013.

OKUNO, E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos Avançados**, vol. 27, no. 77, pp. 185-200, 2013.

THOMAS, G.; SYMONDS, P. Radiation Exposure and Health Effects – Is it Time to Reassess the Real Consequences?. **Clinical Oncology**, vol. 28, no. 4, pp. 231-236, 2016.



# CAPÍTULO 9

## **MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA POR MEIO DE ARREFECIMENTO DE PAINÉIS SOLARES COM SUPERVISÃO ONLINE**

IMPROVING OF THE ENERGY EFFICIENCY OF A PHOTOVOLTAIC  
GENERATION SYSTEM THROUGH THE COOLING OF SOLAR PANELS  
WITH ONLINE SUPERVISION

**Breno Eduardo Silva Mendes**

**José Luis Domingos**

**Aylton José Alves**

**Ghunter Paulo Viajante**

## Resumo

Neste trabalho é projetado e implementado estrutura, em planta piloto, para subsidiar análises de viabilidade técnica e econômica de melhoria de eficiência energética em usinas solares fotovoltaicas. Um aparato completo de arrefecimento é projetado e instalado em uma usina, em planta piloto sob o solo, de 5,85kWp. A água de reuso utilizada é proveniente do sistema de tratamento do esgoto do campus Aparecida de Goiânia do IFG. As estruturas desenvolvidas compreendem: sistema de controle do volume e da distribuição da água na superfície dos painéis; sistema de aquisição de dados, térmicos e elétricos dos painéis; sistema de controle, monitoramento, em tempo real, das grandezas coletadas, com utilização de uma rede industrial, baseada em protocolo Modbus RTU e Modbus TCP/IP. As análises preliminares apontaram para viabilidade técnica do sistema, com ganho médio, líquido, de 7,93% da potência gerada nos painéis solares. Estudos econômicos poderão ser desenvolvidos, a partir dos custos do sistema e da estimativa de melhoria de eficiência energética.

**Palavras chave:** Água de reuso, Arrefecimento, Eficiência Energética, Energia Solar.

## Abstract

In this work, a structure is designed and implemented in a pilot plant to support analyzes of technical and economic feasibility to improve energy efficiency in solar photovoltaic plants. A complete cooling apparatus is designed and installed in a plant, in a pilot plant under the ground, of 5.85kWp. The reuse water used comes from the sewage treatment system of the Aparecida de Goiânia campus of IFG. The structures developed include: a system for controlling the volume and distribution of water on the surface of the panels; data acquisition system, thermal and electrical of the panels; control system, monitoring, in real time, of the collected quantities, using an industrial network, based on Modbus RTU and Modbus TCP / IP protocol. Preliminary analyzes pointed to the technical viability of the system, with an average net gain of 7.93% of the power generated in the solar panels. Economic studies may be developed, based on the costs of the system and the estimate of improvement in energy efficiency

**Keywords:** Cooling, Energy Efficiency, Reuse Water, Solar Energy.



## 1. INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica, uma energia renovável, vem se tornando cada vez mais uma alternativa promissora às fontes de energia esgotáveis e poluidoras. A conversão direta da energia solar em energia elétrica é feita por módulos ou painéis fotovoltaicos feitos de material semicondutor, sendo o silício o material mais usado.

Os sistemas de geração fotovoltaica dependem diretamente da irradiação solar e são influenciados também pela temperatura de operação dos painéis e outros fatores, como sombreamentos e sujidade.

A eficiência e a potência de saída dos módulos dependem linearmente da temperatura de operação (DUBEY et al., 2013). À medida que a temperatura do módulo aumenta, sua tensão de saída se torna menor e, conseqüentemente, diminui a potência de saída, reduzindo também a eficiência do módulo.

Em função dessa queda na eficiência dos painéis decorrente da elevação da temperatura em países com alto índice de radiação solar, como o Brasil, preliminarmente, estudos teóricos e experimentais tem sido desenvolvidos para amenizar tal efeito. Estes dispositivos são os chamados sistemas híbridos fotovoltaico/térmico (PVT na sigla em inglês para *Photovoltaic Thermal*), que se caracterizam pela integração entre um sistema com módulos fotovoltaicos e um coletor térmico, que utiliza fluido refrigerante aplicado na superfície dos módulos para resfriá-los, atuando como um sistema auto-limpante da superfície, através da remoção de partículas de poeira que diminuem a capacidade de conversão energética (JI et al., 2007).

Estudos recentes foram feitos para implementar o resfriamento em painéis fotovoltaicos para melhorar a eficiência energética de um sistema instalado no Instituto Federal de Goiás, em Goiânia. Nos experimentos são realizadas medições instantâneas de potência e temperatura em dois painéis fotovoltaicos, um submetido a resfriamento com água coletada da chuva aplicada em sua superfície frontal e outro em condições normais de uso, ou seja, sem o resfriamento. Os resultados mostram que menores taxas de fluxo no sistema de resfriamento geram um maior custo-efetividade na eficiência dos painéis, obtendo-se um ganho de potência dos painéis de até 11,99% (SANTOS, 2017).

Castanheira et al. (2018) apresenta um modelo tecnicamente viável de um kit de resfriamento a água para sistemas fotovoltaicos existentes em Portugal, considerando aspectos de um produto em escala comercial. Para este sistema considera-se não só as perdas de água e energia no sistema de resfriamento, otimizando para uma situação industrial real, como aspectos econômicos, custos de investimentos, durabilidade e manutenção. O protótipo do sistema de resfriamento de água foi instalado em uma *string* de 5kW (25 painéis) de uma usina de energia





solar fotovoltaica de 20kW instalada em Lisboa, Portugal, aplicando-se água na superfície frontal dos painéis. Os experimentos analisaram como os painéis, com e sem resfriamento, tiveram sua eficiência afetada. A análise dos dados mostrou que o kit de resfriamento pode aumentar a produção energética anual em 12%.

Já no Reino Unido, uma técnica de resfriamento multiconceito é desenvolvida para reduzir o superaquecimento de módulos fotovoltaicos, para aumentar a eficiência e potência de saída. O experimento foi realizado com dois painéis fotovoltaicos de 250W montados a altura de 37cm, criando um espaço para resfriamento do ar. A técnica usada consiste em refrigerar a superfície frontal de um painel com água e dissipar o calor utilizando um dissipador de calor de alumínio na superfície traseira do mesmo painel, estando o outro painel em condições normais sem os aparatos. O dissipador de calor de alumínio consistia em uma placa de alumínio com aletas em alumínio para ajudar a refrigerar. O resultado foi um aumento na eficiência de 3%, tornando o painel mais eficiente e produtivo (IDOKO et al., 2018).

Um estudo do uso de duas fontes de água de reuso é realizado para análise da melhoria da eficiência de painéis fotovoltaicos instalados no Instituto Federal de Goiás. Os estudos são baseados em análises qualitativas e quantitativas de dois tipos de efluentes: proveniente de tratamento anaeróbico de uma indústria alimentícia (laticínio), e proveniente de tratamento biológico, Sistema Wetland construído, para tratamento de água cinza, em unidade residencial. As análises quantitativas se basearam principalmente em análises físico-químicas das amostras dos dois efluentes e dos parâmetros elétricos de melhoria de eficiência dos painéis em comparação com painéis sem arrefecimento. As análises qualitativas avaliam a presença ou ausência de corrosão, incrustação ou embaçamento dos painéis arrefecidos. A bancada de estudos é composta por quatro painéis de 5W divididos em dois com e dois sem arrefecimento. Após os estudos, do ponto de vista das análises físico-químicas, os dois efluentes atenderam às exigências das normas brasileiras para fins de reuso não-potável. Do ponto de vista dos parâmetros elétricos, as eficiências dos painéis foram acrescidas de 5,22% e 6,57% com efluentes industriais e provenientes das *Wetlands* respectivamente. Das análises qualitativas, não foram observados sinais de corrosão, incrustação e embaçamento nos painéis arrefecidos (VAZ et al., 2019).

## 2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é apresentar um sistema de arrefecimento projetado e instalado com vistas à melhoria da eficiência de conversão elétrica de um sistema fotovoltaico, através de arrefecimento com água de reuso em uma planta piloto instalada no solo.



## 2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a) apresentar referencial teórico sobre fatores que afetam a eficiência de geração de sistemas fotovoltaicos;
- b) especificar as etapas do trabalho, mostrando as características técnicas da planta piloto, a origem da água de reuso, e um sistema para aquisição de dados e supervisão para obter e monitorar as variáveis do sistema fotovoltaico com e sem arrefecimento;
- c) realizar análise comparativa da eficiência de conversão de energia de sistema fotovoltaico de uma planta piloto com os painéis em temperatura ambiente e com os painéis arrefecidos com aplicação de água de reuso proveniente de efluente do tratamento de esgoto de uma instituição de ensino.

## 3. PARÂMETROS AMBIENTAIS QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Existem fatores ambientais que afetam as células, módulos e a geração fotovoltaica. Dentre estes fatores pode-se mencionar a irradiância solar do local, a temperatura de operação da célula, os sombreamentos e a sujidade, os quais são abordados a seguir (SILVA, 2019).

### 3.1 Irradiância solar

A corrente gerada através da conversão fotovoltaica depende da quantidade de fótons capazes de contribuir para o efeito fotovoltaico. Assim, a corrente elétrica e a tensão geradas através deste processo são sensíveis à variação da irradiância solar (SILVA, 2019).

A corrente elétrica aumenta linearmente com o aumento da irradiância solar incidente, ao passo que a tensão de circuito aberto aumenta de forma logarítmica, se mantida a mesma temperatura. A Figura 1 ilustra as curvas V-I, comumente mencionadas na literatura como curvas de Tensão X Corrente, de uma célula fotovoltaica de silício cristalino em vários níveis de irradiância solar, mantida na temperatura de 25°C.



## 3.2 Temperatura de operação

Variações na temperatura ambiente afetam a temperatura de operação da célula fotovoltaica. O aumento da temperatura ambiente faz com que aumente a temperatura de operação da célula, reduzindo sua tensão de circuito aberto (SILVA, 2019). Portanto, a redução da tensão provocará uma perda de potência da célula ou módulo e conseqüente perda de eficiência de conversão.

As Figuras 2 e 3 apresentam o comportamento de tensão, corrente e potência para diferentes temperaturas.

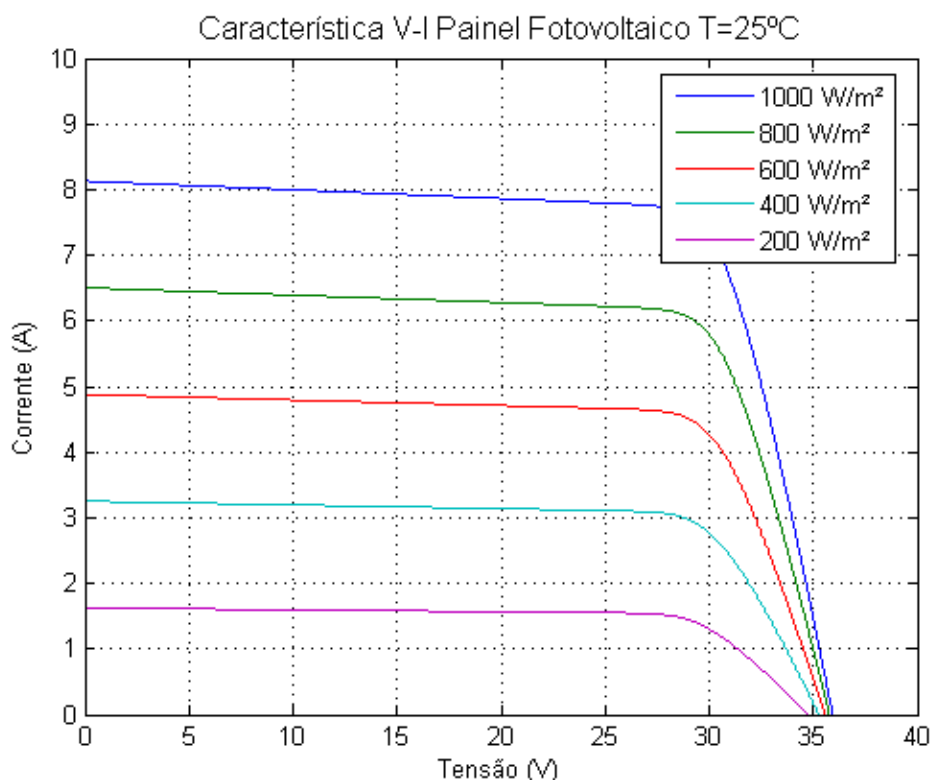


Figura 1 – Influência da irradiância solar na curva Tensão-Corrente de uma célula fotovoltaica de silício à 25°C  
Fonte: Neto (2017)

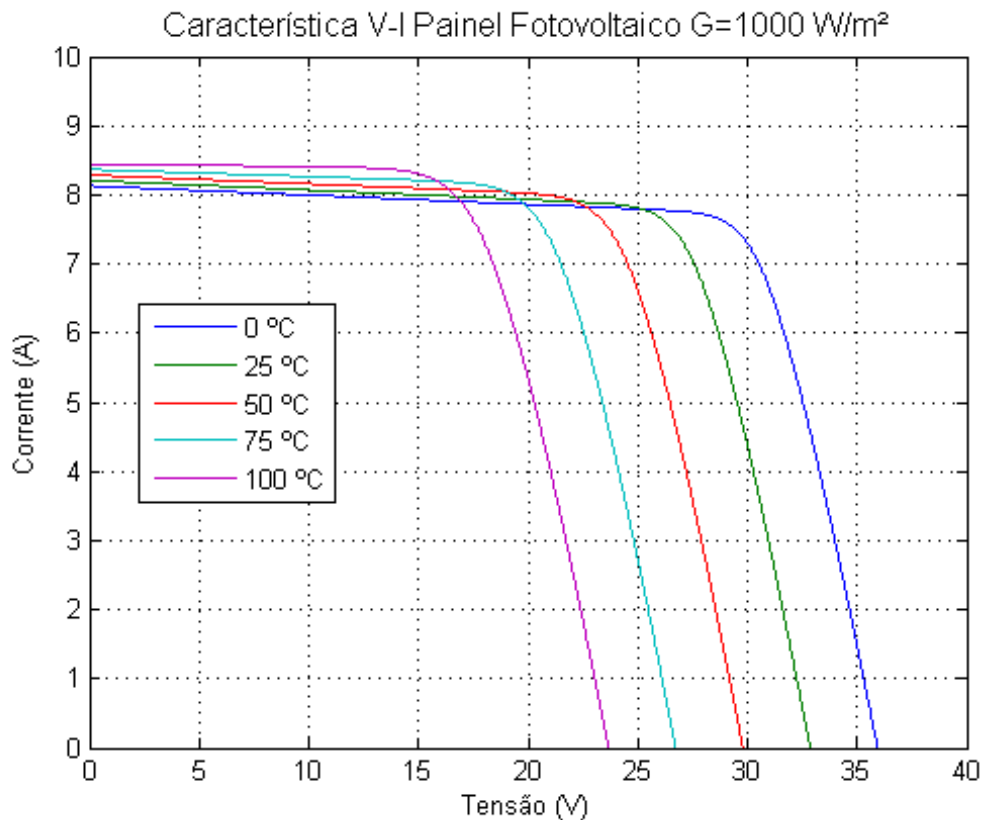


Figura 2 – Curva Tensão-Corrente em diferentes temperaturas (Irradiância de  $1000 \text{ W/m}^2$ )  
Fonte: Neto (2017)

### 3.3 Sombreamentos

Um fator importante para diminuição da capacidade de geração é o sombreamento parcial dos módulos fotovoltaicos. Estes sombreamentos podem ser causados por árvores, construções próximas ao sistema, sujeira como folhas, dejetos de pássaros, ou até mesmo um módulo sombreando outro, no caso de um projeto mal dimensionado (SILVA, 2019).

Os módulos de silício cristalino possuem células associadas em série. Se uma dessas células receber menos irradiação provocada por um sombreamento, sua corrente limitará a corrente de todo o conjunto em série no módulo, limitando também a corrente de todos os módulos conectados em série (PINHO; GALDINO, 2014).

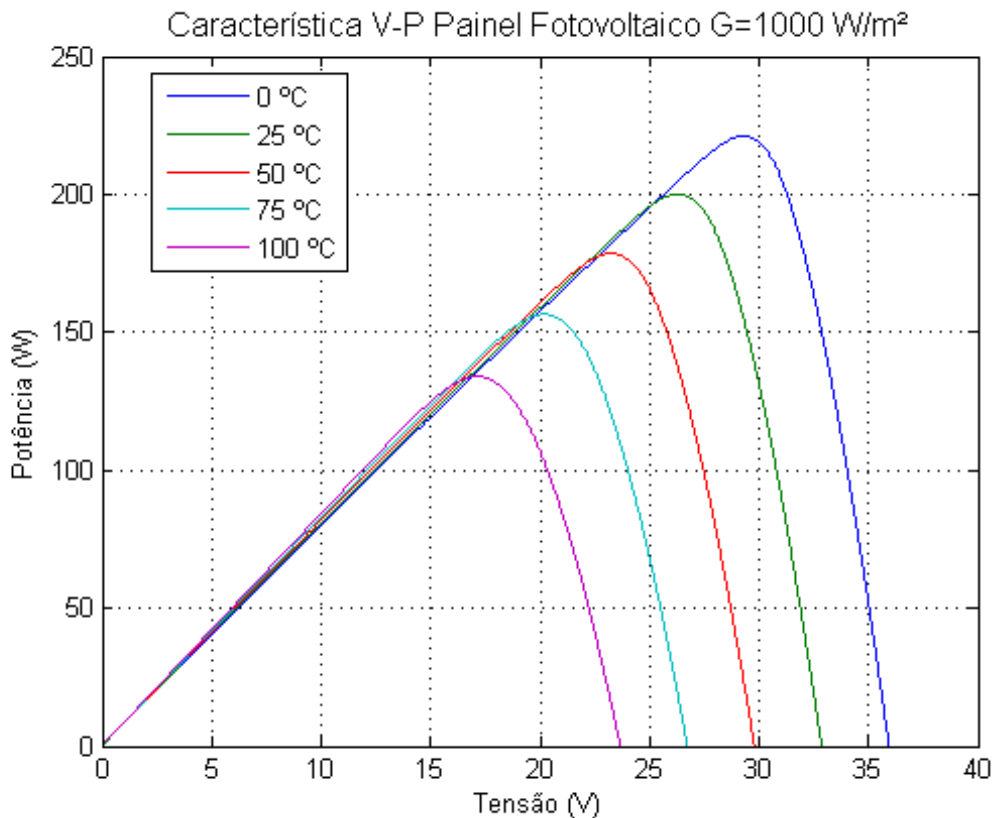


Figura 3 – Curva Tensão-Potência em diferentes temperaturas (Irradiância de  $1000 \text{ W/m}^2$ )  
Fonte: Neto (2017)

Além da perda de potência no gerador fotovoltaico, o efeito do sombreamento também acarreta riscos ao módulo sombreado, pois este irá sofrer aumento de temperatura devido ao aumento da resistência interna da célula, gerando os chamados "pontos quentes". De forma a evitar os pontos quentes, são introduzidos os diodos de desvio (*by-pass*) que permitem a passagem da corrente sem danificar a célula através de um caminho alternativo.

### 3.4 Sujidade

Sistemas fotovoltaicos são instalados em locais sujeitos ao acúmulo de matéria particulada em sua superfície, devido à poluição ambiente e sujeira presente no ar. Podem ser encontradas substâncias como poeira contendo areia, cinzas, cimento, dejetos de pássaros e materiais originados por combustão (SILVA, 2019).

Essa deposição de sujidade no módulo tem um impacto direto no desempenho do sistema fotovoltaico, reduzindo a absorção da irradiância, funcionando como uma barreira para a passagem dos fótons, e afetando a geração de energia elétrica.

A sujidade acumulada nestes sistemas depende do ambiente e das condições climáticas verificadas no local. Fatores como precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, velocidade do vento e a inclinação dos módulos fotovoltaicos con-

tribuem ou prejudicam na limpeza. Portanto a limpeza periódica dos módulos se faz necessária para manutenção da eficiência do sistema de geração fotovoltaica (SILVA, 2019).

#### 4. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

As células e módulos fotovoltaicos são, em sua maioria, fabricados a partir de materiais semicondutores, com o silício sendo o mais comum (SANTOS, 2018).

Em condições laboratoriais ou condições padrões de teste (STC), com o atual estado da arte da tecnologia, é possível produzir células individuais de cristal de silício com eficiência superior a 24%. Ainda assim, devido a contínuas pesquisas no campo das células solares, o valor teórico alcançável da eficiência se direciona aos 30%. Porém, comercialmente, a eficiência é de apenas 13 a 19% podendo chegar em 24% nos próximos anos (ALMEIDA et al., 2016).

O rendimento das células depende de diversos fatores e a operação em módulo possui eficiência global inferior à eficiência das células individuais devido ao fator de empacotamento, à eficiência ótica de cobertura do módulo e, à perda nas interconexões elétricas das células (ALMEIDA et al, 2016). Alguns rendimentos, de acordo com a tecnologia e/ou materiais das células, podem ser vistos na Tabela I.

<b>Materiais e/ou tecnologias</b>	<b>Células</b>	<b>Módulos</b>
Silício monocristalino (m-Si)	14% a 25%	14% a 21%
Silício policristalino (p-Si)	20%	13% a 16,5%
Orgânicas	12%	7% a 12%
Filmes finos	9% a 16%	7% a 13%
Silício amorfo (a-Si)	9%	6% a 9%
Telureto de Cádmio (CdTe)	14,4%	9% a 11%
Seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)	22%	10% a 12%

Tabela 1 – Rendimento médio obtido em células e módulos fotovoltaicos.  
Fonte: Adaptado de Almeida et al (2016)

Os efeitos da inclinação e orientação dos painéis na eficiência do gerador dependem da razão entre a radiação direta e difusa locais, bem como da fração de albedo (reflexão dos arredores), que é característica do ambiente que circunda a instalação. Como regra, a inclinação ótima com relação à horizontal para incidência solar máxima em regime anual é dada pela latitude local. A orientação ideal é a de uma superfície voltada para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte) (SANTOS, 2018).



## 5. SISTEMA DE ARREFECIMENTO DE UMA PLANTA FOTOVOLTAICA

Um sistema fotovoltaico foi instalado no Campus Aparecida de Goiânia do IFG para o estudo do arrefecimento dos painéis fotovoltaicos com água de reuso proveniente do efluente de um sistema de tratamento de esgoto bruto do campus. O esgoto bruto, captado na rede de esgoto do campus, é primeiramente tratado em um reator anaeróbico de fluxo ascendente de alta eficiência, denominado de UASB (do inglês, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Na sequência, a água na saída deste recebe um tratamento secundário, em um sistema de tratamento biológico por zonas de raízes, também conhecido como sistema *Wetlands*.

### 5.1. Características técnicas e de projeto da planta piloto

O sistema fotovoltaico da planta piloto do Campus Aparecida de Goiânia do IFG é composto por um sistema de geração com 18 painéis fotovoltaicos de 325Wp e 16,7% de eficiência, em um total de 5,85kWp de potência.

A micro-usina está instalada no solo de forma a facilitar a implantação do sistema de arrefecimento e monitoração da geração fotovoltaica, possibilitando a comparação com a geração de parte do sistema que não contempla o arrefecimento. O sistema está configurado com 2 *strings* de 9 painéis em cada, sendo uma com arrefecimento (*string* superior) e a outra a temperatura ambiente (*string* inferior). Entre as 2 *strings* há um espaço de 10 cm para instalação de calha para coletar a água e devolver ao sistema de esgoto, fechando o ciclo, como mostrado na Figura 4.

O sistema de arrefecimento dos painéis fotovoltaicos é composto por um sistema de abastecimento de água de reuso, que utiliza água proveniente de um sistema de tratamento do esgoto do campus, e um sistema de distribuição dessa água coletada. A Figura 5 exibe uma vista aérea do Campus Aparecida de Goiânia do IFG, onde destacam-se: a estação de tratamento de esgoto (ao fundo), a caixa d'água de armazenamento da água de reuso, a planta piloto instalada no solo e a sala onde está instalado o inversor solar.



Figura 4 – Estrutura de fixação dos painéis no solo com duas strings de 9 painéis



Figura 5 – Vista aérea do Campus Aparecida de Goiânia do IFG

O sistema de tratamento de esgoto do campus, constituído pelo sistema UASB e sistema Wetland (em destaque) é mostrado na Figura 6.

A água de reuso proveniente da saída do sistema de tratamento do esgoto do campus é bombeada até uma caixa d'água com capacidade de 10.000 litros, e desta escorre por gravidade via tubulação hidráulica até os painéis fotovoltaicos.





Figura 6 – Sistema de tratamento de esgoto do Campus Aparecida de Goiânia, composto por reator UASB e *Wetland* (em destaque)

## 5.2 Implantação do sistema de arrefecimento dos painéis fotovoltaicos

A água de reuso da caixa d'água escorre por gravidade até 3 válvulas solenoides, acionadas por um Controlador Lógico Programável (CLP). Sensores de temperatura do tipo termopar estão instalados nas superfícies traseiras de 3 painéis com arrefecimento e 3 sem arrefecimento, para comparação das temperaturas, bem como na tubulação de entrada e na saída da água (calha). As válvulas liberam a saída de água quando a média das 3 temperaturas dos sensores da *string* sem arrefecimento atingirem a temperatura de *setpoint* de 40°C, definida conforme estudos realizados em (SANTOS, 2018).

A água de reuso liberada pelas válvulas solenoides segue por um distribuidor central e posteriormente, através de mangueiras de poliuretano de 8mm até perfis de alumínio com furos de 1mm de diâmetro espaçados a cada 2 cm, instalados sobre as bordas superiores dos painéis, onde é aplicada de maneira uniforme sobre a superfície frontal dos painéis. Posteriormente, a água é coletada pela calha instalada na parte inferior dos painéis, de onde volta ao sistema de esgoto via tubulação, fechando o sistema. O processo é mostrado nas Figuras 7, 8, 9 e 10. A Figura 8 evidencia a boa integração visual entre perfil de alumínio e painel fotovoltaico.

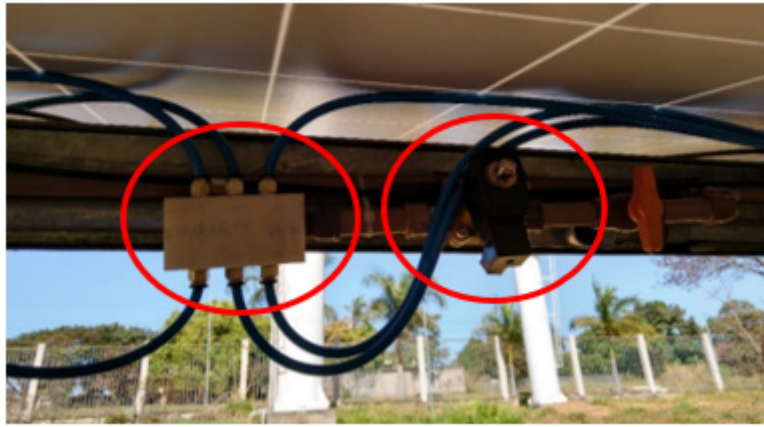


Figura 7 – Detalhe do distribuidor central (esquerda) e da válvula solenoide que controla o fluxo de água para três painéis (direita)



Figura 8 – Detalhes da tubulação com mangueiras de poliuretano



Figura 9 – Perfis de alumínio na borda dos painéis



Figura 10 – Calha de coleta da água após arrefecimento

### 5.3 Sistema de aquisição de dados e supervisão

O sistema de aquisição de dados e supervisão é composto por sensores de temperatura (termopares), transmissores de temperatura, válvulas solenoides, CLP, rede de comunicação e armazenamento de dados, integrando um sistema de supervisão de parâmetros como temperatura, tensão, corrente e potência do sistema fotovoltaico.

Os sensores termopares conectados às superfícies traseiras dos painéis fotovoltaicos convertem a temperatura para sinais analógicos que são transmitidos ao CLP. A Figura 11 mostra detalhe do sensor termopar fixado na superfície traseira do painel fotovoltaico.



Figura 11 – Detalhe do sensor termopar fixado na superfície traseira do painel fotovoltaico

O processo de controle e aquisição de dados se inicia com o CLP fazendo a leitura dos valores dos termopares e controlando a abertura e fechamento das

válvulas, quando a média das 3 temperaturas dos painéis sem arrefecimento atingir a temperatura de *setpoint*. O inversor do sistema fornece os valores de tensão e corrente de cada *string* para o cálculo e comparação das potências.

A rede de comunicação é composta pelo CLP, um dispositivo de armazenamento de dados *online*, Flexy, e o inversor solar, utilizando o protocolo de comunicação industrial Modbus RTU, padrão RS485. Os dados do sistema fotovoltaico e do sistema de arrefecimento são concentrados, transmitidos e armazenados na "nuvem". Isto possibilita o desenvolvimento de sistema supervisor *online*.



Figura 12 – Vista interna do quadro com dispositivos (fonte de tensão, CLP e Flexy)

A Figura 12 mostra vista interna do quadro com dispositivos instalados, sendo a fonte de tensão, o CLP e o Flexy (ambos em destaque). A planta projetada tem por referência dispositivos comerciais e amplamente empregados na indústria, de maneira a garantir a robustez do sistema.

## 6. ANÁLISE DE RESULTADOS A PARTIR DE SUPERVISÃO ONLINE

Os resultados do desenvolvimento do sistema de aquisição de dados e supervisão *online* e da comparação da eficiência de conversão entre as duas partes do sistema fotovoltaico são apresentados a seguir.

## 6.1 Desenvolvimento da rede industrial para controle, supervisão e aquisição de dados em tempo real

A comunicação entre os equipamentos utiliza a rede Modbus RTU, portanto, todos são configurados para esta rede com a mesma velocidade de transmissão de dados (19200 bps), mesma paridade (sem paridade) e bits de parada (1 bit de parada). O *Flexy* funciona como mestre e o CLP e Inversor como escravos. As TAGs ou informações a serem transmitidas estão no mesmo "nó" do equipamento a que pertencem, ou seja, as informações transmitidas pelo CLP ao *Flexy* estão no mesmo nó ou endereço, e as informações transmitidas pelo Inversor ao *Flexy* estão no mesmo nó entre si, mas diferente do nó do CLP. A Figura 13 apresenta o diagrama da rede utilizada.

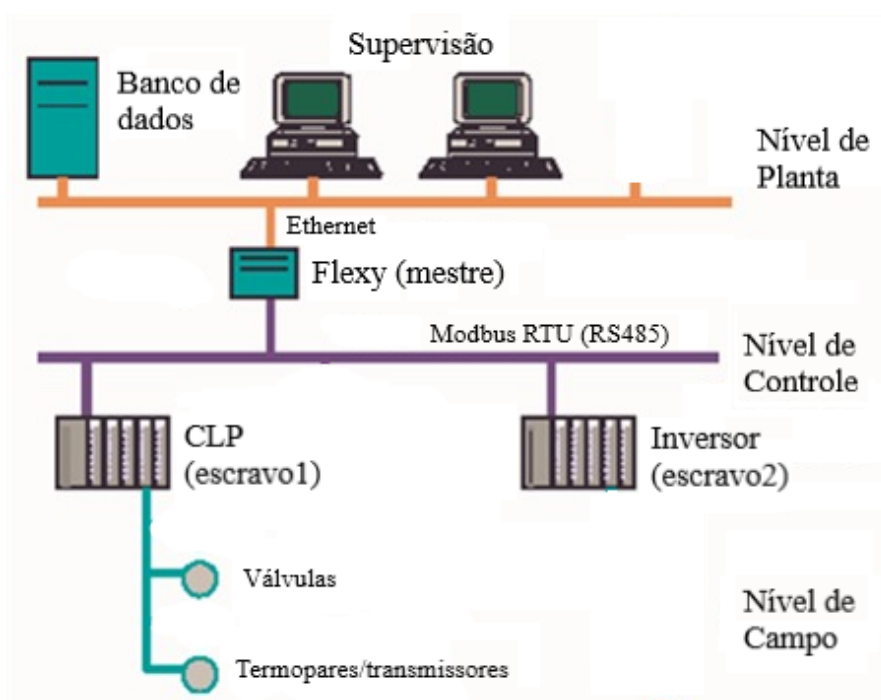


Figura 13 – Diagrama de rede

O CLP utilizado é modelo TPW-04 WEG. Este registra os dados de 8 variáveis de temperatura, calcula a média das 3 temperaturas da *string* com arrefecimento e das 3 temperaturas da *string* sem arrefecimento, compara a média sem arrefecimento com o valor de *setpoint* (40°C), acionando as saídas (válvulas solenóides) quando a média é maior ou igual a 40 ou não acionando quando a média é menor que 40. Cada válvula fica ligada por 0,3 segundos e desligada por 2 segundos até que a próxima válvula seja ligada e continue o processo.

O inversor solar fotovoltaico utilizado é um modelo SIW300H M050 WEG, que comunica com o Flexy para transmissão dos dados de tensão e corrente das duas *strings* da planta solo.

O Flexy é um gateway e roteador VPN industrial. Permite a coleta de dados, monitoramento e controle de uma grande variedade de equipamentos de automação industrial, independente do protocolo de rede. O roteador VPN interno per-

mite acesso remoto para programação, por meio da internet, a máquinas e sistemas de clientes. O Flexy coleta os dados transmitidos pelo CLP e pelo Inversor, e armazena em seu *datalogger*. Para o armazenamento correto dos dados, as TAGs ou variáveis criadas no Flexy precisam estar com o endereçamento correto. Cada endereço de um registrador do CLP com os valores de temperatura é convertido de hexadecimal para decimal e acrescentado o prefixo "+4" para a nomenclatura adequada no Flexy, de acordo com a rede Modbus. O mesmo ocorre com os dados de tensão e corrente transmitidos pelo Inversor, do qual já possuem o endereço em decimal.

## 6.2 Eficiência de conversão de energia entre as partes com arrefecimento e à temperatura ambiente

Os dados armazenados pelo Flexy são obtidos para supervisão e monitoramento através do seu histórico, sendo exportados em formato ".txt" para criação de gráficos através de outros softwares. O período de análise de dados é de um mês, entre os dias 4 de janeiro e 4 de fevereiro de 2021.

A Figura 14 apresenta o gráfico das temperaturas médias das duas *strings* do sistema, com arrefecimento e sem arrefecimento, no intervalo entre as 8 horas e as 18 horas do dia 31 de janeiro de 2021. Observa-se que as duas temperaturas médias seguem praticamente iguais até que a temperatura média da *string* sem arrefecimento atinja a temperatura de 40°C, o que ocorre após as 10 horas da manhã neste dia. A partir de então o sistema de arrefecimento entra em operação, reduzindo a temperatura média da *string* com arrefecimento, gerando uma diferença de temperatura em alguns instantes de até 20°C, até que a temperatura média da *string* sem arrefecimento retorne abaixo de 40°C, ficando as duas temperaturas médias com valores próximos novamente.



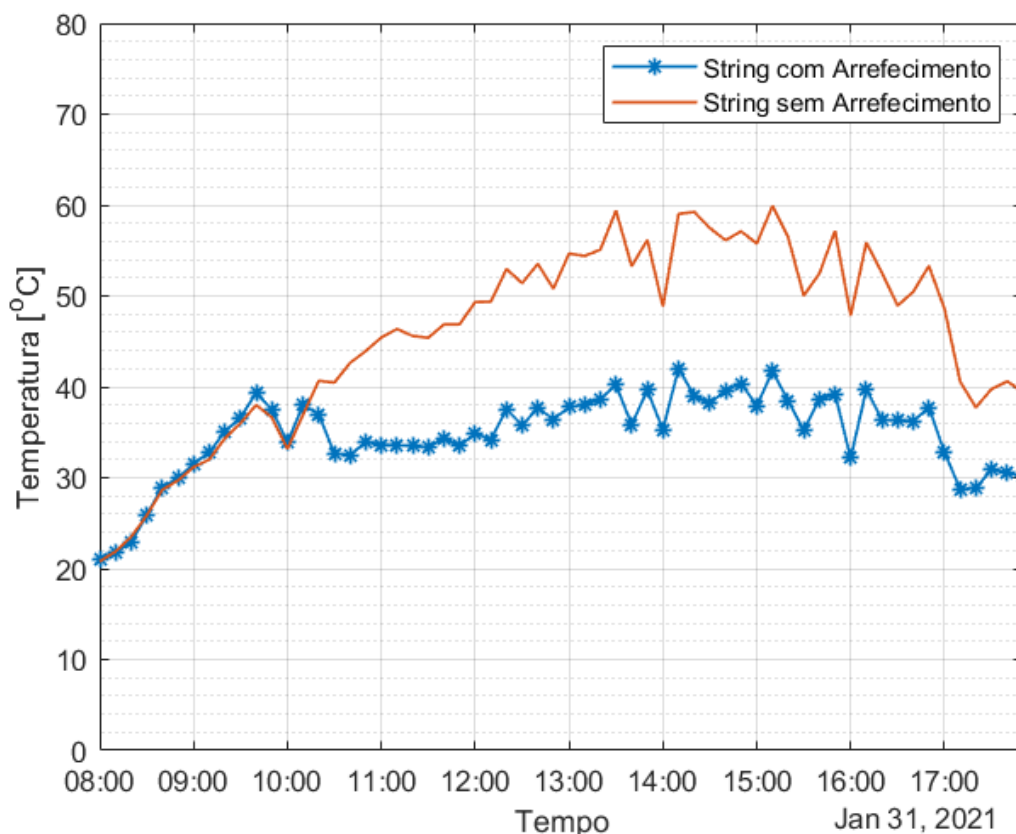


Figura 14 – Gráfico de temperatura das *strings* com e sem arrefecimento dos painéis fotovoltaicos

A Figura 15 apresenta o gráfico das potências das *strings* com arrefecimento e sem arrefecimento dos painéis fotovoltaicos no intervalo entre as 8 horas e as 18 horas do dia 31 de janeiro de 2021. A potência de cada *string* é obtida a partir dos valores da tensão e da corrente de cada *string*. Observa-se que a potência da *string* com arrefecimento é maior que a potência da *string* sem arrefecimento no intervalo de tempo onde a temperatura fica acima dos 40°C de acordo com o gráfico da Figura 14, entre as 10 horas e as 18 horas, ou seja, há um ganho de potência nesse período.

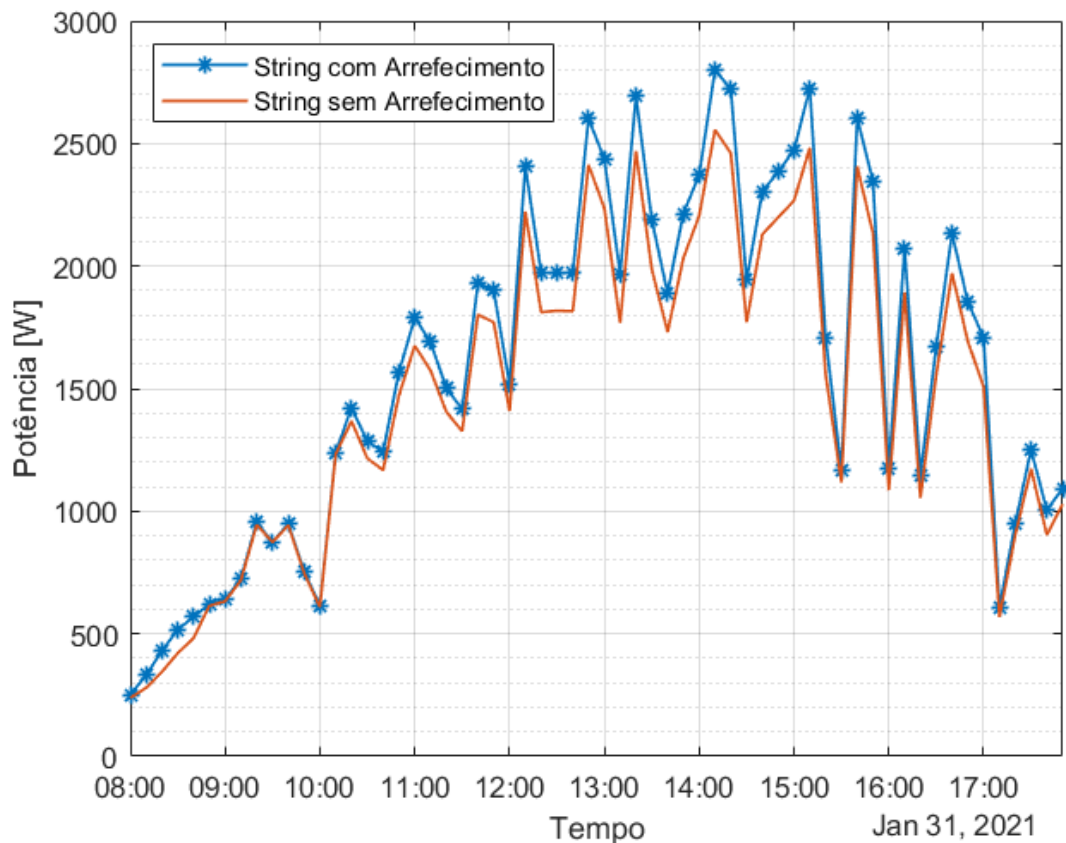


Figura 15 – Gráfico das potências das strings com e sem arrefecimento dos painéis fotovoltaicos

O ganho percentual de potência da *string* com arrefecimento em relação à *string* sem arrefecimento é obtido calculando-se a diferença entre as potências dividida pela potência sem arrefecimento, multiplicando o resultado por 100, considerando somente o período em que a média das temperaturas da *string* sem arrefecimento está acima dos 40°C (sistema com arrefecimento em operação). Para o dia 31 de janeiro de 2021, entre as 8 horas e as 18 horas, o ganho médio percentual de potência foi de 7,93%, sendo o gráfico mostrado na Figura 16. A energia gerada pela *string* com arrefecimento durante o período em que a média das temperaturas da *string* sem arrefecimento está acima de 40°C é de 13.751,02Wh. A energia gerada pela *string* sem arrefecimento durante o mesmo período é de 12.669,08Wh e o ganho ou diferença de energia entre as duas strings é 1.081,94Wh.



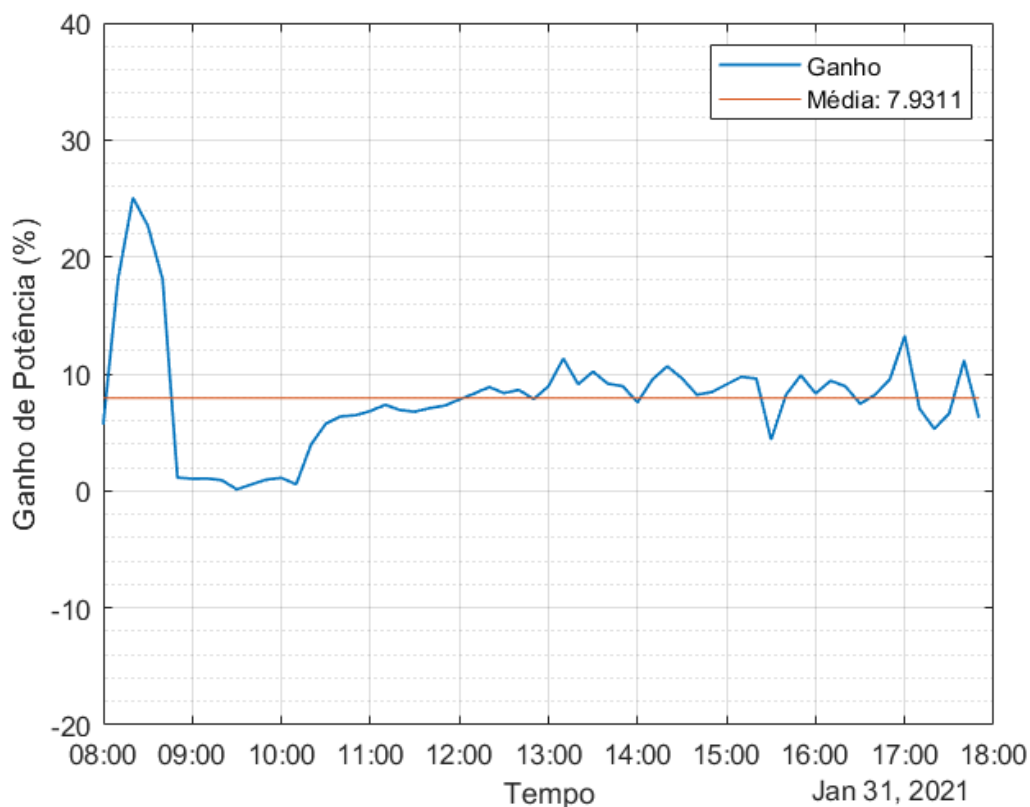


Figura 16 – Gráfico do ganho percentual de potência com a média do ganho

Em períodos do ano com temperaturas ambientes maiores, principalmente entre os meses de julho e novembro, a temperatura média da *string* sem arrefecimento aumenta, podendo atingir valores acima de 70°C, elevando a diferença de temperatura entre as *strings* e, conseqüentemente, o ganho de potência e energia do sistema.

## 7. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta para melhoria da eficiência energética de uma planta de geração fotovoltaica em uma instituição de ensino, por meio da implementação de sistema de arrefecimento com água de reuso proveniente de tratamento do esgoto do próprio Campus.

O sistema de arrefecimento foi projetado e implementado em uma micro-usina no solo com dispositivos robustos empregados em sistemas industriais, de forma a garantir a longevidade operacional do sistema e facilitar as comparações e análises entre duas *strings*, com e sem o arrefecimento dos painéis. Ainda, destaca-se que o sistema instalado possibilitou uma boa integração visual com a micro-usina fotovoltaica.

Um sistema de aquisição de dados e supervisão *online* foi desenvolvido, instalado e configurado de forma a permitir o monitoramento em tempo real das

variáveis desejadas, como temperatura, tensão e corrente. O sistema contou com o desenvolvimento de uma rede de comunicação industrial Modbus TCP/IP, padrão Ethernet, Modbus RTU, padrão RS485.

A partir da análise comparativa entre as partes do sistema com arrefecimento e sem arrefecimento pelo período de um mês, conclui-se que há um ganho de potência de até 7,93% com o arrefecimento dos painéis, em especial em dias mais quentes, onde há maior variação de temperatura entre as partes do sistema analisadas. Esse ganho deve aumentar em épocas mais quentes do ano, como no período entre os meses de julho e novembro quando os painéis atingem temperaturas ainda mais elevadas. Esta expectativa será avaliada a partir da criação de banco de dados com o histórico de operação de toda a planta ao longo de períodos sazonais completos.

## Referências

ALMEIDA, E.; ROSA, A. C.; DIAS, F. C. L. S.; BRAZE, K. T. M.; LANA, L. T. C.; SANTO, O. C. E.; SACRAMENTO, T. C. B. **Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica**. Universidade FUMEC, março de 2016.

CASTANHEIRA, A. F. A.; FERNANDES, J. F. P.; COSTA BRANCO, P. J. Demonstration Project of a cooling system for existing PV power plants in Portugal. **Applied Energy**, v.211, p.1297-1307, 2018.

DUBEY, S.; SARVAIYA, J. N.; SESHADRI, B. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world – A review. **Energy Procedia**, v.33, p.311-321, 2013.

IDOKO, L.; ANAYA-LARA, O.; MCDONALD, A. Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique. **Energy Reports**, v. 4, p.357-369, 2018.

JI, J.; LU, J.; CHOW, T.; HE, W.; PEI, G. A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/ thermal water-heating system with natural circulation. **Applied Energy, Elsevier Ltd**, v.84, p.222-237, 2007.

NETO, D. P. **Processo de otimização aplicada à análise de risco de investimento em geração de energia elétrica com fontes renováveis**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e Computação da UFG, Goiânia, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEP-EL – CRESESB, março de 2014.

SANTOS, L. M. et al. Technical analysis of the application of water in the improvement of the electrical efficiency in photovoltaic panels. In: **IEEE Chilecon**, 2017. Disponível em: <http://chilecon2017.ubiobio.cl/wp-content/uploads/2017/09/IEEE-Chilecon2017-Program-25-sept.pdf>

SANTOS, L. M. **Estudos de melhoria da eficiência energética em painéis fotovoltaicos pela aplicação de água**. Dissertação de Mestrado Profissional, PPG em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG, Goiânia, 2018.

SILVA, JÉSSICA ALICE ALVES DA. **Tratamento de dados meteorológicos e análise de desempenho do sistema fotovoltaico da EMC/UFG**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da UFG, Goiânia, 2019.

VAZ, A. C. M. et al. Avaliação de água de reuso para utilização em melhoria de eficiência energética de painéis fotovoltaicos. **Congresso Sustentabilidade na Gestão Ambiental**, p. 117-124, Lisboa, Portugal, 2019.



# CAPÍTULO 10

## **MODELAGEM MATEMÁTICA E ANÁLISE DE UM MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL 8/6 ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

MATHEMATICAL MODELING AND ANALYSIS OF A 8/6 SWITCHED  
RELUCTANCE MOTOR THROUGH THE APPLICATION OF THE FINITE  
ELEMENT METHOD

**Gustavo de Oliveira Machado**

**Marcos José de Moraes Filho**

**Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira**

**Luciano Coutinho Gomes**

## Resumo

Este trabalho tem o propósito de contribuir com o estudo de máquinas a relutância variável através da aplicação do método de elementos finitos. Por meio da utilização do software FEMM é analisada a distribuição de fluxo magnético nas lâminas do motor e é obtido o comportamento da indutância ao variar a corrente e o ângulo da posição do rotor. Tomando-se como parâmetros de entrada os dados obtidos da análise magnetostática no FEMM, é simulado o sistema de acionamento do motor através da utilização da ferramenta Simulink, sendo possível verificar o comportamento dinâmico da máquina ao se obter a curva do torque mecânico da mesma.

