ENGENHARIA:
A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XVI



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

16ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

Copyright© 2025 por Editora Conhecimento Livre

16ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2025

180 f.: il
DOI: 10.37423/2025.edcl1105
ISBN: 978-65-5367-641-1
Modo de acesso: World Wide Web
Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

https://doi.org/10.37423/2025.edcl1105

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO
2025

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 7
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À MANUTENÇÃO DE SOFTWARE: UMA REVISÃO DA LITERATURA
Priscila Bayer de Oliveira Simões
Julieta Escorcia Escorcia
Mauro de Mesquita Spinola
Rodrigo Franco Gonçalves
DOI 10.37423/250409859

CAPÍTULO 2 27
AUDITORIA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO NA SAÚDE OCUPACIONAL
Valéria Cristiane RIBEIRO
DOI 10.37423/250409877

CAPÍTULO 3 33
SISTEMA MÓVEL COMPACTO PARA O ENSINO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
Alessandra Taketomi Feitosa
Salomão Moraes da Silva Junior
Elves P. Balieiro
Charles Luiz Silva de Melo
Roberto Higino Pereira da Silva
DOI 10.37423/250409880

CAPÍTULO 4 47
EFEITO DO TRATAMENTO DE ENVELHECIMENTO NA LIGA AA7075 PARA APLICAÇÕES ESTRUTURAIS
Luis Gustavo Ferracioli Alves
Amanda Nogueira Lino
Renata Jesuina Takahashi
Luzia Pedroso de Oliveira
Danieli Aparecida Pereira Reis
DOI 10.37423/250409888

CAPÍTULO 5 62
CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO MARAGING 300
Larissa Ferreira Pinto
Renata Jesuina Takahashi
Tiago Alegretti Zucarelli
Danieli Aparecida Pereira Reis
DOI 10.37423/250409889

CAPÍTULO 6 76
REVIEW: PERFORMANCE OF THE INPE'S SOLIDIFICATION FURNACE IN THE BRAZILIAN MICROGRAVITY PROGRAM
Rafael Cardoso Toledo
Plínio Ivo Gama Tenório
Marcelo Sampaio
Renata Jesuina Takahashi
Danieli Aparecida Pereira Reis
Irajá Newton Bandeira
Chen Ying An
DOI 10.37423/250409890

CAPÍTULO 7 92
CISTERNAS AGRÍCOLAS PARA AUTOSSUFICIÊNCIA HÍDRICA SUSTENTÁVEL DE PROPRIEDADES RURAIS
Rodrigo Couto Santos
Edlaine Aparecida Siqueira da Silva
Juliano Lovatto
Carlos Alberto Chuba Machado
Mamadou Cellou Abdoulaye Diallo
Luis Alberto Schwind Pedroso Stussi da Silva Pereira
Igor Seicho Kiyomura
Matheus Dias Belarmino
Sidnei Gregório Tavares
Cicero Ernandes de Melo Santos
DOI 10.37423/250409894

CAPÍTULO 8 101
CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA CALOUROS DA ENGENHARIA
Priscila Pigatto Gasparin
Pedro Elton Weber
Liliane Hellmann
André Sandmann
Marlene Lucia Donel
Shiderlene Vieira de Almeida Araujo
DOI 10.37423/250409899

CAPÍTULO 9 113
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AMOSTRAGEM DISCRETA E AMOSTRAGEM POR MULTI INCREMENTOS
Amanda Gonçalves Kieling
Tuane Alves da Silva
Natalia Andrade de Brito
Renata Ester dos Santos Zapata
Luciana Paulo Gomes
Marcelo Oliveira Caetano
DOI 10.37423/250409901

CAPÍTULO 10 126
"ESTUDO SOBRE KITS DE ROBÓTICA PEDAGÓGICA ATRAVÉS DE UMA ANÁLISE COMPARATIVA TENDO COMO PARÂMETRO: CUSTOS E CARACTERÍSTICAS DE ENSINO. ”
Maruedson Pires Martins
Alan Paranhos de Souza e Silva
Gabriel Santos Oliveira
Danilo Leite Pontes
Robson Marinho Silva
DOI 10.37423/250409906

CAPÍTULO 11 140
SIMULAÇÃO DA PERFORMANCE DE GERADOR TERMOELÉTRICO PARA RECUPERAÇÃO DA ENERGIA DOS GASES DE EXAUSTÃO AUTOMOTIVA
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior
Carlos Antônio Cabral dos Santos
Cleiton Rubens Formiga Barbosa
Elierton Evangelistadas Neves
Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves
Matheus Antônio Pereira da Silva
DOI 10.37423/250409913

CAPÍTULO 12 158
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DIDÁTICO PARA ANÁLISE TERMODINÂMICA DE TURBINAS A GÁS: CICLO BRAYTON COM E SEM REGENERAÇÃO
Edilson Marinho da Silva Júnior
Cleiton Rubens Formiga Barbosa
Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior
CleberMedeiros de Lucena
Anderson Felipe Chaves Fortes
Mikael de Souza Dias
DOI 10.37423/250409914