**Palavras chave:** Elementos finitos, FEMM, Indutância, Máquina a relutância variável.

## Abstract

This paper has the purpose of contributing to the study of switched reluctance machines through the application of the finite element method. Using the software FEMM, the magnetic flux distribution on the laminated sheets of the motor is analyzed and the behavior of the inductance is obtained by varying the current and the angle of the rotor position. Taking as input parameters the data obtained from the magnetostatic analysis of FEMM, the motor drive system is simulated through the use of the Simulink tool, and it is possible to verify the dynamic behavior of the machine by obtaining the mechanical torque curve of it.

**Keywords:** Finite elements, FEMM, Inductance, Switched reluctance machine.



## 1. INTRODUÇÃO

Embora fosse conhecida desde o início dos estudos das máquinas elétricas e suas primeiras aplicações fossem registradas no século XIX, a Máquina a Relutância Variável (MaRV) teve um desenvolvimento tardio em relação aos outros tipos de máquinas e seu potencial foi pouco explorado, isso ocorreu principalmente devido às dificuldades envolvendo seu acionamento (MILLER, 1993). No entanto, a partir de 1960, com o avanço da tecnologia dos dispositivos semicondutores de chaveamento como o MOSFET de potência e o IGBT, advindos dos estudos da física do estado sólido, foram desenvolvidos diversos tipos de circuitos eletrônicos de potência que viabilizaram o acionamento eficiente das MaRVs (ANDERSON, 2001). Atualmente, com a evolução dos microcontroladores e das técnicas de controle é possível construir MaRVs sofisticadas com acionamentos de alto desempenho.

O Motor a Relutância Variável (MRV) possui características únicas e apresenta diversas vantagens em relação aos outros tipos de motores utilizados no mercado como os motores de corrente contínua e os de indução trifásico. As principais vantagens são: o baixo custo de construção, baixa inércia, elevado rendimento e altos níveis de confiabilidade e controlabilidade (UMANS, 2014).

No projeto de máquinas cada vez mais eficientes, geralmente são realizados estudos a partir de simulações computacionais que utilizam de modelos matemáticos para descrever as máquinas através de vários parâmetros e variáveis. Dentre as diferentes ferramentas matemáticas utilizadas nestes projetos, destaca-se o Método de Elementos Finitos (MEF). O MEF é um método numérico que consiste em reduzir um problema descrito por uma certa quantidade de equações diferenciais de solução complexa em vários problemas pequenos, descritos por equações mais simples e com uma solução menos trabalhosa. Esta redução é possível de se obter dividindo a geometria do problema em malhas compostas por vários elementos finitos, como triângulos ou quadrados (OLIVEIRA, 2013).

Para a aplicação do método dos elementos finitos em problemas que abrangem dispositivos eletromagnéticos, como a modelagem de um motor, um software bastante utilizado é o Finite Element Method Magnetics (FEMM), versão 4.2. O FEMM é um software livre que permite ao usuário encontrar a solução de problemas eletromagnéticos de baixa frequência, em duas dimensões e nos domínios planar e axissimétrico, isso é feito definindo condições de contorno e aplicando-se o método de elementos finitos (MEEKER, 2015).

Dessa forma, este trabalho tem como um dos objetivos realizar a análise magnetostática de um MRV com topologia 8/6 (8 polos no estator e 6 polos no rotor) por meio da aplicação do MEF pelo software FEMM, através do qual é possível realizar o levantamento das curvas características de fluxo magnético e indutância da máquina em função do ângulo da posição do rotor. Adicionalmente, tem-se o

propósito de verificar o comportamento dinâmico do motor através da utilização da ferramenta Simulink do MATLAB®, na qual é possível obter em função do tempo as curvas de corrente, fluxo magnético e indutância de cada fase e também a curva representativa do torque no eixo do motor.

## 2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO E MODELAGEM MATEMÁTICA DO MRV 8/6

Por definição, a MaRV é um tipo de máquina elétrica na qual o torque é produzido pela tendência do rotor em se movimentar para a posição em que a relutância do circuito magnético da máquina é mínima, ou seja, a posição de indutância máxima do enrolamento excitado, podendo esse movimento ser linear ou rotacional (MILLER, 1993). Dessa forma, nota-se que a indutância é uma grandeza muito importante da MaRV, pois existe um ponto em que seu valor é máximo, correspondente à posição onde os polos do rotor e do estator estão completamente alinhados, e um ponto em que a indutância é mínima, correspondente à posição onde estes polos estão completamente desalinhados. Estas posições recebem o nome de posição de equilíbrio estável e posição de equilíbrio instável, respectivamente. Energizando a fase da máquina na posição de equilíbrio estável, o rotor permanecerá parado indefinidamente. Por outro lado, energizando a fase da máquina na posição de equilíbrio instável, o rotor poderá se movimentar no sentido horário ou anti-horário buscando a posição de equilíbrio estável.

Em geral, este tipo de máquina apresenta construção simplificada, pois não possui enrolamentos no rotor e não necessita de ímãs permanentes para operar, tornando-a mais viável economicamente. Normalmente, consiste em um estator com enrolamentos de excitação e um rotor magnético com saliências (UMANS, 2014). A Figura 1 ilustra em um perfil transversal em 2D as características geométricas do MRV 8/6 que é objeto de estudo deste trabalho:

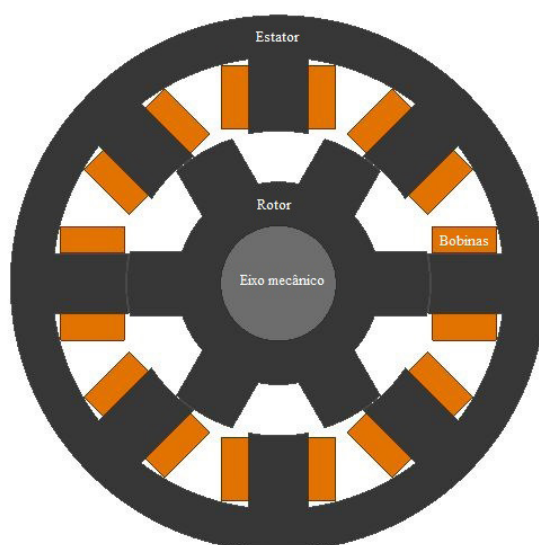


Figura 1 – Perfil em 2D do MRV 8/6 e localização de suas partes  
Fonte: Autoria própria

A Figura 1 foi obtida a partir da modelagem do MRV 8/6 feita no software AutoCAD com base nas dimensões físicas das lâminas do estator e do rotor da máquina que foram obtidas seguindo-se os procedimentos de cálculos desenvolvidos em (KRISHNAN, 2001) e (MILLER, 2001), que abordam projetos de máquinas a relutância variável. Estes cálculos estão detalhados em (MORAES FILHO, 2017), que foi a dissertação utilizada como referência para este trabalho.

Para deduzir as equações matemáticas que descrevem o comportamento do MRV 8/6, considera-se inicialmente o circuito equivalente monofásico desta máquina (Figura 2):

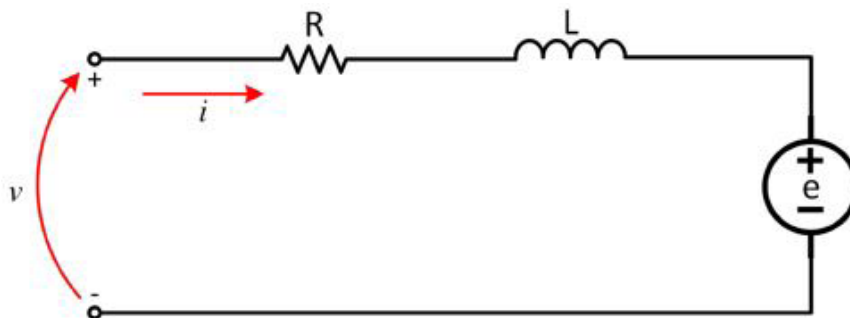


Figura 2 – Circuito equivalente monofásico de um MRV  
Fonte: Moraes Filho (2017)

Aplicando-se a lei das malhas no circuito da Figura 2 e sabendo-se que a indutância é uma grandeza dependente tanto da posição do rotor quanto da corrente de fase, obtém-se (1):

$$v = R_f i + L(\theta, i) \frac{di}{dt} + e \quad (1)$$

O fluxo magnético enlaçado pelos enrolamentos de uma fase se relaciona com a indutância conforme (2):

$$\lambda(\theta, i) = L(\theta, i) i \quad (2)$$

A força contra eletromotriz é obtida por (3):

$$e = i \omega_m \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (3)$$

Portanto, a Equação (1) pode ser reescrita por (4):

$$v = R_f i + L(\theta, i) \frac{di}{dt} + i \omega_m \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (4)$$

A Equação (4) descreve matematicamente o comportamento da tensão nos terminais de uma fase do motor, sendo composta por três termos, que são: a queda de tensão no resistor, a queda de tensão no indutor e a força contra eletromotriz

induzida. Conhecido o comportamento da tensão, determina-se a potência elétrica instantânea de entrada através de (5):

$$p_e = vi$$

$$p_e = R_f i^2 + iL(\theta, i) \frac{di}{dt} + i^2 \omega_m \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (5)$$

A partir de manipulações matemáticas realizadas nas referências (KRISHNAN, 2001) e (SILVEIRA, 2011), a Equação (5) pode ser reescrita na forma de (6):

$$p_e = R_f i^2 + \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} L(\theta, i) i^2 \right) + \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \omega_m \quad (6)$$

A Equação (6) demonstra que a potência elétrica instantânea de entrada é composta pelas perdas resistivas nos enrolamentos, a taxa de variação da energia armazenada no campo magnético e a potência entregue no entreferro. Essa última é expressa por (7):

$$p_{ent} = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \omega_m \quad (7)$$

A Equação (7) descreve o comportamento da potência entregue no entreferro, logo essa pode ser usada para obter o torque eletromagnético produzido a partir de (8):

$$T_{emg} = \frac{p_{ent}}{\omega_m} = \frac{1}{2} i^2 \frac{\partial L(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (8)$$

Como todo o equacionamento realizado até o momento foi feito para somente uma fase da máquina, tem-se que para o MRV 8/6 tetrafásico a expressão para o cálculo do torque eletromagnético total será composta pela somatória dos torques individuais de cada fase (a, b, c e d), calculado por (9):

$$T_{emg-total} = T_{emg-a} + T_{emg-b} + T_{emg-c} + T_{emg-d}$$

$$T_{emg-total} = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{\partial L_a(\theta, i_a)}{\partial \theta} + \frac{1}{2} i_b^2 \frac{\partial L_b(\theta, i_b)}{\partial \theta} + \frac{1}{2} i_c^2 \frac{\partial L_c(\theta, i_c)}{\partial \theta} + \frac{1}{2} i_d^2 \frac{\partial L_d(\theta, i_d)}{\partial \theta} \quad (9)$$

Calculado o torque eletromagnético, para efetuar o equacionamento do torque mecânico fornecido para carga quando acionada pelo motor, é preciso levar em consideração a parcela de conjugado de atrito viscoso e a parcela de conjugado devido ao momento de inércia do sistema. Desse modo, o torque mecânico pode ser determinado através de (10):





$$T_{mec} = T_{emg-total} - D\omega_m - J \frac{d\omega_m}{dt} \quad (10)$$

A partir do desenvolvimento matemático feito acima, tem-se as equações que descrevem o comportamento elétrico e mecânico do MRV 8/6. No entanto, com o intuito de facilitar o uso de métodos numéricos para obter as soluções das equações diferenciais parciais, estas equações podem ser representadas no formato matricial de variáveis de estado em (11):

$$[V] = [R][I] + [L][\dot{I}] \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \\ v_d \\ T_{mec} \\ 0 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ i_d \\ \omega_m \\ \theta \end{bmatrix} + L \begin{bmatrix} \dot{i}_a \\ \dot{i}_b \\ \dot{i}_c \\ \dot{i}_d \\ \dot{\omega}_m \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

em que a matriz de resistências  $[R]$  é dada por (12):

$$R = \begin{bmatrix} r_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_d & 0 & 0 \\ m & n & p & q & -D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

sendo as variáveis  $m, n, p$  e  $q$  calculadas através de (13), (14), (15) e (16):

$$m = \frac{1}{2} i_a \frac{\partial L_a(\theta, i_a)}{\partial \theta} \quad (13)$$

$$n = \frac{1}{2} i_b \frac{\partial L_b(\theta, i_b)}{\partial \theta} \quad (14)$$

$$p = \frac{1}{2} i_c \frac{\partial L_c(\theta, i_c)}{\partial \theta} \quad (15)$$

$$q = \frac{1}{2} i_d \frac{\partial L_d(\theta, i_d)}{\partial \theta} \quad (16)$$

e a matriz de indutâncias  $[L]$  determinada por (17):



$$L = \begin{bmatrix} L_a(\theta, i_a) & 0 & 0 & 0 & 0 & 2m \\ 0 & L_b(\theta, i_a) & 0 & 0 & 0 & 2n \\ 0 & 0 & L_c(\theta, i_c) & 0 & 0 & 2p \\ 0 & 0 & 0 & L_d(\theta, i_d) & 0 & 2q \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -J & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Isolando-se a matriz  $[I]$  em (11), obtêm-se a equação de estados do MRV 8/6 em (18):

$$[I] = [L]^{-1}[V] - [L]^{-1}[R][I] \quad (18)$$

A obtenção da equação de estados permite a descrição completa do comportamento de cada fase da máquina em qualquer instante. As matrizes  $[R]$  e  $[L]$  são compostas pelos valores de resistências e indutâncias de cada fase, que são características construtivas de cada máquina específica. A solução desse sistema é facilitada através de métodos numéricos computacionais.

### 3. APLICAÇÃO COMPUTACIONAL DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

A partir do modelo do motor construído no AutoCAD, as geometrias de suas lâminas foram exportadas para o software de elementos finitos FEMM e assim pôde-se dar início a etapa de pré-processamento. Para isso, primeiramente foi definido a análise a ser realizada como sendo magnetostática e em seguida as características principais do problema foram definidas, como unidades de comprimento, simetria, profundidade, mínimo ângulo interno dos triângulos da malha de elementos finitos, frequência e a precisão desejada.

Feito isso, os materiais de cada parte do MRV foram definidos. Para todo o entreferro foi utilizado o ar, no eixo da máquina foi utilizado o aço 1020, nas bobinas foram utilizados fios de cobre AWG 14 e nas lâminas do rotor e do estator foi utilizado o aço E185. Estando definido os materiais, foram designados os circuitos elétricos a serem analisados para solução do problema. Como MRV é 8/6 (tetrafásico), foram definidos 4 circuitos (fases A, B, C e D). O número de espiras envolvidas em cada polo do motor foi igual a 55, ou seja, 110 voltas por fase, conforme foi projetado em (MORAES FILHO, 2017).

Para finalizar a etapa de pré-processamento, foram definidos os tamanhos das malhas de elementos finitos, sendo o tamanho padrão para o ar (entreferro) e 0.85 para as demais regiões da geometria a fim de se aumentar o grau de precisão da simulação. Adicionalmente, como requisito para aplicação do método dos elementos finitos para resolução de problemas magnetostáticos, foi definida a condição de



fronteira. Como a relutância do material ferromagnético utilizado (E185) nas lâminas é muito menor do que a relutância do ar, foi definido sem perda de precisão, a fronteira do problema como sendo a circunferência externa da lâmina do estator.

Após concluir a etapa de pré-processamento, foi gerada a malha de elementos finitos para dar início a simulação, que pode ser vista na Figura 3:

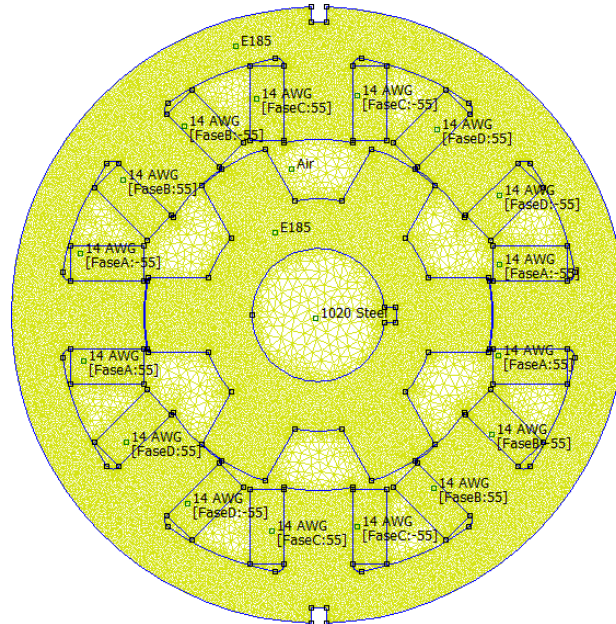


Figura 3 – Malha de elementos finitos gerada no software FEMM  
Fonte: Autoria própria

Inicialmente, a fim de visualizar a distribuição de fluxo magnético na estrutura do MRV 8/6, fixou-se um valor de corrente de 10A e mudou-se o ângulo da posição do rotor para a posição de  $15^\circ$ , obtendo-se a distribuição vista na Figura 4:

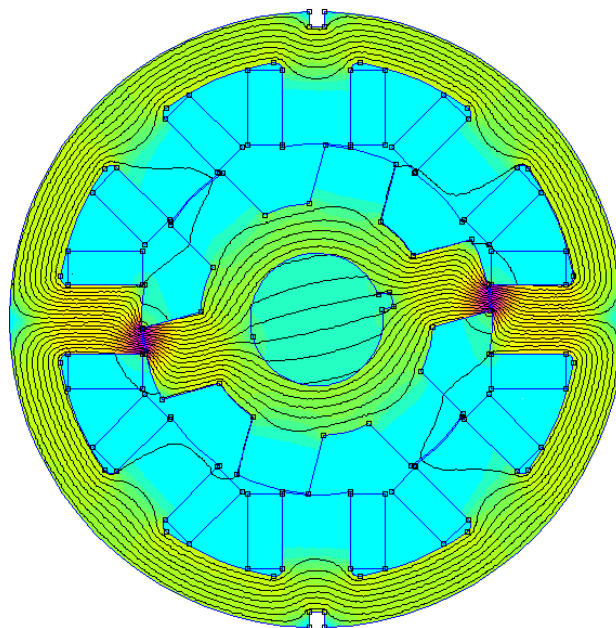


Figura 4 – Distribuição do fluxo magnético na estrutura do MRV 8/6 para a posição de  $15^\circ$

Fonte: Autoria própria

Ao analisar a distribuição de fluxo magnético na Figura 4, nota-se a tendência

das linhas de fluxo em seguir pelo caminho da estrutura ferromagnética das lâminas ao invés do caminho pelo ar. Isso ocorre porque a relutância dos materiais que compõem as lâminas é bem menor que a relutância do ar. Este fato implica no surgimento de um torque no sentido de alinhar as lâminas do rotor e do estator para a posição na qual a relutância é mínima, ou seja, onde a indutância é máxima (posição de  $0^\circ$ ).

Embora a distribuição de fluxo magnético na estrutura do MRV possa ser obtida graficamente para qualquer valor de corrente e posição do rotor, para otimizar a obtenção dos dados foi desenvolvido um código programado em linguagem LUA para fazer a variação da corrente em uma fase de 0A à 40A e do ângulo da posição do rotor de  $0^\circ$  à  $30^\circ$ , salvando os valores de indutância, fluxo magnético e queda de tensão nos enrolamentos para cada posição do rotor e valor de corrente.

Ao final da simulação, obteve-se duas matrizes de dados  $41 \times 31$  (1271 pontos) com os valores de fluxo e indutância respectivamente. Estes dados foram organizados em planilhas no software Microsoft Excel, e em seguida foram plotados os gráficos de fluxo magnético e indutância do MRV 8/6 utilizando o software MATLAB®, tanto em 2D quanto em 3D, conforme é mostrado a seguir nas próximas páginas nas Figuras 5, 6, 7 e 8.

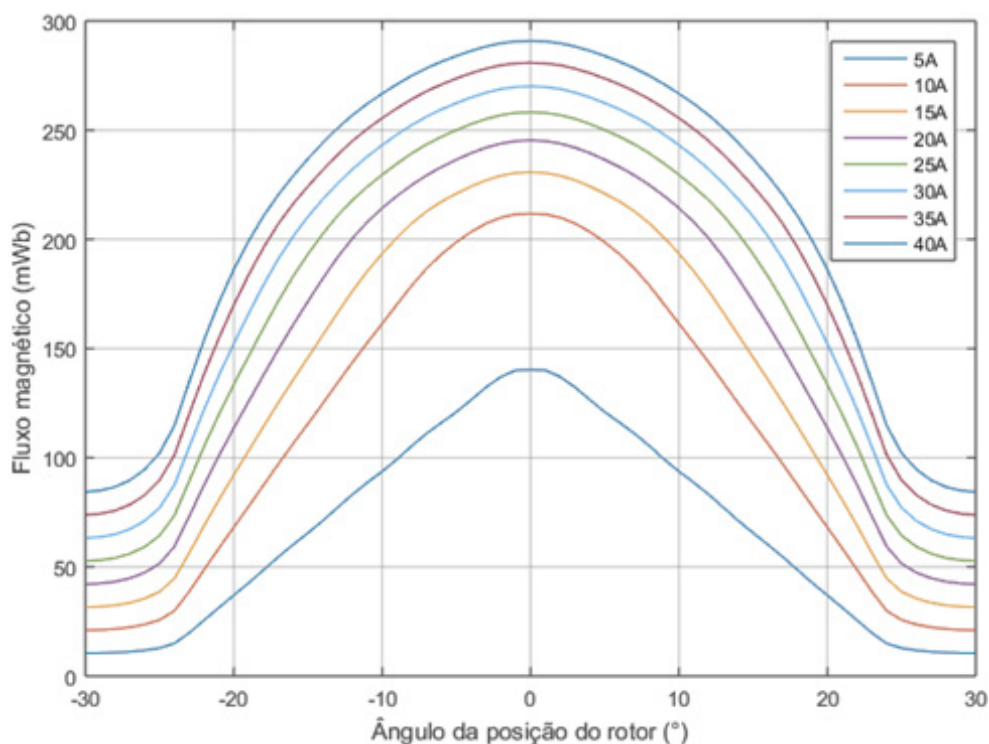


Figura 5 – Curvas de fluxo magnético versus ângulo da posição do rotor para alguns valores de corrente fixados

Fonte: Autoria própria

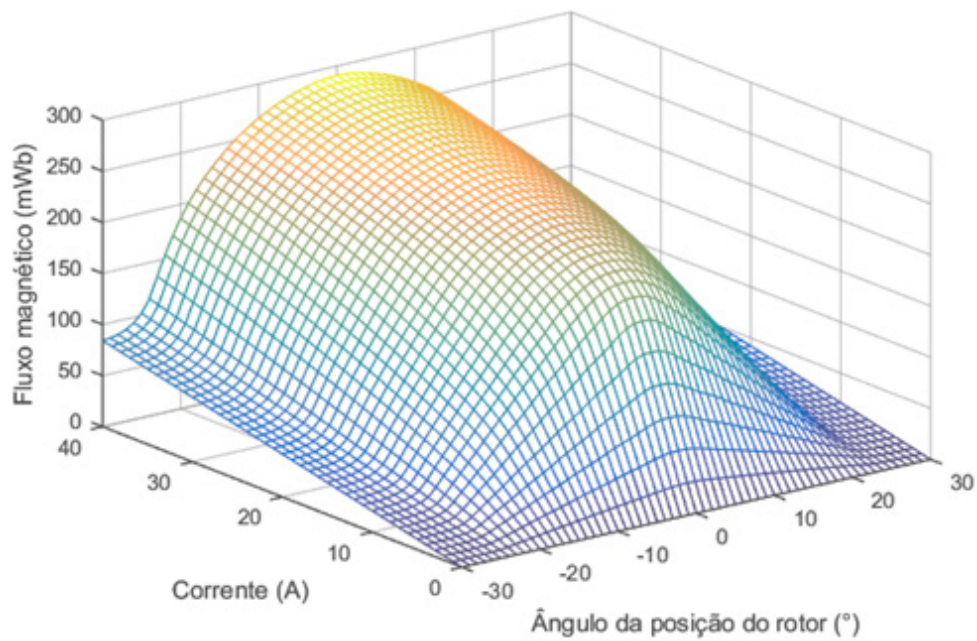


Figura 6 – Perfil em 3D do fluxo magnético em função da corrente e do ângulo da posição do rotor  
 Fonte: Autoria própria

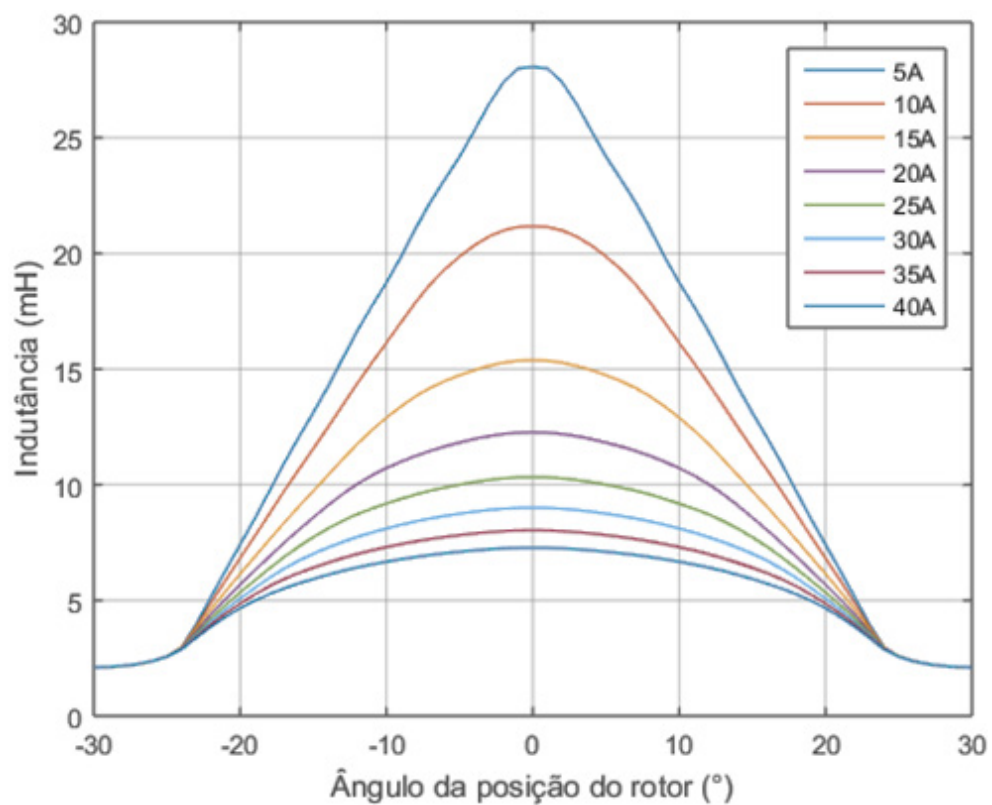


Figura 7 – Curvas de indutância versus ângulo da posição do rotor para alguns valores de corrente fixados  
 Fonte: Autoria própria

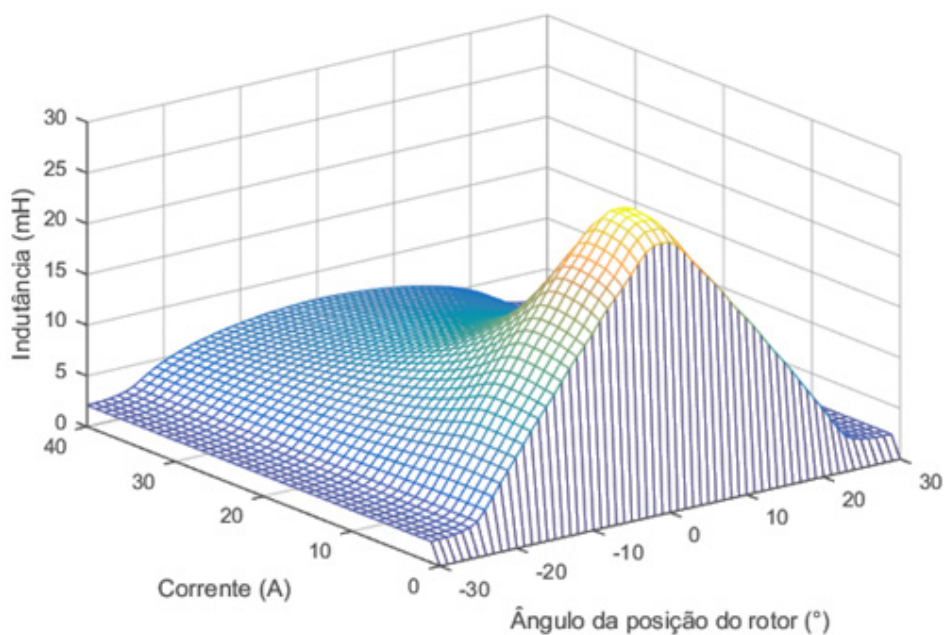


Figura 8 – Perfil em 3D da indutância em função da corrente e do ângulo da posição do rotor  
 Fonte: Autoria própria

Ao analisar as curvas obtidas, verifica-se que as mesmas estão coerentes com o que é equacionado matematicamente, pois conforme o ângulo da posição do rotor se aproxima de  $0^\circ$  a curva de indutância se aproxima de seu valor máximo e ao aumentar o valor da corrente este valor diminui em magnitude, não havendo cruzamento entre as curvas de fluxo magnético e indutância para correntes fixadas (Figuras 5 e 7).

#### 4. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE ACIONAMENTO DO MRV 8/6

A fim de se obter o comportamento dinâmico do motor, simulou-se o sistema de acionamento do mesmo com base na utilização do modelo computacional de máquina a relutância variável presente no Simulink, o qual é uma ferramenta de modelagem e simulação de sistemas baseado em diagramas de blocos contido no software MATLAB®.

Inicialmente, foi escolhida a topologia meia ponte assimétrica para o conversor a ser utilizado no acionamento das fases. Este conversor é caracterizado por ser composto de duas chaves controladas em série com cada fase da máquina e dois diodos, utilizados para desmagnetização da bobina de cada fase, após o período de magnetização da mesma (Figura 9).

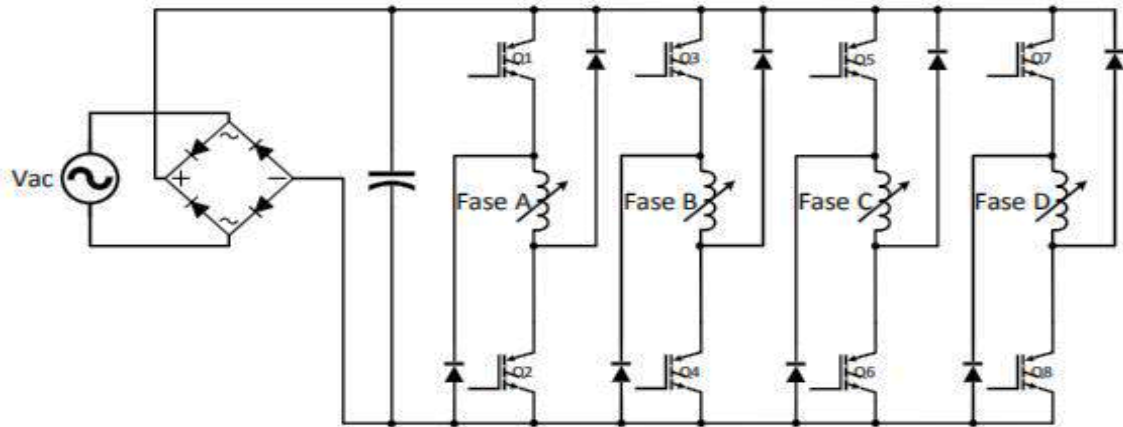


Figura 9 – Circuito elétrico do conversor meia ponte assimétrica  
 Fonte: Moraes Filho (2017)

A estratégia de acionamento implementada consiste em acionar o MRV mantendo um controle sobre a corrente de cada fase e também sobre o alinhamento dos polos do estator com os polos do rotor para cada fase. Para isso é aplicada tensão positiva ao enrolamento do motor através do fechamento das duas chaves do conversor referentes à fase sobre a qual se realiza o controle. As chaves são mantidas acionadas até que a corrente atinja o valor máximo previamente escolhido ou até que os polos do estator e do rotor estejam fora do intervalo permitido para o acionamento de cada fase.

Quando a corrente alcança seu valor máximo ou o ângulo entre o rotor e o estator está fora do intervalo escolhido para a alimentação da fase em questão, inicia-se outra etapa que consiste na abertura das chaves, e então a corrente que circula pela fase é forçada a passar pelos diodos do conversor e o enrolamento do motor fica submetido à tensão negativa, o que faz a corrente da fase decrescer rapidamente.

Desenvolvido o sistema de acionamento e utilizando-se como entrada de dados no MATLAB® a tabela de indutância obtida pela simulação no FEMM, obteve-se graficamente os comportamentos das indutâncias de cada fase e do torque no tempo, conforme pode ser visto nas Figuras 10 e 11:

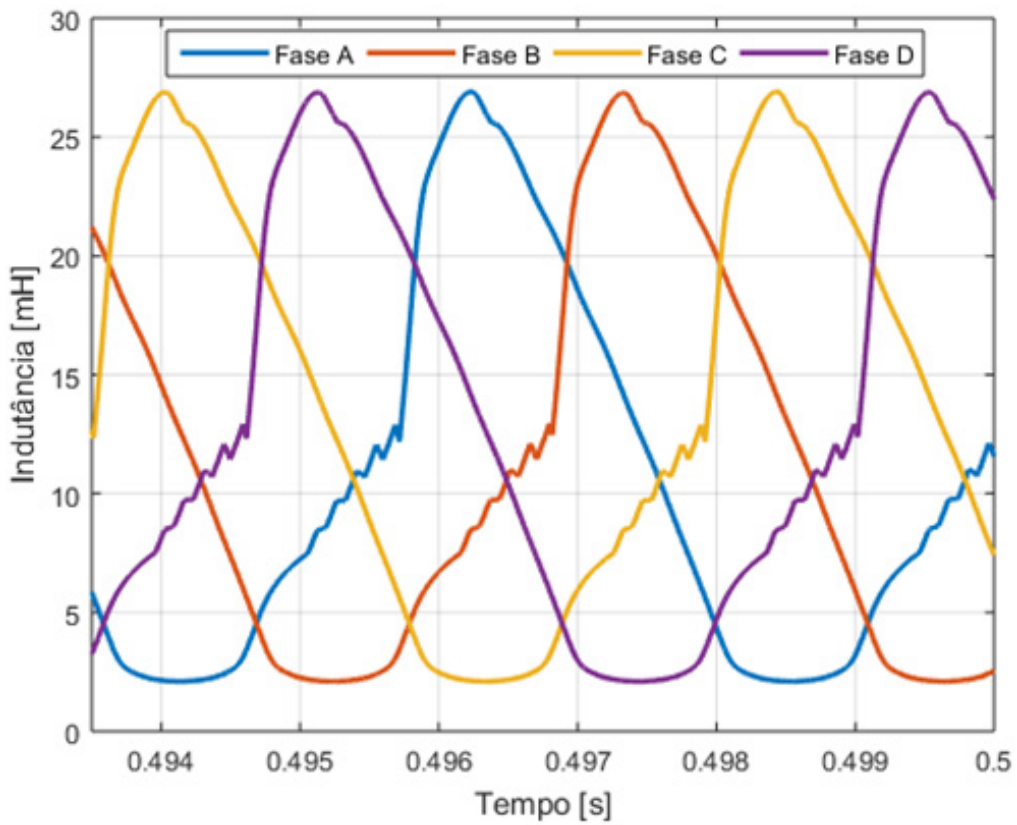


Figura 10 – Indutância de cada fase do MRV 8/6 em função do tempo  
 Fonte: Autoria própria

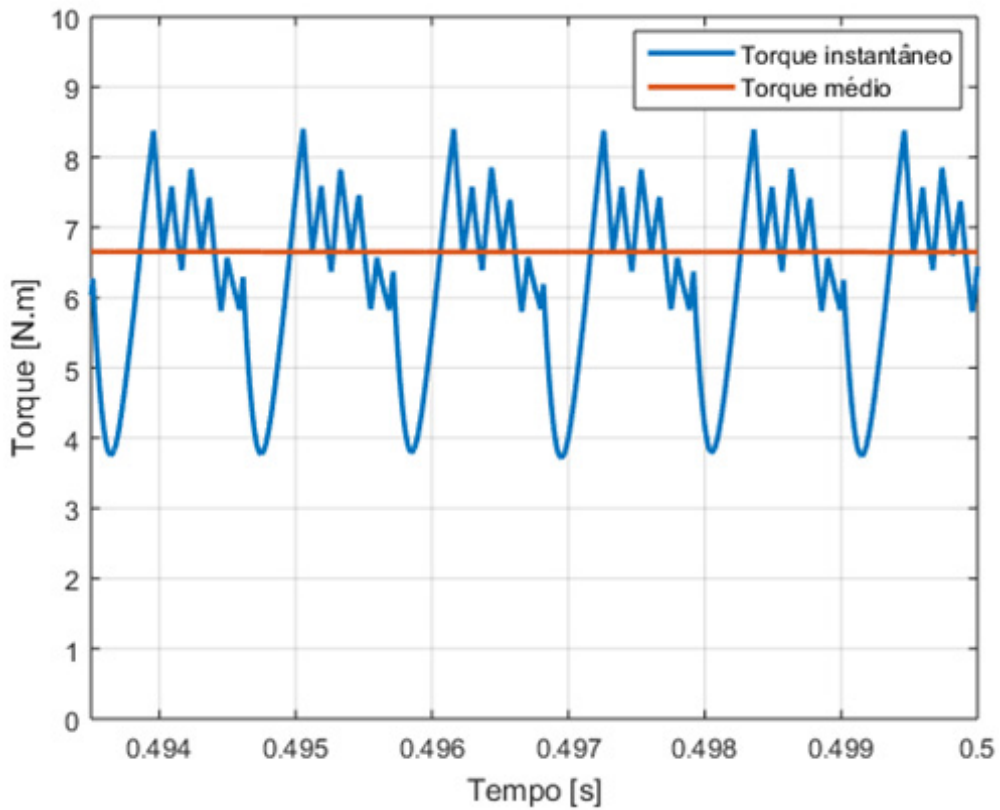


Figura 11 – Torque instantâneo e médio do MRV 8/6 em função do tempo  
 Fonte: Autoria própria



## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi feita inicialmente uma breve apresentação sobre o princípio de funcionamento da MaRV. Em seguida, foi realizada a modelagem matemática da máquina obtendo-se as equações que descrevem o comportamento elétrico e mecânico da mesma. Feito isso, com base nas medidas determinadas para as lâminas do rotor e estator foi modelado em 2D o motor no software AutoCAD. Tendo a geometria da máquina, essa foi exportada para o software FEMM, no qual foram realizadas as simulações via método dos elementos finitos que possibilitou que fossem levantadas as curvas de indutância e de fluxo magnético de uma fase em função do ângulo da posição do rotor.

Além disso, as tabelas de dados obtidas através da análise magnetostática no FEMM serviram como parâmetros de entrada para a simulação do comportamento dinâmico do motor através da modelagem do sistema de acionamento do mesmo pela ferramenta Simulink do MATLAB®. Com isso, obteve-se em função do tempo as curvas de corrente, indutância de cada fase e também a curva representativa do torque no eixo do motor.

Todas essas etapas foram cumpridas com sucesso e os dados coletados, que se mostraram coerentes, servem de validação para o projeto do motor. Neste contexto, a fim de comprovar a coerência entre as curvas obtidas via elementos finitos e os dados reais do motor durante seu funcionamento na prática, recomenda-se o desenvolvimento de uma metodologia de ensaio para realizar este levantamento de forma experimental.

## Referências

- ANDERSON, A. F. **Development history, Electronic Control of Switched Reluctance Machines**, p. 6-33, Newnes Power Engineering Series, 2001.
- KRISHNAN, R. **Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications**, Boca Raton, FL: CRC Press, ISBN-13: 978-0849308383, 2001.
- MEEKER, D. **Finite Element Method Magnetics: Version 4.2: User's Manual**, 2015. Disponível em: <http://www.femm.info/Archives/doc/manual42.pdf> Acesso em: 9 de julho de 2018.
- MILLER, T. J. E. **Electronic Control of Switched Reluctance Machines**, Newnes Power Engineering Series, ISBN-13: 978-0080505244, Oxford, Reino Unido, 2001.
- MILLER, T. J. E. **Switched Reluctance Motors and Their Control**, Magna Physics Publishing and Clarendon Press, Oxford, Reino Unido, 1993.
- MORAES FILHO, M. J. **Desenvolvimento de Plataforma de acionamento digital para motor a relutância variável 8/6**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- OLIVEIRA, V. S. **Aplicação do método dos elementos finitos 3D na caracterização eletromagnética estática de motores de relutância variável com validação experimental**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.



SILVEIRA, A. W. F. V. **Controle de tensão na carga para motor/gerador a relutância variável de três fases**, Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

UMANS, S. D., **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**, 7. ed., AMGH Editora Ltda, ISBN-10: 8580553733, 2014.



# CAPÍTULO 11

## **APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO AUTÔNOMA NUM CONTEXTO DE ECONOMIA CIRCULAR**

APPLICATION OF AUTONOMOUS MAINTENANCE UNDER THE CONTEXT  
OF CIRCULAR ECONOMY

**Dayane Jamax Oliveira Silva**

**José Carlos Martins Junior**

**Milton Vieira Junior**

**André de Lima**

## Resumo

Com a necessidade de preservar o meio ambiente, as empresas estão repensando a forma de usar seus recursos. Para isso, estão adotando conceitos de economia circular, que visa construir estratégias para eliminar desperdícios, restaurar, reutilizar e reciclar produtos, componentes e materiais, diferente da economia linear que extrai, transforma, consome e descarta. Este trabalho aborda a aplicação do conceito de economia circular por meio de um estudo de caso realizado em um equipamento de usinagem de uma empresa produtora de equipamentos para construção civil e mineração. Tem como enfoque evidenciar como a metodologia TPM, mais especificamente a implementação da 1ª e 2ª etapas da manutenção autônoma, impacta positivamente na economia circular. Partindo da capacitação do operador, este passou a funcionar como um elemento de monitoramento que atua de forma a identificar precocemente problemas no equipamento, evitando quebras e desgastes que levam ao descarte de peças. Assim, os resultados obtidos foram 80,6% de aumento no MTBF e uma redução de 45% na geração de descarte. Isso evidencia que existe uma forte sinergia entre a economia circular e o TPM, pois os dois focam em buscar reciclar, restaurar, reparar e sempre que possível, reduzir o descarte.

**Palavras chave:** TPM; Manutenção Autônoma; Redução de Descartes

## Abstract

The need of environmental preservation leads companies to rethink the way they are using its resources and to adopt concepts of circular economy. These concepts are based on strategies of waste elimination and of reuse and recycle components and materials, and differs from concepts of linear economy which bases is the extraction, transformation, use and disposal of materials and components. This paper discusses the application of circular economy concepts by means of a case study conducted in a building and mining equipments manufacturer. Its focus is to highlight how the TPM methodology can impact the circular economy by means of the implementation of 1st and 2nd steps of autonomous maintenance. Beginning on the worker capacitating, he starts to function as a monitor that acts to avoid breakages and damages of parts on the equipment. As a result, MTBF increased on 80.6% and the disposal of components reduced on 45%, highlighting the synergy among circular economy and TPM on recycling, restoring, repairing and reducing waste of components and its disposal.

**Key-words:** TPM; Autonomous Maintenance; Reduction of Disposal



## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao alto impacto das atividades humanas no meio ambiente, cresce a importância de realizar investimentos que minimizem este fato. Elkington (2013) chamou a atenção para que deva existir um limite chamado de Tripple Bottom Line (TBL), segundo o qual as empresas têm de assumir responsabilidades sociais e ambientais além da econômica para com seus stakeholders.

Pessoas, políticas governamentais e organizações da sociedade civil enfrentam desafios e buscam oportunidades que explorem novas alternativas de produção, visando alterar um cenário em que mudanças climáticas, alterações em ciclos bio-geoquímicos, perda de biodiversidade, entre outros, também ameaçam o meio ambiente (ANGELIS, 2018).

Em face dessas circunstâncias, as empresas estão ampliando seu foco no desenvolvimento sustentável, utilizando práticas conscientes de produção a fim de reduzir impactos socioambientais (GENNARO, 2020). Nunca o desafio dos 9R (Figura 1), também conhecido como Estratégias de Circularidade na Cadeia de Produção (POTTING et al, 2017), esteve tão presente no cotidiano das pessoas e empresas.

Nesse contexto de sustentabilidade latente, o conceito de Economia Circular vai além de um simples gerenciamento de resíduos e reciclagem, mas visa também potencializar e aproveitar os recursos, maximizando a eficiência dos mesmos (FERREIRA e SOBRAL, 2018).

A metodologia TPM (Total Productive Maintenance, ou Manutenção Produtiva Total em português) pode ter um papel fundamental em grande parte dos objetivos da Economia Circular pois, por meio da participação de todos colaboradores da organização, visa maximizar a eficiência dos sistemas produtivos e prevenir todo tipo de perda existente (SUZUKI, 1994).

O presente trabalho objetiva demonstrar como a implantação do TPM, em especial o pilar da Manutenção Autônoma (MA), possui sinergia com a proposta da economia circular. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em uma empresa que atua no ramo de construção civil e mineração situada no interior de São Paulo.

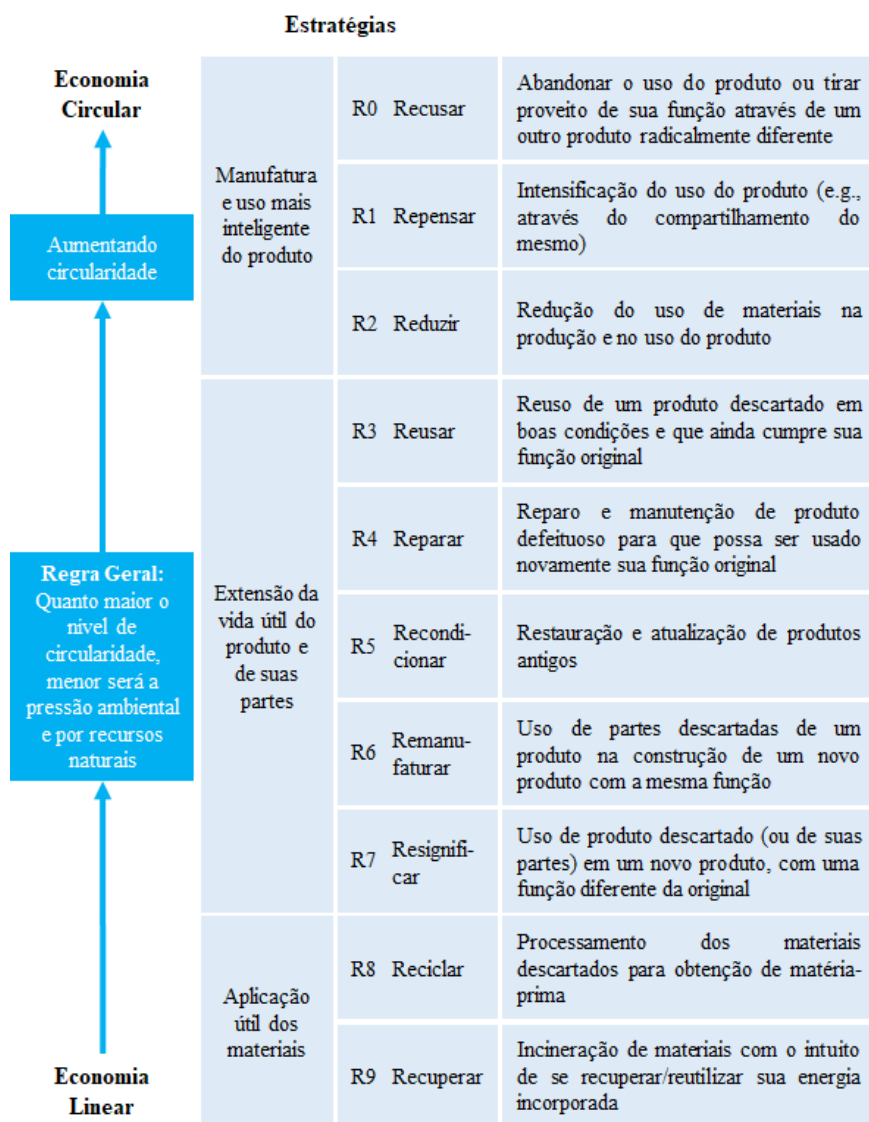


Figura 1 - Estratégias de circularidade na cadeia de produção  
Fonte: adaptado de Potting et al (2017)

## 2. ECONOMIA CIRCULAR

Durante 150 anos a evolução das indústrias foi marcada por um modelo de Economia Linear, tanto no que se refere à produção quanto ao consumo de materiais, ou seja, se fabrica os bens por meio de matéria-prima, estes são postos à venda, consumidos e, pós consumo, descartados ou se tornam resíduos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2014). A partir da necessidade de preservar recursos, surgiu a ideia de Economia Circular que objetiva reduzir desperdício e repensar a maneira de consumir, sendo através, por exemplo, de energias renováveis ou aumentando a vida útil dos processos (GENNARO, 2020)

A ideia de Economia Circular teve seu surgimento em 1990 e a partir de então começou a ser discutida por diversos autores, existindo várias definições para o tema. Entre os estudos elaborados, o mais notório é o realizado pela Ellen MacArthur Foundation (EMF), que define a Economia Circular como sendo um sistema

restaurativo e regenerativo cujo objetivo é fazer com que os recursos sejam utilizados pelo maior tempo e se descartados, ocorre o fluxo circular, onde os componentes e os materiais possam retornar as cadeias produtivas, eliminando assim, desperdícios (TONELLI e CRISTONI, 2019).

Segundo Tonelli e Crostoni (2019), há 4 princípios básicos que representam um método de crescimento ambiental e econômico eficiente em termos de recursos e que norteiam as empresas que adotam a Economia Circular (Quadro 1).

PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ECONOMIA CIRCULAR	
<b>1</b>	Reduzir e eliminar gradualmente o que é externo e negativo. Por exemplo, poluição de água e do ar, degradação do solo, etc.)
<b>2</b>	Realizar fluxos circulares de materiais e produtos. Hoje, a principal maneira de fazer um produto retornar ao fluxo de produção é a reciclagem. No entanto, reutilização, reparo, remanufatura e reforma são formas de manter o valor e vida útil dos produtos.
<b>3</b>	Maximização do uso dos ativos. Manter a utilização do recurso por mais tempo no mercado. Isso pode ser conseguido através de inovações interligadas a manutenção dos ativos.
<b>4</b>	Incentivo ao uso de energia renovável (solar, eólica, compostagem, etc.) para a produção dos recursos

Quadro 1 - Princípios da Economia Circular  
Fonte: adaptado de EMF (2014)

Um modelo de Economia Circular não é apenas importante para manter um futuro sustentável, mas também está associado com inovação de produtos e serviços e com a oportunidade das organizações analisarem o uso de seus recursos operacionais (LACY et al, 2020).

### 3. TPM

A metodologia TPM surgiu em 1971 no Japão em uma fabricante de automóveis do grupo Toyota, a Nippondenso Co. Ltda, a partir da necessidade de melhorar o gerenciamento da manutenção devido à constante automatização e sofisticação dos equipamentos (SHIROSE, 1992).

O TPM tem a finalidade de reduzir perdas que influenciam a eficiência do equipamento e dos colaboradores, envolver todas as funções da fábrica e aumentar valor agregado, resultado em melhorias (SHIROSE, 1992). Promove o envolvimento dos colaboradores em busca da melhoria contínua, visando aumentar a eficiência dos sistemas através da prevenção de perdas, em busca de zero acidentes, defeitos e falhas, melhorando assim, o ambiente de trabalho (SUZUKI, 1994).

O TPM se estrutura em 8 pilares (Figura 2) que objetivam abranger todos os setores da organização, cada um deles com suas atividades específicas (BORRIS, 2006). Este trabalho não irá detalhar todos os pilares, concentrando somente no pilar de Manutenção Autônoma (MA) que é objeto do estudo de caso.

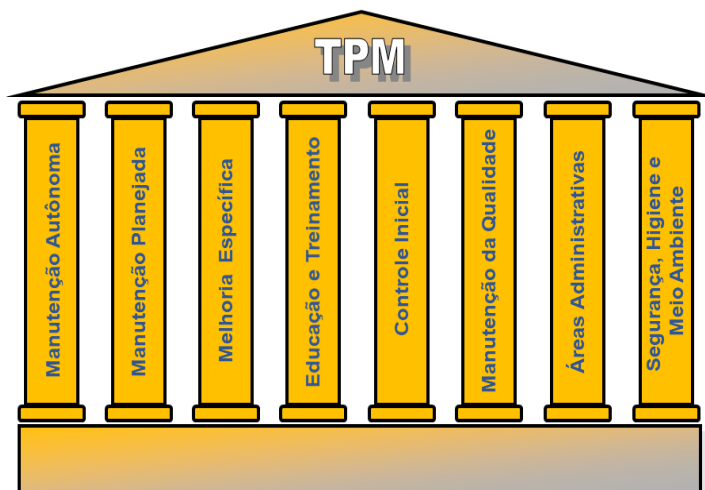


Figura 2 - 8 pilares do TPM  
Fonte: Borris (2006)

### 3.1 Pilar Manutenção Autônoma

O pilar manutenção autônoma estabelece o desenvolvimento do operador para que ele cuide do seu equipamento e objetiva, a partir disso, restaurar o equipamento, prevenir que o mesmo deteriore e estabelecer condições para um bom funcionamento (SUZUKI, 1994). Este pilar é desenvolvido através de 7 etapas, conforme mostra a Figura 3; à medida em que o operador se torna mais capacitado, ele passa a ter cada vez mais domínio do seu equipamento (BORRIS, 2006).

Na MA são desenvolvidas atividades que mantêm e melhoram o equipamento e, assim, aumentam a vida do mesmo e reduzem o tempo necessário de intervenção da manutenção e o consumo de componentes desgastados (SUZUKI, 1994). Segundo Loss (2019), as atividades são desenvolvidas por meio de diversas ferramentas, entre elas:

- LPP (lição ponto-a-ponto): documento para compartilhamento de conhecimento;
- Reuniões: encontros periódicos para análise de oportunidade de melhorias.
- Etiquetagem: preenchimento de etiqueta azul e vermelha. Azul: operador consegue resolver o problema. Vermelha: somente o time da manutenção



consegue resolver;

- Quadro de MA: recurso em que ficam disponíveis as atividades desenvolvidas.
- Registro de melhorias: formulário que mostra o antes e depois de uma melhoria que foi realizada no equipamento;
- Rotina de limpeza: documento em que estão mapeados os pontos críticos do equipamento que necessitam de limpeza periódica.

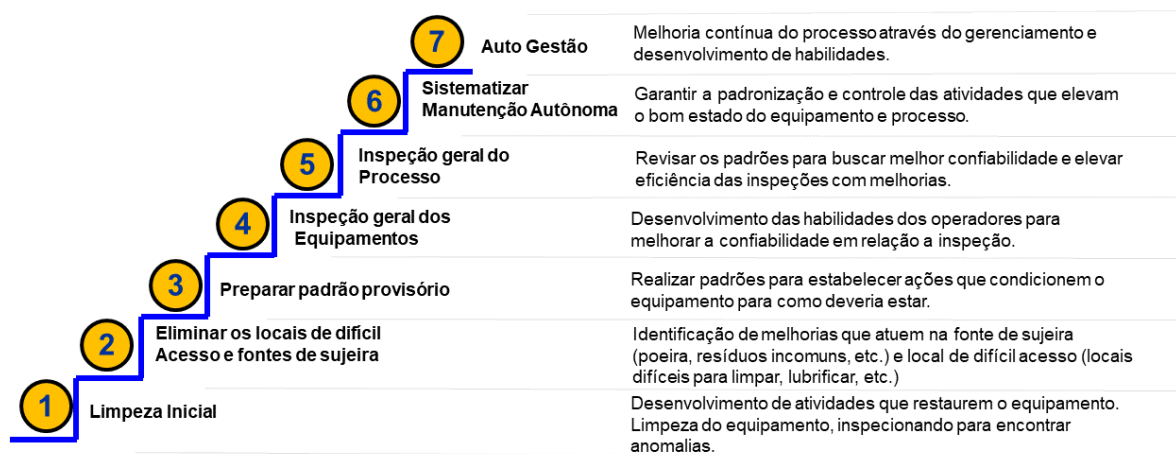


Figura 3 - As 7 etapas da Manutenção Autônoma (MA)  
Fonte: adaptado de LOSS (2019)

## 4. A SINERGIA ENTRE O TPM E A ECONOMIA CIRCULAR

Os princípios da Economia Circular se associam, em alguns casos, a ciclos de vida de equipamentos industriais, tendo essas organizações um bom serviço de manutenção em seu modelo de negócio (ANGELIS, 2018). Assim, pode-se criar valor a partir da manutenção de produtos, componentes e materiais, fazendo-os durar por mais tempo. Isso pode ser realizado por meio de ciclos consecutivos (remodelar peças por exemplo) ou ciclos duradouros (aumentar a utilização de um equipamento) (FERREIRA e SOBRAL, 2018).

Há diversas estratégias de circularidade que podem ser assumidas e que visam minimizar o uso de recursos e matérias, como por exemplo, restauração, manutenção, conserto, estender o uso do produto, entre outros, e assim, quanto mais circularidade, mais vantagens para o meio ambiente (POTTING, 2017).

Nessas circunstâncias, o TPM pode atuar impactando positivamente na Economia Circular pois objetiva, por meio do envolvimento de todos da empresa e atuação na manutenção preventiva e preditiva, aumentar a vida útil do equipamento (FERREIRA e SOBRAL, 2018).

Dentre os vários indicadores utilizados pelo TPM, destaca-se o MTBF (do inglês Mean Time Between Failures ou período médio entre falhas em português). Bastante conhecido, o MTBF é calculado pela relação entre o tempo disponível de operação do equipamento e número de paradas (BEN-DAYA et al., 2009). Quanto maior for o valor encontrado de MTBF melhor é o resultado, pois indica que estão ocorrendo menos intervenções da manutenção no equipamento e, assim, utilizando menos recursos materiais (BEN-DAYA et al., 2009). Dessa forma, pode-se entender que acompanhar e promover o aumento do resultado do MTBF é uma forma de impulsionar a Economia Circular na organização.

## 5. ESTUDO DE CASO

Foi realizado um estudo de caso em uma empresa produtora de equipamentos para construção civil e mineração, situada no interior de São Paulo, que visava reduzir o número de intervenções no equipamento, o desperdício de materiais/peças e evitar a troca de peças e de componentes desgastados.

Na empresa em estudo, desde 2014, a TPM é implementada em diversos processos críticos. A intenção com a implantação dessa metodologia foi diminuir desperdícios e aumentar a vida útil dos equipamentos partindo-se da necessidade de preservar seus recursos e impulsionar os princípios da Economia Circular.

A estrutura da metodologia na empresa é baseada em 4 pilares, a saber: Manutenção Autônoma, Manutenção Planejada, Melhoria Específica e Educação e Treinamento. O gerenciamento da implementação desses pilares é realizado por uma equipe chamada Secretaria TPM, composta por um coordenador, um analista, uma estagiária e dois aprendizes. Com a necessidade de reduzir as intervenções em equipamentos e prevenir a necessidade de troca de peças, ferramentas, entre outros, foram planejadas as implementações da 1ª e 2ª etapa da manutenção autônoma (MA) em um equipamento crítico de usinagem identificado como WOTAN modelo M4 FT/P. A implementação da primeira etapa de MA ocorreu em agosto de 2018 e a mudança para a segunda etapa ocorreu em setembro de 2019.

### 5.1 Implementação da 1ª e 2ª etapa de MA

O que oficializa o início do desenvolvimento do TPM no equipamento é o “Evento Limpeza Inicial” realizado na 1ª etapa de MA. Antes do evento, a Secretaria TPM



selecionou os participantes, sendo estes, o time da secretaria TPM, colaboradores atuantes nos 4 pilares, operador e liderança. Foi elaborado o quadro de MA e realizado um preparativo, no qual foram providenciados todos os materiais necessários para realização da limpeza. Foi realizado também o treinamento com todos para conscientizá-los sobre o que é o TPM, sua estrutura e importância, o que é a limpeza inicial e as atividades que serão desenvolvidas.

Para que o operador compreendesse melhor sobre a MA, o facilitador usou a seguinte analogia:

*"Você, como dono e responsável pelo seu carro (equipamento), quando o leva para o mecânico (time da manutenção) diz a ele o seu ponto de vista em relação ao problema, podendo ser um vazamento e/ou um barulho que está escutando. Ninguém é melhor do que você para detectar alguma característica de funcionamento anormal, seja este ruído, aquecimento, vibração, cheiro, que comecem a ocorrer no seu carro. Você detecta o problema, tenta resolver e caso não consiga, pede ajuda. Isso será o mesmo em relação ao seu equipamento, você é dono, responsável pelo seu ambiente de trabalho e caso alguma situação anormal ocorra, você analisará sua capacidade de resolver e caso não consiga, chamará de manutenção".*

No dia do evento, foi realizado um briefing de segurança para todos os participantes ficarem cientes sobre as medidas de segurança necessárias. Todos começaram a realizar a limpeza, inspecionando todo o equipamento para detecção de anormalidades. Para cada problema identificado, uma etiqueta foi aberta, totalizando 51 etiquetas vermelhas e 5 azuis. Exemplos dessas etiquetas são mostrados na Figura 4. Os formulários que seriam dispostos no quadro de MA foram preenchidos pelo operador para que ele se familiarizasse com a forma de preenchimento.

TPM ETAPA	1	2	3	4	5	6	7
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**TPM 8124**  
 Nº: 8124  
 (ASSINALE COM UM "X")  
 NOME: Bebo DATA: 09/08/18  
 PRIORIDADE: (ASSINALE COM UM "X")  
 ALTA  MÉDIA  Baixa   
 QUAL É O TIPO DA ANOMALIA: (ASSINALE COM UM "X")  
 FI  CP  LDA  FS  FPQ  ODU  LI   
 EQUIPAMENTO: 3109  
 ANOMALIA IDENTIFICADA (DESCREVA O PROBLEMA):  
Fixar suporte do IMA lado máquina.  
 DESCREVA DETALHADAMENTE O LOCAL DA ANOMALIA:  
Empilhadeira já fixou suporte IMA.  
 ÁREA RESPONSÁVEL

TPM ETAPA	1	2	3	4	5	6	7
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**TPM 9890**  
 Nº: 9890  
 (ASSINALE COM UM "X")  
 NOME: Marquinho DATA: 09/08/18  
 PRIORIDADE: (ASSINALE COM UM "X")  
 ALTA  MÉDIA  Baixa   
 QUAL É O TIPO DA ANOMALIA: (ASSINALE COM UM "X")  
 FI   LDA  FS  FPQ  ODU  LI   
 EQUIPAMENTO: 28m 3109  
 ANOMALIA IDENTIFICADA (DESCREVA O PROBLEMA):  
Vazamento de óleo na reserva tório  
 DESCREVA DETALHADAMENTE O LOCAL DA ANOMALIA:  
Pallet 1  
 ÁREA RESPONSÁVEL

Figura 4 - Exemplo de etiquetas utilizadas na MA  
 Fonte: empresa em estudo

Após o dia da limpeza inicial, a secretaria TPM mapeou os pontos críticos do equipamento e junto com o time do pilar MA desenvolveram a rotina de limpeza para que assim, o operador continuasse a inspeção periodicamente, desenvolvendo o cuidado pelo seu equipamento. Com a rotina da limpeza e inspeção é favorecido o contato do operador com todas áreas do equipamento, inclusive naquelas que ele não tem contato em seu trabalho diário. Dessa forma, ele mantém o bom estado do equipamento visando reduzir as paradas do mesmo e intervenção da manutenção. Após isso, foi definido o time de GA (Grupo Autônomo) contendo colaboradores dos pilares atuantes para que estes, regularmente e junto ao operador, façam reuniões na frente do quadro de MA para avaliar as atividades realizadas, discutir sobre como resolver anormalidades e gerar ideias de melhorias.

Um registro de melhoria realizado nessa etapa foi sobre a realização de um suporte para dispor ferramentas. Isso foi necessário, pois quando se retirava a ferramenta do magazine para troca de inserto ou para ser levada a sala de ferramentas, não havia um local específico para as mesmas e assim, ficavam sobre uma bancada onde poderiam ser danificadas. E caso alguma fosse danificada, teria que ser realizada a troca por outra, o que gerava mais uso de recursos.

Após um ano do equipamento na 1ª etapa de MA, o operador estava apto a desenvolver LPP's, registro de melhorias, detectar problemas e realizar atividades autônomas no equipamento, se tornando mais independente para realização de pequenos reparos. Assim, com o diagnóstico da 1ª etapa, concluiu-se que o equipamento estava em condições para iniciar a 2ª etapa de MA.

O evento que ocorre para dar início à 2ª etapa de MA é chamado "Encontrando Fonte de Sujeira e locais de difícil acesso". A secretaria TPM se responsabilizou pelos preparativos, os mesmos participantes da primeira etapa fizeram parte da segunda e passaram por treinamento para entenderem o foco e as atividades dessa nova etapa.

No dia do evento o objetivo foi abrir etiquetas para problemas relacionados com fonte de sujeira e locais de difícil acesso, pois esses problemas geram falhas/quebras prematuras no equipamento, e mesmo antes da quebra geram mal funcionamento. Foram abertas 10 etiquetas vermelhas que compreenderam áreas distintas, conforme mostra a Figura 5.

Na segunda etapa, além dos formulários já utilizados na primeira etapa, novos formulários relacionados à fonte de sujeira e ao local de difícil acesso são adicionados ao quadro de MA. O documento Rotina de Limpeza foi reformulado, tendo um aprofundamento na inspeção.



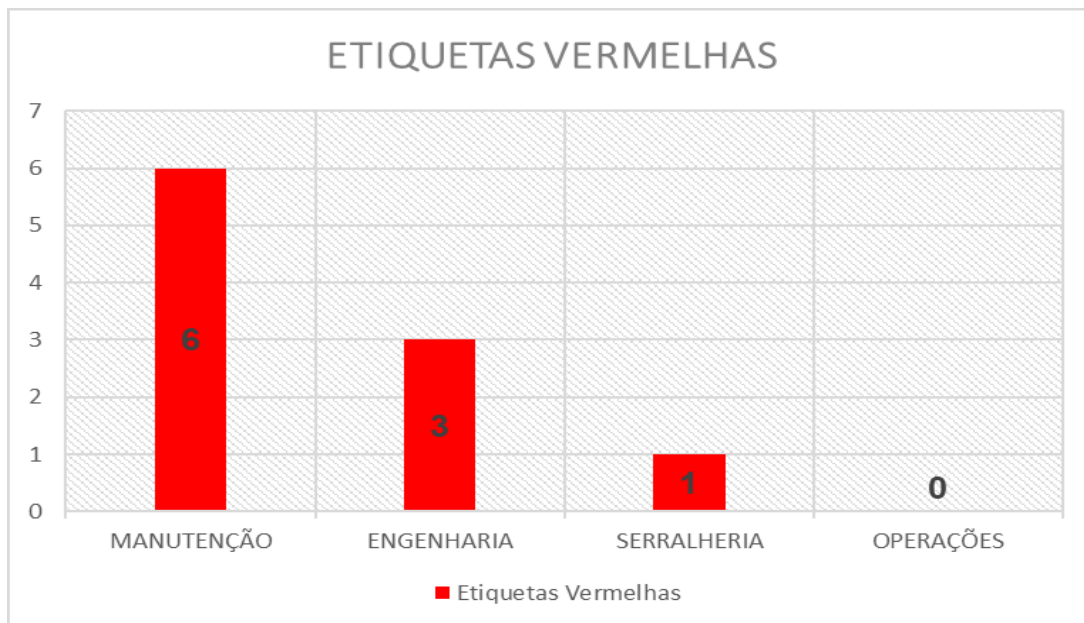


Figura 5 - Distribuição das etiquetas vermelhas, por área de ocorrência  
Fonte: empresa em estudo

Com as etiquetas identificadas e finalizadas, foram feitos registros de melhorias. A Figura 6 apresenta um exemplo que evidencia o que foi realizado no equipamento para eliminar o local de difícil acesso para limpeza do cavaco e, assim, com a dispersão do cavaco para um local de fácil limpeza, este pôde ser todo recolhido em um reservatório apropriado para reciclagem, evitando que se alojasse em um local do equipamento que fosse ocasionar danos futuros nos componentes do equipamento.

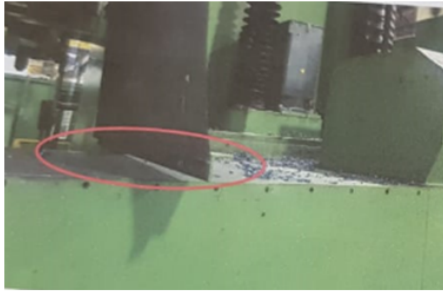

<b>REGISTRO DE MELHORIAS</b>	
<b>Equipamento:</b> WOTAN M4 FT/P	<b>Data:</b> 09/2019
<p><b>(Condição Antes):</b> A cortina de proteção não conseguia conter todo cavaco, necessitando o operador realizar a remoção do cavaco (difícil acesso), antes de toda troca de cabeçote.</p>	<p><b>(Condição Depois):</b> instalado um raspador que evita a passagem do cavaco. Assim, o operador não precisa fazer essa limpeza dos cavacos nas trocas de cabeçote.</p>
	
<p><b>Ganhos:</b> eliminou a possibilidade de ocorrência de quebras/falhas por excesso de cavaco em um local crítico do equipamento. Dessa forma, se evita intervenções e desperdício de materiais que se gera na troca de uma peça.</p>	

Figura 6 - Exemplo de Registro de Melhorias  
Fonte: empresa em estudo

## 6. RESULTADOS

A implementação da 1ª e 2ª etapa da manutenção autônoma possibilitou que o operador começasse a detectar falhas no equipamento. Assim como quando um indivíduo monitora a própria saúde, toma o remédio se necessário e, se algo começa a dar errado, procura por um médico, o operador passou a monitorar periodicamente o seu equipamento, a inspecioná-lo, verificando a ocorrência de anormalidades e, ao sinal de anomalias cuja solução não esteja ao seu alcance, acionava o time de manutenção. Dessa forma o operador capacitado, passou a funcionar como um "sensor", estando o tempo todo presente e atuando de forma a identificar precocemente problemas no equipamento, investido da responsabilidade de detectar desvios no funcionamento através dos cinco sentidos. Essa situação reduz, em muito, a geração de descarte de peças, conexões, componentes próximos do sistema, entre outros.

Em decorrência disso, comparando o 1º semestre de 2018 (equipamento sem TPM) com o 2º semestre de 2019 (equipamento com TPM), houve um aumento em 80,6% no MTBF (de 74,21 horas para 134,02 horas), conforme apresenta a Figura 7.

O aumento no MTBF pode ser visto como um indicador de redução de consumo de peças e componentes do equipamento. Com menos intervenções de manutenção corretiva, devido a peças e componentes deteriorados ou danificados por mau uso ou falta de cuidado, menor é o descarte destas e, por consequência, menor o consumo. Muito mais vantajoso do que encontrar uma reutilização e reciclagem para um resíduo do processo, é reduzir a geração desse resíduo. Esse resultado relaciona-se diretamente com os princípios da Economia Circular.

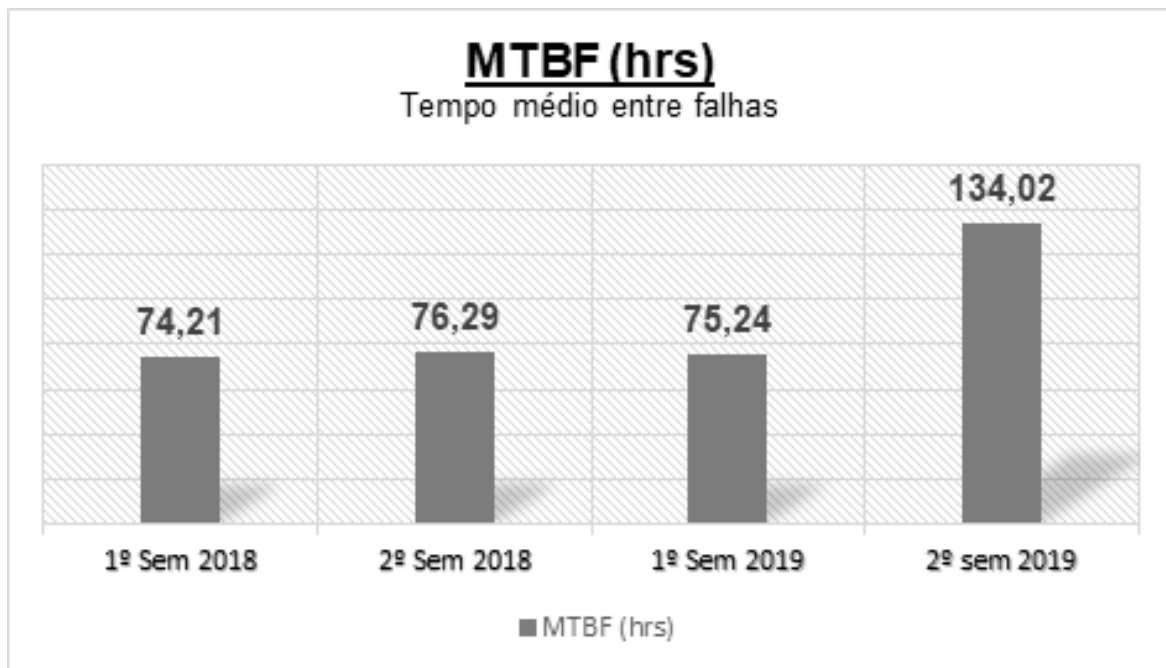


Figura 7 - Evolução do MTBF no equipamento WOTAN  
Fonte: própria

É notória a redução no consumo dos materiais utilizados nos reparos dos equipamentos. Em função da melhoria do MTBF e da detecção preventiva feita pelo operador. Foram criados índices para o acompanhamento dessa redução e nos próximos meses esta melhoria poderá ser avaliada de forma mais precisa. Pela redução do MTBF, já foi possível identificar uma redução de no mínimo de 45% na geração de descarte.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da MA mostrou-se uma forma de reduzir o consumo de materiais pois o operador passou a ser um detector de falhas, sentindo-se responsável pelo seu equipamento e prevenindo assim que maiores danos ocorressem. Como consequência, houve um aumento em 80,6% no MTBF e uma redução de 45% na geração de descarte, que refletem o fato do equipamento ter tido menos intervenções e assim, menos uso de materiais e peças utilizados para reparo e manutenção.

Dessa forma, ocorreu uma maior circularidade na empresa pois se há uma diminuição na necessidade de se intervir no equipamento, isso faz com que se aumente a vida útil dos componentes do mesmo, preservando-os. Isso evidencia que existe uma forte sinergia entre a Economia Circular e o TPM, pois os dois focam em buscar reciclar, restaurar, reparar e sempre que possível, reduzir ou até mesmo eliminar o descarte.

## Referências

- ANGELIS, R. D. **Business model in the circular economy: concepts, examples and theory**. Exeter: Springer International, 2018.
- BEN-DAYA, et al. (Eds.). **Handbook of maintenance management and engineering**. London: Springer, 2009.
- BORRIS, S. **Total Productive Maintenance: proven strategies and techniques to keep equipment running at maximum efficiency**. United States: McGraw-Hill, 2006.
- ELKINGTON, John. **Enter the triple bottom line. In: The triple bottom line**. Routledge, 2013. p. 23-38.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: accelerating the scale-up across global supply chain**. [S.l.]: [s.n.], v. III, 2014.
- FERREIRA, L. A.; SOBRAL, J. **A importância da fiabilidade e da manutenção para a economia circular**. Manutenção, n. 137, p. 8-12, 2018.
- GENNARO, C.. **Proposta de um modelo de maturidade para avaliação de gestão de pessoas orientado à economia circular**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Produção) - UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste. 2020.
- LACY, P.; LONG, J.; SPINDLER, W. **The circular economy handbook: realizing the circular advantage**. London: Palgrave Macmillan, 2020.



LOSS PREVENTION CONSULTING & TRAINING. **O facilitador & o TPM**. São Paulo: [s.n.], 2019.

POTTING, José et al. **Circular Economy: Measuring innovation in the product chain**. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague: [s.n.], 2017.

SHIROSE, K. **TPM for Workshop Leaders**. New York: Productivity Press, 1992.

SUZUKI, T. **TPM em indústrias de processo**. New York: Productivity Press, 1994.

TONELLI, M.; CRISTONI, N. **Strategic management and the circular economy**. New York: Taylor & Francis Group, 2019.





# CAPÍTULO 12

## **RECONSTRUÇÃO VIRTUAL DE OBJETOS POR CAPTURA DE NUVEM DE PONTOS UTILIZANDO DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO**

VIRTUAL RECONSTRUCTION OF OBJECTS BY POINT CLOUD CAPTURE  
USING LOW COST DEVICE

**Angel Rodrigues Ferreira**

**Alexandre Carvalho Silva**

**Camilo de Lellis Barreto Junior**

## Resumo

Neste trabalho é estudada a possível viabilidade do uso de um dispositivo de baixo custo no processo de reconstrução de objetos por meio de captura de nuvem de pontos. Os recursos oferecidos pelas APIs de desenvolvimento do ReconstructMe SDK foram utilizados propriamente na implementação da aplicação de captura e reconstrução; e o dispositivo utilizado para os procedimentos de captura foi o dispositivo Kinect. A solução estudada foi aplicada no processo de reconstrução de 3 objetos específicos. Os processos de reconstrução foram realizados com a condução do dispositivo manualmente, tentando cumprir movimentação de captura circundante ao objeto, em condições de limitações de recurso de espaço do ambiente utilizado. Considerando uma primeira experiência de implementação de uma aplicação com o ReconstructMe SDK, e ainda a utilização de um dispositivo de baixo custo, os resultados são consideravelmente satisfatórios. A solução tem capacidade de realizar os procedimentos de captura em tempo real e fazer a geração do modelo de volume de reconstrução em considerações de tempo relativamente rápidas e, mesmo que tendo alguns problemas de encaixe ou deformação de superfície, conseguindo resultados com qualidade de malha aceitável.

**Palavras chave:** Digitalização de objetos, Kinect, Nuvem de Pontos, ReconstructMe SDK, Reconstrução Virtual.

## Abstract

In this paper is studied the possible feasibility use of a low cost device in the object reconstructions process through point cloud capture. The gave features by the ReconstructMe SDK development APIs were used properly in the implementation of the capture and reconstruction application; and the used device for the capture procedures was the Kinect device. The studied solution was applied in the reconstruction process with three specific objects. The reconstructions processes was done leading manually the device, trying to perform the capture movements around the object, under conditions of space limitations of the environment used. Considering a first implementations experience of an application by ReconstructMe SDK, and still the use of a low cost device, the results are really satisfactory. The solution has capability to realize the capture procedures in real time, and do the reconstruction volume model generation relatively fast in time considerations, even though having some surface fitting or deformation problems, however getting results with acceptable mesh quality.

**Keywords:** Kinect, Object Scanning, Point Cloud, ReconstructMe SDK, Virtual Reconstruction.



## 1. INTRODUÇÃO

A ação de tratamento/abstração de objetos (modelos de formas dimensionais em ambiente) recorre ao uso de dispositivos de captura que desempenhem funcionamento para aquisição estruturada, quanto aos requisitos das partes dispositivas de reconhecimento. Esses dispositivos providenciam meios específicos de contato externo com o ambiente. E como um desses meios, a visão pode ser sem dúvida uma das mais importantes formas de contato externo que o ser humano, dadas suas estruturas biológicas, pode desempenhar funcionamento.

Seguindo uma abordagem em Alves (2005), fazendo uma relação entre importância da visão computacional ao funcionamento da visão humana, onde, em contexto, em vez de olhos há câmeras utilizadas para obter imagens, e por trás das imagens capturadas são aplicadas técnicas específicas para a realização do tratamento dos dados obtidos. De tal modo, que se torna interessante o aspecto dos diferentes sensores capazes de propor essa capacidade de coletar dados do mundo real para o computador; a computação dos dados, e estes capturados propriamente pelos dispositivos sensoriais. Tão surpreendente como, ou quanto, os aspectos de visão implementados no sentido de máquina, com ampla diversificação de capacidade de sentido devido os mais diferentes e específicos sensores que desempenham devida capacidade, a máquina pode desempenhar papel de ver até mesmo o que o ser humano não pode ver. O que é um recurso importante para a percepção (explorar a percepção em recursos de visão sofisticados) (GONZALEZ; WOODS, 2018). Portanto, visualizar a informação física da característica de um objeto, é importante para determinadas áreas de trabalho, porém nem sempre a maneira de obter estes dados é eficiente.

Tendendo ao objetivo, é ideal explorar uma possibilidade de solução computacional de implementação técnica que atenda as necessidades do trabalho de mensuração de dados de medidas de objetos conseguindo, de maneira eficiente realizar os processos necessários.

A transformação computacional de um objeto em um modelo tridimensional pode demonstrar grande recurso para o trabalho com os dados de medida, viabilizando, além do contato de proximidade dimensional, a possibilidade de qualquer implementação consequente, que recorrendo importância no mesmo modelo, em contato com o próprio modelo; como um protótipo mensurável e de próximo contato. Em geral, existe uma necessidade crescente de se representar objetos em modelos computacionais, cabendo diferentes formas de se obter dados de forma de objetos (VASCONCELOS, 2009).

Desse modo, com abordagem a alguma tecnologia em potencial, as nuvens de pontos podem ser estratégias suficientes para a digitalização de estruturas em ambiente, necessitando de alguma estrutura de sensores, os quais fazendo o recurso

de captura.

Com base nestes cenários de necessidades e potencialidades, este trabalho tem como objetivo geral realizar a digitalização de objeto específico em ambiente real, realizando a reconstrução de superfícies do mesmo em dimensão computacional 3D. Considerando a abrangência de possibilidade de tratamento com o modelo, dada a praticidade de condução com o mesmo na dada dimensão computacional.

Viabilizando em objetivos específicos um modelo computacional de captura e reconstrução, utilizando de uma estrutura de dispositivo de baixo custo; considerando verificações de importância definindo: mensuração e análise indiretamente do tempo de reconstrução; alcance em complexidade de qualidade da malha (nuvem de pontos); e viabilização da implementação com baixo custo (quanto ao dispositivo).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos subtópicos a seguir são apresentadas fundamentações com o objetivo de aproximar o leitor as tecnologias utilizadas neste trabalho.

### 2.1. Reconstrução de superfícies

A reconstrução de superfície é um modelo geométrico para usar dados da nuvem de pontos, através da medição e aquisição para ser restaurada a superfície original de objetos (HAIBO, 2017). Processar uma nuvem de pontos de maneira rápida e econômica para obter um modelo 3D de objeto real que melhor se adapte à realidade é um trabalho desafiador (ZHANG; WANG; SONG, 2010). Portanto, é significativo estudar a tecnologia de processamento de dados de nuvem de pontos tridimensional em como garantir precisão e eficiência no modelo de reconstrução de superfície (HAIBO, 2017).

O ReconstructMe SDK é uma biblioteca ISO C para procedimentos de reconstrução 3D em tempo real para operação manual de dispositivos de câmera RGB-D. Projetado como uma biblioteca de implementação de software que providencia fácil interface com o desenvolvedor que precisa de integrar um mecanismo de reconstrução 3D de alta performance em suas aplicações. Providência interface para todo o pipeline desde a digitalização 3D, incluindo etapas de pré e pós-processamento, como filtragem de dados de sensor e tarefas de pós-processamento de superfícies 3D (HEINDL et al., 2015). Suporta uma ampla variedade de sensores RGB-D comuns, como a família ASUS Xtion, a família PrimeSense Carmine ou a família Microsoft Kinect (CHIKURTEV et al., 2018). Toda a reconstrução é realizada no espaço métrico e o resultado pode ser exportado para vários formatos CAD, como STL,



OBJ, 3DS e PLY (HEINDL et al., 2015).

Como uma biblioteca de middleware, o ReconstructMe SDK encapsula a comunicação com sensores 3D populares e abstrai os detalhes de hardware, como paralelização de tarefas (HEINDL et al., 2015). Permite o desenvolvimento de aplicativos em questão de minutos; providencia uma API baseada em puro C, sem dependências adicionais; e tem fácil possibilidade de Interoperabilidade com outras linguagens (HEINDL et al., 2015).

O ReconstructMe SDK providência interfaces específicas, que ampliam as possibilidades de adaptar uma aplicação. Algumas necessárias e/ou essenciais em qualquer programa. Como as interfaces: de contexto, que fornece gerenciamento de tempo de vida do objeto e mantém a comunicação com um dispositivo de computação (GPU, CPU); de sensor, que fornece dados de imagem do mundo real (pelo sensor); de volume, como um espaço global, alimentado pelos dados de imagem, onde a reconstrução real acontece; e de superfície, que permite a extração de malhas de triângulos 3D do volume. Como também outras, alternativas para fins de testes, como a interface de calibração que permite estimar parâmetros da câmera, e a interface de visualização que abrange fins de depuração com exibição. As interfaces padrões são criadas com valores padrões, mas elas podem ser configuradas por uma interface de opções, o que é de devida importância. Contudo, esses componentes fornecem suporte para a comunicação com sensores, rastreando o movimento da câmera via odometria visual, fundindo os dados da digitalização em um quadro mundial e fazendo pós-processamento das digitalizações (HEINDL et al., 2015).

## 2.2. Dispositivo de captura

As câmeras Time of Flight e os scanners a laser são ferramentas escolhidas e estudadas suas aplicabilidades, em trabalhos que exigem mensuração computacional de modelo real em consequências de tempo eficaz (RAFIBAKHSH et al., 2012).

O sensor Kinect é capaz de reconstruir com precisão um objeto 3D e determinar o volume dos objetos, e se comparado com outros sensores de alcance usados para mapeamento 3D, o Kinect permite uma maneira muito mais barata de gerar nuvens de pontos (DIFILIPPO; JOUANEH, 2015), (HAN et al., 2013). O sensor Kinect permite que o computador detecte diretamente a terceira dimensão (profundidade) de objetos, superfícies em cena. Com sua ampla disponibilidade e baixo custo, muitos pesquisadores e profissionais de ciência da computação, engenharia eletrônica e robótica aproveitam a tecnologia de detecção para desenvolver novas formas criativas de interagir com máquinas e realizar tarefas (ZHANG, 2012).

Trabalhos como DiFilippo e Jouaneh (2015), Andersen et al. (2012), Khan et al. (2017) e Khoshelham (2011) apontam o alcance do modelo para diversas áreas

com a avaliação e ou extensão de aplicabilidade do Kinect (como sensor de profundidade), abrangendo os campos que envolvem visão computacional, mapeamento e modelagem 3D, robótica, dentre outros (cujos quais viabilizam implementação meio a tecnologia moderna).

Como um tipo de dispositivo híbrido/composto (RAFIBAKHSH et al., 2012), (SMISEK; JANCOSEK; PAJDLA, 2013), com baixa resolução e alta frequência de varredura (cerca de 30 FPS) (RAFIBAKHSH et al., 2012), o Kinect é um sensor RGB-D que providencia sincronização de imagem RGB e profundidade de imagem (HAN et al., 2013). Compreende vários equipamentos avançados de detecção (ZHANG, 2012). Assim, composto por uma câmera RGB tradicional, um sensor de profundidade, que consiste em um projetor de padrões a laser de infravermelho próximo (NIR) combinado com uma câmera de infravermelho (IR, um sensor monocromático complementar de óxido de metal – CMOS) (ZHANG, 2012), (SMISEK; JANCOSEK; PAJDLA, 2013), uma matriz de quatro microfones e um motor embutido (Servomotor) (DIFILIPPO; JOUANEH, 2015), (HAN et al., 2013).

Direcionando as definições de detecção ao sensor Kinect; a câmera de infravermelho é usada para observar e decodificar o padrão de projeção de infravermelho para triangular a cena 3D (SMISEK; JANCOSEK; PAJDLA, 2013). Basicamente, o emissor IR emite um padrão de manchas pseudoaleatórias (um único feixe que é dividido em vários feixes por uma grade de difração para criar um padrão constante de manchas projetadas) no objeto e a câmera infravermelha captura as reflexões do objeto (KHOSHELHAM, 2011), (SABALE; VAIDYA, 2016). Para a captura de pontos de profundidade são calculadas relações geométricas entre o projetor e a câmera IR através de um procedimento de calibração off-line. O projetor dispõe um padrão de luz IR na cena 3D; a câmera IR captura as manchas do padrão em alguma superfície, conseqüente faz correspondência entre os padrões de pontos locais observados na imagem e os padrões de pontos do projetor calibrados (HAN et al., 2013).

A geometria relativa entre o projetor de infravermelho e a câmera de infravermelho, bem como o padrão de ponto de infravermelho projetado, são conhecidos, e se conseguindo combinar um ponto observado em uma imagem com um ponto no padrão do projetor, torna-se possível reconstruí-lo em 3D usando triangulação (ZHANG, 2012).

Ao registrar as imagens de profundidade consecutivas, é possível obter uma densidade de pontos aumentada, e criar uma nuvem de pontos completa de um ambiente de cena, possivelmente em tempo real. A nuvem de pontos de um sensor Kinect devidamente calibrado não contém grandes erros sistemáticos quando comparados com dados de varredura a laser (KHOSHELHAM, 2011).

O desempenho do sensor pode ser afetado por uma série de fatores, tanto externos do ambiente e/ou da cena de captura, quanto específicos do dispositivo, que influenciam sua precisão e resolução de profundidade. Fatores como nível de



luz ambiente, tipo de material, cor do material, presença de luz infravermelha emitida por outros sensores, variações de temperatura, corrente de ar e a distância do sensor ao contato de captura (RAFIBAKHSH et al., 2012), (DIFILIPPO; JOUANEH, 2015), (HAN et al., 2013).

### 3. TRABALHOS CORRELATOS

Em Liu et al. (2011) é implementada uma metodologia de software geral que tem em objetivo fazer a captura de uma cena de ambiente com objetos específicos de interesse (na área de aplicação), com uma maneira de reconstruir objetos tridimensionais em nuvens de pontos de LiDAR (Detecção de Luz e Alcance) terrestre (TLiDAR). Os dispositivos de modelo de captura LiDAR trabalham com a mensuração no tempo de voo do feixe de luz. Utilizando em experimento um aparelho FARO Photon120 TLiDAR, ainda fazendo observação da baixa portabilidade do aparelho em ambientes operacionais complexos; o processo de reconstrução se faz seguindo um layout específico para cumprir de estações de digitalização (com orientações de localização das mesmas) para cada objeto ou cada conjunto de objetos, seguindo um padrão de costura de sena com orientações de localização. Fazendo seleção de parcelas de amostra com base em critérios de importância específicos, os modelos de objeto são estabelecidos em tarefas de pós-processamento em softwares específicos (tais estes AutoCAD e "3DMAX"), tal que em completude dos procedimentos, são preparados modelos de regiões com conjuntos de modelos dos objetos.

Em Xu, Wang e An (2014) é explorada e implementada toda uma arquitetura de processamento (um pipeline) para com a nuvem de pontos realizar o processamento de reconstrução de maneira eficiente e limpa. Utilizando de algoritmos em programas de processamento específicos (tais estes, Geomagic e MeshLab). Sendo utilizado um algoritmo K-N (K-Vizinhança) para a eliminação dos ruídos, um método de disco de Poisson para a amostragem/simplificação do número de pontos, a estimação das normais de superfície por outro algoritmo K-N; isso precorrente ao processo de reconstrução com base na nuvem de pontos por um algoritmo de reconstrução de Poisson para obter a malha triangular. Reconhecendo a importância de selecionar os parâmetros apropriados para obter resultados ideais; e ainda a questão de sofisticação da implementação para uma generalização aplicável em trabalhos recorrentes do processamento específico.

O trabalho Pérez-Ruiz et al. (2020), com o objetivo de fazer medições do corpo do objeto específico tendo o mesmo em recurso de modelo tridimensional, recorre a reconstrução do objeto em uma nuvem de pontos por meio de uma técnica de sensoriamento remoto óptico utilizando um sensor LiDAR. O LiDAR usado foi um Velodyne VLP-16. É importante observar que, em característica das especificações do sensor, o mesmo pode trabalhar com distâncias de 1 a 100 m; e a nuvem de pontos gerada recupera linhas horizontais de pontos da superfície. Trabalhando com uma ferramenta de visualização RViz; o modelo pode ser gerado e podem ser



feitos tratamentos consequentes com o mesmo.

Os dados são trabalhados no software de processamento de nuvem Cloud-Compare (PÉREZ-RUIZ et al., 2020). Necessitando do modelo 3D de nuvem de pontos para a mensuração de partes, é praticada a técnica de medida de maneira manual. Contudo recorre importância do trabalho da reconstrução, a consequente possibilidade de contato com o modelo do próprio objeto de interesse em recurso tecnológico de ambiente computacional. Sendo que em primeiro contado com o modelo, são necessárias filtragens/cortes (também de maneira manual) no material da nuvem de pontos, a fim de isolar o objeto em específico de importância, como único conteúdo em cena para os métodos de contado de medida. Implementando um sistema que simplifica a tomada de medidas (no ambiente de aplicação específico do trabalho).

Em contexto de avaliação de pontos específicos importantes nos trabalhos relacionados. Podendo encontrar complexidades quanto a viabilidade de implementação de um modelo de reconstrução com relação a uma área problemática específica: o dispositivo utilizado em Liu et al. (2011) tem capacidade de captura impressionante, mas o mesmo tem forma tanto robusta, o que exige de bastante esforço operativo no controle de manuseio/montagem; o dispositivo utilizado em Pérez-Ruiz et al. (2020), também demonstrando capacidades interessantes, no entanto, os pontos capturados não podem descrever toda a superfície do objeto; e ambos esses dispositivos podem ser consideravelmente caros. E como demonstrados em Xu, Wang e An (2014), os processos específicos a se dedicar na estrutura de desenvolvimento da sequência dos processos essenciais para a reconstrução, é interessante e de importante recurso poder fazer uso de uma biblioteca que abstrai os processos e permite um direcionamento de pesquisa.

## 4. IMPLEMENTAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

Como recurso geral no processo de captura e reconstrução, foram utilizadas, para a implementação aplicativa, as funcionalidades das APIs que integram o ReconstructMe SDK (versão 2.4.1016), recurso esse que abstrai o desenvolvimento com toda uma estrutura de processamento específica. Para trabalhar com o ReconstructMe SDK são necessárias as configurações de ambiente para a compilação e conexão com os recursos de pacotes necessários e de bibliotecas. Para a montagem/configuração do ambiente de desenvolvimento foi utilizada a ferramenta CMake (versão 3.16), cuja qual também recomendada pela própria documentação do ReconstructMe SDK, fazendo a configuração de projeto com a especificação de gerador para trabalhar com Visual Studio 2019 e usando compiladores padrões. Sendo o próprio Visual Studio 2019 (versão 16.7.3) o ambiente de desenvolvimento consequente utilizado na escrita/compilação do programa com a linguagem de desenvolvimento C++.





Como uma parte importante no trabalho com o ReconstructMe SDK, sendo ter um dispositivo RGB-D para trabalhar com o processo de reconstrução, e ainda com o contexto do trabalho, foi utilizado um dispositivo Kinect (modelo 1414) da Microsoft Corporation. Para trabalhar com o dispositivo em um computador, foi necessária a utilização de uma adaptação, como uma fonte de alimentação específica que conduz a conexão dispositivo-para-computador por USB; e como requisito para a utilização do dispositivo no sistema Windows (versão 10 de 64 bits), foi necessária a instalação/configuração da Runtime e dos Drivers para o dispositivo.

Assemelhando ao processo de desenvolvimento praticado neste trabalho, seguindo em estudo da documentação do ReconstructMe SDK, foram desenvolvidas e adaptadas as lógicas de funcionamento no algoritmo, sempre conferindo indiretamente funcionamento pós compilação em pontos importantes na implementação, por meio das interfaces que permitem a visualização da reconstrução em tempo real, e pós processada. Foram exploradas algumas configurações de captura e reconstrução, e também relacionadas ao sensor.

Como uma breve fase de teste e preparo, foram aplicadas alterações em algumas das opções de configuração padrão. As alterações mantidas, foram: quanto as opções de reconstrução, uma redução nos cantos do volume pelas orientações máximas e mínimas para uma caixa com lados de 0,5 m; ainda em mesma base, uma sincronização automática para média qualidade, considerando a proporção entre qualidade e tempo de processamento; quanto as opções de superfície, uma redução a limite no número de faces (para pós-processamento). Contudo foram configurações básicas, visualizando uma estrutura de funcionamento base neste trabalho.

## 4.1. Funcionamento

É necessário o dispositivo Kinect estar conectado. De maneira geral, quando a aplicação é iniciada, são criadas e relacionadas as interfaces essenciais de funcionamento do ReconstructMe SDK para o programa. Essas são interfaces de: contexto, opções, volume, superfície e sensor. O sensor é criado em relação a um contexto (um objeto central para o ReconstructMe SDK).

Fazendo início ao processo de reconstrução, são carregadas as configurações de reconstrução definidas; o sensor é aberto carregando configurações padrões, e definindo posição em relação ao volume de reconstrução como posicionado em frente. Como um programa ainda com interesses na observação do processo de reconstrução (como depuração), ainda é utilizado um visualizador para rastrear o processo de reconstrução em tempo real. Com base nisso é iniciado o processo de reconstrução, sempre tentando determinar a posição do sensor na cena, fazendo relações de posição precorrente, e tentando atualizar o volume e a visualização da depuração.



Contudo, pós a finalização da reconstrução, tendo o volume correspondente ao modelo, o mesmo é extraído para a geração de superfície; um pós-processamento de redução no número de faces é carregado e o modelo pode ser salvo e visualizado em forma limpa ainda na aplicação, e conseqüente, em outro software 3D, importando do formato PLY.

## 4.2. Limitações de uso

A aplicação não está habilitada em uma licença de uso comercial do ReconstructMe SDK, com isso, mesmo sendo possível visualizar na aplicação o modelo 3D reconstruído, o mesmo vai ser salvo com variações de orientação de cena e com formas esféricas posicionadas junto. Limitando ainda a escolha de objeto a ser escaneado, considerando ambiente de proximidade em momento da pesquisa, são escolhidos os objetos limitando a aplicação a um pequeno volume de reconstrução para mais fácil circundação no processo de reconstrução.

## 4.3. Dificuldades de uso

Dificuldades podem surgir no uso da aplicação por diferentes circunstâncias externas, como: estar utilizando um computador desktop para conduzir a aplicação, e com isso o dispositivo deve estar sempre conectado ao mesmo; junto a isso, tendo a proporção de alcance do dispositivo quanto ao comprimento do cabo utilizado; e ainda, o espaço do ambiente onde ocorre a digitalização.

É essencial destacar o tratamento com o modelo 3D, externo a aplicação, sendo necessário um tratamento manual com o mesmo, tentando retirar as formas e superfícies diferentes do objeto de reconstrução, e fazendo um redimensionamento de escala por definição padrão no modelo em comparação ao objeto real.

## 5. TESTES PARA A OBTENÇÃO DE RESULTADOS

Na fase de testes foi preparado o ambiente de digitalização, com recurso de espaço e uma plataforma para o posicionamento do objeto a ser escaneado; e escolhidos (de acordo aos de mais próximo recurso) os objetos a serem digitalizados para a avaliação do processo aplicativo de reconstrução. Os objetos escolhidos foram: uma caixa de papel, buscando importância em sua forma retangular; uma caixa de plástico de formato circular, também com importância a sua forma; e um galão de plástico, como um objeto não simétrico.



Os processos de testes se basearam na digitalização dos objetos escolhidos citados acima, por vez, posicionados sobre uma pequena base circular de uma base retangular. A digitalização se fez com condução manual do dispositivo no ambiente, tentando manter seu posicionamento a cerca de 0,60 m do objeto, e assumindo movimentos circundantes ao mesmo; também capturando de ângulos verticais. No entanto, devido a pouco espaço em ambiente não foi possível o movimento circundante completo aos objetos, com isso foram assumidos, ao menos, ângulos horizontais próximos a 270°. Após o procedimento de digitalização em volume, o processo de geração do modelo de reconstrução junto ao de pós-processamento de redução de faces geralmente custou 25 s. Os modelos 3D resultantes passaram por processos manuais em software 3D externo, onde foram feitas reescalas e cortes nas cenas, para destacar o objeto de importância. Veja os resultados em Figura 1.

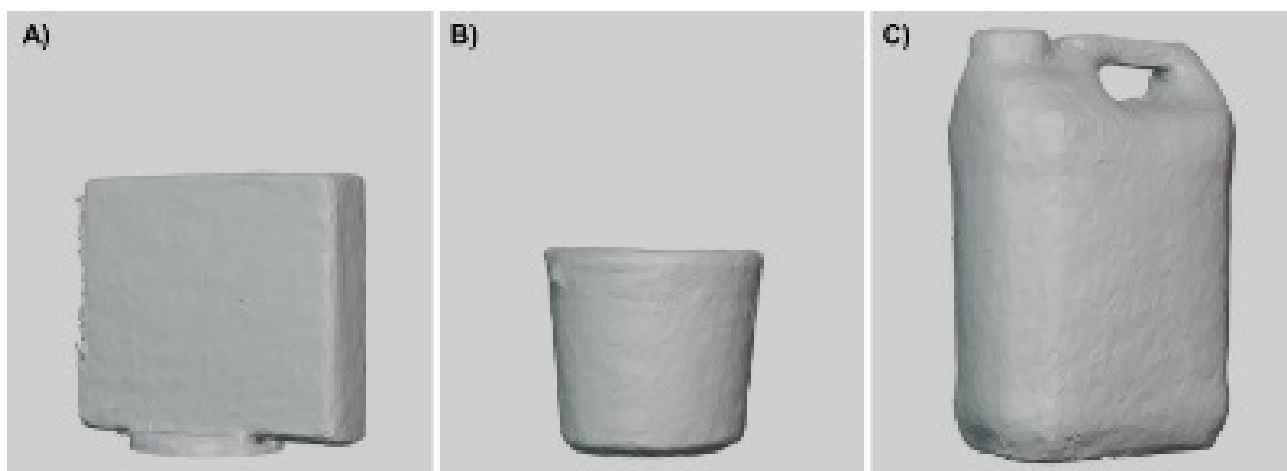


Figura 1 – Modelos 3D recortados da cena de reconstrução

De acordo com a relação de objeto por legenda (Figura 1), podem ser feitas algumas observações quanto a qualidade das formas geradas pelos processos de reconstrução. Quanto ao objeto A, as partes de superfícies planas podem facilmente ser identificadas, existe baixa conservação das bordas, e ainda deformações de forma. Do objeto B, sua forma circular pode ser parcialmente mantida, no entanto existem deformações de forma, principalmente nas bordas. Já com o objeto C a qualidade se mostrar superior aos outros objetos, conservando aspectos formacionais com bom grau de precisão; tendo sua forma maior e sem ângulos agudos a circundação ao mesmo mantêm o encontro de pontos de referência no objeto do volume de reconstrução, facilitando a orientação de localização.

Os resultados foram satisfatórios, embora, seja importante destacar, problemas de localização em cena com relação ao dispositivo e ao objeto no volume de reconstrução. A aplicação em momento de digitalização se mostrou necessária de pontos de referência no volume, com isso as partes principais na orientação foram as bases. Mas mesmo nessa condição, algumas formas se desencaixavam em cena, principalmente quanto as do objeto retangular.

O problema encontrado pode ser um fator relativo a configuração da aplicação em relação ao ReconstructMe SDK, talvez algo como a resolução do volume de reconstrução, ou integração de dados pelo ajuste de truncamento. Estes mesmos

dados foram configurados automaticamente como: em resoluções com valores de 512 para os eixos x e y, 256 para o eixo z, e em truncamento com o valor 9.766. Também podem ser questionados fatores relativos a de configurações intrínsecas de sensor, cujas quais não foram exploradas neste trabalho.

## 6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Apesar dos resultados obtidos com a aplicação não alcançarem sempre uma precisão de encaixe de superfícies do processo de reconstrução, neste trabalho foi possível implementar e estudar a aplicabilidade de um sensor de baixo custo, num processo de reconstrução por nuvem de pontos; e ainda estudando aspectos de implementação/configuração quanto a capacidade dos recursos oferecidos pelo ReconstructMe SDK.

Analisando os resultados é possível fazer observações que destacam a aplicabilidade da solução proposta neste trabalho. Uma vez que, geralmente um dispositivo Scanner 3D tradicional pode ser caro e impor muitas limitações, como em relação ao tamanho limite do objeto possível para o processo de digitalização. Com base nos dados obtidos, e observações do procedimento de atuação na utilização da aplicação de reconstrução com o dispositivo Kinect, é identificada a capacidade de utilização do dispositivo para o processo de reconstrução. Foi possível realizar os processos de digitalização, em manuseio do dispositivo, em custo de tempo relativamente pequeno, podendo levar até menos de 60 s por processo. E ainda levando em consideração que a capacidade de geração de malha de volume de reconstrução ser um processo que leva menos de 30 s. Nessa solução foi possível obter um resultado de malha de objeto relativamente bom, e ainda que tendo instabilidades nas formas, a qualidade da malha pode ser aceitável para procedimentos de pós-produção que via de regra são aplicados em cenários de digitalização tridimensional. Portanto os resultados são consideravelmente satisfatórios.

Com relação aos erros de captura e reconstrução, são propostos argumentos de que a aplicação de reconstrução podera ser estudada e melhorada, em questão dos aspectos de configuração oferecidos pela Interface de desenvolvimento do ReconstructMe SDK; e ainda é possível destacar um fator que podera influenciar na qualidade de captura do sensor, relativo a distância, a distância mínima de captura, um fator que não foi seguido ao ideal em condições das limitações do espaço ambiente utilizado para os processos de reconstrução. E mesmo que se consequente a ideal configuração nos pontos destacados, a solução não conseguir obter bons resultados, quanto ao modelo de objeto reconstruído, a adaptação específica de algoritmos de pós-processamento com os dados obtidos talvez consiga uma boa estabilização do modelo 3D de objeto.

Aqui o dispositivo de captura trabalha com a reconstrução de objetos relativamente grandes, sendo ainda que possivelmente o mesmo possa trabalhar com



objetos ainda maiores, o que abrange a dimensão de aplicabilidade da solução para áreas específicas (considerando que o tamanho do volume de reconstrução com o ReconstructMe SDK pode também abranger grande área de reconstrução), sendo ainda possível a capacidade de melhores resultados se a estrutura de objeto tiver bons pontos de referência quanto aos ângulos de exploração.

Como complemento em visão para um trabalhos futuros, pode ser buscado ainda utilizando o dispositivo kinect, seguindo deste trabalho, além de realizar implementações na sofisticação de precisão da aplicação de reconstrução, capacitar um modelo aplicativo para recursos de classificação com os dados de modelos 3D, mas em aspectos de parametrizar e dispor as características específicas e importantes nos dados capturados; podendo para isso, ainda serem necessários processos precorrentes atuantes no pós-processamento dos modelos de objeto. Definindo uma especificação de tipo de objeto a ser reconstruído, direcionando o foco da aplicação a algum ambiente cujo qual recorre possibilidade de aplicação da sofisticação de reconstrução e maleabilidade para tratamento dos dados, oferecendo capacidade de realizar medições baseadas em padrões estabelecidos para análise e classificação de objetos reais, facilitando recurso de classificação subjetiva, ou automatizada.

## Referências

ALVES, G.T.M. **Um Estudo das Técnicas de Obtenção de Forma a Partir de Estéreo e Luz Estruturada para Engenharia**. 2005. Dissertação (Mestrado em Informática). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 2005. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=6951@1](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=6951@1)>

ANDERSEN, M.R. et al. Kinect depth sensor evaluation for computer vision applications. **Aarhus University**, p. 1–37, 2012.

CHIKURTEV, D.; RANGELOV, I.; CHIVAROV, N.; KARASTOYANOV, D. 3D modelling for object recognition with depth sensors. **Problems of Engineering Cybernetics and Robotics**, v. 70, p. 35–42, 2018. Disponível em: <<http://www.iict.bas.bg/pecr/index.html>>. Acesso em: 7 set. 2020.

DIFILIPPO, N.M.; JOUANEH, M.K. Characterization of Different Microsoft Kinect Sensor Models. **IEEE Sensors Journal**, v. 15, n. 8, p. 4554–4564, 2015.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Digital image processing**. 4. ed. New York, NY: Pearson, 2018.

HAIBO, Y. Industrial Design Applications of Surface Reconstruction Algorithm Based on Three Dimensional Point Cloud Data. In: 2017 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTS & INTELLIGENT SYSTEM (ICRIS), **Anais...** : IEEE, 2017. p. 178-181.

HAN, J.; SHAO, L.; XU, D.; Shotton, J. Enhanced Computer Vision With Microsoft Kinect Sensor: A Review. **IEEE Transactions on Cybernetics**, v. 43, n. 5, p. 1318–1334, 2013.

HEINDL, C.; BAUER, H.; ANKERL, M.; PICHLER, A. ReconstructMe SDK: a C API for Real-time 3D Scanning. In: PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON 3D BODY SCANNING TECHNOLOGIES, Lugano, Switzerland, 27-28 October 2015, Ascona, Switzerland. **Anais...** Ascona, Switzerland: Hometrica Consulting - Dr. Nicola D'Apuzzo, 2015. p. 185-193.

KHAN, W.; PHAISANGITTISAGUL, E.; ALI, L.; GANSAWAT, D.; KUMAZAWA, I. Combining features for RGB-D object recognition. In: 2017 INTERNATIONAL ELECTRICAL ENGINEERING CONGRESS (IEECON), Pattaya,



Thailand, 8-10 March 2017, **Anais...** : IEEE, 2017. p. 1-5.

KHOSHELHAM, K. Accuracy analysis of kinect depth data. In: ISPRS WORKSHOP LASER SCANNING 2011, Calgary, Canada. **Anais...** .p. 133-138.

LIU, H.; ZHANG, X.; WANG, S.; CHEN, L. The reconstruction of three-dimensional tree models from terrestrial LiDAR. In: 2011 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND AUTOMATION ENGINEERING, **Anais...** : IEEE, 2011. p. 371-374.

PÉREZ-RUIZ, M.; TARRAT-MARTÍN, D.; Sánchez-Guerrero, M.J.; Valera, M. Advances in horse morphometric measurements using LiDAR. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 174, p. 105510, 2020.

RAFIBAKHSH, N.; GONG, J.; SIDDIQUI, M.K.; GORDON, C.; LEE, H.F. Analysis of XBOX Kinect Sensor Data for Use on Construction Sites : Depth Accuracy and Sensor Interference Assessment. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS 2012, Reston, VA. **Anais...** Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2012. p. 848-857.

SABALE, A.S.; VAIDYA, Y. M. Accuracy measurement of depth using Kinect sensor. In: 2016 CONFERENCE ON ADVANCES IN SIGNAL PROCESSING (CASP) 2016, **Anais...** : IEEE, 2016. p. 155-159.

SMISEK, J.; JANCOSEK, M.; PAJDLA, T. 3D with Kinect. In: **Consumer Depth Cameras for Computer Vision**. London: Springer London, 2013. p. 3-25.

VASCONCELOS, C.N. **Algoritmos para Processamento de Imagens e Visão Computacional para Arquiteturas Paralelas em Placas Gráficas**. 2009. Tese (Doutorado em Informática). PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, Brazil, 2009. Disponível em: <[http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=13444@1](http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=13444@1)>

XU, Q.; WANG, J.; AN, X. A pipeline for surface reconstruction of 3-dimensional point cloud. In: 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUDIO, LANGUAGE AND IMAGE PROCESSING 2014, **Anais...** : IEEE, 2014. p. 822-826.

ZHANG, R.; WANG, Y; SONG, D. Research and implementation from point cloud to 3D model. In: 2010 SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER MODELING AND SIMULATION, **Anais...** : IEEE, 2010. p. 169-172.

ZHANG, Z. Microsoft Kinect Sensor and Its Effect. **IEEE Multimedia**, v. 19, n. 2, p. 4-10, 2012.



# CAPÍTULO 13

## **ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE FLUXO MAGNÉTICO EM TRANSFORMADORES DE 3 COLUNAS UTILIZANDO O PROGRAMA FEMM**

ANALYSIS OF MAGNETIC FLUX DISTRIBUTION IN 3 LIMB  
TRANSFORMERS USING THE FEMM SOFTWARE

**Camilla de Sousa Chaves**

**Elise Saraiva**

**José Roberto Camacho**

**Marcelo Lynce Ribeiro Chaves**

## Resumo

Este artigo relata sobre o comportamento do fluxo magnético em transformadores a partir da metodologia de elementos finitos. Foram consideradas situações que envolveram aplicações de diversas tensões e momentos de energização do transformador. Durante o estudo foi usado o programa ATP (Alternative Transients Program), a fim de obter os valores instantâneos de corrente nos enrolamentos, e o FEMM (Finite Element Methods on Magnetics), para calcular o comportamento do fluxo magnético no núcleo a partir destas correntes. A representação fiel do transformador nos programas utilizados foi essencial para o sucesso dos resultados obtidos.

**Palavras-Chave:** ATP, elementos finitos, FEMM, transformadores.

## Abstract

This article is a report on the behavior of magnetic flux in transformers based on finite elements methodology. Situations involving different application of voltages and energizing moments were considered. In the course of this research, the software ATP (Alternative Transients Program) was used in order to get instantaneous values of current in the windings, and FEMM (Finite Element Methods on Magnetics) to compute the behavior of the core magnetic flux, under the effect of such currents. An accurate representation of the transformer in both programs was essential to the success of the results.

**Keywords:** ATP, FEMM, finite elements, transformers.





## 1. INTRODUÇÃO

O estudo realizado tem a finalidade de mostrar que uma boa representação de um transformador no programa computacional FEMM (Finite Element Methods on Magnetics) possibilita a determinação do comportamento magnético no núcleo em qualquer situação de operação, abrangendo as operações em vazio, com carga e nas situações transitórias de energização do transformador. Também pretende mostrar que a utilização de métodos eficientes e consagrados para prever o comportamento elétrico do transformador pode ser empregada para a determinação da densidade de fluxo magnético no núcleo, como, por exemplo, o uso do programa FEMM. O transformador escolhido para os estudos tem potência aparente igual a 15 kVA, do tipo trifásico com tensão de linha igual a 220 V, possui dois enrolamentos por fase, relação de transformação 1:1, corrente nominal de aproximadamente 40 A e ligação estrela-estrela.

O FEMM simula, através da metodologia de elementos finitos, o comportamento magnético (como também elétrico e térmico) de uma estrutura pré-representada. É um programa de uso livre e possui algumas limitações em relação à representação das estruturas, pois elas são concebidas de acordo com uma de suas vistas (lateral, frontal, superior, etc) e depois é inserida uma dimensão constante de profundidade. Para o cálculo de grandezas magnéticas, são fornecidos os valores eficazes ou instantâneos de corrente ao invés de tensão.

Neste estudo foi utilizado, além do FEMM, outro programa para obter o comportamento do fluxo magnético no núcleo do transformador ao longo de um ciclo de onda na frequência de 60 Hz (16,67 ms). Este programa foi o ATP (Alternative Transients Program): a partir da simulação do circuito elétrico do transformador, puderam ser obtidos os valores das correntes nos enrolamentos de acordo com as diferentes situações e períodos de análise. Ao transferir estes valores para o FEMM, foram obtidas as densidades de fluxo magnético em cada instante ao longo do ciclo de onda analisado, podendo, no final, obter seu comportamento durante o período em questão. Para a simulação do comportamento elétrico do transformador, utilizou-se a modelagem desenvolvida e validada em [5], sem a incorporação do ciclo de histerese.

Este estudo pretende estimular a utilização da metodologia de elementos finitos para a resolução de problemas elétricos e possibilitar novas linhas de pesquisas.

## 2. REPRESENTAÇÃO DO TRANSFORMADOR

A representação de um transformador no FEMM consiste em basicamente na representação geométrica de seu núcleo e dos enrolamentos de alta e baixa tensão que envolvem as colunas. As características magnéticas e geométricas do transformador estudado são apresentadas na Tabela I.

Tabela 1. Características do Transformador de 15 kVA

Número de espiras	Enrolamento externo	66
	Enrolamento interno	66
Bobina interna	Diâmetro externo	0,106 m
	Diâmetro interno	0,087 m
Bobina externa	Diâmetro externo	0,151 m
	Diâmetro interno	0,132 m
Área aparente	Coluna	0,0049996 m <sup>2</sup>
	Culatra	0,0052826 m <sup>2</sup>
Área líquida	Coluna	0,0047496 m <sup>2</sup>
	Culatra	0,0050185 m <sup>2</sup>
Largura	Coluna	0,08004 m
	Culatra	0,066 m
Densidade de fluxo magnético	Coluna	1,55 Tesla
	Culatra	1,44 Tesla

Foram adotadas algumas modificações no modelo criado para que houvesse uma maior correspondência com o transformador real.

### 2.1 Dimensões das Colunas

As colunas do transformador tiveram suas dimensões alteradas para que fosse mantida a mesma seção magnética do transformador real. Isso é explicado devido ao fato de que, no FEMM, os objetos são concebidos em duas dimensões e depois é inserida a dimensão da profundidade, que é um valor único em toda a estrutura. Essa metodologia de modelagem pode gerar falhas por falta de compatibilidade entre dimensões criadas com as dimensões reais. No caso do transformador em estudo, há uma variação nas dimensões das chapas das colunas ao longo da profundidade. Portanto, se for desconsiderada essas diferentes dimensões e adotado um formato uniformemente retangular para as chapas das colunas, haverá, conseqüentemente, uma diferença entre a área do transformador modelado e a área real, afetando significativamente os resultados de densidade de fluxo magnético obtidos pelo FEMM. Por isso, para fazer a equivalência entre as áreas aparentes – simulada e real (que é a área total da seção magnética do núcleo, incluindo entre-

ferros e materiais não magnéticos), foi feita a seguinte modificação:

- Sabendo que as colunas do transformador real possuem o formato aproximadamente cilíndrico, enquanto que as culatras possuem o formato de um paralelepípedo, adotou-se a profundidade das culatras, a qual define a área da seção magnética da mesma, como a profundidade a ser utilizada no FEMM. Então, deverão ser realizados ajustes nas dimensões das colunas para que estas, com a mesma profundidade adotada e seção magnética retangular, mantenham o valor real da seção. O ajuste é feito na largura das colunas, que nas simulações será considerado um valor único em toda a profundidade. Esse valor é determinado pela divisão entre a área aparente da seção magnética da coluna pela profundidade considerada:

$$l = \frac{4999,6\text{mm}^2}{80,04\text{mm}} = 62,46 \text{ mm} \quad (1)$$

A partir desta análise, a largura das colunas foi alterada para 62,46 mm, que é inferior ao diâmetro fornecido pelo fabricante, porém compatível com a área aparente real das colunas do transformador. É importante ressaltar que o comprimento dos caminhos magnéticos das colunas e das culatras não foi alterado.

## 2.2 Determinação do Material do Núcleo no FEMM

Após ter sido feito a representação geométrica do transformador no FEMM, a próxima etapa do trabalho consiste na determinação dos materiais que constituem o equipamento modelado. Nesta parte da etapa de pré-processamento, pode ser destacada a importância da curva de magnetização do material utilizado no núcleo para sua melhor definição no FEMM.

Foi criado dentro da biblioteca do FEMM o material denominado "ACESITA E-005" para representar o material utilizado no núcleo. Para a criação deste material (que é o aço silício de grão orientado ACESITA E-005), deve ser determinado no FEMM que este material possui uma curva B-H do tipo não-linear. Sendo assim, foi necessária a especificação desta curva, ponto a ponto com base na curva fornecida pelo fabricante. Foram também determinados atributos específicos como o fato do material ser laminado no plano, com lâminas de 0,3 mm de espessura, e possuir um fator de empilhamento igual a 0,95. Como o estudo apresentado não contempla as perdas no núcleo, as perdas por histerese e correntes parasitas são desconsideradas. Então, a condutividade elétrica do núcleo pode ser desprezada, e assim os parâmetros "Electrical Conductivity" e "Source of Current Density" devem ser nulos. Os materiais utilizados nos enrolamentos, entreferros e meio externo foram determinados aproveitando as especificações de materiais já existentes na biblioteca do FEMM.



## 2.3 Entreferros

Os entreferros presentes nas junções das chapas devido ao processo de montagem têm uma influência considerável na densidade de fluxo magnético resultante, uma vez que os mesmos estão inseridos no circuito magnético e as informações sobre a curva de magnetização referem-se somente ao material magnético. Por isso, para a realização dos cálculos e simulação da densidade de fluxo magnético no transformador, estes entreferros devem ser levados em consideração e indicado no modelo. Como as relutâncias destes estão diretamente relacionadas com os seus comprimentos, fazendo uma correspondência destes entreferros com suas relutâncias magnéticas, puderam ser construídos circuitos magnéticos equivalentes para calcular o valor das mesmas. De acordo com as referências [2] e [4], os valores encontrados foram:

$$\mathfrak{R}_e = 20294,19 H^{-1} \quad (2)$$

$$\mathfrak{R}_d = 20294,19 H^{-1} \quad (3)$$

$$\mathfrak{R}_c = 7547,36 H^{-1} \quad (4)$$

Onde  $R_e$  é a relutância equivalente na coluna esquerda,  $R_d$  a relutância equivalente da coluna direita e  $R_c$  a relutância do núcleo foram reunidas em 3 grupos diferentes:  $R_e$ ,  $R_d$  e  $R_c$ . Para o cálculo do comprimento dos entreferros foi empregada a equação  $\mathfrak{R} = l/\mu_0 \cdot S_m$ , onde  $l$  é o comprimento do entreferro,  $S_m$  a área da seção transversal da coluna e  $\mu_0$  a permeabilidade magnética que neste caso é a do ar ( $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} H/m$ ). Com isso, foram obtidos os seguintes valores para os comprimentos dos entreferros:

$$l_e = 0,12 \text{ mm} \quad (5)$$

$$l_d = 0,12 \text{ mm} \quad (6)$$

$$l_c = 0,045 \text{ mm} \quad (7)$$

Com a inserção dos entreferros no modelo criado no FEMM, percebeu-se uma diminuição considerável nos valores de densidade de fluxo magnético, uma vez que a mesma é determinada pela imposição de correntes nos enrolamentos (f.m.m.) e relutâncias do circuito magnético. Este fato comprova a necessidade de estabelecer um circuito magnético tal como ele é na realidade, formado por material ferro-magnético e entreferros. Foi visto também que, pelo fato de o entreferro e o caminho magnético percorrido pelo fluxo da coluna central serem menores que os respectivos valores das colunas laterais, um menor valor de corrente no enrola-

mento desta coluna produz a mesma densidade de fluxo das outras colunas. Portanto, foi verificado que os ajustes realizados no modelo foram bem-sucedidos e necessários para que a representação criada no FEMM se aproximasse ao máximo do transformador real.

### **3. ANÁLISE DE RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS NO FEMM E ATP**

Após a etapa de pré-processamento, foram estudadas várias situações e analisados os resultados a partir das simulações realizadas em relação ao comportamento do fluxo magnético no núcleo. Em relação às situações estudadas, deve-se ressaltar que foi considerado o transformador suprido por um sistema de tensão equilibrada, a ligação do tipo estrela com neutro aterrado e uma pequena impedância para o cabo de alimentação do transformador, da ordem de 0,0062 ohms (indutivo) nas três fases.

As situações analisadas foram:

- Transformador a vazio em regime permanente;
- Transformador a vazio durante a energização;
- Transformador a plena carga em regime permanente.

#### **3.1 Transformador a Vazio em Regime Permanente**

Nesta situação são consideradas ainda duas possibilidades:

- O transformador é suprido por uma fonte de tensão simétrica igual à tensão nominal do enrolamento ligado em estrela aterrado;
- O transformador é suprido por uma fonte de tensão simétrica igual a 150% da tensão nominal do enrolamento, mantendo o mesmo tipo de ligação.

Para estes dois casos e nas situações futuras, os valores das correntes nos enrolamentos são determinados através de simulações do transformador no programa ATP.

### 3.1.1 Transformador a vazio suprido com tensão nominal

A fim de observar o comportamento do fluxo magnético na situação do transformador a vazio e em regime permanente, foi imposto ao programa ATP a condição de inicialização da simulação em regime permanente. O valor de pico especificado para a tensão de fase foi de 179,605 V, sendo que as tensões das 3 fases são defasadas entre si de  $120^\circ$  por se tratar de um sistema equilibrado. A condição em vazio determinada no ATP foi feita através de uma alta resistência conectada no enrolamento secundário.

### 3.1.2 Resultados obtidos para a situação de tensão nominal

Na simulação com o programa ATP, foi observado que a corrente de magnetização da fase B é menor que a corrente de magnetização das fases A e C. Isso se explica pelo fato do caminho magnético do fluxo produzido pela fase B ser menor que o caminho magnético das outras duas fases, o que requer, conseqüentemente, uma corrente de magnetização menor. A partir dos resultados obtidos no FEMM (figura 1), notou-se que o núcleo do transformador atingiu os valores máximos de densidade de fluxo esperados, tanto para as colunas (1,55 T) como para as culatras (1,44 T). A figura 1 mostra uma situação em que o fluxo magnético está praticamente distribuído na coluna externa (fase A) e a coluna do meio (fase B), ou seja, a seguinte condição de corrente de magnetização:  $I_a = 1,96$  A;  $I_b = -1,23$  A;  $I_c = -0,77$  A.

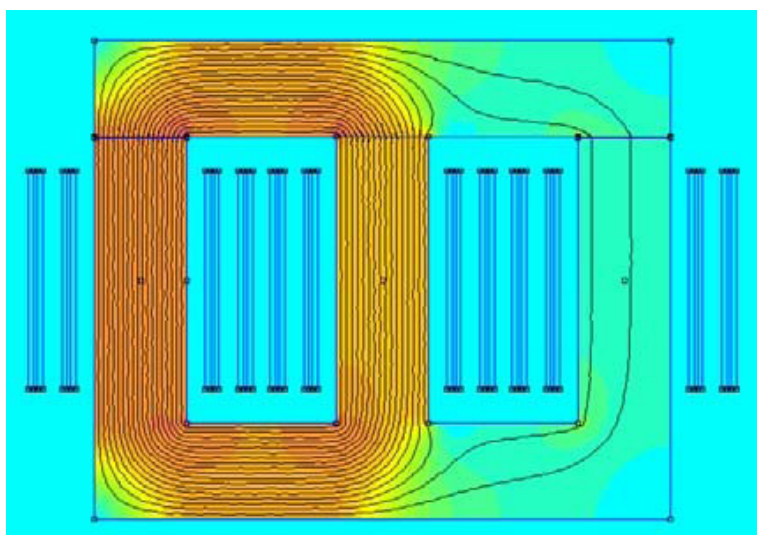


Fig. 1. Densidade de fluxo magnético no núcleo - transformador em vazio suprido com tensão nominal.

Após as simulações no FEMM para as várias condições de corrente nos enrolamentos, as quais ocorrem durante 1 ciclo completo, pode-se traçar o comportamento da densidade de fluxo em cada coluna ao longo de um período. A densidade de fluxo é traçada em valores absolutos. A efetivação deste procedimento foi possível com o auxílio de um terceiro programa, o Lua, o qual interpreta os resultados obtidos no ATP e executa o programa FEMM. Nos estudos realizados neste trabalho,

foram usados 35 pontos para a representação de um ciclo.

A figura 2 ilustra os resultados de corrente e densidade de fluxo na forma gráfica durante um período (a escala de corrente é de 1:1, em ampères, e de densidade de fluxo magnético é de 1:3, em tesla). Observa-se que o valor máximo da corrente de uma determinada fase produz a máxima densidade de fluxo magnético nesta mesma fase, entretanto, os valores nulos de densidade de fluxo nas colunas externas (fases A e C) não correspondem reciprocamente aos valores nulos de corrente. Isso acontece pelo fato da corrente de magnetização na fase B ser inferior às correntes de magnetização nas outras fases, ou seja, o núcleo não possui simetria magnética.

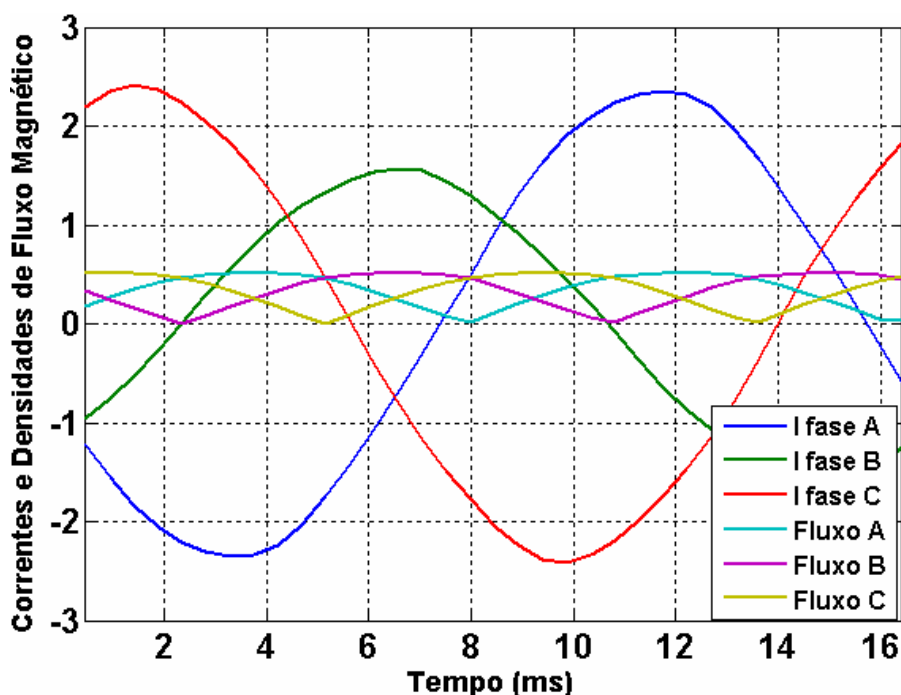


Fig. 2. Formas de onda das correntes no primário em relação ao comportamento da densidade de fluxo magnético.

### 3.1.3 Transformador a vazio suprido com 150% da tensão nominal

Para alimentar o transformador com 150% da tensão nominal, foi determinado no ATP o valor de pico da tensão igual a 269,408 V. O restante dos parâmetros continuou idêntico ao caso do transformador em vazio suprido com tensão nominal.

### 3.1.4 Resultados obtidos para a situação de sobretensão

Na simulação do ATP, verificou-se que a sobretensão deformou a forma de onda das correntes e elevou em torno de 100 vezes seus valores de pico. Este fenômeno é explicado devido a não-linearidade do circuito magnético no núcleo. A

figura 3 mostra os valores absolutos da densidade de fluxo nas colunas:

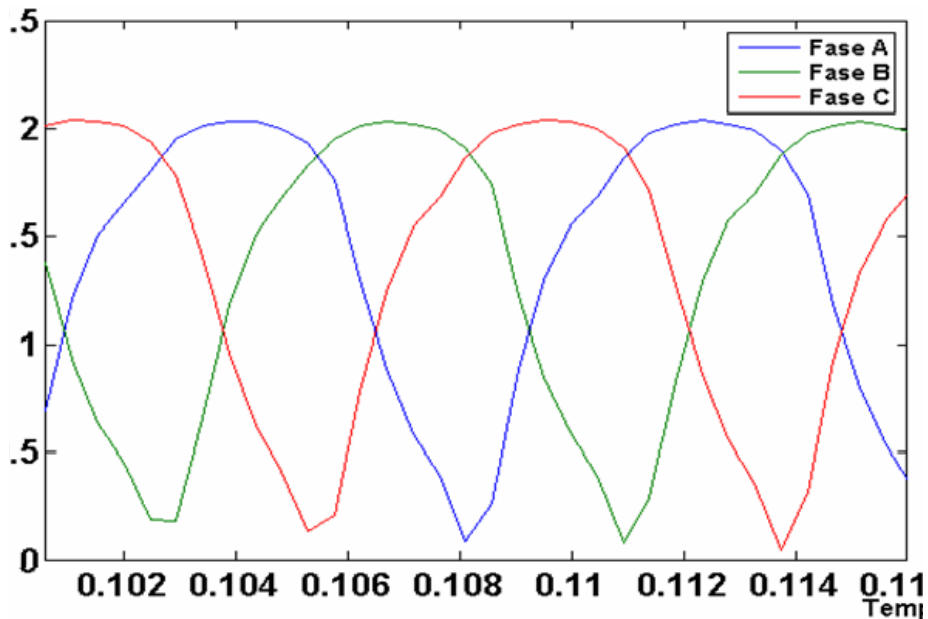


Fig. 3. Densidade de fluxo magnético (valores absolutos) no núcleo do transformador de 15 kVA suprido com 150% da tensão nominal.

Levando em conta que o fluxo magnético em um enrolamento é proporcional à tensão induzida no mesmo, e esta é praticamente igual à tensão aplicada, é de se esperar que com o aumento da tensão o fluxo magnético aumente proporcionalmente. Em princípio, a figura 3 parece não comprovar tal fato, pois a densidade máxima de fluxo é 2,04 T, e não 2,325 T (valor esperado – 150% de 1,55 T). A justificativa para isso está no fluxo de dispersão não considerado na figura 3. Observa-se também na figura 3 que a sobretensão causou um maior nível de saturação no núcleo e conseqüentemente gerou uma leve deformação nas formas de onda das densidades de fluxo magnético, o que significa que há uma maior quantidade de fluxo magnético que está disperso pelo ar.

A figura 4 mostra a distribuição de densidade de fluxo magnético para a seguinte situação de corrente nos enrolamentos:  $I_a = 19,47$  A;  $I_b = -72,08$  A;  $I_c = 23,80$  A.

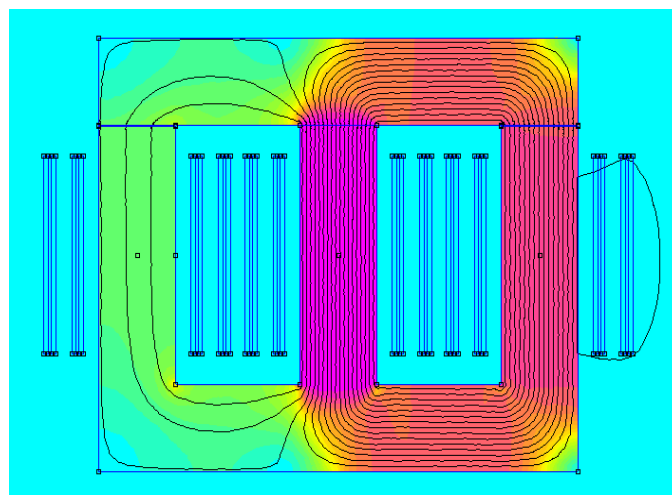


Fig. 4. Densidade de fluxo magnético no núcleo - transformador em vazio alimentado com 150% da tensão nominal. Densidade máxima: 1,98 T (fase B).



### 3.2 Transformador a Vazio Durante a Energização

Foram escolhidas 2 situações para o caso de energização do transformador: energização aleatória e condição de maior corrente de inrush em uma das fases.

A figura 5 mostra um dos resultados obtidos para o primeiro caso:

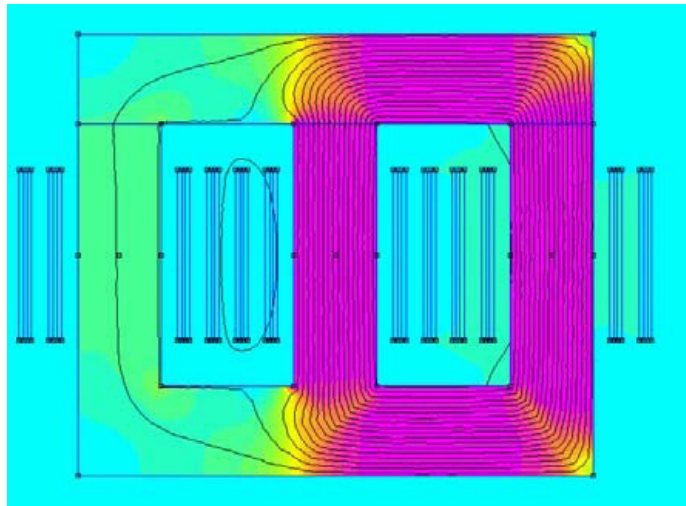


Fig. 5. Resultado obtido a partir da simulação da situação de energização aleatória. Densidade máxima: 2,03 T.

Nesta primeira situação, na qual foi admitida uma energização aleatória do transformador, o valor máximo atingido pela corrente de inrush foi de -253,79 A na fase C. Na figura 6 é ilustrado um dos resultados obtidos para o pior caso de inrush:

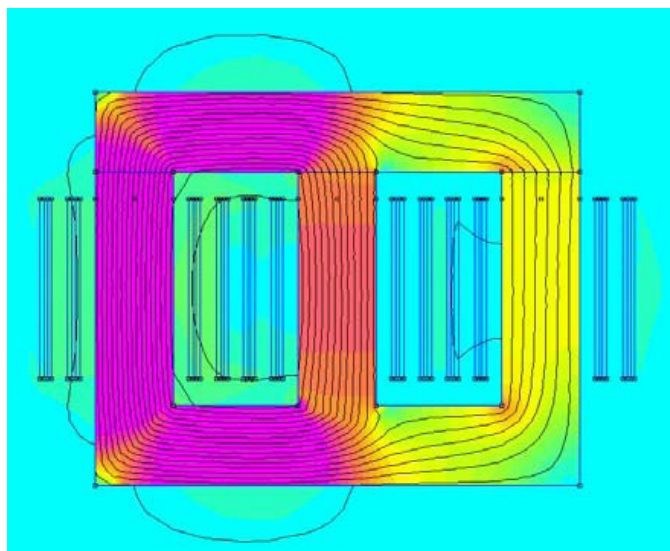


Fig. 6. Resultado obtido a partir da simulação da situação de maior corrente de inrush na fase A. Densidade máxima: 2,22 T.

No segundo caso, a energização do transformador foi feita justamente no momento em que a tensão na fase A passava por zero. Conseqüentemente, o maior pico de corrente de inrush aconteceu na fase A, atingindo o valor máximo de 811,281 A.

Como pode ser observado, tanto no primeiro quanto no segundo caso o nível de saturação do núcleo do transformador foi bem maior que os níveis encontrados na situação de regime permanente. Com isso, há mais fluxo de dispersão, como pode ser visto pelas linhas de fluxo magnético da figura 6.

### 3.3 Transformador a Plena Carga

Puderam-se comprovar, a partir dos resultados das simulações feitas na situação de tensão nominal no primário e carga nominal de caráter resistivo ( $f_p = 1$ ) conectada ao secundário, algumas características a respeito do comportamento da densidade de fluxo magnético no núcleo do transformador. Uma característica importante é que, apesar das correntes no primário e secundário possuírem valores eficazes iguais, as mesmas possuem uma pequena defasagem angular, a qual dá origem ao fluxo magnético no núcleo. Como a corrente de carga é predominante na composição no enrolamento do primário, destaca-se a defasagem entre a forma de onda da densidade de fluxo magnético e a forma de onda da corrente ao longo do tempo, como pode ser visto na figura 7 (escala de corrente 1:1 e de densidade de fluxo 10:1).

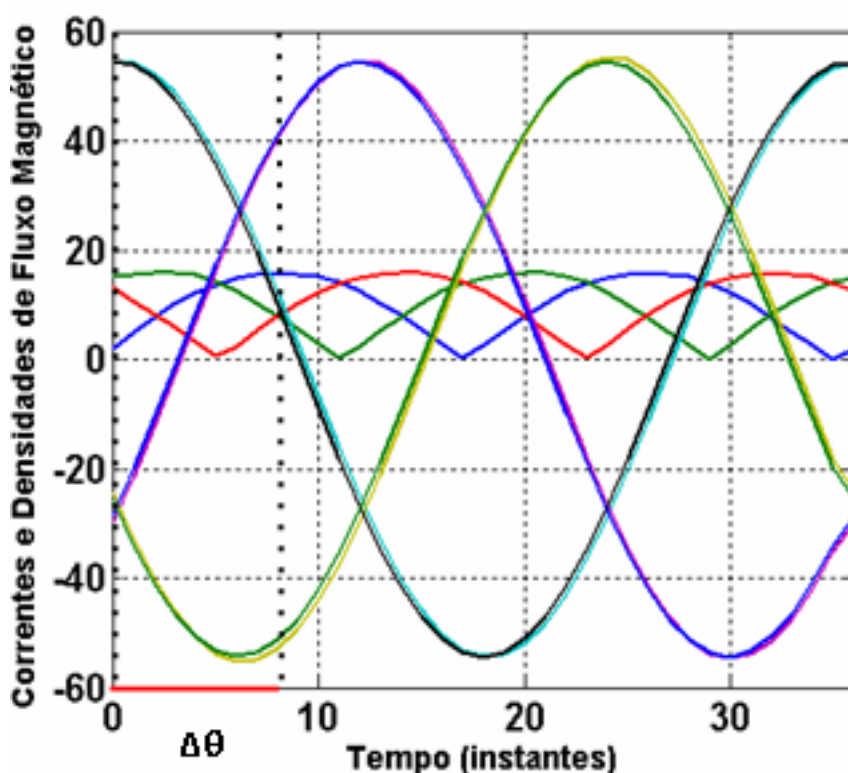


Fig. 7. Formas de onda das correntes no primário e secundário, com valores máximos em torno de 56,4 A, e as correspondentes densidades de fluxo magnético, com valores máximos em torno de 1,59 T. Defasagem entre as formas de onda de corrente e fluxo-  $\Delta\theta$ .

A figura 8 mostra a distribuição de fluxo magnético em um dado instante, no qual a densidade de fluxo magnético atinge o valor máximo na coluna externa (fase C). Nesta figura, observa-se a distribuição equitativa da densidade de fluxo magnético entre as outras duas colunas. O valor de densidade de fluxo máximo (1,59

T) encontrado nesta simulação pode ser justificado em função do fato de o mesmo ser obtido pela diferença das f.m.m.'s instantâneas nos enrolamentos do primário e secundário. Uma pequena imprecisão nos valores das correntes nos enrolamentos pode gerar maior discrepância no valor da densidade de fluxo.

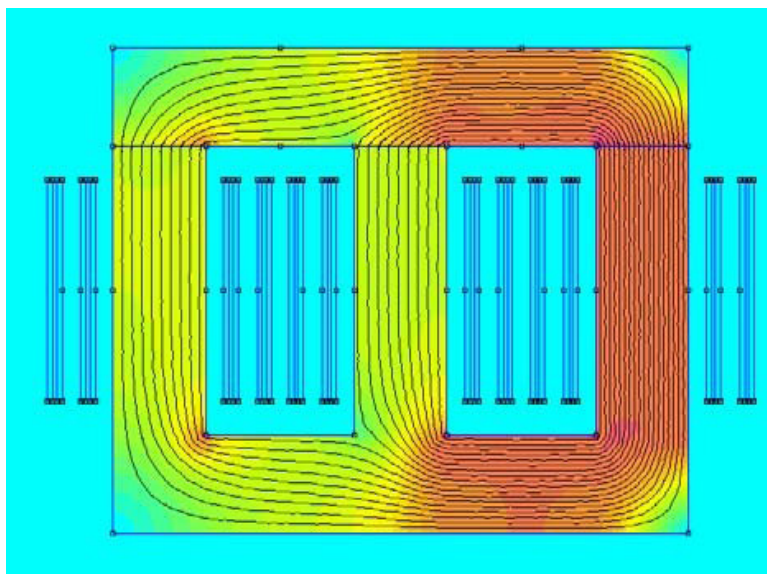


Fig. 8. Densidade de fluxo magnético num dado instante – condição de plena carga. Densidade máxima: 1,59 T.

Mesmo que os resultados obtidos em relação ao comportamento da densidade de fluxo magnético estejam dentro dos valores esperados, há detalhes interessantes de serem analisados. Um exemplo disso é o atraso ocorrido entre a forma de onda da densidade de fluxo magnético e a corrente ao longo do tempo, fato observado nas curvas construídas. A figura 7 mostra que o valor máximo de densidade de fluxo magnético não ocorre ao mesmo tempo em que a corrente atinge seu valor máximo, então não necessariamente a corrente máxima nos enrolamentos produzirá a máxima densidade de fluxo magnético no núcleo. Para melhor explicar este fato, será necessário analisar o tipo de carga conectada ao secundário do transformador, que foi neste caso uma carga de caráter puramente resistivo. Na simulação com o transformador em vazio, pode ser visto claramente que a forma de onda da densidade de fluxo magnético está em fase com a corrente de magnetização, que por sua vez é defasada de  $90^\circ$  da tensão aplicada. Nesta situação, a corrente que circula os enrolamentos do primário é praticamente igual à corrente do secundário, que por sua vez é igual à corrente de carga, já que a componente de magnetização é muito menor em relação à componente de carga. Então, como a carga que está conectada ao secundário é puramente resistiva, tanto a corrente no primário quanto a corrente no secundário estão em fase com a tensão aplicada e defasadas da forma de onda da densidade de fluxo magnético de aproximadamente  $90^\circ$ .

## 4. CONCLUSÕES

As análises feitas a partir dos modelos e simulações realizadas mostraram que, a utilização do software ATP, associado ao programa Lua e FEMM, torna-se possível determinar o comportamento eletromagnético do transformador. O programa ATP determina as grandezas elétricas em função das condições de alimentação e carregamento do transformador. Por intermédio do programa Lua, é possível introduzir os valores instantâneos de corrente no FEMM, o qual estabelece o comportamento magnético a cada instante. Antes de construir o modelo, tanto no programa FEMM quanto no ATP, é recomendado saber quais são os resultados que se deseja obter nas simulações. Dependendo do tipo de estudo, pode ser necessário ou não realizar modelos mais detalhados. De toda forma, com o intuito de criar um modelo único capaz de fornecer bons resultados, não importando o tipo de estudo a ser realizado, deve-se, então, estar sempre atento a todos os detalhes construtivos do transformador, envolvendo os enrolamentos e o núcleo. Tais informações nem sempre estão disponíveis o que torna imperativo direcionar a modelagem ao tipo de estudo que se pretende realizar.

Uma consideração importante é com respeito à curva de magnetização do transformador. Esta nem sempre pode ser levantada através de ensaios laboratoriais, e quando pode, na maioria das vezes, não atinge valores mais elevados de saturação magnética. A solução encontrada para contornar esta dificuldade é utilizar a característica de magnetização do material magnético do núcleo, associada aos entreferros de junções das chapas. Como foi discutido neste artigo, a presença dos entreferros no modelo influenciou significativamente nos resultados obtidos.

Em relação aos resultados apresentados, é interessante destacar alguns aspectos:

- Com excitação nominal e o transformador a vazio, a distribuição de fluxo magnético no núcleo se apresentou de acordo com os valores de projeto. Isto mostra que a representação do modelo nos programas ATP e FEMM está em concordância com o equipamento estudado;
- Com a excitação superior à nominal (150% de tensão) os resultados mostraram que a densidade de fluxo nas colunas apresentou distorções na forma de onda, e a mesma não aumentou proporcionalmente à tensão aplicada ao enrolamento. Contudo, sabe-se que o fluxo total concatenado em uma bobina tem uma relação direta com a tensão aplicada na mesma, tanto em amplitude como em forma de onda. As análises mostraram que a condição de saturação magnética impuseram maior fluxo de dispersão, o qual foi responsável por esta discrepância.

Considerando que o ATP e o FEMM são programas de consagração mundial e



de domínio público, a proposta aqui apresentada para a análise do comportamento eletromagnético do transformador se apresenta como uma das melhores opções para a realização deste tipo de estudo.

## Referências

1. ELISE SARAIVA (Brasil). Universidade Federal de Uberlândia. **Considerações sobre a Modelagem do Transformador de 15 kVA no FEMM**. Uberlândia, 2007.
2. SARAIVA, Elise; CHAVES, Marcelo Lynce; CAMACHO, José Roberto. **Modelagem de um Transformador de 15 kVA no FEMM e Metodologia para Cálculo dos Entreferros**. INDUSCON – VII Conferência Internacional de Aplicações Industriais. Poços de Caldas. Agosto 2008. pp. 1-6.
3. AZEVEDO, A.C. et al. **Investigation of Transformer Electromagnetic Forces Caused by External Faults Using FEM**. Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006. TDC '06. IEEE/PES. pp. 1-6.
4. SARAIVA, Elise; CHAVES, Marcelo Lynce Ribeiro; CAMACHO, José Roberto. **Three-Phase Transformer Representation Using FEMM, and a Methodology for Air Gap Calculation**. In: International Conference on Electrical Machines, Vilamoura, Portugal, 2008. Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines. Piscataway, New Jersey: IEEE, 2008. pp. 111-116.
5. SARAIVA, Elise; CHAVES, Marcelo Lynce Ribeiro; BRONZEADO, Herivelto Souza. **Proposta de Metodologia para Implementação do Ciclo de Histerese no Modelo de Transformadores Trifásicos no Programa ATP**. SNPTEE – XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Curitiba. Outubro 2005. pp. 1-8.
6. MEEKER, David. **Finite Element Method Magnetic – User's Manual** – Version 4.2. Waltham(MA): Disponível em: <<http://femm.foster-miller.net>>. Acesso em setembro 2008.
7. JULIANI, Aline Durrer Palleti. **Análise do Campo Magnético de um Motor de Ímã Permanente no Rotor Utilizando o Método dos Elementos Finitos**. 2007. 116 f. Dissertação De Mestrado (Pós-graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade De São Paulo, São Carlos, 2007.
8. KULKARNI, Shrikrishna V.; KHAPARDE, S. A. **Transformer Engineering** – Design and Practice. New York: Marcel Dekker, Inc, 2004.



# CAPÍTULO 14

## **AJUSTE DA RAZÃO DE COMPRESSÃO PARA A OBTENÇÃO DA POTÊNCIA MÁXIMA EM UM MOTOR OTTOLIZADO DE UM GRUPO GERADOR, OPERANDO COM GÁS LP**

ADJUSTING THE COMPRESSION REASON TO OBTAIN MAXIMUM  
POWER IN AN OTTOLIZED ENGINE FROM A GENERATOR SET,  
OPERATING WITH LP GAS

**Benilton Luis Nascimento de Oliveira**

**Emerson Freitas Jaguaribe**

**Bruno Leonardo Campêlo de Queiroga**

**Adriano Sitônio Rumão**

## Resumo

A razão de compressão é um dos principais parâmetros que influenciam o desempenho de um motor de combustão interna. Uma vez ajustada de acordo com o combustível, proporciona um funcionamento satisfatório relacionado a eficiência térmica e a potência máxima. Pesquisas desenvolvidas no LI-UFPB vêm tentando adequar a razão de compressão de motores ottolizados para diferentes combustíveis alternativos ao diesel. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo buscar uma razão de compressão adequada para o motor turboalimentado ottolizado, de um grupo gerador operando com gás LP, uma vez que na literatura essa razão de compressão é desconhecida. Para atingir esse objetivo, o motor foi ensaiado com quatro diferentes razões de compressão, onde se buscou atingir a potência máxima com o avanço de ignição adequado. Nos testes, manteve-se sempre o motor com mistura estequiométrica, na rotação de 1800 rpm e temperatura da água em torno de 80 °C. Diante dos resultados, a melhor razão de compressão foi a de 8,5:1, onde o motor atingiu 60 kW.

**Palavras chave:** Razão de compressão, motor ottolizado, gás Liquefeito de petróleo, potência máxima.

## Abstract

The compression ratio is one of the main parameters that influence the performance of an internal combustion engine. Once adjusted according to the fuel, it provides satisfactory operation related to thermal efficiency and maximum power. Research developed by LI-UFPB has been trying to adapt the compression ratio of ottolized engines for different fuels alternative to diesel. Thus, this work aims to find an adequate compression ratio for the ottolized turbocharged engine, of a generator set operating with LP gas, since in the literature this compression ratio is unknown. To achieve this goal, the engine was tested with four different compression ratios, in which it sought to achieve maximum power with the proper ignition advance. In the tests, the engine was always maintained with stoichiometric mixture, at 1800 rpm rotation and water temperature around 80 ° C. In view of the results, the best compression ratio was 8.5:1, where the engine reached 60 kW.

**Keywords:** compression ratio, ottolized generator set, liquefied petroleum gas, maximum power



## 1. INTRODUÇÃO

Os motores Diesel, desde o seu lançamento quando substituíram os motores a vapor (MOLLENHAUER e TSCHOEKE, 2010) até os dias atuais, têm desempenhado um papel importante no setor industrial e naval como fonte alternativa de geração de energia, seja elétrica ou mecânica. As razões de sua escolha devem-se a sua robustez, a capacidade de torque e ao baixo custo do óleo diesel que viabilizam economicamente a sua aplicação. Todavia, nos últimos tempos, tem crescido na sociedade moderna um movimento de políticas ambientais e de sustentabilidade, cuja pauta abrange as reduções dos gases nocivos ao meio ambiente e as pessoas, bem como a busca por energias limpas e renováveis. O óleo diesel, amplamente utilizado nos motores Diesel estacionários e veiculares, são um dos principais agentes causadores desses gases, por isso, a redução do consumo de óleo diesel tem sido exaustivamente discutido no mundo, principalmente nos países Europeus e emergentes como o Brasil (BBC, 2017). Nesse sentido, em 12 de junho de 2012, a Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC), que faz parte da Organização Mundial da Saúde (OMS), classificou os gases de escapamento do motor diesel como cancerígeno para os humanos, sugerindo que a exposição de pessoas as partículas deste combustível seja evitada (WHO, World Health Organization).

Sendo assim, buscando alternativas de minimizar os impactos ambientais e na saúde humana, causados pelo uso de grupo geradores a diesel, presente massivamente em indústrias e comércios, surgiu a prática da ottolização de motores Diesel no Laboratório de Inovação da UFPB (LI-UFPB) para a utilização plena de combustíveis alternativos menos nocivos ao meio ambiente, como o etanol estudado por Queiroga (2009; 2012); o gás natural, por Ferraz (2014) e Rumão (2008); o gás liquefeito de Petróleo por Oliveira (2008, 2013) e Ferraz (2010), e o gás proveniente da gaseificação de biomassa por Rumão (2013). Entende-se por ottolização o processo de conversão dos motores do ciclo Diesel para o Otto, onde, os motores Diesel deixarão de trabalhar com o sistema de ignição por compressão e passarão a operar com o sistema de ignição por centelha.

Visando garantir melhor desempenho dos motores ottolizado a equipe de pesquisas do LI-UFPB tem buscado estudar a influência de alguns parâmetros e equipamentos do motor, como os sistemas de ignição e de alimentação de combustível, o turbo-compressor, o avanço de ignição ( $q$ ) e a razão de compressão ( $R_c$ ). Entretanto, como se sabe, cada combustível possui octanagem associada a uma razão de compressão. O uso de uma razão de compressão muito alta aliada a um avanço de ignição excessivo favorece o surgimento da pré-ignição que reduzirá significativamente a sua eficiência, potência e vida útil.

Com relação ao gás LP, o estudo realizado por Oliveira (2013) verificou a influência do avanço de ignição sobre as emissões de  $\text{NO}_x$  e o rendimento térmico do motor para uma razão de compressão fixa de 9,3:1. No entanto, a prática da





conversão no LI-UFPB indica que o desempenho dos motores está relacionado com a razão de compressão e avanços de ignição adequados.

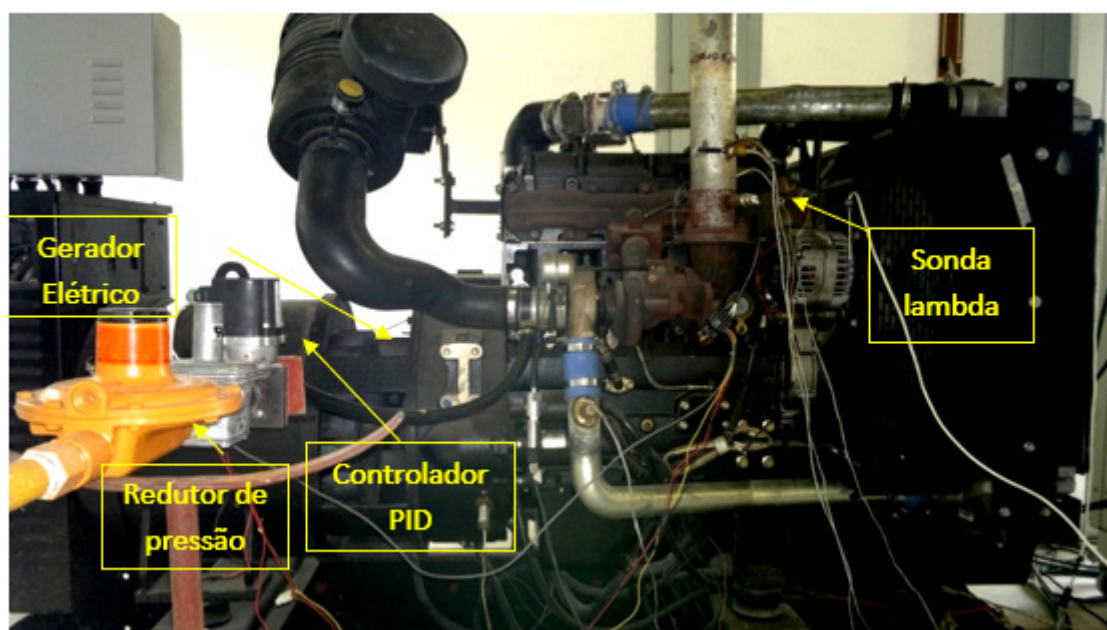
Sendo assim, este trabalho tem como objetivo determinar a razão de compressão que propicie a um motor otolizado de um grupo gerador, a gás LP, em rotação de 1800 rpm e mistura estequiométrica, atingir a maior potência possível.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Aparatos utilizados nos testes

#### 2.1.1 O grupo gerador

O objeto em estudo é o grupo gerador elétrico composto do motor Perkins turboalimentado 1104C-TAG2, otolizado, com governador eletrônico de rotação, e com controle por PID da relação ar/combustível, acoplado a um gerador alternador síncrono da Heimer de 84 kVA, ver Figura 1.



**Figura 1** - Grupo gerador com motor otolizado, com indicação do sistema de alimentação de gás LP.  
**Fonte:** O Autor

Na Figura 1 é indicado também o sistema de alimentação de combustível, que é composto por um regulador de pressão, um controlador eletrônico de malha fechada PID, diretamente acoplado ao corpo de borboleta e a uma sonda lambda. Estabelecida a programação para mistura estequiométrica, não se faz necessário qualquer outra interferência.

O motor também possui um sistema de ignição eletrônica, composto por uma unidade de controle eletrônico, ver Figura 2, que permite ajustar o avanço de ignição em tempo real através do painel de controle. Outra vantagem desse sistema

são as leituras instantâneas da água de arrefecimento do motor, da rotação, dentre outros parâmetros.

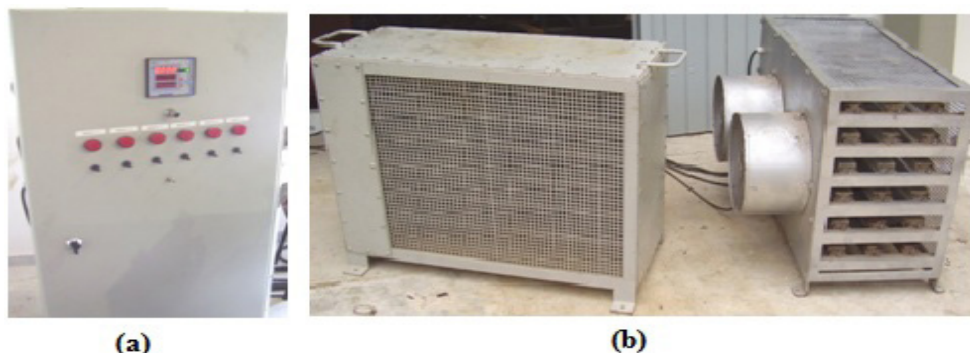


**Figura 2** - Painel de controle do sistema de ignição.

**Fonte:** O Autor

### 2.1.2 O simulador de Cargas

Em conjunto com o gerador descrito no item anterior, dois bancos de resistências de até 45 kW cada, conectados ao painel controlador de cargas, simulam cargas resistivas ao motor, ver Figura 3. Este simulador pode ser utilizado com cargas de até 100 kW em curtos períodos de funcionamento.



**Figura 3** - Simulador de cargas: (a) Painel Controlador e (b) Banco de Resistências.

**Fonte:** O Autor

### 2.1.3 A central de gás LP

De modo a simular o abastecimento de gás em uma indústria, foi instalada uma central com capacidade para 500 kg, ver Figura 4. A vazão máxima de gás pode atingir os 50 kg/h, devido ao sistema de vaporização forçada. Por causa da norma de segurança NR20, a pressão máxima na linha de abastecimento está limitada em 1,5 bar.



**Figura 4** - Central de gás LP de 500 kg com vaporizador atmosférico.  
**Fonte:** O Autor

### 2.1.4 O analisador de gases

O instrumento utilizado para a inspeção dos gases de escape foi o analisador de gases automotivo Discovery G4, da Alfatest. Este equipamento tem a capacidade de informar, ao mesmo tempo, oito compostos essenciais para a análise dos gases de combustão, tais como: o monóxido de carbono, o dióxido de carbono, os hidrocarbonetos não queimados, o oxigênio residual, o fator lambda, os óxidos de nitrogênio, o monóxido de carbono corrigido e a diluição, ver Figura 5.

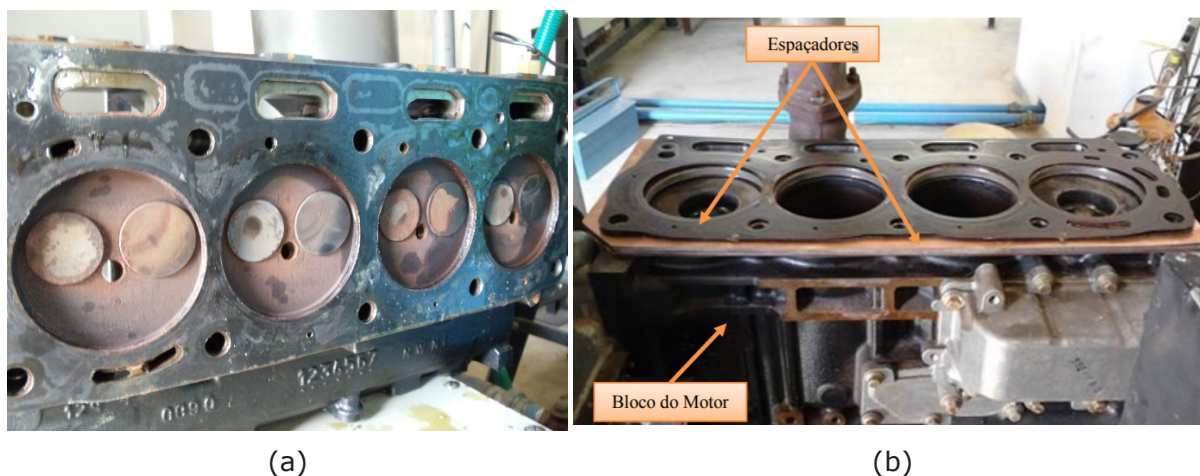


**Figura 5** - Sistema de análise de gases de combustão.  
**Fonte:** O Autor

## 2.2 Mudança de razão de compressão

O cabeçote do motor já com desbaste foi desmontado, Figura 6(a), e feitas

combinações de juntas originais (1,2 mm de espessura), e espaçadores de cobre fabricados (0,5 mm de espessura) e de espaçador de aço (3,2 mm de espessura), ver Figura 6(b), de forma a modificar a razão de compressão.



**Figura 6** - (a) Cabeçote desbastado e (b) Espaçadores utilizados para variação da razão de compressão.

**Fonte:** O Autor

A Tabela 1 mostra os valores calculados e medidos do volume deslocado do pistão ( $V_{des}$ ) e dos volumes parciais ( $V_{cc}$ ) que compõem o volume total da câmara de combustão ( $V_{cc,total}$ ):

Vdes (Calculado)	1095,62 ml
Vcc Pistão (medição volumétrica)	47,6 ml
Vcc Cabeçote (medição volumétrica)	33,5 ml
Vcc Espaçador 1,2 (calculado)	11,0 ml
Vcc Espaçador 3,2 (calculado)	29,4 ml
Vcc Espaçador 0,5 (calculado)	4,6 ml

**Tabela 1** - Volumes necessários ao cálculo da razão de compressão

**Fonte:** O Autor

Aplicando os volumes na Equação da razão de compressão, Equação 1:

$$Rc = \frac{V_{des} + V_{cc,total}}{V_{cc,total}} \quad (1)$$

Chega-se aos seguintes valores de razão de compressão possíveis, a depende da combinação das juntas, ver Tabela 2.

Razão de compressão	Junta Original de 1,2 mm	Junta de aço de 3,2 mm	Junta de cobre de 0,5 mm
<b>8,5:1</b>	2	1	3
<b>9,3:1</b>	1	1	2
<b>11,6:1</b>	2	0	0
<b>13,8:1</b>	0	0	1

**Tabela 2** - Combinações das juntas para variação da razão de compressão.

**Fonte:** O Autor

## 2.3 Experimento

Para todas as razões de compressão experimentadas, os testes no motor transcorreram da seguinte forma:

- Programou-se o controlador eletrônico de mistura ar/combustível para uma relação estequiométrica, ou seja, fator lambda próximo de 1;
- Para facilitar a partida, adotava-se um avanço de ignição de 20°. Após dez minutos de funcionamento, sem carga, para se garantir o aquecimento do motor (temperatura da água de 80 °C), se iniciava o acionamento das potências elétricas através do banco de resistências;
- Aumentava-se gradualmente a carga até a ocorrência da batida de pino ou a iminência da frenagem do motor. Neste momento, reduzia-se o avanço de ignição e prosseguia-se com o aumento de potência até a máxima.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta a temperatura da água de arrefecimento ( $T_{ag}$ ), o avanço de ignição e o fator lambda, medidos durante os testes, em função da razão de compressão.

$R_c$	$T_{ag}$ (°C)	$q$ (°)	$\lambda$
<b>8,5:1</b>	80	13	1,003
<b>9,3:1</b>	80	14	0,996
<b>11,4:1</b>	79	5	1,027
<b>13,8:1</b>	76	10	1,056

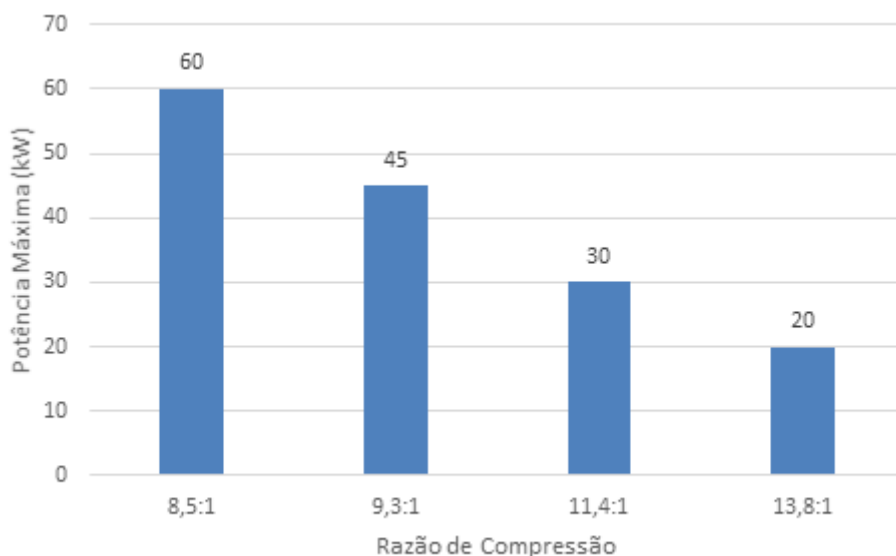
**Tabela 3** - Temperatura da água, avanço de ignição e fator lambda medidos durante os testes.

**Fonte:** O Autor

A temperatura da água de arrefecimento se manteve em torno de 80 °C. O fator lambda foi controlado de forma satisfatória para valores próximos a 1. Já o

avanço de ignição precisou ser ajustado a depender da razão de compressão experimentada para se obter a potência máxima.

A Figura 7 mostra os dados de potência máxima atingida em cada razão de compressão experimentada.



**Figura 7** - Potência máxima em função da razão de compressão.

**Fonte:** O Autor

Percebe-se na Figura 7 que com a redução da razão de compressão foi possível obter potências máximas maiores. A maior potência máxima (60 kW) foi atingida com o motor operando com razão de compressão de 8,5:1, já a menor potência máxima (20 kW) o motor operou com razão de compressão de 13,8:1.

## 4. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou aplicar a metodologia desenvolvida no LI-UFPB de análise de desempenho de motores ottolizados, em função da razão de compressão, para se obter a maior potência possível de um motor de um grupo gerador turboalimentado, ottolizado para gás LP. Esta metodologia abrange desde o procedimento experimental descrito na seção 2.3, como também a modificação da razão de compressão a partir da adição de espaçadores entre o cabeçote e o bloco do motor, conforme descrito na Seção 2.2.

A menor razão de compressão estudada foi limitada pela estrutura física do motor, principalmente pelos comprimentos das varetas conectadas aos balancins que comandam abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape. Já a maior razão de compressão foi limitada pelo próprio combustível que não operou satisfatoriamente com razões de compressão acima de 13,8:1.

Das razões de compressão experimentadas, a de 8,5:1 obteve a maior potên-

cia máxima (60 kW), sendo esta, considerada, neste trabalho, a melhor razão de compressão em termos de potência máxima.

## Referências

BBC News Brasil. **Por que os carros movidos a gasolina e diesel estão com os dias contados em países europeus e vários emergentes.** Paris, 20 nov. 2017. Disponível em < <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-42046977> >. Acesso em: 15 mar 2021.

FERRAZ, F.B. **Conversão de um motor diesel com bico injetor no interior da tampa de tuchos para gás liquefeito de petróleo.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, 56 p., 2010.

FERRAZ, Fagner Barbosa. **Análise de desempenho de um motor diesel turboalimentado otolizado para gás natural.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, 123 p., 2014.

MOLLENHAUER K., TSCHOEKE H. **Handbook of Diesel Engines.** Berlin, Germany Editora: Springer. 2010.

OLIVEIRA, B. L. N.; JAGUARIBE, E. F.; BEZERRA, A. F.; RUMAO, A. S.; QUEIROGA, B. L. C. **A diesel engine converted into otto cycle engine: The influence of the spark advance on its performance and on nox emissions.** Engenharia Térmica, v. 12, p. 37/1-40, 2013.

QUEIROGA, B. L. C. de. **Conversão de um motor a diesel para álcool com sistema multiponto de alimentação e de injeção e ignição eletrônica.** Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, 61 p., 2009.

QUEIROGA, B. L. C. de. **Conversão de um motor a diesel turboalimentado para etanol hidratado: Considerações técnicas e comparações de custo.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, 127 p., 2012.

RUMÃO, A. S. **Desempenho de um motor diesel estacionário convertido para gás natural em função de sua taxa de compressão.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, 67 p., 2008.

RUMÃO, A. S. **Geração de potência e energia elétrica a partir da gaseificação de rejeitos de biomassa.** Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal da Paraíba, 130 p., 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **International Agency for Research on Cancer: Diesel Engine Exhaust Carcinogenic.** Press Release No 213. Disponível em: <[https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr213\\_E.pdf](https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr213_E.pdf) >. Acesso em: 27 set. 2020.



# CAPÍTULO 15

## **UMA ABORDAGEM EDUCACIONAL ACERCA DO ELO ENTRE OS MODELOS TEÓRICOS FÍSICOS-MATEMÁTICOS E SOLUÇÕES DE ENGENHARIA**

AN EDUCATIONAL APPROACH ABOUT THE LINK BETWEEN PHYSICAL-  
MATHEMATICAL THEORETICAL MODELS AND ENGINEERING  
SOLUTIONS

**Natan Sian das Neves**



## Resumo

As soluções de problemas físicos relacionados ao contexto de engenharia apresentam uma importância visível, devido carregarem intrinsecamente métodos, considerações, hipóteses simplificadoras e aplicações relevantes de interesse constante na elaboração de projetos de pesquisa científica-acadêmica e industrial. Sendo assim, essas soluções partem, em inúmeros casos, de modelos teóricos físicos-matemáticos descritos por equações diferenciais. Desta forma, o presente artigo busca realizar um estudo inicial acerca do elo entre os modelos teóricos e de solução, visando apresentar aspectos conceituais e aplicações. Para tanto, seguindo um escopo pedagógico e introdutório, usa-se como veículo de transmissão e exemplificação os procedimentos numéricos baseados na técnica de diferenças finitas. Os casos testes são direcionados com dois exemplos associados à análise de um sistema oscilatório livre amortecido e um problema de torção de barras retangulares. Em síntese, os resultados numéricos apresentaram o comportamento esperado, mostrando ser uma técnica de fácil aplicação e conceitualmente simples, sendo uma excelente ferramenta numérica para introduzir a utilização de métodos numéricos na engenharia aos discentes.

**Palavras chave:** Engenharia, Diferenças Finitas, Educacional, Modelos teóricos.

## Abstract

The solutions of physical problems related to the engineering context are of visible importance because they carry intrinsic methods, considerations, simplifying hypotheses, and relevant applications of constant interest in the elaboration of scientific-academic and industrial research projects. Therefore, these solutions start, in many cases, from theoretical physical-mathematical models described by differential equations. Thus, this article seeks to carry out an initial study about the link between theoretical and solution models, aiming to present conceptual aspects and applications. For this purpose, following a pedagogical and introductory scope, numerical procedures based on the finite-difference technique are used as a vehicle for transmission and exemplification. The test cases are addressed with two examples associated with the analysis of a damped free oscillatory system and a torsion problem of rectangular bars. In summary, the numerical results showed the expected behavior, being a technique of easy application and conceptually simple and an excellent numerical tool to introduce the use of numerical methods in engineering to the students.

**Keywords:** Engineering, Finite differences, Educational, Theoretical models.



## 1. INTRODUÇÃO

As equações diferenciais com variados tipos de complexidades apresentam nos inúmeros fenômenos físicos podem transitar de diferentes naturezas como ordinária, parcial, linear, não linear, parabólica, hiperbólica, puramente difusiva e dentre outros aspectos que classificam um modelo diferencial. Neste contexto, os modelos diferenciais analíticos são baseados, em modo geral, em princípios físicos, relações constitutivas do material, condições de contorno, efeitos externos e dentre outros conceitos da física-matemática. Sendo assim, é possível fornecerem soluções bem postas e fechadas para determinados problemas físicos específicos, com geometrias e processos físicos simplificados, que são frequentemente usados para validação parcial de um programa computacional (LAPIDUS; PINDER, 2011). Estes modelos fornecem uma previsão simplificada para a resposta do problema, construindo uma base inicial acerca do comportamento do fenômeno.

As ferramentas de solução de problemas de engenharia, em modo mais abrangente, podem ser divididas em dois grupos, os procedimentos teóricos e os experimentais. Direcionando a discussão aos métodos analíticos e numéricos que compõem basicamente o grupo dos métodos teóricos. Inicialmente, os problemas de engenharia possuem uma variedade de complexidades, a adoção de hipóteses de cálculo que objetivam simplificar o problema pode acarretar em soluções que não interpretem o comportamento real. A maioria dos problemas práticos de engenharia não apresentam comportamentos triviais, com processos não lineares, geometrias não estruturadas, regime transiente, acoplamentos físicos e matemáticos, dentre outros aspectos, sendo quase improvável o conhecimento de uma solução analítica, direcionando as soluções destes problemas para a aplicação de técnicas numéricas. Deste modo, o uso de métodos aproximados é uma excelente alternativa, uma vez que os computadores estão com sua capacidade de processamento e armazenamento em crescente evolução, o que permite solucionar problemas com maior nível de complexidade (NEVES, 2019). Desta forma, dentre as técnicas aproximadas usuais na engenharia, cita-se o método de elementos finitos, volume finitos, elementos de contorno e como pioneiro nesse escopo, tem-se o método das diferenças finitas (MDF), destacando-se pela sua simplicidade e eficiência na solução, sendo por sua vez a técnica escolhida como guia para as análises e debates.



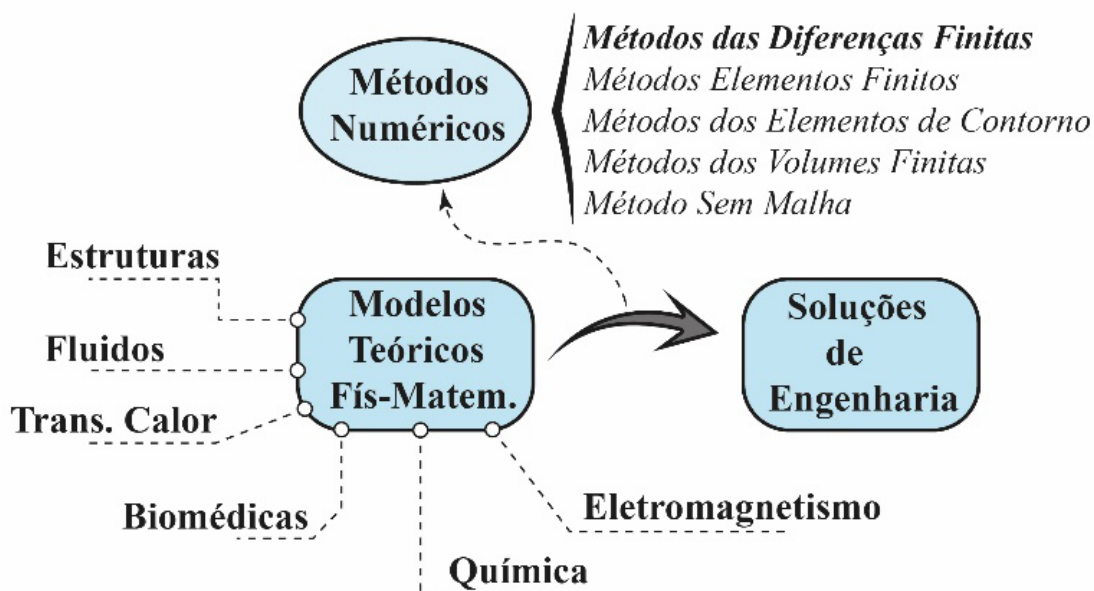


Figura 1 – Esquema didático geral acerca dos modelos analíticos e métodos numéricos  
 Fonte: Autor (2021)

A partir desse cenário, é notório o forte e direto elo entre os modelos teóricos físicos-matemáticos governantes de fenômenos e as soluções recorrentes na engenharia, interligados pelo uso de métodos numéricos que possibilitam realizar variadas investigações de parâmetros físicos, tipos de carregamentos, configurações geométricas e dentre outros. Para exemplificar essas interações entre os modelos analíticos que descrevem os diversos problemas físicos e métodos numéricos são esquematizados na Figura 1. Desta maneira, esse artigo visa apresentar de forma introdutória e pedagógica os procedimentos aproximados para alguns problemas de engenharia, a fim de expandir a visão dos discentes para a importância dos métodos numéricos na engenharia atual, uma vez que os programas comerciais majoritariamente utilizam essas técnicas para as soluções.

## 2. CONCEITOS E APLICAÇÕES DA TÉCNICA DE DIFERENÇAS FINITAS

O método das diferenças finitas é uma técnica de natureza diferencial que busca em sua essência aproximar as derivadas contidas nas equações diferenciais governantes dos fenômenos físicos de engenharia por meio de simples expressões algébricas de diferenças entre pontos adjacentes contidos no domínio discreto (ÖZISIK *et al.*, 2017). A formulação matemática do MDF é baseada na expansão em série de Taylor, conforme posto na Equação (1).

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^n x_0}{n!} (x - x_0)^n + \frac{f^{n+1}(\epsilon)}{(n+1)!} (x - x_0)^{n+1} \quad (1)$$

A partir da Equação (1) pode-se derivar as aproximações dos operadores diferenciais, como para as expressões de derivadas de segunda ordem com esquema

de diferenças centrais e derivada de primeira ordem com esquema progressivo, conforme mostrado a seguir:

$$\frac{d^2f}{dx^2} \approx \frac{f_{i+1} - 2f_i + f_{i-1}}{\Delta x^2} \quad \frac{df}{dx} \approx \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x} \quad (2)$$

Onde  $\Delta x$  é o espaçamento espacial da malha numérica. Além disso, para equações diferenciais parciais localizadas em torno de domínio bidimensional, as expressões matemáticas apresentadas na Equação (2) podem ser expandidas naturalmente em cada direção cartesiana, conforme pode ser visto em detalhes no trabalho de Neves *et al.* (2018a). Na Figura 2 apresenta-se um esquema do processo de discretização do domínio conjunto com a representação da molécula computacional (ou usualmente conhecido como *stencils*) para os pontos centrais com espaçamento uniforme entre os nós.

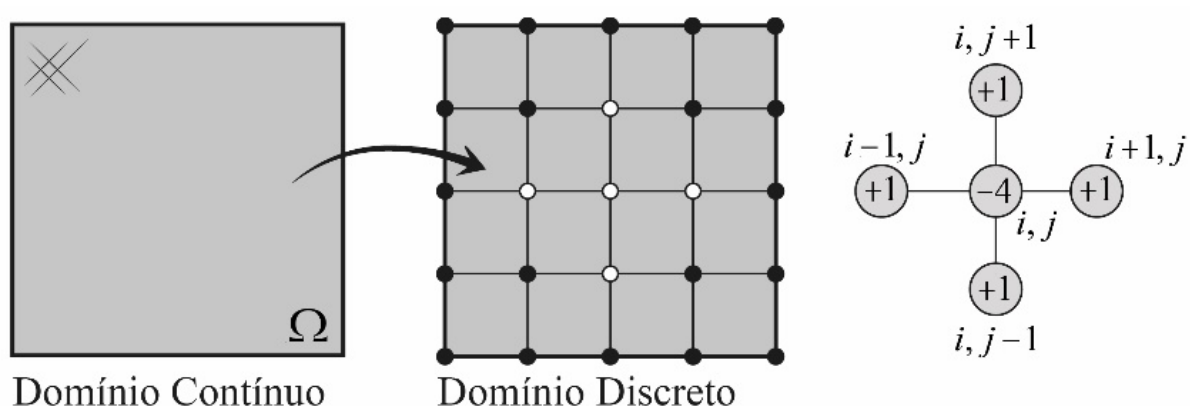
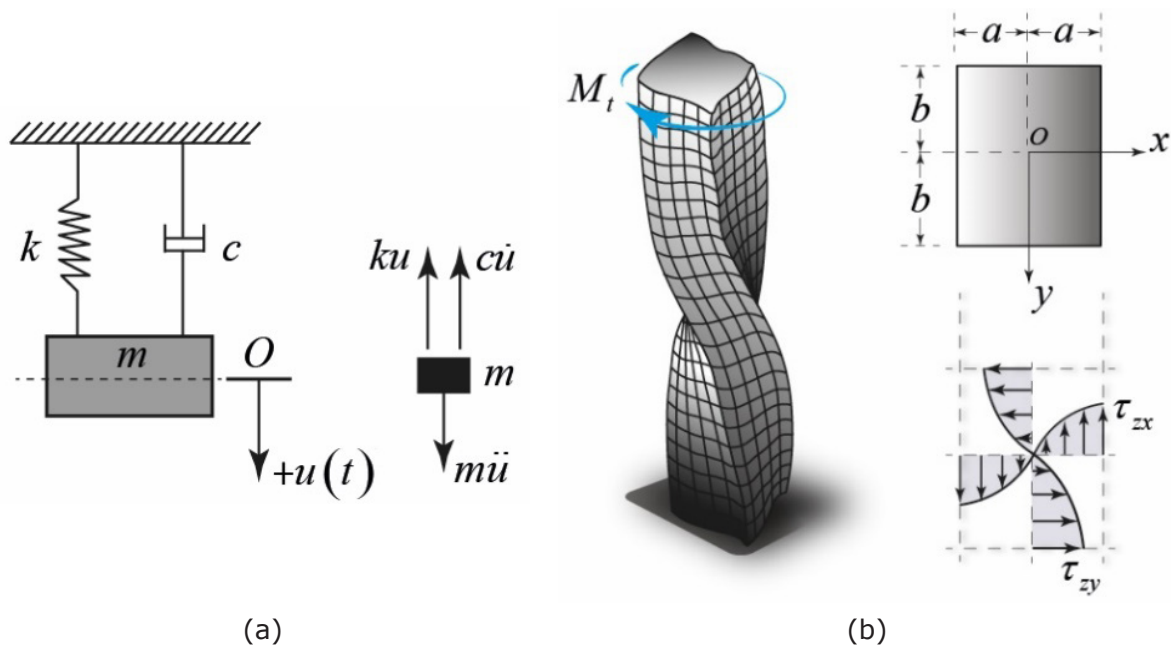


Figura 2 – Representação do domínio discreto bidimensional e stencils  
Fonte: Autor (2021)

Uma etapa características dos métodos numéricos é o processo de discretização, uma vez que a abordagem dessas técnicas é realizada em torno de um domínio finito de elementos, contrariando as premissas básicas das soluções analíticas definidas em um domínio com infinitos pontos, direcionando a solução de engenharia ao surgimento dos erros numéricos. Sendo assim, simplificada, quanto mais refinada for a malha numérica, o domínio tende a ser melhor representado, o que demanda conjuntamente um maior custo computacional.



(a) (b)  
 Figura 3 – Características gerais dos casos estudados  
 Fonte: Autor (2021)

Para compreender os procedimentos numéricos de diferenças finitas estuda-se dois casos com um potencial didático, visando explorar algumas características do método. O primeiro caso é caracterizado por um sistema massa-mola amortecido livre, conforme representado do croqui na Figura 3(a). Aplicando a segunda lei de Newton, também conhecida frequentemente como princípio fundamental da dinâmica, é possível determinar a equação diferencial de movimento para sistemas de um grau de liberdade (KREYSZIG, 2009), conforme posta a seguir:

$$m \frac{d^2 u(t)}{dt^2} + c \frac{du(t)}{dt} + ku(t) = f(t) = 0 \quad (3)$$

Onde as constantes  $m$ ,  $c$  e  $k$  representam respectivamente a massa, coeficiente de amortecimento viscoso e de rigidez. Sendo assim, a aplicação do método das diferenças finitas é imediata, aproximando diretamente os operadores diferenciais de natureza temporal, resultando na expressão abaixo Equação (4).

$$m \left[ \frac{u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}}{\Delta t^2} \right] + c \left[ \frac{u_{n+1} - u_n}{\Delta t} \right] + k[u_n] = 0 \quad (4)$$

Os fenômenos de oscilações de sistemas massa-mola descrito pelo Equação (3) não apresentam partes espaciais, somente operadores temporais de primeira e segunda ordem. Desta maneira, deve-se impor duas condições iniciais ao sistema, dadas por  $u(0) = u_0$  e  $\dot{u}(0) = v_0$ . A partir disso, a solução numérica é construída de forma explícita, conforme dado a seguir:

$$\left[ \frac{c\Delta t}{m} + 1 \right] u_{n+1} = \left[ 2 + \frac{c\Delta t}{m} - \frac{\Delta t^2 k}{m} \right] u_n - u_{n-1} \quad (5)$$

A solução da Equação (5) é realizada com base em um processo numérico simples, a fim de avaliar o deslocamento em cada passo de tempo  $n + 1$ . Para os instantes iniciais, deve-se realizar um tratamento específico associado as aplicações das condições iniciais (SILVA; HELAYËL NETO, 2016), conforme apresentado na Equação (6).

$$\begin{cases} u(0) = u_0 \\ \dot{u}(0) = [u_{n+1} - u_{n-1}]/2\Delta t = V_0 \end{cases} \quad (6)$$

Os parâmetros físicos adotados para a simulação computacional realizando no Matlab R2015a,  $m = 10$  kg,  $k = 90$  N/m e considera-se três configurações para a constante de amortecimento, sendo  $c = 100, 60$  e  $10$  kg/s. Além disso, as condições iniciais são  $u(0) = 0,16$  e  $\dot{u}(0) = 0$ . O passo no tempo é adotado igual a  $0,1$  segundos e realiza-se um total de 100 iterações. Os resultados numéricos obtidos com a implementação do método das diferenças finitas são sintetizados na Figura 4.

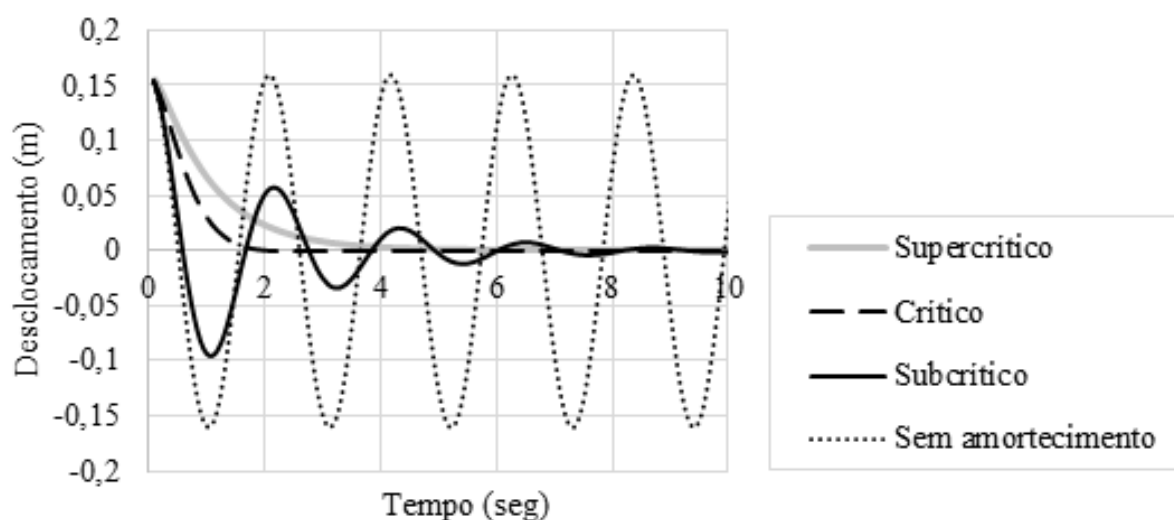


Figura 4 – Deslocamento do sistema para resposta livre amortecida com diferentes propriedades de amortecimento do oscilador  
 Fonte: Autor (2021)

Observa-se que dependendo da propriedade de amortecimento escolhida, o sistema apresenta um comportamento diferente. Considerando o sistema sem amortecimento,  $c = 0$ , nota-se uma resposta periódica com amplitudes máxima iguais ao longo do movimento. Quando adota-se um coeficiente  $c = c_{crit} = 2\sqrt{km}$ , o movimento não apresenta oscilações e o deslocamento tende assintoticamente a zero, define-se então que o sistema é dito como criticamente amortecido. Esse valor crítico do coeficiente de amortecimento viscoso é importante e serve como referência para análise dinâmica.

Considerando a configuração de amortecimento supercrítico, onde  $c > c_{crit}$ , o movimento retorna a configuração neutra em um tempo maior que o caso do amortecimento crítico, contudo, ainda não existe oscilação. Todavia, quando considera-se amortecimento subcrítico  $c < c_{crit}$ , o sistema massa-mola oscila com movimento não periódico e gradualmente retorna a sua posição de origem, sendo

caracterizado usualmente como uma oscilador subamortecido.

O segundo teste estudado é composto de um problema bidimensional governado pela equação de Poisson, definido como um importante fenômeno na área da engenharia estrutural, o problema em questão é a torção de barras de seção retangular, conforme esquematizado na Figura 3(b). Sendo assim, baseado nos conceitos da teoria da elasticidade conjunto com as propostas de Prandtl utilizando a função tensão  $\phi$  e as ideias da analogia de membrana (TIMOSHENKO; GOODIER, 1980), esse problema é descrito pela seguinte expressão:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -2G\theta = F \quad (7)$$

Onde  $G$  e  $\theta$  são módulo de rigidez do material e o ângulo de rotação respectivamente. Além disso, é possível provar matematicamente que a função tensão deve ser constante ao longo do contorno, possibilitando adotar um valor nulo. Desta forma, a primeira etapa de cálculo do problema é determinar os valores da função tensão de Prandtl aplicando as expressões aproximadas de diferenças finitas, resultando na seguinte sentença.

$$\left( \frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{\Delta x^2} \right) + \left( \frac{\phi_{i,j+1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j-1}}{\Delta y^2} \right) = F \quad (8)$$

Tomando os espaçamentos cartersianos entre os pontos iguais, tem-se que  $\Delta x = \Delta y = h$  e reagrupando os termos da Equação (8), chega-se na expressão matemática final do problema, conforme dado pela Equação (9).

$$\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} - 4\phi_{i,j} + \phi_{i,j+1} + \phi_{i,j-1} = h^2 F \quad (9)$$

O *stencils* apresentado na Figura 1 é uma representação da Equação (9), a fim de facilitar o processo de construção da matriz do sistema. Em um segundo momento, busca-se determinar as variáveis secundárias do problema, onde são nesse problema o ponto de maior interesse da engenharia, uma vez que aproxima-se nessa etapa as tenões de cisalhamento do problema de torção, conforme posto a seguir:

$$\tau_{xz} = \frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\phi_{i,j+1} - \phi_{i,j-1}}{2h} \quad \tau_{yz} = -\frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{\phi_{i+1,j} - \phi_{i-1,j}}{2h} \quad (10)$$

As simulações computacionais realizadas utilizam as propriedades físicas e as dimensões da seção sendo unitárias. Primeiramente realiza-se um teste de malha, a fim de verificar o comportamento da técnica numérica em relação à solução analítica do problema, conforme posto a seguir pela Tabela 1. Essa convergência da solução direcionada pelo teste de malha é uma estratégia interessante e recorrente

na engenharia.

Malha	NPA	NPT	Erro Médio (%)	
			Função Tensão	Tensão Máximo
1	5	25	4,833	14,979
2	9	81	1,383	6,306
3	17	289	0,384	2,415
4	21	441	0,253	1,734
5	31	961	0,119	0,956
6	41	1681	0,069	0,675
7	51	2601	0,045	0,551
8	61	3721	0,032	0,476

Tabela 1 – Resultados quantitativos acerca da convergência dos resultados em relação ao refinamento da malha numérica.

Fonte: Autor (2021)

Contudo, vale destacar que usualmente não se tem a solução analítica do problema, disponível somente para casos com condições físicas e geométricas bem definidas. Desta forma, esse teste de malha auxilia o usuário verificar em qual momento os resultados não apresentam variações significativas, indicando a relação ótima entre a menor malha e os resultados com baixa oscilação. Importante mencionar que não existe uma ligação direta entre os resultados convergidos em relação ao teste de malha realizado e eles estarem adequados fisicamente, sendo papel do usuário verificar e ajustar (caso necessário) os resultados obtidos com comportamento físico do problema estudado.

Para quantificar esses níveis de erro médio e malhas numéricas, na Tabela 1 apresenta esses valores, sendo que NPA é o número de pontos por aresta do domínio e NPT é o número total de pontos. Na Tabela 1 é possível observar o decaimento do erro médio em relação ao aumento do número de pontos discretos no domínio. Ressalta-se que a solução analítica utilizada para as medições de performance numérica do MDF pode ser encontrada facilmente em Timoshenko e Goodier (1980).

A partir desses resultados é possível concluir que a técnica de diferenças finitas convergiu a solução, apresentado baixos níveis de erro percentual. Contudo, observa-se que a função tensão apresenta uma convergência mais acentuada em relação a tensão máxima de cisalhamento. Esse comportamento é devido ao acúmulo de erro das aproximações nas etapas de cálculo, ou seja, o cálculo de variáveis secundárias usualmente carregam maiores níveis de erro (Neves *et al.*, 2018b).





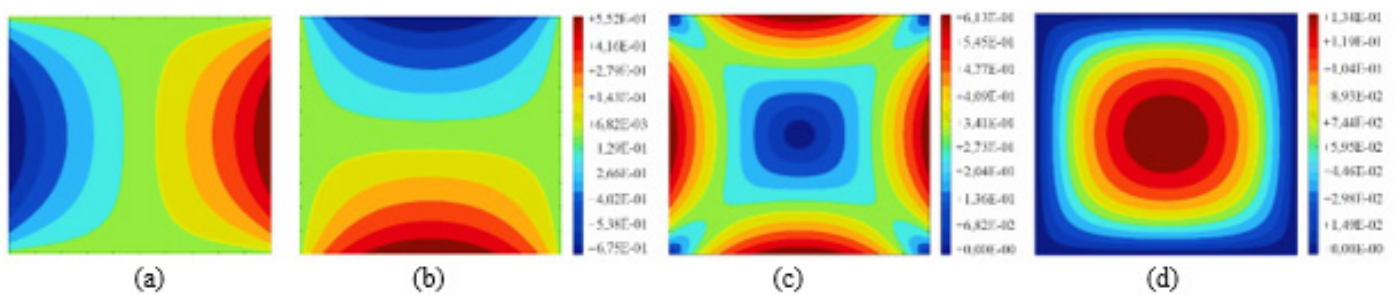


Figura 5 – Distribuição bidimensional das tensões de cisalhamento (a) ZY, (b) ZX, (c) resultante e (d) função tensão de Prandtl  
Fonte: Autor (2021)

Adicionalmente, na Figura 5 mostra-se o campo bidimensional de algumas variáveis associados ao problema de torção. Esse tipo de visualização é importante pra engenharia, uma vez que nesses tipos de gráficos permitem localizar possíveis regiões críticas de projeto, como uma concentração de tensão, deslocamento máximo do elemento e dentre outros aspectos. Além disso, é possível verificar se as imposição das condições de contorno são feitas corretamentes em um código computacional.

Desta maneira, nas Figuras 5(a) e 5(b) mostram as tensões de cisalhamento cartesianas, onde pode-se verificar que as máximas tensões ocorrem nas arestas médias do domínio, seguindo o valor analítico de  $\tau_{\max} = \bar{k}2G\theta a$ , onde  $\bar{k}$  é um fator numérico que depende da razão  $b/a$ . Na engenharia, usualmente busca-se a combinação dos efeitos e solicitações, sendo assim, na Figura 5(c) mostra-se a tensão de cisalhamento resultante, ficando visível os pontos de interesse e locais críticos na seção transversal sob ação de torção.

### 3. ASPECTOS EDUCACIONAIS E DISCUSSÕES

A abordagem clássica de ensino em cursos de graduação de engenharia é composta por uma metodologia com uma forte base de cálculo, entendimento da modelagem física-matemática de fenômenos físicos da natureza, aplicação de técnicas e estratégias práticas utilizadas em prodimentos de cálculo em projetos de engenharia e dentre outros aspectos. Com avanço da tecnologia a utilização de programas computacionais de alto desempenho passaram a ser uma ferramenta recorrente na solução de problemas de engenharia. Devido a grande demanda técnica exigida aos engenheiros no mercado associado ao uso de ferramentas computacionais no processo de elaboração e verificação de projetos, alguns déficits e lacuna teoricas podem ocorrer durante o processo de ensino nos cursos de engenharia, conforme é discutido a seguir.

Atualmente, as soluções de engenharia são usualmente definidas com base *softwares* comerciais, destaca-se ANSYS, ABAQUS, TQS e SAP2000. Todavia, existe um conflito entre as ferramentas computacionais que apresentam uma base de cálculo interna física-matemática-numérica avançada e o nível árido de conheci-

mento dos discentes em formação em cursos de engenharia, uma vez que as disciplinas específicas da área de engenharia apresentam conceitos gerais sobre os conteúdos. Deve-se destacar que a presente discussão não está direcionando para que os usuários tenham a obrigação de compressão por completo e detalhada das formulações por trás dos programas. Contudo, é papel do usuário ter conhecimento de conceitos e estratégias gerais para corrigir/interpretar possíveis (e prováveis) inadequados resultados nos projetos e simulações.

Neste cenário, contextualizações e questionamento apontados, o conhecimento básico de técnicas numéricas e modelagem física-matemática durante a formação em cursos de engenharia torna-se primordial e essencial para futuros projetistas, engenheiros e pesquisadores. Desta forma, questões relacionadas ao tema surgem de forma natural por meio dos discentes, por exemplo:

- Como adquirir esses conhecimentos na graduação ?
- Qual programa aprender ? Como interpretar os resultados ?
- O que é método numérico ? O que é discretização ?

Essas perguntas e dentre outras questões são recorrentes por parte dos alunos, uma vez que é um assunto amplo e complexo. Sendo assim, uma estratégia simples para expandir o conhecimento dos alunos e “abrir a cabeça” para esse mundo das ferramentas computacionais aplicadas na engenharia é o estudo inicial de métodos numéricos aplicados a uma área de interesse.

Conforme visto no item anterior do presente trabalho, a aplicação do método das diferenças finitas (MDF) em alguns problemas físicos simples já fornecem aos discentes um conhecimento acerca da solução de equações diferenciais, programação de algoritmos computacionais, soluções de sistemas lineares, interpretação física, sendo que todos esses fatores são contextualizados em problemas de engenharia, mesmo que ao nível elementar, contudo, fundamental para crescimento conceitual e matemático dos alunos, fornecendo no futuro um melhor entendimento e manipulação dos ferramentas computacionais avançadas disponíveis na engenharia. Cabe destacar que os *softwares* comerciais utilizam majoritariamente o método dos elementos finitos (MEF), então qual motivo de aprender MDF ? A resposta é simples, o MEF é uma técnica mais robusta para compressão em relação aos avançados aspectos matemáticos e numéricos, contudo, o MDF é uma técnica simples de entender que fornecer alguns conceitos gerais sobre métodos numéricos que são primordiais e aplicados em diferentes métodos numéricos.

Desta forma, o engajamento dos discentes ao longo dos cursos de engenharia, com projetos de extensão, iniciações científicas (IC), participação em congressos e em cursos complementares associados ao contexto de métodos computacionais na engenharia podem auxiliar na construção de uma base inicial para soluções de problemas mais complexos. Essas importantes ferramentas são potencializadoras



do processo de ensino-aprendizagem, uma vez que fornecem conceitos sobre experimentação numérica associado à compreensão do comportamento dos problemas estudados.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho buscou apresentar ideias acerca da importância do conhecimento de modelos teóricos físicos-matemáticos e as soluções práticas de engenharia utilizando métodos numéricos. Para seguir o escopo pedagógico do debate, as aplicações de testes foram direcionadas pelo método das diferenças finitas em problemas conhecidos na engenharia, a fim de explorar os conceitos físicos associados aos problemas sem exagero de matemática complexa e abstrata.

Em síntese aos resultados numéricos obtidos com método numérico implementado apresentou um comportamento satisfatório para os problemas estudados. Além disso, em uma linha direcionada ao impacto e contexto acerca da importância do conhecimento de uma técnica aproximada atualmente na engenharia é imprescindível aos discentes, uma vez que projetos práticos, pesquisas acadêmicas e demais tarefas, usualmente necessitam da aplicação de programas comerciais que baseiam seus procedimentos de cálculos em métodos numéricos. É claro, que a utilização do MDF nesse trabalho é puramente didática, servindo como uma ponte para outros métodos mais robustos. Contudo, a técnica clássica de diferenças finitas fornece os conceitos gerais sobre métodos numéricos e exige aos discentes um preparo teórico inicial devido à multidisciplinaridade exigida, transitando do conhecimento de cálculo, física, linguagem de programação, disciplinas específicas da área de atuação e dentro outros requisitos.

Portanto, é fundamental para os discentes saber da importância e as ferramentas intrínsecas que ocorrem entre os processos de interação dos modelos analíticos, numéricos e as soluções de engenharia, que caminham juntos e possibilitam recursos poderosos para investigação dos fenômenos físicos.

## Referências

- KREYSZIG, E. **Matemática superior para engenharia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.
- LAPIDUS, L.; PINDER, G. F. **Numerical solution of partial differential equations in science and engineering**. New York: John Wiley & Sons, 2011.
- MATLAB, Version. 8.5. 0.197613 (R2015a). The MathWorks Inc., Massachusetts, 2015.
- NEVES, Natan Sian. **Modelo computacional avançado para análise de estruturas sob ação de gradientes térmicos**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.
- NEVES, Natan Sian. Uma introdução aos procedimentos numéricos do método diferenças finitas: um estudo



do comportamento de vigas de fundação na engenharia civil. **Revista Tecnologia**, v. 41, n. 1, 2020.

NEVES, Natan Sian; PINHEIRO, Vitor Pancieri; CANDIDO, Daniel Carvalho de Moura, LOEFFLER NETO, Carlos Friedrich; BODART, Norminda Luiza. Uma estratégia didática para engenharia estrutural baseada na análise numérica de barras sob torção. In: XIII SIMMEC - Simpósio de Mecânica Computacional, 2018, Espírito Santo. **Anais**. Vitória, 2018b.

NEVES, Natan Sian; SOUZA, Rovena Meirelles; PINHEIRO, Vitor Pancieri. A importância dos modelos teóricos e técnicas numéricas na construção de um elo com a prática da engenharia estrutural. **Revista eixo**, v. 7, n. 1, p. 26-35, 2018a.

ÖZISIK, M. N.; ORLANDE, H. R.; COLAÇO, M. J.; COTTA, R. M. **Finite difference methods in heat transfer**. Boca Raton, 2nd Edition: CRC press, 2017.

SILVA, Adilson Costa da; HELAYËL NETO, José Abdalla. Simulador de Oscilações Mecânicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, 2016.

TIMOSHENKO, S.; GOODIER, J. **Teoria da elasticidade**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.



# CAPÍTULO 16

## **BLOQUEIO DE FALHAS DE SOBREPRESSÃO DO CÂRTER DO MOTOR DIESEL EM LOCOMOTIVAS AC44**

BLOCKING OF DIESEL ENGINE CRANKCASE OVERPRESSURE FAULTS  
ON AC44 LOCOMOTIVES

**Pedro Paulo Rezende Silva Domingos**

**Lucas Costa Brito**

**Hermes Dias Godinho**

**Jorge Nei Brito**

## Resumo

Neste trabalho apresenta-se a criação, aplicação e dimensionamento da criticidade (por meio de matriz GUT) de um alarme preditivo de dados de locomotivas. Esta atuação foi proveniente de uma análise do modo de falha de sobrepressão do cárter do motor diesel, baseada na tendência da incidência destes casos. O alarme está em operação desde junho de 2019 onde, em 2020, as incidências passaram a ser controladas quase em sua totalidade pela equipe técnica de análise dos dados. Os arquivos analisados são coletados dos microprocessadores das locomotivas, os quais armazenam variáveis de todos os componentes instalados. A implementação resultou em um expressivo bloqueio de impactos, gerando redução de custos, aumento da disponibilidade e redução de paradas durante a operação. Apresentou também um número de solicitações preditivas elevado, porém com ações bem definidas para se chegar a uma atuação otimizada em relação ao sintoma estudado. Com estas, espera-se aprimorar a parametrização deste alarme, além de identificar o motivo causador de quebras prematuras em anéis de segmento, reduzindo a quantidade de intervenções nos ativos.

**Palavras-Chave:** Locomotiva, Preditiva, Análise, Sobrepressão do Cárter, Criticidade, Impacto.

## Abstract

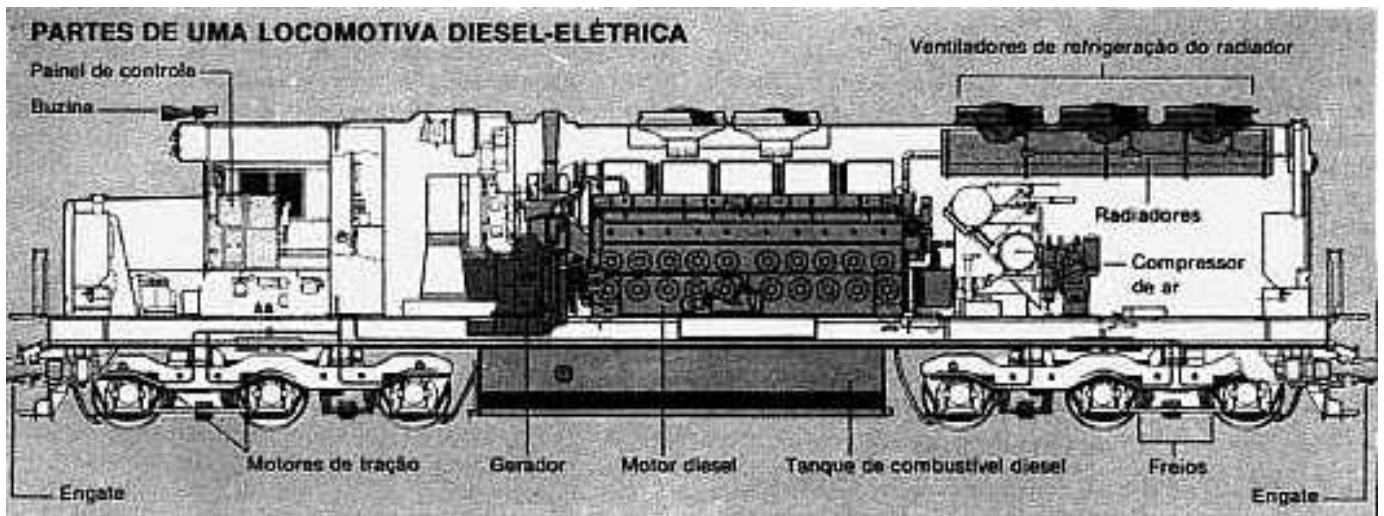
This work presents the creation, application and dimensioning of criticality (by the means of GUT matrix) of a locomotive data predictive alarm. This performance came by an analysis of the diesel engine crankcase overpressure failure mode, based in the trend of the incidents of these cases. The alarm is in operation since June 2019 where, in 2020, the incidences are almost completely controlled by the technical data analysis team. The analyzed files are collected from the locomotives' microprocessors, which store the variables of all of the installed components. The implementation resulted in an expressive blockade of impacts, generating costs reduction, increasing of availability and less operation stops. It showed a high number of predictive requests too, but with well-defined actions to achieve an optimized performance in relation of the studied symptom. With them, it is expected to improve the parameterizations of this alarm, in addition to identifying what causes the premature breaks in segment rings, reducing the number of the interventions in the assets.

**Keywords:** Locomotive, Predictive, Analysis, Crankcase Overpressure, Criticality, Impact



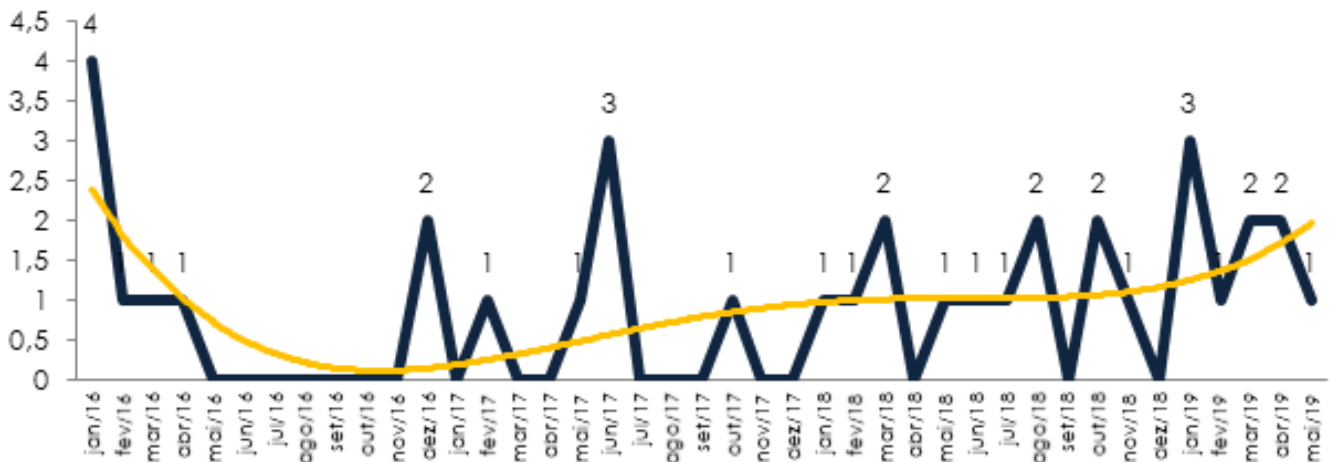
# 1. INTRODUÇÃO

No ambiente ferroviário têm-se diversos ativos, com propósitos e funcionamentos diferentes. Os mais amplos disponíveis são as locomotivas, compreendendo diversas áreas mecânicas, elétricas, eletrônicas, e de telecomunicações. As locomotivas mais utilizadas dentre as empresas têm sido as diesel elétricas. O nome é dado justamente por sua fonte geradora possuir um motor diesel acoplado a um alternador, produzindo energia elétrica (alternada ou contínua) para os motores de tração.



**Figura 1.** Principais componentes de uma locomotiva diesel elétrica (Fonte: [//www.brasilferroviario.com.br/wp-content/uploads/2017/04/partesdiele.jpg](http://www.brasilferroviario.com.br/wp-content/uploads/2017/04/partesdiele.jpg)).

Por meio de uma análise de tendência de falhas, realizado em 2019, viu-se uma forte tendência de falhas nos motores diesel. O modo de falha de sobrepressão do cárter passou a ter uma incidência bem maior do que nos anos anteriores, impactando consideravelmente a operação da empresa.



**Figura 2.** Análise de Tendência das Falhas de Sobrepressão do Cárter das Locomotivas AC44. Fonte: Autor (2019).

Este tipo de falha é bem crítico, levando o motor diesel a um desligamento emergencial, além de também reduzir a vida útil de outros componentes internos,

elevando também as horas trabalhadas e os custos com trocas de materiais. Existe uma folga entre o pistão, os anéis de segmento e o cilindro, propiciando o movimento destes componentes, o que leva a uma perda de carga na forma de gases da exaustão para o cárter do motor (ABNEK, 2009).

Segundo Koszalka (2011), a elevada passagem de gases (blow-by) e consumo de óleo lubrificante trazem um efeito adverso ao motor diesel, como redução de potência, aumento do consumo de combustível e do próprio óleo (resultando em elevadas emissões tóxicas), acelerando a degradação do lubrificante e dos componentes internos.

Em contrapartida, dentro do contexto da manutenção de locomotivas praticado na empresa, há um processo de manutenção preditiva com base na análise dos dados gerados pelos microprocessadores.

Segundo Kardec e Nascifo (2013), a Manutenção Preditiva é aquela que, monitorando as principais variáveis dos equipamentos, indica se é necessária a atuação, a qual só é realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho. Segundo Machado (2018), a análise preditiva permite que empresas e pessoas desenvolvam soluções capazes de usar dados históricos para prever o futuro.

O objetivo é de gerar atuações preditivas com base nas informações geradas, reduzindo impactos e gerando previsibilidade para programação da manutenção, utilizando os conceitos de manutenção preditiva e análise dos dados.

Com isso, viu-se uma oportunidade em utilizar esse processo com o intuito de bloquear este modo de falha, para garantir uma redução de falhas em operação e em custos de manutenção, e buscar uma melhor confiabilidade dos ativos.

O estudo de caso apresentado na empresa em questão foi baseado no modelo de locomotiva AC44, produzido atualmente pela Wabtec Corporation, detentora da GE Transportation. Esta locomotiva possui um motor diesel 7FDL de 16 cilindros em "V" que entrega 4500 HP brutos de potência, além de motores de tração em corrente alternada.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Pressão interna do cárter**

A pressão interna do cárter é constantemente monitorada pelas locomotivas, devido aos danos que o motor diesel pode sofrer com pressões elevadas, além risco à segurança. Nas locomotivas AC44 este monitoramento é feito através de um sensor de pressão onde, ao se perceber uma pressão superior a duas polegadas de





coluna d'água, o sistema interrompe o funcionamento do motor.

A passagem de gases para o cárter além de causar a parada do ativo (quando em volumes elevados), também gera a degradação do óleo lubrificante, desencadeando uma degradação nos componentes internos do motor diesel.

Os gases de blow-by em motores são a razão de nitratação e sulfatação que aumentam o nível de acidez do óleo do motor, que podem ter como resultado o aumento da formação de borra e de viscosidade (PEREIRA, 2015).

Na referente empresa, observou-se uma tendência de crescimento destas incidências, e muito voltadas para a quebra dos anéis de segmento de compressão dos pistões do motor diesel, o que favorece a passagem dos gases para o cárter.

Segundo Turnbull (2016), a função primária do anel de compressão está em agir como um selo entre o jogo de anéis do pistão e a câmara de combustão para reduzir perdas de potência e o blow-by.

## **2.2. O impacto do modo de falha “sobrepessão do cárter”**

Uma das medições feitas para mensurar os impactos ocorridos durante a operação na empresa é o THP, trem hora parada. Para o modo de falha em estudo, cada ocorrência impacta, em média, em uma hora e trinta minutos de THP em cada trem. Um detalhe relevante a se ressaltar é que, se a parada ocorrer em uma via singela (apenas uma linha de tráfego), todos os demais trens programados para operar naquele local, também ficam parados, aguardando a normalização adiante.

Como este modo de falha impede a reestabilização da locomotiva, deve haver uma manobra para retirada desta e a inclusão de outra para prosseguimento do transporte. Há, neste caso, um acréscimo no custo operacional com combustível e mão de obra para realizar as manobras.

Outro impacto é que, a locomotiva que foi inserida no trem em detrimento da falha ocorrida, poderia estar programada para operar em outro, impactando na produção. A locomotiva que apresentou a falha terá que aguardar alguma outra composição, dependendo do local, para ser rebocada para oficina, elevando mais ainda o tempo em indisponibilidade.

No âmbito da manutenção têm-se impactos fortes em custos de manutenção. A falha pode ter assumido uma condição mais crítica, levando à substituição de componentes adicionais, ou à própria perda do motor diesel, com custo estimado de R\$500.000,00. Além disso, há o acréscimo em homem hora, já que será necessária uma intervenção de maior demanda na locomotiva.

Todo esse contexto da manutenção eleva o tempo de indisponibilidade do ativo, impactando fortemente na programação de trens.

### **2.3. Manutenção preditiva baseada nos dados coletados das locomotivas**

Segundo Kardec e Nascif (2013), a manutenção preditiva promove uma série de melhorias que induzem uma mudança de cultura na operação e na manutenção, passando pela melhoria da capacidade de análise e diagnóstico e resultando em maior disponibilidade, confiabilidade e segurança operacional, além de menores custos. Por esses motivos ela sempre deve ser buscada e alcançada para obtenção de melhores resultados.

Na empresa em questão têm-se ferramentas preditivas, como análise de fluidos, termografia e vibração. Além destes métodos, existe uma equipe responsável pela análise dos arquivos coletados das locomotivas, gerando ações corretivas programadas, baseadas nas condições dos ativos.

No contexto atual, os técnicos deste time atuam com foco nos alarmes pré-definidos pelo fabricante, avaliando as variáveis com a finalidade de se certificar na veracidade ou não do ocorrido. Esse fato gera a necessidade de se criarem novos alarmes, muitas vezes antecedendo aqueles já existentes, possibilitando uma maior previsibilidade e ações preditivas até então desconhecidas.

Quanto às locomotivas AC44, são gerados arquivos distintos, cada um com uma finalidade ou um sistema diferente. No caso das análises preditivas, os mais utilizados são o “.inc” (incidents) e o “.snp” (snapshot). O primeiro foca em mostrar apenas os eventos ocorridos, evidenciando o momento gerador do registro e o instante em que aquela situação se restabeleceu. O outro conta com os mesmos eventos, porém apenas com a data e horário inicial. Além disso, conta com 250 variáveis referentes a diversos componentes instalados na locomotiva, quando o evento ocorreu.

São nestes dados que se enxergou a possibilidade de expandir a atuação do processo: muitas variáveis disponíveis, que podem gerar informações diferenciadas para análises de tendência, e predições com base em condições inferiores às ideais.

Dentro do processo há a definição de criticidade de cada código de falha conhecido, para cada modelo de locomotiva. Este trabalho foi feito por meio da matriz GUT.

A matriz GUT foi criada por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe, na década de 80, e tinha como propósito ajudar na resolução de problemas complexos das



indústrias americanas e japonesas (NAPOLEÃO, 2019).

Segundo Periard (2011), a grande vantagem em se utilizar a Matriz GUT é que ela auxilia o gestor a avaliar de forma quantitativa os problemas da empresa, tornando possível priorizar as ações corretivas e preventivas para o extermínio total ou parcial do problema.

A Matriz GUT é confeccionada listando-se os itens a serem avaliados e inserindo os valores de 1 a 5 para gravidade, urgência e tendência para cada um deles, Tabela 1. A multiplicação destes define o nível de prioridade de cada caso.

**Tabela 1.** Definição de Notas para Matriz GUT.

Nota	Gravidade	Urgência	Tendência [“Se nada for feito...”]
5	Extremamente grave.	Precisa de ação imediata.	...irá piorar rapidamente.
4	Muito grave.	É urgente.	...irá piorar em pouco tempo.
3	Grave.	O mais rápido possível.	...irá piorar.
2	Pouco grave.	Pouco urgente.	...irá piorar a longo prazo.
1	Sem gravidade.	Pode esperar.	...não irá mudar

Fonte: [//www.sobreadministracao.com/wp-content/uploads/2011/11/Matriz-GUT.jpg](http://www.sobreadministracao.com/wp-content/uploads/2011/11/Matriz-GUT.jpg).

Com isso, todos os logs de falha listados das locomotivas passaram por esta avaliação, servindo como base para tratativa do que fora encontrado na análise. Dentro do processo da empresa adota-se os níveis de criticidades apresentados a seguir.

- **Altíssima:** Locomotiva na eminência de perder sua funcionalidade operacional primária, além de, em alguns casos, haver a possibilidade de gerar danos severos aos componentes do ativo. A locomotiva deve ser direcionada para oficina em até 8 dias corridos.
- **Alta - Lista Crítica:** Condição crítica do ativo, podendo gerar falha por operar com alguma redução de performance que impacte ao transporte. A locomotiva deve ser direcionada para oficina em até 15 dias corridos.
- **Alta - Atendimento Externo:** Similar à lista crítica, sendo que a diferença é que há possibilidade de ser atendida em trecho pelas equipes de atendimento externo. O prazo de atendimento é o mesmo, 15 dias.
- **Média ou Baixa:** Não trazem impactos à operação, podendo ser atendidos durante a execução do plano de manutenção.

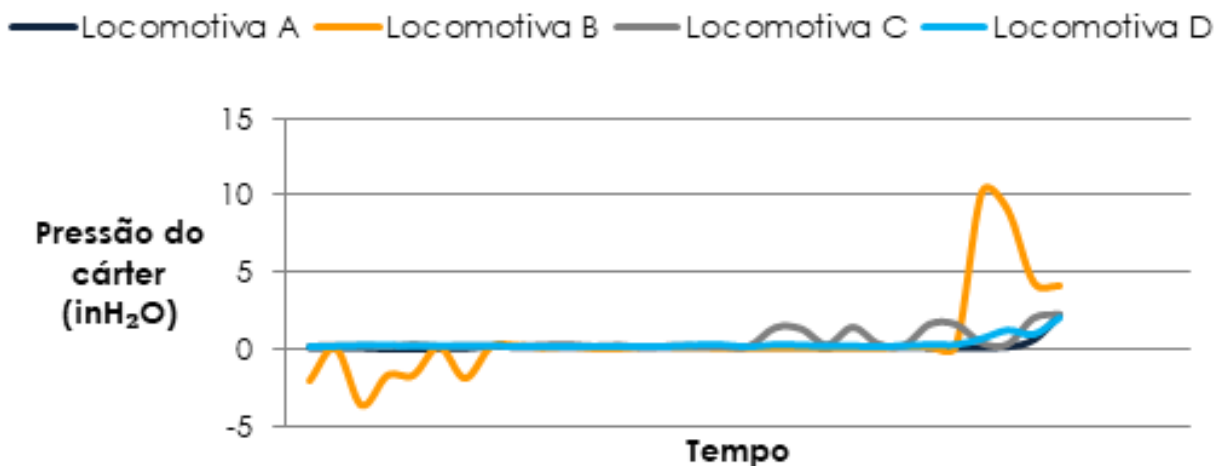
## 2.4. A criação do alarme

O modo de falha “sobrepessão do cárter” possui um log de falha pré-definido. Porém o mesmo só ocorre quando a variável de pressão do cárter assume um valor superior a 2 polegadas de coluna d’água. Ele é classificado, pela equipe de análise, como criticidade altíssima, através da matriz GUT.

Porém, havendo a incidência desse, certamente a locomotiva já apresentou impacto e será direcionada para oficina, evidenciando a falta de antecipação a esta falha.

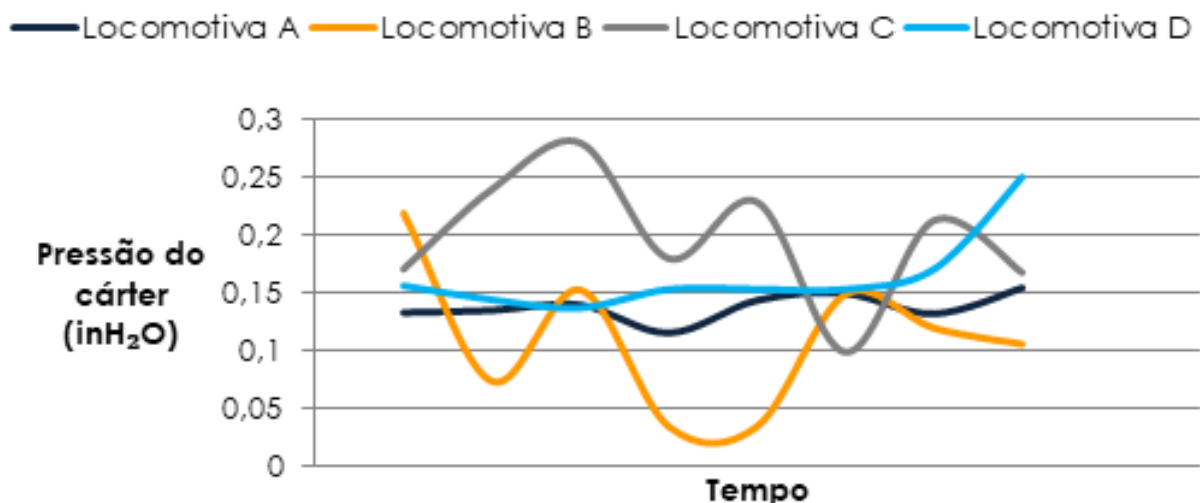
Avaliando os dados coletados das locomotivas, viu-se a oportunidade em desenvolver uma solução com base nestes. Foi feita então uma análise exploratória destes dados, avaliando de forma manual, o comportamento dos ativos, com base nos valores coletados de pressão do cárter.

Analisando os dados, viu-se que, em leituras anteriores à falha, as locomotivas apresentaram pontos comportamentais similares, como na amostragem da Figura 3.



**Figura 3.** Amostragem de Dados de Pressão do Cárter até a Falha. Fonte: Autor (2019).

Focando-se apenas na região do gráfico em que as linhas das locomotivas se encontram, tem-se o gráfico mostrado na Figura 4.



**Figura 4.** Amostragem de Dados de Pressão do Cárter anteriores à Falha. Fonte: Autor (2019).

Pode-se perceber que os valores de pressão do cárter se concentram entre 0 e 0,3 inH<sub>2</sub>O. Nesta faixa, apenas a “Locomotiva D” apresentou uma tendência de alta, não sendo possível definir algum parâmetro muito evidente. Como condição normal e esperada, as locomotivas apresentam pressões negativas, logo valores positivos são indesejados. Porém foi visto que alguns ativos não geraram impacto, mesmo apresentando valores dentro do intervalo citado.

Com isso, de forma experimental, decidiu-se criar um alarme que sinaliza uma condição anormal no cárter do motor diesel, quando a locomotiva analisada atingir algum valor de pressão acima de 0,3 inH<sub>2</sub>O, excetuando-se situações de marcha lenta. Devido à criticidade definida para o log de falha através da matriz GUT, replicou-se a definição para este alarme, considerando os casos como criticidade altíssima. Assim sendo o alarme entrou em operação experimental em junho de 2019.

## 2.5. Validação do alarme

A primeira locomotiva sinalizada pela equipe foi direcionada para a oficina na semana seguinte. Ao se realizar o teste de compressão, percebeu-se uma perda considerável em um dos cilindros. O componente foi retirado e inspecionado pela equipe de manutenção, onde foi visto que um dos anéis de segmento se encontrava quebrado, como pode ser visto na Figura 5.



Figura 5. Foto do Pistão com o Anel de Compressão Quebrado. Fonte: Autor (2019).

Este primeiro atendimento deu uma grande motivação em prosseguir com o alarme definido, levando a um total de oito locomotivas atendidas em junho de 2019. Destas, 50% estavam com algum pistão com anel de compressão quebrado e 50% estavam com o tubo de respiro dos gases do motor diesel obstruído.

Devido ao surgimento de uma causa raiz menos crítica, reclassificamos a matriz GUT para o alarme, reduzindo a gravidade e a urgência a um nível abaixo. Como resultado, a criticidade passou a ser alta, ao invés de altíssima, evitando paradas emergenciais em excesso.

Para garantir um atendimento mais homogêneo nas oficinas, desenvolveu-se também um escopo com os passos e parâmetros para uma pesquisa eficaz neste modo de falha. Esta ação trouxe um nivelamento maior das equipes de manutenção e reduziu algumas dificuldades encontradas.

### 3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Após mais de um ano em que o alarme entrou em operação tem-se visto resultados bem expressivos. A projeção da tendência vista em 2019 foi controlada, e hoje se tem o ano com o menor número de ocorrências deste modo de falha na história da empresa: apenas uma ocorrência com impacto operacional em 2020. O cenário atual pode ser visto na Figura 6.

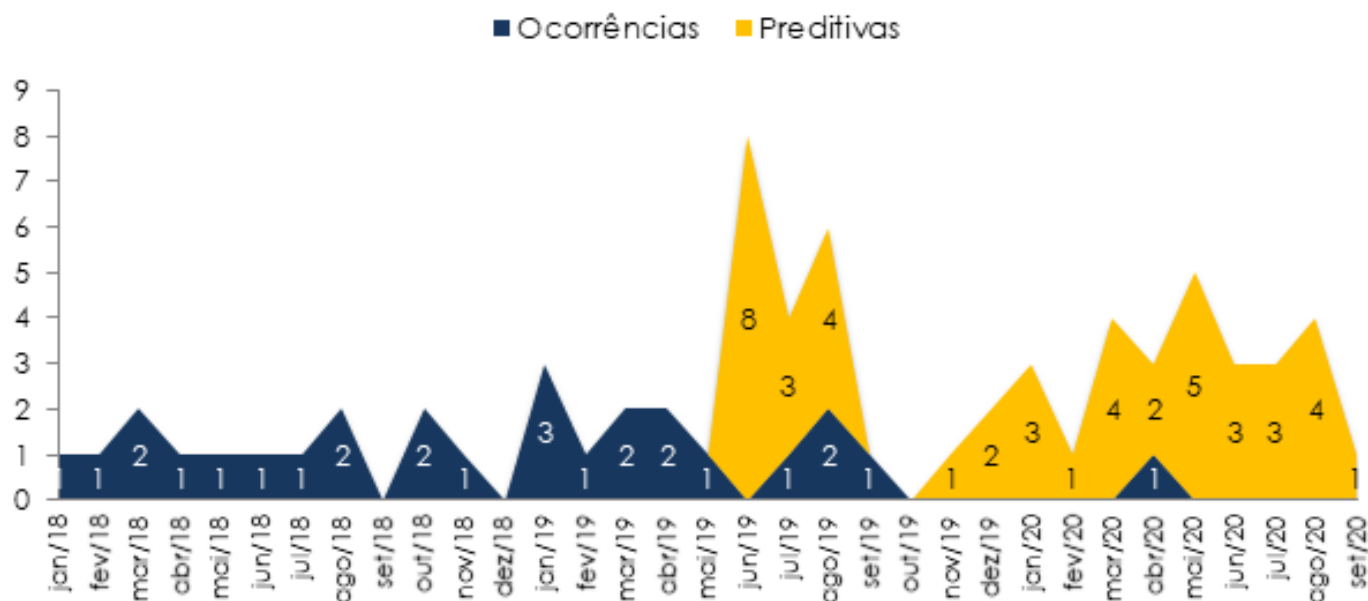


Figura 6. Comparativo de Quantidade de Falhas e Solicitações Preditivas. Fonte: Autor (2020).

Quanto à única falha ocorrida em operação, não houve possibilidade de bloqueá-la. Fora visto que a causa foi um furo no próprio pistão, algo que não gera uma evolução da pressão ao longo da vida do ativo, e sim de forma espontânea.

Com isso confirma-se que a atuação proposta trouxe um resultado bem positivo. Comparando o período de janeiro a setembro de 2019, com o mesmo intervalo em 2020, obteve-se uma redução de 91% do número de falhas do sintoma em estudo.

Desta forma, eliminam-se os custos e perdas advindos dos impactos bloqueados, relatados neste artigo. Além disso, passou-se a ter um controle maior da condição do ativo, já que atualmente é possível monitorar situações indesejáveis a um componente de valor elevado que é o motor diesel.

Conseguiu-se também mensurar e ter um controle sobre o tempo de degradação dos anéis de segmento, assunto que hoje é discutido com a fabricante, já que foi sinalizado inicialmente um ciclo de vida superior destes subcomponentes.

A ferramenta também trouxe algumas consequências, seja pelos parâmetros em si, ou pela tendência sinalizada em 2019. O volume de locomotivas que tem sido atendido em oficinas atualmente é superior ao praticado anteriormente. Comparando-se as falhas ocorridas entre janeiro a setembro de 2019, com as solicitações preditivas de mesmo período em 2020, houve um aumento de 130%.

Como ação para minimizar esse impacto na disponibilidade e retenção de ativos em manutenção, será avaliado um modelo de analytics dos dados em machine learning, com foco em otimizar o alarme, principalmente correlacionando com outras variáveis ou outras bases, como análise de fluidos por exemplo.

Outra saída para esta ação será de se ter dois alarmes, ao invés de um. Um deles seria voltado para parâmetros mais críticos, reforçando a criticidade alta, e outro em uma situação inicial, de criticidade média, podendo ser atendido em oportunidade. Para atuar na causa raiz do problema, deve ser feito um estudo aprofundado a respeito do elevado número de quebras de anel, além uma revisão do plano quanto ao respiro dos gases do cárter.

Resultados satisfatórios nessas ações farão com que o trabalho atinja uma maturidade ótima, com atuações bem definidas e com menos intervenções nos ativos.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o trabalho apresentado vê-se que é possível desenvolver soluções com um retorno considerável, utilizando os dados que a própria organização possui, sem a necessidade de grandes investimentos. Manutenções preditivas, em geral, criam todo um campo de atuação que, anteriormente, era impensável.

Um ponto que deve sempre ser levado em conta é que toda forma de bloqueio nova no processo, é também a inserção de mais uma variável nele. Ela é concebida com o objetivo de melhoria, mas se não for bem mensurado, pode elevar o custo da organização, devendo sempre estar bem respaldado.

Para que estes resultados sejam alcançados, torna-se necessária uma atuação periódica em reavaliar o processo, buscando otimizá-lo frequentemente. Os ganhos em confiabilidade devem sempre estar calibrados com o contexto operacional da empresa, focados na capacidade geradora de valor, e não vistos de uma forma isolada.

### Referências

ABNEK, K. F. Measurements of maximum crankcase pressure for evaluation of the piston-rings-cylinder assembly. **Journal of KONES Powertrain and Transport**, 2009, Vol.16, Szczecin, Poland. Disponível em: <[http://bit.ly/abnek\\_blowby](http://bit.ly/abnek_blowby)>. Acesso em: 17 out. 2020.

KARDEC, A., NASCIF, J. **A. Manutenção Preditiva: Fator de Sucesso na Gestão Empresarial**. 1 ed. Rio de Janeiro: QualityMark, 237 p., 2013.

KOSZALKA, G. Predicting the durability of the piston-rings-cylinder assembly of a diesel engine using a piston ring pack model. **Eksploracja i Niezawodność - Maintenance and Reliability**. 2011, Warsaw, Poland. Disponível em: <[http://bit.ly/koszalka\\_blowby](http://bit.ly/koszalka_blowby)>. Acesso em: 17 out. 2020.

MACHADO, F. N. R., **Big Data: O Futuro dos Dados e Aplicações**. 1 ed. São Paulo: Érica, 224 p., 2018.

NAPOLEÃO, B. M. **Matriz GUT (Matriz de Priorização)**, 2019. (Ferramentas da qualidade). Disponível em: <<https://ferramentasdaqualidade.org/matriz-gut-matriz-de-priorizacao/>>. Acesso em: 17 out. 2020.





PEREIRA, F. M. M., **Estudo da degradação do óleo lubrificante em motores alimentados com biodiesel B100**. Dissertação de Mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 147 p., 2015. Disponível em: <[http://bit.ly/pereira\\_blowby](http://bit.ly/pereira_blowby)>. Acesso em: 17 out. 2020.

PERIARD, G. **Matriz GUT: Guia completo**, 2011. (Sobre administração). Disponível em: <<http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/>>. Acesso em 17 out. 2020.

TURNBULL, R. Elastodynamics of piston compression rings. **3<sup>rd</sup> Biennial International Conference on Powertrain Modelling and Control (PMC2016)**, 2016, Loughborough University, Loughborough, United Kingdom. Disponível em: <[http://bit.ly/turnbull\\_blowby](http://bit.ly/turnbull_blowby)>. Acesso em: 17 out. 2020.



# CAPÍTULO 17

## **ATENDIMENTO AUTOMOTIVO E RELAÇÕES DE GÊNERO NA CIDADE DE SALVADOR-BAHIA**

AUTOMOTIVE SERVICE AND GENDER RELATIONSHIPS IN THE CITY OF  
SALVADOR-BAHIA

**Laira Maissa Almeida Silva**  
**Paula Galvão Caldas Moreno**  
**Vaner José do Prado**

## Resumo

As condições de gênero impostas pela sociedade podem gerar obstáculos para as mulheres no sentido de acessar e desfrutar alguns de seus direitos, abrangendo desde a ocupação de postos de trabalho ou para a obtenção de determinados serviços, como por exemplo, os de manutenção automotiva. Sobre esse tema, este estudo analisou o cenário de empresas que fornecem serviços de reparos automotivos, em 16 bairros de classe média na capital da Bahia, nos quais procurou observar aspectos sobre as relações de gênero praticadas, perfil das empresas do segmento e algumas questões sobre o atendimento ao gênero feminino e suas necessidades em relação prestação dos serviços. A pesquisa tem natureza descritiva/exploratória utilizando recursos de entrevistas semiestruturadas e observação in loco, em empreendimentos que oferecem os serviços de manutenção automotiva, na cidade de Salvador-BA. Como resultados pode-se afirmar de forma geral, que as empresas localizadas na área pesquisada, adotam estratégia insuficiente para atender esse segmento de mercado, representado pelo público feminino. Apresentaram número de clientes mulheres muito abaixo do percentual atendido pelas empresas especializadas. Os empreendimentos analisados possivelmente não percebem a potencialidade mercadológica, ou demonstram não ter interesse nela, ou ainda priorizam outro tipo de cliente, como as pessoas jurídicas.

**Palavras-Chave:** manutenção automotiva; gênero; estratégias de mercado.

## Abstract

Gender conditions imposed by society can create obstacles for women to access some of their rights, ranging from occupying jobs to obtaining certain services, such as automotive maintenance. In this context, this paper analyzed the scenario of companies that provide automotive repair services in 16 middle-class neighborhoods in the city of Salvador, Bahia, in which it sought to observe the gender relations practiced, the segment companies profile and some aspects of service. gender and their needs in relation to the provision of these services. The research has a descriptive / exploratory nature using resources of semi-structured interviews and on-site observation, in enterprises that offer automotive maintenance services, in the city of Salvador-BA. As a result it was found that although the most relevant customer criteria are not offered or simply mentioned, workshops generally serve only the percentage of qualified female audiences, not presenting an efficient attraction or loyalty strategy.

**Keywords:** Automotive Maintenance, genre, market strategies.



## 1. INTRODUÇÃO

As questões de gênero são fruto de uma construção social e cultural, exemplificadas nas relações interpessoais, nas posições hierarquizadas, e na sexualidade (D'Abreu, 2012). Exemplos disso, podem ser refletidos desde a baixa participação da mulher em determinados postos de trabalho ou na remuneração inferior aos homens para um mesmo tipo de função ou até mesmo o sentimento desconfortável de estarem presentes em locais que são destinados a homens, como oficinas mecânicas. Assim, levar um automóvel para fazer um conserto ou uma manutenção preventiva pode ser uma dessas situações incômodas para elas.

No cenário da cidade de Salvador Bahia, há um trânsito intenso de veículos particulares correspondentes a 650 mil (Transalvador, 2018) e com uma população de 2,8 milhões (IBGE, 2018), no qual as mulheres refletem uma considerável parcela de 53,3% (Albuquerque, 2018). Observando por esta perspectiva, as mulheres representam mais da metade da população soteropolitana, indicando um mercado promissor para atendê-las. Mas, segundo dados empíricos da revista *Reparação Automotiva* (2018), as mulheres demonstram uma série de dificuldades ao contratar serviços automotivos não especializados e citando a falta de respeito do prestador, honestidade e a impaciência com as clientes.

Diante disso, esse trabalho buscou analisar o cenário das empresas que fornecem serviços de reparo automotivo, em 16 bairros pertencentes à prefeitura bairro Acupe/Brotas, na cidade de Salvador-BA, observando as relações de gênero praticadas, relatando o perfil das empresas do segmento. Algumas das questões norteadoras para o trabalho foram: (a) "Qual a proporção de oficinas mecânicas da amostra escolhida, que reconhecem e/ou atendem as necessidades do público feminino?"; (b) "Qual o perfil das oficinas que atendem uma quantidade significativa de mulheres, quanto ao porte, tipo de serviços e formas de fidelização?"; (c) "Caso não atendam ou contratem uma parcela significativa das mulheres, quais são os motivos?"; (d) "Quais os aspectos positivos dessas empresas e quais deveriam melhorar?".

A proposta se mostra relevante no sentido de contribuir para o surgimento de novas ideias e diretrizes, para adaptar os empreendimentos existentes às novas necessidades de mercado ou incentivar a implementação de novas empresas mais adequadas. Em Salvador, verifica-se a existência de uma enorme carência desse tipo de serviço para as mulheres, observados em diversos relatos que muitas vezes são divulgados em revistas comerciais sobre as experiências negativas durante a contratação de serviços de reparo automotivo. A quantidade pouco expressiva de dados na área acadêmica, também se mostra como outro fato que vem justificar o trabalho.

Acredita-se que a partir da análise e discussão do tema, seja possível pre-



ver algumas contribuições, sendo uma delas, a visibilidade sobre a dificuldade de inserção das mulheres nesse segmento do mercado de trabalho, bem como a identificação de variáveis atuantes que criam obstáculos associados às relações de gênero, podendo direcionar inclusive as políticas públicas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico foi subdividido em tópicos que tratam sobre as macros ideias. Primeiramente foram discutidos os aspectos socioculturais de gênero, abordando a construção histórica dos padrões da mulher e do homem e seus impactos do ponto de vista profissional e pessoal. Posteriormente, foram compilados dados configurando os aspectos do mercado consumidor automobilístico. Por último, foi descrito o tópico sobre serviços automotivos, abordando o aumento de oficinas mecânicas e de autopeças e quais são esses serviços de manutenção.

### 2.1 Aspectos socioculturais do gênero feminino

Diversos estudos vêm considerando como objeto de análise questões referentes à gênero. Historicamente é percebido que a diferenciação fenotípica é posta como importante critério para definir quais os papéis que o homem e a mulher devem desempenhar na sociedade, o que leva a afirmar que as diferenças impostas são fruto de uma construção social (Araújo, 2005). As consequências dessa estrutura são expressas na relação de trabalho, no poder de decisão, na construção familiar, na delimitação de funções, atividades e nas condutas que cada gênero deve ter, e assim, fica predestinado as definições de gêneros feminino e masculinos que elas devem ter maior dedicação ao lar e eles cabem o principal dever de sustentar a casa (Silva, 2012).

No entanto, com os movimentos feministas, a mulher começou a entrar no mercado de trabalho, por volta dos anos 60, e a partir desse marco, houve transformações nos papéis que eram predestinados, principalmente no âmbito familiar e profissional (Araújo, 2005). O aumento da participação feminina no mercado de trabalho brasileiro, como um indicador positivo em determinado ponto de vista, é ponderada por Sampaio (2007). Essa última autora mostra que na indústria de carros da Renault, situada em Curitiba - PR, apenas 10% dos funcionários eram mulheres jovens e sem estímulo para atuar no campo tecnológico e encontrou semelhança desse quantitativo em outros estudos em fábricas brasileiras, como a extinta fábrica da Chrysler, Audi-Volks e na fábrica de motores da Tritec. No SENAI-SP, apenas 3% dos alunos são mulheres cursando manutenção automotiva e muitas alunas inclusive relatam que sofrem todo tipo de preconceito, pois dentro da instituição a área automotiva é considerada curso para homens (G1, 2017).



Mesmo diante da significativa parcela de mulheres no mercado automobilístico e do aumento delas na procura desses serviços, é observado aspectos de relações de gênero relevantes por Banks, 2017. Toda essa diferença entre os gêneros tem consequências piores refletidas na saúde psicológica, segundo Calais e cols (2003). Quando o fator gênero é agregado ao fator étnico, esse quadro se agrava mais ainda, já que as mulheres negras são as mais vulneráveis socialmente, com menor nível de escolaridade, por ocuparem menos espaço no mercado de trabalho, terem menor remuneração, preencherem a maior parte das ocupações precárias, informais e de baixa qualidade sobre o total do emprego no país quando comparado com os homens e as mulheres brancas (Abramo, 2006).

Embora exista esse cenário desfavorável para o gênero feminino, estudos têm mostrado que as mulheres têm maior grau de escolaridade em relação aos homens, que diante das necessidades de alguns setores produtivos que resulta numa maior exigência de escolaridade, elas podem ter uma certa vantagem em relação a isso (Bruschini & Lombardi, 2006).

## 2.2 Mercado de consumo no setor automobilístico

A realidade das grandes capitais é marcada pelo uso contínuo de frota particular de veículos automotivos devido a alguns fatores, como ao aumento acelerado dos centros urbanos, aos incentivos de políticas públicas em facilitar a compra dos automóveis particulares (Saback Júnior & Santana, 2014) e aos problemas com transporte público.

Na cidade de Salvador-BA, verifica-se que a frota de veículos dobrou em apenas 10 anos. No ano de 2007 rodavam quase 480 mil carros e em 2017, a quantidade de veículos chegou a 980 mil (DETRAN-BA, 2018). Segundo o órgão municipal de trânsito de Salvador, a Transalvador (2018), a quantidade de automóveis da capital baiana em 2018 gira em torno de 650.000, equivalente a 66,89% de toda a frota de veículos. Diante desse cenário, a capital baiana está como a sexta cidade com maior número de veículos em trânsito (Jornal Tribuna da Bahia, 2018).

Outro aspecto relevante é a constatação de que a mulher hoje é a maior interessada por veículos, segundo Navegg (2017), correspondendo 58% de um total de 400 milhões de perfis analisados. Além disso, o grau de influência no poder de decisão da mulher no processo de compra de veículos é algo presente. Dos homens entrevistados, 87,5% responderam ser influenciados pelas mulheres na compra dos veículos (Campos & Mendonça, 2013).

Assim, verifica-se uma crescente participação de mulheres na compra de automóveis, e se esse mesmo padrão se mantiver, nos próximos 10 anos, o consumo de mulheres e homens se igualará (Campos & Mendonça, 2013). Além do mercado de venda de carro, outra fatia importante é o mercado de consumo do setor



de manutenção automotiva. Em setembro de 2018, foi registrada em Salvador a existência de 261.950 mulheres habilitadas, representando uma fatia de 32,4 % em um universo de homens e mulheres (DETRAN-BA, 2018).

No entanto, Pereira (2011) revela que as mulheres não se sentem dispostas a levar seu carro a manutenção, pois muitas vezes são atendidas de maneira rude, desqualificando a sua competência em compreender o que estava sendo discorrido e até mesmo, os mecânicos apresentavam um comportamento vulgar, se aproveitando para cobrar a mais pelos serviços prestados. Pimentel (2013) apontou que em Natal - RN quase 50% das mulheres entrevistadas mostraram-se insatisfeitas com serviços de reparo automotivo e que 77% delas tem receio durante o atendimento devido a falta de honestidade, ao mau atendimento, problemas não resolvidos e devido à aparência da oficina. Dados empíricos de uma pesquisa realizada pela Bosch Car Service revelaram ainda que 35% das mulheres, em um total de 1.022 não tem confiança em ir às oficinas mecânicas, preferindo que seus maridos sejam encarregados dessa função (Marques, 2011).

Dessa forma, observa-se que mesmo diante de uma cadeia produtiva tão desenvolvida que é o setor automobilístico no Brasil, existe um gargalo no mercado associada às atividades de serviços de manutenção de veículos, as quais foram descritas com mais detalhes no próximo tópico.

## 2.3 Serviços automotivos e manutenção automotiva

Para tratar sobre o setor automotivo é necessário compreender com ele é abrangido e o próprio conceito da palavra. Segundo Vargo & Lusch (2004), serviço designa a realização de conhecimentos especializados, por intermédio de desempenhos, processos e ações, em benefício de um indivíduo, ou grupo. Além disso, estes autores ressaltam que os clientes não procuram apenas mercadoria, mas serviços que atendem as suas conveniências.

Quando se fala de serviços automotivos a ideia que surge inicialmente são os reparos em veículos, no entanto, considerando o próprio conceito de serviços já abordados, estes são considerados neste trabalho como todos aqueles que compõem a cadeia automotiva, desde os serviços de autoescola aos serviços de autopeças e manutenção, uma vez que não foi encontrado na literatura uma associação específica para esse conjunto.

No entanto, o mais importante a ser tratado são os aspectos associados à manutenção automotiva. Segundo Banks (2017) abrange principalmente os serviços categorizados como cuidados técnicos primários que envolvem o mercado de autopeças e de reparo automotivo. O setor de autopeças que fornece os insumos para o restauro e/ou reposição, ocupa a segunda colocação no faturamento das peças veiculares, com 21%, que representa uma média R\$ 63 bilhões no ano de 2016



(SINDIPEÇAS, 2018). Conseqüentemente, o reparo de veículos vem se destacando no mercado diante do trânsito de carros mais antigos (SEBRAE, 2017). Segundo a revista Folha de São Paulo em 2016, as oficinas de manutenção de veículos cresceram no Brasil 7,6% comparado ao ano anterior, devido a frota de veículos e ao tempo que o possuidor leva para trocar o carro, tendo em média 9 anos. Além disso, a revista destaca que, como 75% desses carros já passaram da garantia, os motoristas preferem fazer a manutenção fora das concessionárias.

De acordo com dados publicados pelo SEBRAE (2014), o número de oficinas no país corresponde, em média, 97 mil, gerando 767 mil empregos. Ademais, os gastos anuais com manutenção representam R\$ 128 bilhões. Nesta mesma pesquisa, conforme Tabela 1, pode-se comparar a quantidade de veículos e seu tempo de uso.

**TABELA 1.** Idade do veículo X Quantidade

Idade do veículo	Quantidade
Automóveis com até 1 ano e meio	1.821.944
Automóveis com 1 ano e meio até 5 anos	2.478.421
Automóveis com mais de 5 anos	11.753.856

Fonte: Adaptado SEBRAE (2014).

O observa-se que a frota de veículos com mais de 5 anos de uso representa mais de 73% do tráfego do país sendo um potencial para o mercado de manutenção e a autopeças. Banks (2017) mostrou os diferentes tipos de empresas que atuam no setor e fornecem os cuidados técnicos primários: as concessionárias, as lojas de cadeia (lojas de fábricas que controlam a distribuição de produtos como a Firestone, Bosh, GoodYear, Campneus) e as lojas independentes (conhecidas como oficinas mecânicas). Banks (2017) ainda ressaltou que a melhor forma de realizar a manutenção preventiva é seguir as instruções do manual do próprio carro e os itens que são associados aos calendários básicos de manutenção dos manuais.

Com esse conjunto de informações, torna-se possível verificar muitos aspectos associados a cadeia produtiva automotiva, principalmente quanto à pouca participação de trabalhadoras nesse segmento e à baixa qualidade dos serviços de reparo automotivo prestados aos público feminino, ainda que as mulheres venham mostrando uma participação econômica cada vez mais importante nesse segmento.





### 3. METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza descritiva/exploratória, segundo Pádua (2016), uma vez que durante a investigação foram geradas informações sobre o fenômeno pesquisado, visando conhecer mais a seu respeito e familiarizar se mais com o problema.

Os procedimentos metodológicos contemplaram as seguintes etapas: (a) criação dos instrumentos e do processo metodológico quantitativo (para identificar perfil e extratos) e qualitativo (visando qualificar as informações colhidas), no qual foi realizado o levantamento da quantidade das empresas foco do estudo; (b) seleção dos bairros nos quais foram aplicados os instrumentos de pesquisa; (c) elaboração e validação do roteiro da entrevista semiestruturada (foi aplicada em uma das oficinas aleatoriamente selecionada, para obter uma no intuito de verificar se as informações colhidas, eram representativa da descoberta que se queria fazer); (d) aplicação de entrevista junto aos proprietários/gerência/supervisores dos empreendimentos; (e) realização da observação interativa (perguntas diretas sobre fenômenos dos locais que não estavam no roteiro, mas faziam parte do ambiente) e não interativa (observações feitas sem perguntas diretas aos entrevistados) durante as visitas, quando da entrevista; (f) tratamento estatístico dos dados quantitativos e por meio do método de análise de conteúdo dos dados qualitativos.

No processo metodológico quantitativo, buscou-se compreender mais sobre quantas empresas do setor de manutenção automotiva existiam em Salvador consultando a base de dados do Ministério do Trabalho, especificamente na Relação Anual de Dados Sociais - RAIS a qual sinalizou a existência de 196 empreendimentos categorizados como Manutenção e reparo de veículos automotivos (código 45200/01) que contrataram em 2017 pelo menos 1 funcionários (Brasil, 2016). Esse total foi útil para ter noção da quantidade de empresas existentes e escolher uma quantidade significativa para aplicar os questionários.

Em seguida, a partir do referencial de Pimentel (2013) foram selecionados os indicadores de perfil das mulheres motorizadas para selecionar os bairros, nos quais estão situadas a maioria dessas mulheres e aplicar as entrevistas juntos aos prestadores de serviços desse bairro. Essa pesquisadora sinalizou que em Natal, capital de IDH semelhante a de Salvador, que 50% das motoristas têm renda familiar entre R\$ 1.734,00 e R\$ 7.437,00 e 20% acima de R\$ 7.437,00, no ano de 2013. Assim, para selecionar os bairros com esse perfil foram utilizados os dados socioeconômicos do município de Salvador feito pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia - CONDER (2016).

Nesse documento, foi possível observar os bairros que possuem rendimento médio dos responsáveis por domicílio particulares acima de R\$ 1.734,00 no ano de 2010. Dessa forma, foram considerados inicialmente na amostragem aqueles pertencentes às prefeitura-bairros de Acupe/Brotas, Itapuã Ipitanga e Barra Pituba, totalizando 37 bairros. Além de considerar o rendimento médio dos moradores em



cada bairro de Salvador durante a seleção de bairros para se aplicar a pesquisa, foi avaliado o rendimento médio dos responsáveis por domicílio das prefeituras bairro, ainda utilizando dados da CONDER (2016), e também a concentração de empreendimentos do setor (fornecedores, outros tipos de serviços automotivos, locação e venda de veículos).

Assim, a prefeitura bairro escolhida para aplicação das entrevistas foi Acupe/Brotas, apresentando 16 bairros dentro do principal critério pré estabelecido (rendimento médio), sendo eles: Acupe, Barbalho, Barris, Boa Vista de Brotas, Brotas, Candeal, Centro, Garcia, Luiz Anselmo, Matatu de Brotas, Nazaré, Santo Agostinho, Santo Antônio, Saúde, Tororó e Vila Laura.

O roteiro da entrevista semiestruturada procurou identificar padrões associados à prestação de serviços automotivos (qual o porte das empresas, segundo as categorias descritas na lei nº 123/2006 da Presidência da República (BRASIL, 2006), e quais são os serviços prestados); ao atendimento de mulheres (proporção de mulheres atendidas na empresa, formas de fidelização, percepção dos prestadores de serviço sobre o atendimento às necessidades dos serviços automotivos das mulheres e suas dificuldades no ato do atendimento; às relações de gênero praticadas junto aos seus funcionários e funcionárias (aspectos sobre contratação de mão de obra feminina).

Na observação não participante foi registrado aspectos ambientais e estruturais que permitam auxiliar na descrição do perfil dos empreendimentos (sala de espera, banheiros individualizados, aspectos como acesso, segurança e limpeza). Já na análise estatística foram categorizadas em planilha Excel tanto o perfil dos empreendimentos, conforme referencial teórico, quanto as variáveis observadas em suas respostas. Estas últimas foram dispostas dentro de duas dimensões "relações de gênero" e "prestação de serviços automotivos às mulheres", registrando sua incidência por tipo de empresa analisada. Com a análise de conteúdo foram qualificados os dados obtidos dentro dos pontos abordados.

A entrevista semiestruturada foi aplicada, no período de 25 de março a 19 de abril de 2019, junto às oficinas pré-selecionadas a partir de busca via o Google Maps e mapeamento in loco, nas vias dos bairros pertencentes a prefeitura bairro Acupe- Brotas, selecionando aquelas que atendiam a alguns requisitos, como não ser microempreendedor individual, possuir elevador mecânico e abranger a mais de um serviço mecânico, evitando assim os empreendimentos que possivelmente não possuíam os critérios relevantes sinalizados pelas mulheres no estudo de Pimentel (2013), sendo alguns deles: preço, atendimento, tempo de espera e estrutura/aparência da oficina, defeito resolvido do carro.



## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 41 empreendimentos mapeados, 25 (61%) deles tiveram interesse em participar da entrevista. A partir das respostas, foram inicialmente classificados os empreendimentos quanto ao tipo de fornecedor (Concessionárias, Oficinas de cadeias e Oficinas independentes) e a porcentagem de clientes mulheres atendidas, conforme Tabela 2.

**TABELA 2.** Percentual de mulheres atendidas por quantitativo e categoria de empreendimento do setor automotivo

Tipo de empreendimento	Porcentagem de mulheres atendidas			Total
	10 a 20%	30 a 40%	50%	
Concessionárias	0	3	0	3
Oficinas de cadeia	2	1	0	3
Oficinas independentes	3	13	3	19
Total				25

Fonte: Autoria Própria

Nesse ponto, foi possível observar que a maioria das oficinas independentes, localizadas na circunscrição da prefeitura bairro Acupe Brotas, e todas as concessionárias atendem ao quantitativo proporcional ao número de mulheres habilitadas de Salvador, que é condizente com percentual de mulheres habilitadas de 32,8%, segundo o Detran-BA (2018).

### 4.1 Análise geral de todas as prestadoras de serviços automotivos entrevistadas

A partir da Tabela 2, é possível verificar que as empresas, de forma geral, atendem basicamente o percentual de mulheres habilitadas na cidade de Salvador (30% a 40% de clientes mulheres), ou seja, a porcentagem de mercado que necessita fazer reparos em seu veículo, ou abaixo dele (10 a 20% de clientes mulheres). Quando se utiliza a proporção de 70% de clientes mulheres de uma empresa especializada no atendimento feminino no ramo de manutenção automotiva (Sabadine, 2018) é possível verificar como esses números estão abaixo do referencial esperado, ou seja, quando são adotadas estratégias de fidelização adequadas.

Sobre as relações de gênero das empresas foram encontrados os seguintes aspectos de alta incidência nos discursos: (a) a desproporção do quantitativo de cargos ocupados pelas mulheres; (b) a importância dada no discurso à presença de mulheres mecânicas ou pelo menos atendentes nas empresas; (c) a percepção sobre as maiores necessidades das clientes; (d) a ausência relatada de dificuldades em atendê-las. Já associados aos serviços automotivos foram registrados: (i)

a considerável presença de empresas oferecendo todos os tipos de serviços automotivos ou mais da metade deles; e também (ii) a percepção de que 30 a 40% de atendimento de mulheres é um bom indicativo de atendimento e que sua fidelização se dá pela qualidade dos serviços prestados e pela espaço estruturado das oficinas, ver Quadro 1.

**QUADRO 1.** Resumo das variáveis observadas no discurso das prestadoras de serviços

Variáveis observadas	Caracterização na pesquisa
Desproporção da quantidade e cargos ocupados por mulheres	Foi observada em muitas empresas a não contratação de mulheres ou contratação de apenas 20% do total de funcionários, excetuando as concessionárias, analisadas no próximo tópico. Foi registrado também uma maior presença de mulheres trabalhando no setor administrativo, do que os cargos de contato direto com as clientes como de atendentes ou vendedoras, além de uma ausência de mecânicas quase que em todas as empresas. Ambas as considerações levam a inferir que esse fator pode interferir diretamente no bem estar da cliente, uma vez que ela podem se sentir desconfortável em ambientes muito masculinizados, evidenciado principalmente nas oficinas independentes.
Importância da presença de funcionárias atendentes e/ou mecânicas na empresa apenas no discurso	Citada para dar mais “conforto” às clientes, no entanto foi constatada a ausência de iniciativas da empresa para contratar essas mulheres. Essa situação se deve possivelmente à falta de interesse em investir em melhoria para atender e fidelizar o público feminino, possivelmente devido ao fato de ser aparentemente uma menor fatia mercadológica, por muitas vezes as clientes evitarem ir às oficinas mecânicas terceirizando para os homens mais próximos, e por ser um assunto popularmente discriminado e de pouco interesse pelos homens/gestores das oficinas.  Nesse ponto, Nascimento (2017) corrobora essa ideia, observando uma menor frequência de mulher nos cursos de engenharia na UFBA e o relato da G1 (2017) quanto a baixa participação de mulheres no curso de mecânica automotiva no Senai. A falta de procura pelos empregadores do setor pode auxiliar na justificativa da menor predominância da mulher nessa área (inclusive na graduação e nos cursos técnicos relacionados) funcionando como mais um desestímulo para essas alunas ingressarem nesses cursos, e também na explicação da menor quantidade dessas profissionais disponíveis no mercado.

<p>Percepção sobre as maiores necessidades das clientes</p>	<p>Muitos entrevistados pontuaram que a maioria das clientes não têm ou possuem poucas noções básicas sobre mecânica automotiva, levando a dificuldade em compreender para que os serviços contratados por eles servem. Além disso, relataram também sobre a necessidade das clientes de um atendimento que passe confiança associando isso: à limitação dos conhecimentos delas sobre as tais noções básicas; ao fato de considerarem a mulher seres mais sensíveis; à percepção sobre as clientes terem sido enganadas antes de chegarem em sua estabelecimento. Apesar de sinalizarem algumas das vulnerabilidades e necessidades das mulheres, os entrevistados não conseguiram associar a importância das noções básicas em mecânica automotiva na criação de confiança com as mesmas, uma vez que, quando elas detém conhecimento sobre seu carro, podem construir uma relação de confiança após julgar o que é bom ou ruim. Ainda nesse caso, a desconfiança é agravada pelas experiências anteriores ruins delas e pela masculinização do ambiente, com homens com pouco ou nenhum preparo sobre questões de nivelamento de gênero e com comportamento machista.</p> <p>Essa ideia é corroborada por Valentim e Kruehl (2007 apud Lewis 1985, McAllister, 1995) ao afirmarem que a confiança é a base nas relações sociais, inclusive em situações onde não resta opção a não ser confiar, além disso acrescenta que a confiança depende: do julgamento racional do indivíduo o qual necessita de informações prévias, tais como conhecimento do que é observado, experiências anteriores; da identificação de valores marcantes de alguém, como respeito e honestidade, em determinado cenário; e também na observação do comportamento alheio.</p>
<p>Ausência de dificuldades em atender as clientes</p>	<p>Segundo boa parte dos entrevistados, tal ausência é devido ao fato deles reconhecerem as necessidades femininas sobre noções básicas de mecânica automotiva e possuírem uma equipe preparada para atendê-las, muitos associaram ainda ao maior tempo de experiência no mercado. Possivelmente, essa falta de conhecimento sobre os sistemas do carro pelas mulheres foi tida como uma dificuldade no atendimento desse público em algum momento e uma estratégia utilizada frente a isso, possivelmente foi investir um pouco mais de tempo para passar mais informações sobre o funcionamento do carro e suas manutenções, acreditando passar maior confiança à cliente e, assim, fidelizá-la.</p>
<p>Presença de muitas empresas do ramo com amplo portfólio de serviços</p>	<p>Oferecer todos os tipos de serviços automotivos ou mais da metade deles, foi uma característica comum graças à criação de parcerias com outras oficinas ou a terceirização dos serviços para não perder os clientes ou o serviço. Acredita-se, que diante de um mercado com forte carência de serviços automotivos especializados para mulher, caso uma empresa se interesse mais em atender esse público, possuir um portfólio maior de serviços é um ponto positivo, pois a mulher adotaria a empresa como referência para resolver qualquer problema em seu veículo. Essa observação leva a categorizar tais serviços como sendo do tipo “profissional”, conforme Brito &amp; Santos (2019, p. 105) quanto ao volume de serviços prestados que é menor, porém mais customizado e adequados às necessidades dos clientes.</p>

<p>Percepção de fidelização pela qualidade dos serviços prestados e espaço estruturado das oficinas</p>	<p>Apesar da entrevista semiestruturada não aprofundar mais sobre as variáveis relacionadas à qualidade, foi possível observar que os entrevistados desconhecem o potencial do mercado feminino, ao considerar o quantitativo de 30 a 40% de clientes mulheres um indicador positivo de atendimento. Além disso, foi evidenciado o não reconhecimento pelos entrevistados de parte dos critérios mais relevantes no atendimento de serviços automotivos pontuados pelas mulheres na pesquisa de Pimentel (2013), tais como; o tempo de espera, custo, problema resolvido e aparência da oficina. Isso é um aspecto bastante relevante uma vez que Salvador apresenta uma concentração de mais de 30% de todas as mulheres que são chefas de família monoparentais do estado da Bahia, condição essa que faz com que a mulher conviva com os filhos por situação de abandono, divórcio, viuvez, adoção ou mudança de valores sociais em relação ao casamento, levando -as a arcar com toda a problemática de âmbito econômico, social e emocional que agravam a desigualdade econômica e social, aumentam o estresse devido a sobrecarga de trabalho e do cuidado com a casa e filhos em uma única pessoa (GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA, 2018). Isso pode justificar a importância dada ao tempo e ao custo dos serviços automotivos por elas.</p>
---	---

Fonte: Autoria própria.

O único critério relevante das mulheres, possível de ser identificado nos discursos, foi “estrutura da empresa” que pode ser associada a “aparência da oficina” no trabalho de Pimentel (2013) e que foi confirmado na observação participante na maioria das empresas.

## 4.2 Descrição das concessionárias

As concessionárias afirmaram atender de 30 a 40% de clientes mulheres, dados corroborados por Coura (2017) e Pereira (2011) que associaram números da quantidade de mulheres que compram carros em algumas marcas de concessionárias dentro dessa faixa de valores encontrada nesta pesquisa. Das três empresas analisadas, duas delas associaram esse número à qualidade do atendimento, uma dessas acrescentou possuir ações pontuais voltados ao atendimento das mulheres, como a “distribuição de brindes rosa”, mostrando a visão limitada sobre gênero. Já a outra não soube explicar sobre o quantitativo atendido dessas clientes.

A partir disso, pode-se afirmar que as concessionárias dessa região não possuem estratégias ou elas não são eficazes para aumentar a quantidade dessas clientes. Pode se inferir que possivelmente as mulheres sejam atraídas principalmente pelo serviço de garantia já incluído no valor da compra do carro, associado ao fato das lojas serem espaços seguros (com câmeras e profissionais de segurança), possuírem boa estrutura física e qualidade na prestação de serviços. Corroborando isso, Alpuim (2012) afirma que ocorre uma diminuição considerável de clientes fidelizados no período de pós-venda associando principalmente aos altos custos e conseqüentemente altos preços dos serviços para os clientes, critério con-

siderado por Pimentel (2013) como um dos mais relevantes pelo público feminino e o segundo motivo de insatisfação deles junto aos serviços automotivos oferecidos.

Essa categoria de empresa foi a que apresentou maior proporção de mulheres trabalhando, praticamente metade delas ocupando cargos administrativos, de supervisão, consultoras, atendentes, porém ausência de mecânicas atuando. Segundo Proni (2017), em estudo específico sobre gênero em empresas de grande porte, mostrou a ocorrência de um maior equilíbrio na distribuição entre homens e mulheres, mas constatou que elas são minoria nas áreas de manutenção e vendas e ainda com desigualdade nítida em termos de remuneração contratual, o que é inclusive constatado por Sampaio (2017).

As concessionárias entrevistadas são empresas de grande porte, com quantitativo de funcionários variando de 50 a 200, oferecendo todos os serviços de manutenção automotiva, incluindo funilaria e pintura e possuem espaço estruturado, limpo, seguro com banheiro individual, mesmo perfil descrito por Banks (2017) a qual acrescenta que apresentam os preços mais caros no ramo.

### **4.3 Descrição das oficinas de cadeia**

Foram entrevistados os gerentes de três oficinas de cadeia, das quais duas das oficinas haviam predominância de atendimento a mulher correspondente de 10 a 20%. O que provavelmente justifica esse percentual é que: além de não possuir estratégias eficientes de fidelização, não reconheceram que a mulher precisa de um atendimento diferenciado; demonstraram focar na fatia de mercado voltado pessoas jurídicas (serviço prestado a empresas que tem frotas de carro), não priorizando o mercado feminino; e ainda não ofereceram a maioria dos serviços que um carro precisa, tendo se especializado em alguns deles. No entanto, uma das oficinas apresentou de 30 a 40% de clientes mulheres, que afirmou fidelizar pelo atendimento, pela estrutura/aparência e pela qualidade do serviço e que o foco estava sendo pessoa jurídica também, apesar de reconhecer que existe um mercado promissor de mulheres. Desse modo, entende-se que existe um desinteresse por parte do gestor em relação ao potencial de mercado e aos outros critérios apontados pelas mulheres, levando a não adoção de planos e políticas que possam atrair e fidelizar o público feminino.

No geral, os empreendimentos não apontaram um padrão no quadro de funcionários da empresa, variando de 20 a mais de 50% do gênero feminino, e houve uma predominância das funcionárias na área administrativa e atendentes/vendedoras. Todas reconheceram que a mulher precisa de noções básicas de mecânica automotiva durante os serviços para entender para que serve e o porque do serviço é necessário no automóvel; apesar dos funcionários reconhecerem que a mulher precisa de um melhor entendimento sobre o funcionamento do carro, concluem que a mulher não necessita de um atendimento diferenciado, adotando mais o

conceito de igualdade e não de equidade nos discursos.

A maioria acha importante ter mulher atendente ou mecânica para deixar as clientes mais confortáveis, se identificando mais em um ambiente tipicamente masculinizado; duas das empresas são enquadradas como de grande porte; todas elas oferecem sala de espera, ambiente organizado; duas dispõem de banheiros individualizados e as mesmas possuem câmeras sem profissional de segurança, acesso visível e fácil de estacionar.

#### 4.4 Descrição das oficinas independentes

As oficinas independentes representaram o maior quantitativo entrevistado, correspondendo a 19 empresas, dentre elas três (3) correspondem a empresas com 10 a 20% de clientes mulheres; treze (13) afirmaram atender de 30 a 40% delas; e as três (3) restantes correspondem às oficinas que atendem 50% de clientes do sexo feminino.

Os gestores das unidades que atendem de 10 a 20% de mulheres justificaram esse quantitativo à personalidade da mulher, pois como relatado por eles, acreditam que elas são mais desconfiadas e muitas vezes preferem que o marido leve o carro a manutenção ou uma outra figura masculina, não mencionando sobre suas limitações em traçar estratégias quanto a isso, apesar disso, reconhecem a necessidade de ter uma mecânica no estabelecimento e afirmam não possuir dificuldade em atender as mulheres por reconhecer suas necessidades e a equipe está preparada para atendê-las. Esta categoria mostrou ter a visão mais limitada quanto às necessidades das clientes e seus critérios mais relevantes. Essas oficinas demonstraram não oferecer local com devida estrutura para recebê-las (o ambiente era desorganizado e sem uma sala de espera, por exemplo). Duas das oficinas oferecem todos os serviços de reparo automotivo e todas elas são classificadas como micro empresa.

Nas oficinas independentes que atendem de 30 a 40% de clientes mulheres, foi observado que cerca de 62% do total dessas oficinas apresentam uma desproporção de mulheres na empresa, variando 0-20% de mulheres contratadas, possivelmente causado por uma série de fatores atuantes, desde à falta de sensibilização e iniciativas relacionados ao tema até às questões de gênero associadas à esse segmento do mercado de trabalho que dificulta a atração de mulheres já discutidos e observado em outros tópicos. Quase 90% dessas empresas são micro empresa; 85% delas oferecem mais da metade de todos os tipos de serviços automotivos, ou resolvem todo o tipo ou a maioria dos problemas do carro das clientes.

Já nos discursos sobre fidelização, algumas dessas empresas citaram mais de uma estratégia de fidelização, sendo possível observar que em 46% dos discursos afirmaram fidelizar pela qualidade do atendimento em geral associando a honesti-





dade; cerca de 60% deles disseram que fidelizam pelo espaço estruturado e 46% deles associaram isso a qualidade de serviços de reparo especificamente; 90% afirmam não ter dificuldade em atender as mulheres por ter uma equipe preparada; e cerca de 45% reconhecem as necessidades das clientes quanto às noções básicas sobre mecânica para entender para que os serviços servem. Quase 70% dos empreendimentos dessa categoria possuem sala de espera; aproximadamente 85% não possui banheiro individualizado; quase 55% delas possuem espaço organizado, situado em local acessível e fácil de estacionar. Essa categoria mostrou que mesmo atendendo a alguns critérios relevantes no atendimento, como estrutura física, localização e atendimento explicando os serviços de forma paciente, outras variáveis podem estar interferindo levando a não atender um número maior de clientes, como a masculinização do ambiente evidenciado e outras que podem estar ocultas (preço, tempo de espera...) cuja investigação não foi conjecturada no roteiro da entrevista.

As empresas que atendem 50% de clientes do sexo feminino, uma delas apesar de não ser especializada para as mulheres, mostram utilizar estratégias para atender as necessidades delas com a presença de mulheres nos setores administrativos, vendas e uma gerente no departamento de manutenção que é também a mecânica, departamento exclusivo de venda de autopeças, sendo a única oficina com essa atuação. Nesse caso, possivelmente as clientes se sentem mais confortáveis, ficando menos desconfiadas, por não estar em um ambiente tipicamente masculino. Estas oficinas afirmaram fidelizar pela qualidade do atendimento associando a honestidade, reconhecer a necessidade das mulheres sobre noções básicas de mecânica automotiva e para que servem os serviços e duas demonstraram ser bem estruturada e com boa localização.

Ainda dentro das oficinas que atendem 50% de clientes mulheres, outra oficina afirmou fidelizar as clientes personalizando ao máximo a necessidade exposta abertamente pelas mulheres, como por exemplo, o serviço de leva e trás, aluguel de carros por preço mais acessível, caso o carro da cliente demore de ser feito e ela não possa ficar sem um. No entanto, essa oficina mostrou ser desorganizada, com sala de espera improvisada e sem banheiro individualizado.

Essa última categoria de empresas, de forma geral, foi a que atendeu maior número de critérios relevantes para as mulheres, podendo justificar a melhoria no índice de clientes mulheres.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Pode-se afirmar de forma geral, que as empresas localizadas na circunscrição da prefeitura bairro Acupe Brotas, adotam estratégia insuficiente para atender esse segmento de mercado, representado pelo público feminino, por apresentarem quantitativos de clientes mulheres muito abaixo do percentual praticado pe-



las empresas especializadas. Os empreendimentos analisados possivelmente não percebem a potencialidade mercadológica, ou demonstram não ter interesse nela, ou ainda priorizam outro tipo de cliente, como as pessoas jurídicas, por exemplo.

Esse baixo número de mulheres atendidas se mostrou associado aos fatores de relações de gênero, visto que há uma confluência de variáveis atuando tais como: desproporção de funcionárias nas empresas com maior incidência na área técnica de manutenção, o que torna o ambiente ainda masculinizado e pouco confortável, comprometendo a construção de confiança com as clientes, o que é agravado pela falta de conhecimento delas sobre mecânica automotiva; a falta de conjunto de ações efetivas ou aprofundamento por parte das empresas sobre o tema, visando compreender e atender aos critérios femininos mais relevantes dos serviços automotivos e, assim, adequar seu negócio.

As empresas analisadas, em geral, não demonstraram iniciativas como parcerias com centros de formação técnica de contratação de mulheres para suprir essa deficiência, elaboração de políticas internas para acolhimento das funcionárias e para a promoção de relações de gêneros equitativas, apesar de em seus discursos afirmarem que acham importante a presença de atendentes e mecânicas.

Como potencialidade, foi observado (i) o reconhecimento por parte das empresas sobre a necessidade feminina de um atendimento diferenciado quanto as noções básicas de mecânica automotiva, levando a explicar, em uma linguagem mais simples, o serviço que será oferecido. Essa é uma estratégia adotada pela maioria das oficinas para atender a esse público que geralmente possuem anos de experiência no mercado, o que leva a justificar a falta de dificuldade. Visando fortalecer isso, as empresas poderiam fornecer ou facilitar a aquisição de cursos básicos para as mulheres, workshop e ações que aumentem o conhecimento delas. A outra potencialidade foi (ii) o fornecimento da maioria dos serviços automotivos pelos empreendimentos funcionando como um possível item de fidelização caso decidam atender aos demais critérios femininos.

Com os resultados obtidos diante do perfil da empresa, pode destacar que nas concessionárias apesar de atenderem considerável parte dos critérios das clientes elas atendem apenas ao percentual de mulheres habilitadas, e possivelmente os preços dos serviços são os que mais pesam durante a contratação dos serviços pela mulher. Acredita-se que elas são atraídas pelo serviço de garantia que já está incluído no valor da compra do automóvel, associado à estrutura da empresa e qualidade dos serviços. De todas as categorias são as que mais têm mulher no quadro de funcionários, porém com ausência de mulheres na área técnica de manutenção. Essa categoria enfrenta mais desafios para personalizar o atendimento, uma vez que fornecem serviços de massa, atendem em larga escala, são mais inflexíveis em seus processos, além disso, a redução de custos é tema mais delicado que em oficinas independentes devido a complexidade de sua estrutura e funcionamento.

Em se tratando das oficinas de cadeia, foi observado como uma fragilidade o



não reconhecimento de que a mulher precisa de um atendimento diferenciado, e de maneira geral não tem um sistema de fidelização do cliente, além de não oferecer todos os serviços de reparo e como consequência apresenta uma média de 10 a 20% de clientes mulheres. Em contrapartida, as oficinas independentes se destacam por não ter dificuldades em atender as mulheres já que reconhecessem suas necessidades, e dispõe de uma equipe preparada para recebê-la.

De modo geral, dentro da perspectiva da pesquisa realizada, uma única empresa se destaca, pois possui uma mecânica e outra gerente, tem uma estrutura atrativa, com departamento de venda de autopeças, ambiente organizado e bem localizado, além de apresentar uma taxa de 50% de clientes femininas. Dentro dessa categoria, que atendia maior quantidade de mulheres, foi observado que outras variáveis poderiam incidir positivamente: a presença de mecânica e atendentes (ambiente menos masculinizado); presença de autopeças na oficina, possivelmente facilitando a logística de compra levando a um menor tempo de espera pela cliente; e a personalização dos serviços com leva e trás e aluguel de carros.

A atual pesquisa apresentou algumas limitações, tais como: não ter outros estudos tratando sobre critérios mais relevantes para as mulheres de prestação de serviços automotivos, inclusive em Salvador; dificuldade em mapeamento as empresas, uma vez que a Junta Comercial do Estado da Bahia não disponibilizou essa informação quando solicitado; o número de mulheres atendidas citado pelos entrevistados pode ser uma percepção subjetiva dele, referente a uma observação do fluxo de clientes no último mês ou na semana; a restrição do roteiro semiestruturado, que não permitiu aprofundar sobre as variáveis associadas à qualidade junto aos entrevistados, ou se está associado ao atendimento em si ou a resolução dos defeitos do carro; e o baixo número de estudos que associam gênero ao universo automotivo principalmente aqui no Brasil, levando a usar alguns dados empíricos na análise dos resultados, justificando inclusive a continuidade dessa pesquisa.

## Referências

ABRAMO, L. Desigualdades de gênero e raça no mercado de trabalho brasileiro. **Revista Ciência e Cultura**, São Paulo, 58(4), p.40-41, outubro, 2006.

ALBUQUERQUE, V. **Mulheres são maioria em Salvador, confirma IBGE**. Correio da Bahia, Salvador – BA, 2018.

ALPUIM, R. M. P. **Retenção de clientes pós venda no setor automóvel**: uma abordagem quantitativa. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Economia e Gestão. Universidade Católica Portuguesa. Cidade do Porto. Portugal, 2012.

ARAÚJO, M. de F. Diferença e igualdade nas relações de gênero: revisitando o debate. **Revista de Psicologia Clínica**. Rio de Janeiro, v.17, n.2, P.41 – 52, 2005.

BAHIA. Companhia de Desenvolvimento do Estado da Bahia - CONDER. **Painel de informações**: dados socioeconômicos do município de Salvador por bairros e prefeituras bairro. Salvador – BA, 2016.

\_\_\_\_\_. Departamento Estadual de Trânsito da Bahia - DETRAN-BA. (2018). **Informativo dos conduto-**



**res de veículos habilitados na Bahia.** Salvador - BA.

\_\_\_\_\_. Governo do Estado da Bahia. **Chefas de família perfil da monoparentalidade feminina na Bahia.** Salvador – BA, 2018. Disponível em: < <http://www.mulheres.ba.gov.br/arquivos/File/RecortesSociaisMulheresChefasDeFamiliaSeiSpm.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. Prefeitura Municipal de Salvador Bahia – TRANSALVADOR. (2018). **Frota de veículos.** Disponível em: <<http://transalvador.salvador.ba.gov.br/transparencia/index.php?ano=2018.>>. Acesso em: 09 set. 2018.

BANKS, P. **The Girls Auto Clinic Glove Box Guide.** Ed. 1. Filadélfia: Touchstone, Cap. 1: p. 34, 37,39 - 47, 55- 58, 2017.

BRASIL. Presidência da República. **Lei complementar nº 123, de 14 de Dezembro de 2006.** Brasília, 2006.

\_\_\_\_\_. Serviços de Apoio a Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE. **Boletim serviços automotivos.** Salvador – BA, 2013.

\_\_\_\_\_. **Comércio e serviços:** Reparação de veículos automotores. Boletim de Serviços Automotivos. Salvador – BA, 2017.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística – IBGE. **Censo Demográfico de 2010.** Brasília – DF, 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do trabalho. **Programa de disseminação das estatísticas do trabalho.** Brasília – DF, 2016.

BRITO T.C; SANTOS L.C. Aplicabilidade de práticas de produção enxuta em operações de serviço: uma análise pela perspectiva de volume e variedade. **Exacta.** 17(3), p. 100-120. jul./set., 2019.

BRUSCHINI, C.; LOMBARDI, M. R. Instruídas e trabalhadeiras: trabalho feminino no final do século XX. **Cadernos Pagu,** nº 17 -18, Campinas – SP, 2006.

CALAIS, S. L.; ANDRADE, L. M. B.; LIPP, M. E. N. **Diferenças de Sexo e Escolaridade na Manifestação de Stress em Adultos Jovens. Psicologia:** Reflexão e Crítica. Universidade Federal do Rio Grande do SUL – Porto Alegre-RS. [p. 257-263], 2003.

CAMPOS, R. D.; MENDONÇA, F. M. Adão, Eva e seu Carro: as Diferenças entre Homens e Mulheres no Processo de Decisão de Compra de Automóveis. **XXXVII Encontro da ANPAD.** Rio de Janeiro – RJ, 2018.

COURA, P. Elas sabem bem o que querem. **Revista o Tempo.** Belo Horizonte – MG, 2017.

D’Abreu, L. C. F. A construção social do gênero. **Revistas estudos femininos.** v. 20 n. 2, p. 583-592. Florianópolis, maio/ago, 2012.

G1. O portal de notícias da Globo. **Mulheres mecânicas, sim!** 2018. Disponível em: <<https://extra.globo.com/projetos-especiais/de-carona-com-elas/mulheres-mecanicas-sim-22066970.html>>. Acesso em: 25 out 2018.

JORNAL TRIBUNA DA BAHIA. **Salvador tem um carro por três habitantes.** 2018. Disponível em<<https://www.trbn.com.br/materia/16836/salvador-tem-um-carro-por-tres-habitantes>>. Acesso em: 17 de julho de 2020.

LUCINDA, C. R. PEREIRA, L. M. S. (2017). Efeitos da Política de Redução do IPI sobre o mercado de automóveis novos. **45° Encontro de Nacional de Economia - ANPEC.** junho.

MARQUES, M. Oficina X Mulheres. **Revista AutoEsporte.** Editora Globo. São Paulo – SP, 2011.

NASCIMENTO, J. **Mulheres nos Cursos de Engenharia da Ufba:** um estudo sobre o acesso e desempenho. Tese Apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós- Graduação em Educação – Escola de Educação. Universidade Federal da Bahia. Salvador – BA, 2017.

PÁDUA, E. M. M. **Metodologia da Pesquisa:** Abordagem Teórico-Prática. São Paulo: Papyrus Editora, 2016.

PEREIRA, F. R. **Comportamento feminino nas oficinas mecânicas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Marketing Empresarial) - Departamento de Administração Aplicada. Universidade Federal



do Paraná. Curitiba – PR, 2011.

PIMENTEL, I. C. **Um estudo sobre o nível de aceitação de uma oficina mecânica especializada em atender o público feminino no mercado de Natal/RN.** Escola de Ciências Administrativas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal-RN, 2011.

PRONI, T. T. R. W. Discriminação de gênero em grandes empresas do Brasil. **Revista Estudos Feministas**. Florianópolis, 26(1), 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ref/v26n1/1806-9584-ref-26-01-e41780.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2019.

REVISTA REPARAÇÃO AUTOMOTIVA - Editorial. Mulheres na reparação. Elas são muitas, mas o preconceito não diminui. **Revista Reparação Automotiva**. São Paulo – SP, 2018.

SABACK JÚNIOR, V. de O.; SANTANA, L. C. De. Mobilidade urbana em Salvador e sua relação com a qualidade de vida. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica RIC**, Salvador - Ba, v. 1, n. 0, p. 27-41 jun. 2014.

SABADINE, T. Agda Oliver. **A mecânica que mostra qual é o lugar da mulher na oficina.** Setembro de 2018. Disponível em: <[https://www.huffpostbrasil.com/2018/09/10/agda-oliver-a-mecanica-que-mostra-qual-e-o-lugar-da-mulher-na-oficina\\_a\\_23516891/](https://www.huffpostbrasil.com/2018/09/10/agda-oliver-a-mecanica-que-mostra-qual-e-o-lugar-da-mulher-na-oficina_a_23516891/)>. Acesso em: 15 de maio de 2019.

SAMPAIO, I. T. A. Práticas educativas parentais, gênero e ordem de nascimento dos filhos: Atualização. **Revista Brasileira Crescimento e Desenvolvimento Humano**. Curitiba - PR, v. 2, n 17, p 144-152, 2007.

SILVA, C. A desigualdade imposta pelos papéis de homem e mulher: Uma possibilidade de construção da igualdade de gênero. **Revista Direito em Foco**. ed. 5, São Paulo – SP, 2012.

SINDIPEÇAS. Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. **Relatório: Balança comercial.** Disponível em<<https://www.sindipecas.org.br>>. Acesso em: 17 de julho de 2020, 2018.

VALENTIM, I. V. L.; KRUEL A. J. A importância da confiança interpessoal para a consolidação do Programa de Saúde da Família. **Ciência & Saúde Coletiva**. v. 12, n. 3, p 777-788, 2007.

VARGO, S. L.; LUSCH, R. F. Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. **Journal of Marketing**. College Park-EUA, v. 68, p. 1-17, 2004.



# CAPÍTULO 18

## **IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE ANÁLISE DOS PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE NA FABRICAÇÃO DO PÃO FRANCÊS EM UMA PADARIA EM SÃO LUÍS-MA**

IMPLEMENTATION OF THE HACCP IN THE MANUFACTURE OF FRENCH  
BREAD IN A BAKERY IN SÃO LUÍS-MA

**Izabella Vaz Guimarães Laranjeira**

**Adryelle Anchieta Sousa**

**Ayla Kelly Soares Assunção**

**Eduardo Mendonça Pinheiro**

## Resumo

Este estudo traz como tema central a implantação do Sistema de Análise dos Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) na fabricação do pão francês na Padaria e Conveniência Saboreando. Trata-se de uma pesquisa de campo embasado por um estudo experimental, em uma empresa da panificação de São Luís, cuja escolha recaiu após reconhecer a necessidade de se implantar o APPCC na referida empresa visando trazer melhorias na empresa no que tange à fabricação de seu principal produto, o pão francês, onde visualizou-se o APPCC como uma ferramenta eficaz para garantir a qualidade desse produto. O estudo analisou a importância do APPCC na fabricação do pão francês e que tipo de contaminação foi identificado neste produto. A partir do cumprimento de etapas da metodologia do APPCC, a experiência identificou os potenciais perigos no processo de fabricação do produto e trouxe grandes benefícios para a qualidade do pão produzido, apresentando melhor resultado, já que a metodologia do APPCC oferece meios para controlar os pontos que oferecem perigos de contaminação do produto.

**Palavras-chave:** APPCC. Pão francês. Implantação. Alimento Seguro.

## Abstract

This study focuses on the implementation of the Hazard Analysis and Critical Control Point System (HACCP) in the manufacture of French bread in the Bakery and Tasting Convenience. This is a field research based on an experimental study in a baking company in São Luís, whose choice fell after recognizing the need to implement the HACCP in the aforementioned company in order to bring improvements in the company regarding the manufacture of its Main product, the French bread, where HACCP was visualized as an effective tool to guarantee the quality of this product. The study analyzed the importance of HACCP in the manufacture of French bread and what type of contamination was identified in this product. Based on the HACCP methodology, the experience identified the potential hazards in the product manufacturing process and brought great benefits to the quality of the bread produced, presenting a better result, since the HACCP methodology offers Means for controlling the points which present hazards of contamination of the product.

**Keywords:** HACCP. French bread. Implantation. Safe Food.



## 1. INTRODUÇÃO

Como um bom fornecedor de energia para as atividades diárias do homem, o pão é um produto de grande consumo mundial e está presente em todas as mesas dos brasileiros. Com a crescente demanda por alimentos, o setor de panificação não ficou de fora, e o setor sentiu grande impacto no que se refere a volume de produção. Entretanto, alguns procedimentos de segurança alimentar devem ser realizados e ajustados de acordo com cada tipo de alimento.

Apesar da grande heterogeneidade do pão francês, e do grande número de empresas que atuam no setor, estudos observam que este carece de muitas melhorias. Apesar de o Brasil investir em qualidade na fabricação de seus produtos, ainda existem problemas que podem contribuir para comprometer a qualidade e assim apresentar riscos que comprometem a vida humana (BRAMORSKI et al., 2004).

Atualmente, o pão de todo dia vem sendo alvo de exigências cada vez maiores dos consumidores, onde a qualidade é uma vantagem competitiva já que diferencia uma empresa de outra, sem falar que, os consumidores desse produto, exigem variedade e qualidade na hora de consumir o pão francês (FIGUEIREDO, COSTA NETO, 2001).

Faz-se então necessário que os profissionais do ramo de alimentação tenham conhecimento sobre o que se chama de “aplicação das chamadas Boas Práticas de Fabricação” (TANCREDI et al., 2006), que são fundamentais na formação de todo profissional que atua nessa área de mercado.

Os conhecimentos sobre os conceitos e requisitos relacionados às Boas Práticas de Alimentação (BPF), são reconhecidos internacionalmente como essenciais para ter-se um alimento seguro.

As Boas Práticas de Fabricação são consideradas um conjunto de procedimentos higiênico-sanitários estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), através da Portaria no 326, 30 de julho de 1997, para as indústrias de alimentos, independentemente do porte, e da Resolução RDC no 216, de 15 de setembro de 2004, para aquelas que incorporam serviços de alimentação. Vale lembrar que, os requisitos que fazem parte desse programa são para garantir que os alimentos sejam produzidos com segurança e qualidade na indústria de panificação (SVS/MS, 1997).

O Alimento seguro respalda-se nas legislações em segurança do alimento, as quais definem-se como “um conjunto de procedimentos, diretrizes e regulamentos elaborados pelas autoridades, direcionados para a proteção da saúde pública” (JOUVE, 1998 apud BOMFIN, 2010, p. 13). Nesse contexto a Hazard Analysis Critical Control Points (HACCP) foi uma ferramenta desenvolvida originalmente pelo





setor privado para garantir a segurança do produto e atualmente está sendo introduzida na legislação de vários países (JOUVE, 1998 apud BOMFIN, 2010). O Programa de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) conhecido internacionalmente como HACCP é um sistema que avalia, identifica, e controla perigos que são significativos para segurança do alimento.

O programa é uma ferramenta usada para estabelecer controles baseados na prevenção da contaminação alimentar, cujo foco é a identificação dos riscos potenciais referentes à má qualidade na produção dos alimentos manuseio e conservação com base nos mínimos cuidados de higiene e controle conforme uma das principais legislações que tratam da matéria prima dos alimentos industrializados, a RDC 216 da Agencia Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (SANTOS JUNIOR, 2008).

Dessa forma, o objetivo do trabalho é aplicar a metodologia do Sistema APPCC na fabricação do pão francês na Padaria e Conveniência Saboreando, no município de São Luís - MA.

## **2. METODOLOGIA**

O presente trabalho foi realizado na Padaria e Conveniência Saboreando, escolhida por haver a necessidade de implantar a metodologia do APPCC. Foram recolhidos dados na literatura vigente sobre o assunto, consultando livros, e publicações online como dissertações, artigos e monografias.

Logo após, foi realizado um levantamento dos Pontos críticos no processo de fabricação do pão francês, etapa por etapa, desde a matéria-prima até a venda ao consumidor final, realizando-se um diagnóstico da fabricação desse alimento e o levantamento de tudo que direta ou indiretamente afeta as etapas do processo. Em seguida, foi elaborado o Plano APPCC visando às melhorias, conforme os princípios dessa metodologia.

O trabalho teve como base reuniões com a diretora geral e proprietária sobre a implantação da metodologia, bem como, palestras com os funcionários da empresa sobre a metodologia do APPCC.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi constatado que o produto mais importante da Padaria e Conveniência Saboreando é o Pão francês, devido seu maior consumo. O produto é composto de Mistura para Pão Francês, Reforçador (pasta) e Fermento Biológico – Ingredientes secos; água e saco de papel (embalagem); e todos são de boa procedência.

No que diz respeito as análises biológicas da farinha de trigo apresentaram o risco de contaminação por *Bacillus cereus*, uma bactéria da família dos *Staphylococcus aureus*, maioria dos protozoários, considerando-se o grau de risco e severidade baixo.

Considerada uma bactéria gram positiva, aeróbia facultativa, formadora de esporos, e produtora de toxinas, a bactéria *Bacillus cereus* está presente em plantações como trigo e arroz. (SILVA et al., 2010b).

Observou-se que essa contaminação é oriunda do contato com o ambiente contaminado, geralmente devido às condições de transporte do local de venda, por onde a mistura passa até chegar à Saboreando. Durante o armazenamento e recebimento da matéria prima também foi evidenciada a presença de patogênicos esporulados, tipo Bolores, *S. aureus*, provavelmente oriundo das condições de acondicionamento e transporte com grau de severidade médio e risco baixo.

Além da *S. aureus* foi encontrado riscos para *Escherichia coli* (*E. coli*) no processo de pesagem, mistura/cilindragem, divisão, pré-fermentação, modelagem e fermentação com grau de severidade médio e baixo risco. Esses riscos podem ser oriundos de higiene insuficiente; contaminação de origem e manipulação incorreta. No processo de assamento e distribuição/venda, foram encontrados riscos *B. cereus* e Enterobactérias patogênicas com grau de severidade baixo e médio.

A contaminação dos alimentos por *B. cereus* constitui não somente uma importante causa de deterioração, mas também está associada com a ocorrência de cepas patogênicas produtoras de toxinas. (MENDES et al., 2004).

Para as análises dos perigos físicos no pão francês da Saboreando foi observado presença de insetos ou fragmentos de insetos, fragmentos metálicos. As possíveis justificativas são a contaminação durante o processamento do produto e transporte. Na fase de recebimento, armazenamento e pesagem, foram encontradas condições favoráveis para: sujidades, pedras; insetos ou fragmentos de insetos; fragmentos metálicos, tendo como causas possíveis a contaminação da origem ou transporte.

Enfatiza-se que os manipuladores de alimentos são agentes disseminadores de microorganismos aos equipamentos, utensílios e aos alimentos (GOES et al., 2001). Logo, faz-se a necessidade dos funcionários participarem de palestras e treinamentos, com o intuito de serem sensibilizados as BPF de alimentos e entre-



gar um produto de boa qualidade e seguro para os consumidores.

No tocante aos perigos químicos, a matéria prima (mistura para pão francês) e o recebimento da matéria-prima foram evidenciados riscos para a presença de micotoxinas. Elas são substâncias químicas tóxicas produzidas por fungos e podem ser oriundas da má condição de armazenamento do grão de trigo ainda in natura em seu local de origem. Uma vez ingeridos, possuem efeitos graves no organismo humano.

Na Saboreando os limites críticos foram analisados com base na Árvore Decisória onde foram encontrados 2 (dois) PCC's nas etapas de assamento (PCC 1 – Risco Biológico) e distribuição/venda (PCC 2 – Risco Biológico) do pão francês. Os agentes causadores deste risco em ambos os processos foi *B. cereus* e Enterobactérias patogênicas.

Após a identificação dos PCC's, por meio da aplicação da árvore decisória, definiu-se um sistema de monitoramento dos PCC's, na qual o procedimento de controle esta associado a cada PCC; e foi atribuído ao coordenador listar os perigos significativos para cada processo, os limites críticos de controle e as ações corretivas a serem tomadas para minimizarem os riscos de contaminação, bem como as modificações necessárias para eliminar ou possibilitar o controle de determinados perigos.

## 4. CONCLUSÃO

O APPCC é uma importante ferramenta para controle de qualidade e segurança dos produtos obtidos. Sua implantação é complexa, demorada e necessita da participação de todos os funcionários para que possa ser bem executada e chegar assim, ao êxito.

A Análise dos Pontos críticos do APPCC na Padaria e Conveniência Saboreando trouxe à tona aspectos importantes como a ameaça de riscos biológicos, físicos e químicos no que tange a matéria prima, e processo e fabricação do pão francês na Saboreando. Além disso, o APPCC melhorou muito a qualidade do carro chefe da empresa e auxiliou na tomada de decisões mais acertivas no controle de limites críticos no processo de fabricação do produto.



## Referências

BRAMORSKI, Adriana et al. Perfil higiênico sanitário de panificadoras e padarias do Município de Joinville. **Revista Higiene Alimentar**. São Paulo, v 18, n 123, ago./2004.

BOMFIM, G. F. **Programa de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) Aplicável em Alimentos de Origem Animal**. (Monografia de Especialização) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

FIGUEIREDO, V. F; COSTA NETO, P. L. O. Implantação do HACCP na Indústria de Alimentos. **Gestão & Produção**, vol. 8, n.1, p.100-111, abr/ 2001.

MENDES, A.R. et al. Contaminação ambiental por *Bacillus cereus* em unidade de alimentação e nutrição. **Rev. Nutr.**, v.17, n.2, jun. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rn/v17n2/21138.pdf>

TANCREDI, R. P.; SILVA, Y. da; MARIN, V. A. **Regulamentos técnicos sobre condições higiênico-sanitárias, manual de boas práticas e pops para indústrias/serviços de alimentação**. Rio de Janeiro: L.F. Livros de Veterinária, 2006.

SANTOS JUNIOR, CJ. **Manual de Segurança Alimentar**. Rio de Janeiro: Rubio, 2008.

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4.ed. São Paulo: Varela, 2010b. 625p.

SVS/MS – Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. **Portaria SVS/MS Nº 326, de 30 de julho de 1997**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/388704/Portaria%2BSVS-MS%2BN.%2B326%2Bde%2B30%2Bde%2BJulho%2Bde%2B1997.pdf/87a1ab03-0650-4e67-9f-31-59d8be3de167>



# AUTORES<sup>1</sup>

---

1 Currículo vide Lattes / Linkendin

## **André de Lima**

Atualmente Professor Titular na Escola de Engenharia de Piracicaba - EEP, nos cursos de Administração, Engenharia Mecânica, Engenharia Mecatrônica e Engenharia de Produção e neste último ocupa desde 2014 o cargo de Coordenador do Curso, Coordenador da Equipe EEP Baja SAE/Brasil desde de 2014; Professor Titular da FATEC Piracicaba e Fatec Americana das disciplinas de Logística e Tecnologia de Transportes; Membro do corpo de avaliadores do INEP-MEC e do CEE. Formação de Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade Metodista de Piracicaba (1999), com Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção pelo PPGEU-UNIMEP (2002 e 2008); Experiência docente desde 2001 em Gestão da Produção, Lean Manufacturing, PCP, 6 Sigma, Gestão de Materiais, Pesquisa Operacional e Logística. Experiência acadêmica tecnológica na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Usinagem, atuando principalmente nos seguintes temas: Integridade Superficial, Camada Afetada pelo Calor (CAC), Análise de Imagens, Dry Cutting e HSM.

## **Adriano Reis da Silva Júnior**

Graduação em andamento em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal de Uberlândia, UFU, Brasil.

## **Adriano Sitônio Rumão**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2004), graduação em Física (Licenciatura) pela Universidade Federal da Paraíba (2006), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2008) e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2013). Atuou como técnico em mecânica da Universidade Federal da Paraíba por 9 anos. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Mecânica de Máquinas Pesadas, de Motos e Automóveis, atuando principalmente nos seguintes temas: Veículos Automotores, Motores de Combustão Interna e Termoflúidos. Atualmente é professor da UFPB, lotado no Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) do Centro de Tecnologia.

## **Adryelle Anchieta Sousa**

Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (2017). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em patologia de pós-colheita, atuando principalmente nos seguintes temas: manga, antracnose, pós-colheita e goiaba e bacteriologia vegetal. Atualmente cursa doutorado na Universidade Federal de Viçosa, com ênfase em Bacteriologia Molecular.



## **Alessandro Onofre Rigão**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2008), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2012). Foi professor substituto na Universidade Federal de Santa Maria (2011). Atuou como engenheiro civil na Prefeitura Municipal de São Pedro do Sul-RS e docente da Universidade da Região da Campanha - URCAMP, ministrando aulas no curso de Engenharia Civil daquela instituição. Atualmente é professor Assistente da Universidade Federal de Santa Maria, campus Cachoeira do Sul.

## **Alexandre Carvalho Silva**

É Professor efetivo do Instituto Federal Goiano - Morrinhos, Doutor e Mestre em Ciências, com ênfase em Computação Gráfica/Realidade Virtual, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, é integrante do grupo de pesquisa em Realidade Virtual e Aumentada (GRVA) da UFU. Pós-Graduado (Lato Sensu) em Desenvolvimento de Sistemas Web e Dispositivos Móveis pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro. Possui graduação em Sistemas de Informação pelo Instituto Luterano de Ensino Superior de Itumbiara - ILES/ULBRA. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Computação Gráfica, Realidade Virtual e Aumentada.

## **Angel Rodrigues Ferreira**

Graduando em Ciência da Computação, IF Goiano – Campos Morrinhos, Morrinhos – GO.

## **Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira**

Graduou-se em Engenharia de Computação pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Obteve os títulos de Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) na área de acionamentos de máquinas elétricas. Leciona na faculdade de engenharia elétrica (FEELT) da UFU, como professor efetivo, onde também realiza pesquisa para o desenvolvimento das estratégias de controle e acionamento de máquinas elétricas.

## **Aurasil Ferreira Garcia Junior**

Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. Professor EBTT do IFPR campus Paranavaí.



## **Ayla Kelly Soares Assunção**

Engenheira Agrônoma formada pela Universidade Estadual do Maranhão - UEMA (2017). Atuei como estagiária voluntária no Laboratório de Fitopatologia da Universidade Estadual do Maranhão (132 horas em 2014). Bolsista PIBIC-FAPEMA na área de fisiologia vegetal com o título do projeto Parâmetros ecofisiológicos em plantas de Citrus spp. sob ataque de mosca negra dos citros (2014-2015). Bolsista PIBIC-FAPEMA na área de fisiologia vegetal com o título do projeto Aplicação de partículas inertes em folhas de bananeira cv. Caipira e seus efeitos nas trocas gasosas (2015-2016). Participante do grupo de pesquisa Fisiologia Vegetal e Fisiologia Pós-colheita, da Universidade Estadual do Maranhão. Participante do projeto de pesquisa sobre a Caracterização Ecofisiológica do Abacaxi ?Turiaçu? cultivado em regiões distintas do estado do Maranhão. Bolsista de Apoio Técnico Institucional - BATI II / UEMA na área de cultura de tecidos, com o título de trabalho Bioprospecção, propagação e conservação de frutíferas nativas da baixada maranhense (2017-2018). Facilitadora do minicurso de Jardinagem - Hortaliças pela Instituição ISEC para o Programa Minha Casa, Minha Vida do governo Federal. Assistente Técnico Rural da Associação Nossa Senhora de Loreto.

## **Aylton José Alves**

Possui formação técnica em Eletrotécnica pela Escola Técnica Federal de Goiás (ETFG-1983), graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Goiás (1990), mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal de Goiás (2001) e Doutorado pela Universidade Federal de Uberlândia (2011). Atualmente é Professor Titular da Área Tecnologia do Instituto Federal de Goiás (IFG), Onde atua, como professor permanente no programa de Mestrado interdisciplinar em Tecnologia de Processos Sustentáveis (MTPS) orientando vários trabalhos nesse nível de formação, é professor colaborador do programa de pós graduação em engenharia Elétrica da UFG (PPGEEC). É um dos líderes do NEXT ? Núcleo de Estudos experimentais e tecnológicos, cadastrado no CNPQ. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: Máquinas Elétricas, Sistemas Elétricos de Potência, Automação Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais, modelagens de máquinas elétricas, modelagem de sistemas ambientais, acionamentos elétricos, orientação de trabalhos de pesquisas em fontes alternativas de energia: solar, termoelétrica e biogás.

## **Benilton Luis Nascimento de Oliveira**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2008), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2009) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2012). Atualmente é professor da Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Mecânica, atuando principalmente na otolização de motores Diesel.





## **Breno Eduardo Silva Mendes**

Mestrado Profissional em Tecnologia de Processos Sustentáveis (em andamento) no Instituto Federal de Goiás (IFG), com pesquisa na área de Eficiência Energética e Energias Renováveis (Energia Solar Fotovoltaica). Possui graduação pela Universidade Federal de Goiás (2010). Atualmente é Engenheiro Eletricista (Autônomo). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com Projetos Elétricos.

## **Bruno Leonardo Campêlo de Queiroga**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2007), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2009) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2012). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal da Paraíba, onde leciona, no departamento de Engenharia Mecânica, as disciplinas Transferência de Calor e Massa e Termodinâmica II. Desenvolve pesquisas nas áreas de otimização de motores diesel e de gaseificação de biomassa.

## **Camilla de Sousa Chaves**

Professora do curso técnico em Eletrônica e curso superior em Engenharia Elétrica do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Campus Patrocínio. Doutora na Área de Qualidade e Racionalização da Energia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, área de Eletricidade Rural e Fontes Alternativas de Energia. Atuou como pesquisadora para desenvolvimento de motores elétricos junto à empresa Tecumseh do Brasil, sua formação é principalmente na área de Sistemas de Energia Elétrica.

## **Camilo de Lellis Barreto Junior**

Doutorando pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) com ênfase em Realidade Virtual aplicada em Sistemas Críticos de energia elétrica, onde recebeu o título de Mestre em Ciências em 2016. Bacharel em Engenharia da Computação pela Universidade de Uberaba (UNIUBE), em 2014. Integrante do Grupo de Pesquisa em Realidade Virtual e Aumentada (GRVA - UFU). Tem experiência nas áreas de Engenharia da Computação e Computação Gráfica, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento de Software, Softwares Embarcados, Sistemas Microcontrolados, Ferramentas CAD (Inventor, AutoCAD, SolidWorks), Modelagem 3D, Game Design, Ambientes Virtuais Realísticos, Realidade Virtual e Aumentada. Foi professor substituto no Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) no período de 2017 à 2018 (2 anos), atuando nos cursos de Licenciatura em Computação, Tecnologia em Sistemas para Internet, Técnico em Programação de Jogos Digitais e Redes de Computadores. Lecionando as disciplinas Inteligência Artificial, Ambientes de Desenvolvimento de Computação Gráfica, Informática Aplicada à Gestão, Projeto de Redes de Compu-



tadores, Segurança em Sistemas para Internet, Redes Sem Fio, Redes de Computadores, Projeto Interdisciplinar, Fundamentos em TIC, Sistemas Operacionais e Sistemas Distribuídos.

### **Carlos Alberto Chuba Machado**

Professor na Universidade Federal da Grande Dourados - Faculdade de Engenharia - FAEN - Curso de Engenharia de Produção - Doutorado pela Rede PRO-CENTRO-OESTE - Área de concentração Desenvolvimento de Produtos, Processos e Serviços Biotecnológicos - (Construção e avaliação de um protótipo para despolpar frutos de Acrocomia), 2018. - Mestrado na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais (Distribuição espacial de vinhaça proveniente de processo industrial, em áreas de cana-de-açúcar), 2012); - Pós Graduação MBA em Gestão do agronegócio: agroindústria, setor sucroalcooleiro (2008 - 2009); - Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal da Grande Dourados-MS (2006 - 2011); - Graduado em Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade Federal de São Carlos (1997 - 1999), com ênfase em Matemática e Física.

### **Claudemir Gomes de Santana**

Possui graduação em Química Bacharelado Com Atribuição Tecnológica pela Universidade Federal do Maranhão (1992), mestrado em Química (Química Analítica) pela Universidade de São Paulo (2002) e doutorado em Química (Química Analítica) pela Universidade de São Paulo (2004). Atualmente é professor - Unidade de Ensino Superior Dom Bosco. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Análise de Traços e Química Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: água, resíduos, gestão ambiental, corrosão e efluentes.

### **Danielle Cristina dos Santos Lisboa**

Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, atualmente participo de projetos de pesquisa na área de materiais e saneamento, com habilidades em ferramentas computacionais como Autocad e Excel.

### **David Lima Azevedo**

Graduado em Física pela Universidade Federal do Maranhão (1990), mestrado em Física pelo IFGW-UNICAMP (1997) e doutorado em Física pelo IFGW-UNICAMP (2001). Fez estágios de pós-doutorado na Universidade Federal do Ceará (UFC, 2004/05) e na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 2010/11). Atualmente é professor da Universidade de Brasília- UnB e Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Física (PPGF-UnB). Atua principalmente na área de Física, com ênfase em simulações em dinâmica molecular, cálculos ab-initio, processos de Colisão e Interações de Átomos e Moléculas, atuando principalmente nos



seguintes temas: estrutura eletrônica de clusters, polímeros, nanotubos.

### **Dayane Jamax Oliveira Silva**

Conclusão do curso de Engenharia de Produção na Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP) em 2020. Atuação na CNH Industrial, na área de PCO (otimização do custo do produto) através da análise de propostas técnicas de clientes externos e internos. Posteriormente, atuação na Caterpillar Brasil Ltda. na área de Manutenção Produtiva Total (TPM), especificamente no pilar de Melhoria Específica (ME) sendo responsável pela análise do indicador OEE em 65 processos (solda, usinagem, pintura, paletização) e participação constante em Kaizens relacionados a balanceamento de linha e melhoria em qualidade e eficiência. Publicação e apresentação de dois artigos no XXVII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção da UNESP de Bauru que englobam os seguintes temas: Manutenção Produtiva Total (TPM), Manutenção Autônoma, MTBF, MTTR e Economia Circular.

### **Diego Luiz de Oliveira Batista**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí, Paranavaí-Paraná.

### **Édipo Sabião Sanches**

Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD em 2019. Mestrando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, desenvolvendo pesquisas no ramo da Geotermia (2020-2021).

### **Edvan Moreira**

Graduado em Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA, 2005), Mestre em Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA, 2008), e Doutor em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN, 2011). Fez estágio de Pós-Doutorado no Centro de Biociências (Departamento de Biofísica e Farmacologia) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Biofísica-UFRN, 2011-2012). Atualmente é Professor Adjunto e Chefe do Departamento de Física - DFIS/CECEN/UEMA; Docente Permanente junto ao Polo 63 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF/SBF do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA/CAMPUS MONTE CASTELO), atuando principalmente na Linha de Pesquisa em Processos de Ensino e Aprendizagem e TICs no Ensino de Física, e ainda, Coordenador Local(UEMA) do Mestrado em Engenharia Aeroespacial (PPgEA/RNA-UEMA/UFMA/UFPE/UFRN) - Linha de Pesquisa: Materiais e Tecnologias Aeroespaciais. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física Atômica e Molecular e Física da Matéria Condensada, atuando principalmente nos seguintes temas: ab initio, DFT, propriedades estruturais, mecânicas, propriedades optoeletrônicas, termodinâmicas e espectros vibracionais, IR e Raman. Coordenador do Grupo de Pesquisa: Grupo de Modelagem Computacional (GMC-UEMA) e membro



do Grupo de Dinâmica e Ab Initio (GDAI-UnB).

## **Elise Saraiva**

Possui graduação (2000), mestrado (2004) e doutorado (2011) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem de transformadores, acoplamento magnético, transformadores trifásicos, elementos finitos, ATP (EMTP). Pesquisadora em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) com a CHESF, ELETROPAULO, EDP BANDEIRANTE, ELEKTRO, TOSHIBA. Atualmente é professora adjunto no curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações pela Universidade Federal de Uberlândia - Campus Patos de Minas.

## **Emerson Freitas Jaguaribe**

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (1970), graduação em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal da Paraíba (1970), mestrado em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1972), doutorado em Doctorat Détat pela Université Paul Cézanne Aix Marseille III (1978), pós-doutorado pela University of Michigan (1982), pós-doutorado pela Yokohama National University (1986) e pós-doutorado pela Ecole Des Mines de Nancy (1991). Atualmente é professor titular da Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Fenômenos de Transporte. Atuando principalmente nos seguintes temas: Pached Bed, Porous Media.

## **Fernanda Lamede Ferreira de Jesus**

Possui graduação em engenharia agrícola e ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais -UFMG (2013), graduação em letras inglês pelo Instituto Superior de Educação Ibituruna (2008), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2016) e doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas pela Universidade de São Paulo - ESALQ/USP (2019). Atualmente é professora efetiva na Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Durante o mestrado, trabalhou na área de concentração: Recursos Hídricos e Ambientais, Linha de pesquisa: Manejo e aproveitamento de resíduos agroindustriais, já no doutorado, trabalhou na área de Irrigação e Drenagem. Atua prioritariamente com os seguintes tópicos: Irrigação pressurizada, hidráulica aplicada, Fertirrigação, Manejo, tratamento e disposição de águas residuárias, sistemas alagados construídos (wetlands), Biodigestão anaeróbia e Controle de poluição.



## **Fernando Marques de Oliveira Moucherek**

Possui Graduação em Física pela Universidade Federal do Maranhão, Mestrado em Física pela Universidade Federal do Maranhão. Atualmente, sou professor assistente da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Tive uma passagem por estudos relacionados com a Física Teórica, com ênfase em Teoria Geral de Partículas e Campos, atuando principalmente nos seguintes temas: Violação da Simetria de Lorentz, Eletrodinâmica Planar e Equação de Dirac. Atualmente, tenho trabalho em cosmologia e astrofísica, estando particularmente interessado em testes de consistência de precisão do paradigma cosmológico padrão e em pesquisas astrofísicas por nova física. A evidência observacional para a aceleração do universo demonstra que nossas teorias atuais de física de partículas e gravidade estão incompletas. O modelo LambdaCDM é claramente uma aproximação simples e conveniente de uma teoria mais fundamental, dessa forma usamos o universo inicial e recente como um laboratório onde podemos pesquisar, restringir, identificar e, por fim, caracterizar essa nova física.

## **Ghunter Paulo Viajante**

É Pós-Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU-2016), Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU-2013), Mestre em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Federal de Goiás (UFG-2009), Graduado em Engenharia de Computação pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2006). Técnico em Eletrônica pela antiga Escola Técnica Federal de Goiás, hoje IFG (1995). Trabalha como professor efetivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás desde 2008. Atuou como Gerente de Pesquisa, Pós-Graduação e Extensão do IFG Câmpus Itumbiara no período de 2013 à 2015. Tem experiência nas áreas de Automação Industrial, Controle de Máquinas Elétricas e Fontes Alternativas de Energia.

## **Gilverton Oliveira da Silva**

Concluiu curso Técnico em Eletrotécnica pelo Colégio Stella Maris de Andradina (2007), Técnico em Mecânica na Escola Técnica ETEC de Ilha Solteira (2009) e graduado em Engenharia Elétrica - Universidade UniSALESIANO de Araçatuba (2015). Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados - FCA, Dourados-MS. Atualmente é Técnico em Eletromecânica da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Divisão de Manutenção Patrimonial (DIMAP), atuando na Sessão de Manutenção de Equipamentos (SME). Sua experiência profissional inclui manutenção elétrica e operação de sistemas de cogeração, com geradores a vapor, do setor sucroalcooleiro na Viralcool (2010-2011) e planejamento e controle de manutenção em indústria alimentícia na Bunge (2014-2019) atuando principalmente nas seguintes funções: controle de custos de manutenção e utilidades, elaboração e gestão de contratos de mão de obra terceirizada, especificação e cadastro de equipamentos e materiais, simulações matemáticas de indicadores KPIs de manutenção, confiabilidade de manutenção.



## **Gustavo de Oliveira Machado**

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2020). Mestrando em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG. Atuou ao longo da graduação como monitor na Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT - UFU) por quatro semestres consecutivos e participou de dois projetos de iniciação científica (PIBIC) no Laboratório de Acionamentos Elétricos (LAcE) com bolsa do CNPq. Atualmente é mestrando em Engenharia Elétrica e possui interesse nas seguintes áreas de pesquisa: máquinas elétricas, máquinas a relutância variável, elementos finitos e acionamentos elétricos.

## **Hermes Dias Godinho**

Possui graduação em Engenharia Industrial Mecânica pela Universidade Federal de São João Del-Rei (2005). Instituto de Ensino Superior Albert Einstein (IESAE); MBA em Engenharia de Manutenção e Gestão de Operações Industriais pela Faculdades Integradas Pitágoras, Brasil (2011).

## **Ítalo Sabião Sanches**

Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD em 2019. Mestrando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, no período de 2020 a 2021, com estudos sendo desenvolvido no Ramo da Energia Geotérmica Superficial.

## **Izabella Vaz Guimarães Laranjeira**

Graduada em Engenharia de Produção - UEMA \ Técnica em Metalurgia e Materiais - IFMA \ Inglês Avançado - Yes \ Projeto de Iniciação Científica: 1 - Processamento e Caracterização de Cerâmicas Porosas Obtidas pela Incorporação de Material Polimérico em Argilas \ 2 - Desenvolvimento de Cerâmicas Porosas a base de Argilas Esmectitas Incorporadas ao Material Polimérico Visando Aplicações na Indústria do Petróleo.

## **João Pedro Rodrigues da Silva**

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Grande Dourados (2018) e atualmente mestrando em Engenharia Agrícola, pela Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados.



## Jorge Nei Brito

Consultor Sênior. Pós-Doutor em Engenharia Mecânica, Área de Monitoramento de Máquinas, pela Universidade Estadual de Campinas (2011). Doutor em Engenharia Mecânica, Área de Projetos, pela Universidade Estadual de Campinas (2002). Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Projetos, pela Universidade Federal de Uberlândia (1994). Engenheiro Mecânico pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (1985). Professor TITULAR do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ). Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica da UFSJ. Avaliador do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (Sinaes). Professor e Orientador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) em Associação Ampla com o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Professor do Curso Engenharia de Segurança do Trabalho NEADUFSJ. Professor Orientador do Curso Práticas de Letramento e Alfabetização NEADUFSJ. Especialista em detecção de falhas em máquinas rotativas através de Técnicas Preditivas (análise de vibração, análise de corrente, análise de fluxo magnético, análise de tensão/corrente parasita no eixo do motor, análise termográfica, análise de graxa e análise de óleo) e Inteligência Artificial (redes neurais artificiais, sistemas especialistas, lógica nebulosa e sistemas híbridos). Um dos autores da patente PI0303047-4 (Bobina de fluxo magnético para o acompanhamento preditivo de motores de indução trifásicos). Primeiro Vice-Presidente da COPIMERA (Confederación Panamericana de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Industrial y Ramas Afines). Membro do Conselho Consultivo da FENEMI (Federação Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial). Vice-Presidente Executivo da APEA-DELREI (Associação de Profissionais de Engenharia e Agronomia da Jurisprudência do CREA-MG de São João del-Rei - MG).

## José Carlos Martins Junior

Possui graduação em Engenharia Mecânica Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1987). MBA em Gestão Empresarial, Lato Sensu, pela Fundação Getúlio Vargas (2006). Mestrado em Engenharia de Produção, Stricto Sensu, Pela Universidade de São Paulo- São Carlos (2009). Atualmente leciona em cursos de Engenharia de Produção. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica e Administração de Produção (Administração por 17 anos na empresa Delphi Automotive Systems do Brasil Ltda). Antes trabalhou na EMBRAER por 8 anos como engenheiro de Processo de Fabricação. Três missões no Exterior a trabalho, duas para os Estados Unidos da América (1999 e 2004) e uma ao México (1999).

## José Luis Domingos

Possui mestrado (1998) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2003). Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG desde 1992. Atua na área de Eficiência Energética e Energias de Renováveis (Energia Solar Fotovoltaica) e tem formação e interesse



na área de acionamentos de máquinas a relutância variável. Integra o quadro de professores efetivos do Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG e é membro fundador do Núcleo de Estudos Experimentais e Tecnológicos do IFG (NExT/IFG). Atuou em gestão como Coordenador do Curso Técnico em Telecomunicações, Coordenador de Pesquisa e Pós-Graduação, Gerente de Extensão e Gerente de Pesquisa, Pós-Graduação e Extensão do Campus Goiânia do IFG.

## **José Roberto Camacho**

Concluiu o doutorado em Engenharia Elétrica University of Canterbury Nova Zelândia em 1993. Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Uberlândia. Publicou 12 artigos em periódicos especializados e 63 trabalhos em anais de eventos. Possui 2 capítulos de livros publicados. Possui 1 produto tecnológico registrado, 3 softwares sem registro de patente, 1 processo ou técnica registrado e outros 4 itens de produção técnica. Publicou 10 artigos em jornais. Participou de 21 eventos no exterior e 11 no Brasil. Orientou 9 trabalhos de iniciação científica, 21 trabalhos de conclusão de curso, 23 dissertações de mestrado e 11 teses de doutorado na área de Engenharia Elétrica. No momento orienta 3 doutorandos, 1 mestrando e 1 iniciação científica. Recebeu 3 prêmios e/ou homenagem. Atua na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Máquinas Elétricas, Dispositivos de Potência, Geração Distribuída, Matemática para Engenharia, Elementos Finitos, Fontes Alternativas de Energia e Energia para o meio rural. Em suas atividades profissionais interagiu com 50 colaboradores em co-autorias de trabalhos científicos. Em seu currículo Lattes os termos mais frequentes na contextualização da produção científica, tecnológica e artístico-cultural são: motor de indução, motor linear, monofásico, bifásico, motor assíncrono, gerador de indução, assimetria magnética, chaveamento de capacitores, conexão unitária e em grupo de geradores síncronos e controle de velocidade.

## **Laira Maissa Almeida Silva**

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Bahia (2009) e pós-graduação em Auditoria e Perícia ambiental pela Universidade Gama Filho, a qual permitiu ter experiências profissionais na área de Engenharia Aquícola e Educação básica. Assim, pôde trabalhar no ramo da produção aquícola (piscicultura, ostreicultura), como técnica e coordenadora de projetos socioprodutivos e trabalhar na área de conservação e licenciamento ambiental como analista de meio ambiente. Atua como professora, tendo iniciado seu trabalho docente em cursinhos pré vestibulares públicos e hoje leciona na educação básica, elabora projetos, participando também na execução e coordenação deles, junto ao segmento de Jovens e Adultos. Também possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Salvador - UNIFACS, atua como diretora de projetos do Engenheiros Sem Fronteiras - Núcleo Salvador, articulando parcerias institucionais, elaborando projetos educativos, de captação de recursos financeiros e de engenharia. Trabalhou lecionando disciplinas de gestão e manutenção automotiva em cursos profissionalizan-





tes e ministra cursos livres de Mecânica Automotiva para Mulheres que consideram aspectos de gênero visando nivelar os conhecimentos do público feminino em relação ao universo automotivo, junto a sua marca Maria das Graxas.

### **Lázaro Luiz Duarte Neto**

Tem experiência na área de informática, possui curso técnico em química pelo Instituto Federal de Goiás e está cursando Engenharia Biomédica na Universidade Federal de Uberlândia.

### **Letícia Marques Pinho Tiago**

Graduanda do curso de Engenharia Biomédica na Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - Campus Santa Mônica. Bolsista no Programa de Educação Tutorial Engenharia Biomédica (PET-Biomédica).

### **Lucas Costa Brito**

Consultor. Doutorando pela UFU (Universidade Federal de Uberlândia) com período sanduíche (12/2019 - 11/2020) na UniPD (Università degli Studi di Padova), Padova, Itália. Mestre pela UFU (Universidade Federal de Uberlândia). Engenheiro Mecânico pela UFSJ (Universidade Federal de São João del-Rei) com período sanduíche (12/2013 - 04/2015) na Lakehead University, Thunder Bay, Canadá - Programa CsF (Ciência Sem Fronteira). Green Belt em Six Sigma. Especialista em detecção de falhas em equipamentos industriais através de Técnicas Preditivas (Análise de Vibração, Análise Termográfica, Análise de Óleo, Análise de Graxa, ODS - Operational Deflection Shape, Balanceamento Dinâmico e Alinhamento a Laser) e de Inteligência Artificial (Redes Neurais Artificiais, Sistemas Especialistas e Sistemas Híbridos). Diretor Técnico Adjunto da FENEMI (Federação Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial). Membro do LAV (Laboratório de Acústica e Vibração) da UFU sob Coordenação do Prof. D.Sc. Marcus Antonio Viana Duarte. Colaborador do Gep\_LASID (Grupo de Estudos e Pesquisas do Laboratório de Sistemas Dinâmicos) da UFSJ sob Coordenação do Prof. D.Sc. Jorge Nei Brito. Autor de artigos técnicos e científicos apresentados e publicados em congressos técnico-científicos nacionais e internacionais. Palestrante convidado em congressos regionais e nacionais.

### **Lucas Luiz Lunarti**

Possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais em 2018 e 2020 respectivamente. Tem experiência na área de modelagem matemática e otimização aplicada em Sistemas Elétricos de Potência. Atualmente, é estudante de doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atualmente possui interesse nos seguintes temas: Sistemas Inteligentes, Otimização em engenharia, Pesquisa Operacional, Apoio a Tomada de Decisão e Inteligência Computacional.



## **Lucas Nadler Rocha**

Formado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, tenho experiência com Excel, AutoCad e SketchUp. Noções de Programação e ferramentas computacionais.

## **Luciano Coutinho Gomes**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1995) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2008). Atualmente é professor Associado II da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, tendo sido Coordenador de seu Curso de Graduação em Engenharia Elétrica de 2013 a 2017. De 2015 a 2018, foi o Coordenador Geral de um Projeto Brafitec (intercâmbio entre alunos franceses e brasileiros). Tem experiência na área de Acionamentos Elétricos, Processamento Digital de Sinais, Máquinas e Acionamentos Elétricos. Atua, principalmente, no estudo de técnicas de acionamento digital, e no desenvolvimento e projeto de máquinas elétricas.

## **Luis Almeida Carvalho**

Possui graduação em Física pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA, 2020). Durante a graduação, foi bolsista pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, entre os anos de 2017 à 2019, o que lhe proporcionou duas premiações de Iniciação Científica na modalidade ações afirmativas, ademais, tem experiência na área de Física, com ênfase em Física Atômica e Molecular.

## **Mamadou Cellou Abdoulaye Diallo**

Possui graduação em Engenharia Rural pela Institut Supérieur Agronomique et Veterinaire de Faranah (2011). Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados - FCA, Dourados-MS.

## **Manoel Guterlam Araujo dos Reis Junior**

Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Maranhão, UFMA, Brasil.

## **Marcelo Lynce Ribeiro Chaves**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1975), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal de Uberlândia (1978), mestrado em Mestrado Em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1987) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1995). Atualmente é professor titular



da Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência. Atuando principalmente nos seguintes temas: Eletrificação Rural, Divisores de Tensão Capacitivos, Cabos Pára-raios Energizados.

### **Marcos José de Moraes Filho**

Atualmente é doutorando em Engenharia Elétrica e instrutor de formação profissional no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), unidade Dr. Celso Charuri em Uberlândia (MG). Concluiu curso Técnico em Eletrônica na área de Indústria pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2010). Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Automação e Controle pela Universidade Federal de Uberlândia (2014), e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2017).

### **Marina Abadia Ramos**

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Uberlândia (1985) e mestrado pelo Instituto de Ciências Biomédicas (1997). Atualmente é docente da Universidade Federal de Uberlândia. É dinâmica e envolvida no setor administrativo, tendo sido Chefe de Departamento, Coordenadora da Área de Ciências Fisiológicas, Coordenadora dos laboratórios de Biofísica e Virtual, Coordenadora da Disciplina de Biofísica além de participar de comissões. Com experiência na área de Biofísica cujo o ênfase envolve Ciências da Saúde e Biológicas. Propôs projetos de extensão nos setores da bioenergética, meio ambiente, biofísica de análises orgânicas, instrumentação em biofísica, biofísica da radiação e eletroencefalograma aplicado aos processos cognitivos em coma. Desenvolveu pesquisas nos temas: melípona - micro-organismos - genética, técnicas em biofísica, proteína - cv napier - aguapé e melitoma segmentaria - abelhas brasileiras. Atualmente, pesquisa os assuntos radiações, eletroencefalograma (EEG) e ativação cognitiva.

### **Matheus Macedo Barroso**

Bacharel em Ciência e Tecnologia e Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA, cursando o MBA em Engenharia Portuária pelo Instituto de Pós-Graduação e Graduação - IPOG. Atualmente realiza pesquisas voltadas para áreas de Patologias da Construção Civil e Gestão Ambiental na cidade de São Luís. Desenvolve a função de membro efetivo do grupo de ensino EPEQ - Escola Piloto de Engenharia Química, membro do Centro Acadêmico de Engenharia Civil da UFMA (Diretoria Acadêmica) e estagiário da Empresa Maranhense de Administração Portuária - EMAP atuando na Gerência de Manutenção.



## Maury Meirelles Gouvêa Júnior

Doutor em Ciência da Computação (2009) com ênfase em Inteligência Artificial, pelo Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, Bacharel (1995) e Mestre (1998) em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia Elétrica, pela PUC Minas. De 2005 a 2006, foi consultor de desenvolvimento do projeto de monitoramento e controle inteligente de semáforos (Moncis), implantado no Recife, PE. Em 2007, foi pesquisador visitante do Industrial Control Centre da University of Strathclyde, em Glasgow, Escócia. Atualmente, é professor Adjunto IV da PUC Minas, onde atua como professor e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, coordena o curso de Engenharia Elétrica, campus Contagem, e participa de projetos de pesquisa e divulgação científica. Desde 2009, participa de projetos e atividades de divulgação científica. Dentre os temas de pesquisa destacam-se aprendizagem de máquina, modelagem de sistemas físicos, otimização e dinâmica de sistemas elétricos de potência. Tem como áreas de interesse: sistemas dinâmicos, sistemas estocásticos, controle adaptativo, algoritmos evolucionários, redes neurais e modelagem e simulação de sistemas complexos.

## Milton Vieira Junior

Bolsista DT-II do CNPQ desde Março de 2016. Possui Graduação em Engenharia de Produção Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos USP (1987), Mestrado (1992) e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Escola de Engenharia de São Carlos USP (1996). Consultor da Geotecno Soluções em Automação desde 2007. Foi professor titular da Universidade Metodista de Piracicaba (entre março de 1990 e março de 2008), onde atuou na graduação e na pós-graduação orientando mestrado e doutorado. Foi professor e pesquisador do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho (UNINOVE) entre 2008 e 2018. Presidente da Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO nas gestões 2014/2015 e 2016/2017. Atua nos seguintes temas: otimização de processos, sistemas de manufatura, automação da manufatura, competitividade e produtividade e ensino de engenharia. Foi membro do Comitê Assessor do INEP para o ENADE das Engenharias - Grupo VI (Engenharia de Produção) nos anos de 2005, 2008 e 2011. É também avaliador de cursos de Engenharia de Produção. Conselheiro do CREA-SP entre 2003 e 2008 e entre 2012 e 2017, sendo eleito Coordenador da Câmara Especializada em Engenharia Mecânica e Metalúrgica nos anos de 2013 e 2014. Fez parte da Comissão de Especialistas da Área Industrial do CONFEA para a elaboração da Matriz do Conhecimento da Resolução 1010/05 para a Engenharia de Produção.



## **Natan Sian das Neves**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba da Serra (2017) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (2019). Doutorando, COPPE/UFRJ - Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Modelos Analíticos e de Simulação. Atuando principalmente nos seguintes temas: Elementos Finitos, Modelo Computacional, Análise termoestrutural, Efeitos Térmicos, Incêndio.

## **Paula Galvão Caldas Moreno**

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Salvador, UNIFACS, Brasil.

## **Pedro Paulo Rezende Silva Domingos**

Possui graduação em Engenharia de Produção pela Faculdade Santa Rita, Instituto de Ensino Superior Albert Einstein (IESAE); MBA em Engenharia de Manutenção e Gestão de Operações Industriais.

## **Rachid Santos Maluf**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA); Pós Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Estácio de Sá; Pós Graduado em Sistema de Gestão Integrada pelo SENAC SP; Mestrado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Atualmente é professor da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), auditor de sistema de gestão da LHS Certificadora, auditor, consultor e membro da banca de atualização do Programa de Certificação de Empresas (PROCEM) na FIEMA. Atuante na área de Engenharia Civil e Produção, com ênfase em Auditoria, Treinamentos, Projetos, Obras Civis, Gestão da Qualidade e Saúde e Segurança Ocupacional.

## **Raimundo Rodrigues Gomes Filho**

Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Ceará (1986), mestrado em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal do Ceará (1992) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2000). Ocupou o cargo de diretor da Faculdade de Tecnologia Centec - FATEC de Limoeiro do Norte, pertencente à estrutura organizacional do Instituto Centec, no período de 02/2007 a 30/03/2008. Foi coordenador de cursos de graduação e especialização em Tecnologia da irrigação na Faculdade de Tecnologia Centec, em Sobral, Ceará. Tem experiência em ensino superior e coordenação de projetos de pesquisa. Aprovou e coordenou os seguintes projetos: Curso de capacitação em gestão dos recursos Hídricos (Edital 048/2008 do CNPq), Curso de capacitação em hidrometria e gestão em recursos hídricos (Edital 037/2006 do



CNPq), Laboratório de ensaios em equipamentos de irrigação (FINEP/CNPq). Participou de intercâmbio em Instituições de pesquisas na Espanha, Itália e França. É orientador de alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado. Participou de várias bancas de conclusão de cursos de especialização, mestrado e doutorado. Atua na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Irrigação e Drenagem, e na área de Ciências ambientais, com ênfase em reuso de água e sustentabilidade. Foi professor adjunto na Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, no período de abril de 2008 a junho de 2013 e ocupou o cargo de coordenador no curso de Agronomia de 24/09/2012 a 20/05/2013. Atualmente é professor associado na Universidade Federal de Sergipe, lotado no curso de Engenharia Agrícola e credenciado aos Programas de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Foi editor chefe da Revista Brasileira de Agricultura Irrigada no período de 2007 a 2013. É membro do Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada - INOVAGRI. Autor dos livros "Gestão de Recursos Hídricos: conceitos e experiências em bacias hidrográficas" e "Hidráulica Aplicada às Ciências Agrárias".

## **Renata Medeiros Lobo Muller**

Bacharel em Química pela Universidade Federal do Pará (2005), Mestre em Materiais pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/USP (2008). Doutora em Química pela Universidade Federal do Pará (2011- 2016). Tem experiência na área de Química Analítica, com ênfase em Instrumentação Analítica (Análise de amostras ambientais e biológicas a nível de ultratraços). Possui experiência no magistério superior em Instituições Privadas para cursos de Engenharia e da área da Saúde. Desenvolveu pesquisas, publicações e orientações na área de materiais, corrosão e sustentabilidade. Atuou como professor na Faculdade Pitágoras nos cursos de Engenharia (Ambiental, Química, Civil e Produção) e no Centro Universitário - UNDB nos cursos de Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Biomedicina e Farmácia.

## **Ricardo Gouveia Teodoro**

Atualmente sou docente do Instituto Federal do Paraná Câmpus Paranavaí com regime de dedicação exclusiva. Graduado em Engenharia Elétrica pela UEMG. Mestre em Engenharia Elétrica pela UNESP de Ilha Solteira. Doutorado em Controle e Instrumentação Eletrônica aplicado a Engenharia de Reabilitação pela UNESP de Ilha Solteira, pesquisa realizada no renomado LIEB (Laboratório de Instrumentação e Engenharia Biomédica). Integrante da equipe de pesquisadores da UNESP que atuam no desenvolvimento de sensores para monitoramento e utilização de sinais biomédicos. Atualmente desenvolve pesquisa na área de FES (Estimulação Elétrica Funcional) com aplicação de técnicas de controle robusto e chaveado operadas em modelos de plantas com incertezas. Pesquisa com bioimpedância, energia renováveis também fazem parte das pesquisas recentes.



## Rodrigo Couto Santos

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (1999), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2001) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (2007). Atualmente é professor Efetivo da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) na área de Construções Rurais e Ambiente. Tem experiência na área de Engenharia, com ênfase em Construções Rurais e Ambiente, atuando principalmente nos seguintes temas: ambiente, materiais e técnicas construtivas, sustentabilidade no desenvolvimento rural, monitoramento ambiental, produção animal e internet das coisas (IoT). Possui também conhecimentos na área de Engenharia de Segurança do Trabalho, nos temas: proteção do meio ambiente e prevenção e combate a incêndios. Além disso, possui formação complementar em Administração e Educação Ambiental. Já ocupou vários cargos de responsabilidade como Chefia de Departamento e Coordenadoria de Pós-Graduação. Trabalhou com marketing educacional e desenvolvimento institucional. Possui várias publicações, orientações e pesquisas a nível de graduação e pós-graduação. Aprovado em primeiro lugar em 3 concursos federais para Professor Doutor.

## Rubens Matheus Corrêa Fagundes

Aprovado em primeiro lugar com bolsa integral PROUNI no curso de Engenharia Civil/2010 na Universidade da Região da Campanha (URCAMP/Lvto), onde finalizou o curso em 2014. Durante a graduação desempenhou a função de monitor de disciplinas de estruturas (Sistemas Estruturais I, Resistência dos Materiais I, Resistência dos Materiais II, Estabilidade das Estruturas, Estruturas de Madeira e Estruturas Metálicas), contribuiu para elaboração de cadernos didáticos, integrou projetos de extensão e estagiou no laboratório de construção civil da URCAMP/LVTO. Membro representante de bolsistas, enquanto graduando, na Comissão Local de Acompanhamento e Controle Social do PROUNI-Colap, durante 6 semestres, e dos discentes, da Comissão Permanente de Avaliação (CPA/URCAMP-LVTO), durante 4 semestres. Estagiou no setor privado e público na área de Engenharia Civil desde o primeiro semestre da graduação em um período total de 4 anos. Em agosto de 2017 concluiu o Mestrado em Engenharia Civil, na linha de pesquisa de Sistemas Construtivos e Estruturas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Durante o curso de mestrado participou: da elaboração de cadernos didáticos de estruturas de madeira e realização de minicursos de Mastan, Ansys e Jwood. Em outubro de 2018 concluiu Especialização em Docência do Ensino Superior pela Faculdade de Educação São Luís. De agosto de 2015 a julho de 2018 atuou como docente titular nas disciplinas de estruturas do Curso de Engenharia Civil da URCAMP/Lvto, onde orientou trabalhos de final de curso e de iniciação científica na área de estruturas. De julho de 2018 a dezembro de 2018 atuou como docente no Curso de Engenharia Civil da UNICRUZ, na área de estruturas, onde orientou publicações na iniciação científica. No ano de 2020 foi Engenheiro Civil na Sec. de Obras do Município de Santana do



Livramento posteriormente assumiu como secretário a Secretaria de Planejamento Meio Ambiente de Santana do Livramento. Atualmente é Doutorando no PPGE da UFSM, discente de Matemática (Licenciatura) e sócio da Conceito Engenharia & Construção.

### **Sarah Letícia Corrêa Souza**

Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Maranhão, UFMA, Brasil.

### **Staël Caroline Rego Ribeiro da Silva**

Engenheira Florestal formada pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (2015). Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados - FCA, Dourados-MS.

### **Tainara Regina Cerutti Torres**

Possui graduação em Engenharia de Energia pela Universidade Federal da Grande Dourados (2018). Mestranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados - FCA, Dourados-MS.

### **Thaís Corrêa Souza**

Graduação em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal do Maranhão, UFMA, Brasil.

### **Vaner José do Prado**

Possui doutorado em Desenvolvimento Regional e Urbano pelo Programa de Desenvolvimento Regional e Urbano - PPDRU, da Universidade Salvador - UNIFACS (2017); mestrado em Administração com ênfase em sistemas de Informações e apoio à decisão pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (2000); especialização em Administração Estratégica pela Universidade do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ (1996). graduação em Administração pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI (1991). Professor do Programa de Mestrado em Direito, Governança e Políticas Públicas (MDGPP) e de cursos de graduação na Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação - STEAM e Escola de Ciência Sociais Aplicadas, Educação, Arte e Humanidades ? HECSA, da Universidade Salvador - UNIFACS. Líder do Grupo de Estudos em Governança e Políticas Públicas - GEGOPP e membro pesquisador do Grupo de Estudos da Economia Regional e Urbana ? GERURB e Grupo de Pesquisa em Análise Espacial para o Desenvolvimento - GPAED. As principais áreas de interesse em pesquisa são: I) O Sistema Postal e o acesso à cidadania; II) Reestruturação Produtiva e a Quarta Revolução Industrial (Movimento 4.0 - indústria 4.0 e logística 4.0);





III) Cidades Sustentáveis e Inteligentes e a Cidadania do habitar; IV) Transparência na Administração Pública e E-Governo. Participa de projetos Técnicos na Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos: I) Planejamento e implantação de novas tecnologias postais e; II) Planejamento, implementação e avaliação de planos de continuidade de negócios. Profissional elaborador de Notas Técnicas Jurídicas na Assessoria Jurídica dos Correios da Bahia.

### **Victor Lunarti Valadão**

Graduação em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, IFG, Brasil.

### **Vinicius Leonardo dos Santos Rocha**

Graduação em Engenharia Civil pela Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, UNDB, Brasil.

### **Wesley Kardex Cordeiro de Oliveira**

Graduado em Física Licenciatura pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA - 2018), Especialista em Ensino de Física pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNIC-SUL, 2020) e Mestrando em Física pela Universidade Federal do Maranhão - UFMA. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física da Matéria Condensada, atuando principalmente nos seguintes temas: ab initio, DFT, propriedades estruturais, mecânicas, optoeletrônicas e espectros vibracionais (IR e Raman).



## ORGANIZADORES

### Eduardo Mendonça Pinheiro



**D**outorado em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA, em andamento). Mestre em Agroecologia pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA, 2017). Pós Graduação em Gestão de Projetos pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER, em andamento). Especialista em Gestão Agroindustrial pela Universidade Federal de Lavras-MG (UFLA, 2006), Especialista em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER, 2017). Graduado em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA, 2004), Licenciatura Plena pela Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL, 2008). Mestrado em Engenharia pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA, interrompido em 2014). Engenheiro Agrônomo concursado pela Secretaria Municipal de Agricultura, Pesca e Abastecimento de São Luís (SEMAPA). Sócio Proprietário da Editora Pascal LTDA. Professor dos cursos de Engenharia pela Faculdade Pitágoras/FAMA. Professor Conteudista e Pesquisador do Curso de Tecnologia de Alimentos pela UEMANET. Consultor pelo Programa Alimentos Seguros (PAS).

### Patrício Moreira de Araújo Filho



**D**outor e Mestre em Engenharia Mecânica, na área de Projetos e Materiais, pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Licenciado em Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Consultor da Fundação de Amparo à Pesquisa no Maranhão (FAPEMA), é Professor/pesquisador Adjunto na Universidade do CEUMA (UniCeuma), Líder de grupo de pesquisa em engenharia aeronáutica e aeroespacial (GPEAA) e Coordena o Projeto SAE-UniCeuma desenvolvendo atividades nas áreas de Engenharia e Ensino.

### Glauber Tulio Fonseca Coelho



**P**ossui Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional - UNIDERP (2020), mestrado em Engenharia Civil (Concentração: Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará - UFC (2009), MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas - FGV e graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual do Maranhão (2006). Discente do curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente é Coordenador Acadêmico da Faculdade Pitágoras de São Luís, bem como professor de disciplinas na área de Meio Ambiente e Tecnologia da Construção. Possui experiência em Construção Civil, Gestão de Projetos, Meio Ambiente, Hidrologia e Drenagem. Empresário no setor de livros virtuais científicos, sócio proprietário da Editora Pascal LTDA.

**N**esta obra os Organizadores ressaltam a importância da série científica “Engenharia 4.0: a era da produção inteligente” no contexto empresarial, científico e seus utilitários, por se tratar de tema da maior relevância para a indústria e centros de pesquisa que buscam identificar propostas com o potencial de desenvolvimento tecnológico e inovação. Pautada com trabalhos focalizados em discussões da Engenharia a respeito da produção inteligente e sua nova fronteira, oportuniza aos acadêmicos, professores e profissionais atuantes excelente material para novas reflexões.

ISBN: 978-65-86707-46-5



9 786586 707465

△ 5320