Capítulo 1

10.37423/250409859

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À MANUTENÇÃO DE SOFTWARE: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Priscila Bayer de Oliveira Simões — *Universidade de São Paulo*

Julieta Escorcia Escorcia — *Universidade de São Paulo*

Mauro de Mesquita Spinola — *Universidade de São Paulo*

Rodrigo Franco Gonçalves — *Universidade de São Paulo*

Resumo: Além da manutenção tradicional, processos de manutenção de software podem se beneficiar da Inteligência Artificial. A exploração dos dados, gerados e coletados durante os processos, é uma ferramenta útil na descoberta de oportunidades de melhoria e acompanhamento durante a vida útil da aplicação. Foram identificados alguns campos da Inteligência Artificial aplicáveis no contexto: Machine Learning, Deep Learning e Representation Learning. Este artigo tem como objetivo explorar a literatura relacionada aos temas “manutenção de software” e “inteligência artificial”, a fim de identificar o estado da arte das pesquisas e relações entre os conceitos. Através de uma revisão de literatura apoiada pela Web of Science e utilização de ferramentas de bibliometria e análise de conteúdo, verifica-se que é um tema explorado desde 2013, com o maior número de publicações em 2020. Verificou-se também que machine learning é a tecnologia com maior número de publicações e os processos de manutenção preditiva são os mais estudados. Pesquisas futuras podem estar relacionadas à evolução de software, um tema importante com menor número de publicações.

Palavras-chave: Inteligência artificial; Manutenção de software; Predição de falhas.

1. INTRODUÇÃO

Ao observar o cotidiano e as referências no campo de Tecnologia da Informação, verifica- se que maior ênfase é dada ao projeto e implantação. Porém, a manutenção do software entregue ao final do ciclo é uma área de pouco prestígio e nem sempre recebe a atenção adequada (SOMMERVILLE, 2011). Todavia, os softwares precisam receber a manutenção adequada para que não haja prejuízos ao negócio devido a falhas ou indisponibilidades. A manutenção de software consiste no conjunto de atividades necessárias para mantê-lo operacional, de forma eficiente e com o menor custo possível (BOURQUE; FAIRLEY, 2014). Caso a manutenção não receba a atenção necessária, pode se tornar uma atividade de alto custo, maior que em todo o ciclo de vida. Assim, investiu-se na construção de ferramentas para apoiar o desenvolvimento de software de qualidade, fácil manutenibilidade e que atenda aos requisitos. Isto pode se referir à manutenção eficiente; ou seja, no menor tempo, com o menor custo.

Existem softwares críticos, cujos requisitos de confiabilidade e disponibilidade são exigentes. Estes casos tornam crucial a identificação antecipada de possíveis pontos de falha, de forma a permitir que modificações sejam implantadas. Tais ações possuem como objetivo mitigar ou atenuar a ocorrência de falhas. Porém, o uso de software em todas as fases do negócio, desde as áreas operacionais até as estratégicas, faz com que a ocorrência de falhas em qualquer ponto do processo acarrete grandes problemas para a organização. Assim, entende-se como essencial a identificação antecipada de ações que evitem maus funcionamentos ou indisponibilidades.

A fim de exemplificar a oportunidade de pesquisa, executou-se uma busca simples de artigos. Inicialmente, foram encontradas mais de trezentas referências a respeito da aplicação de inteligência artificial em projeto e desenvolvimento de software. Porém, conforme apresentado na seção 3 – Metodologia, o número de publicações referentes à inteligência artificial aplicada à manutenção de software é expressivamente menor.

Este artigo tem como objetivo investigar, através de uma revisão da literatura, o estado da arte referente à aplicabilidade da Inteligência Artificial ao universo da manutenção de software. Para tal, são propostas as seguintes questões de pesquisa:

QP1: qual é a evolução da pesquisa ao longo dos anos, principais journals e autores referentes à utilização de Inteligência Artificial na manutenção de software?

QP2: quais são as aplicações de Inteligência Artificial utilizadas nas diferentes classificações de manutenção de software apresentadas na literatura?

Este trabalho contribui com o universo acadêmico através da verificação da extensão do conhecimento disponível na literatura referente à relevância do tema para pesquisas futuras. Nota-se que é um campo pouco explorado, o que pode indicar um novo território de pesquisa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta as principais definições dos conceitos fundamentais explorados neste trabalho; ou seja, manutenção de software e inteligência artificial.

Manutenção de software

As definições e classificações referentes à manutenção de software presentes na literatura, tais como nos padrões de engenharia de software, são diversas. “Manutenção de software” é definida como processo de modificação para correção de falhas, melhoria de desempenho ou adaptação a um novo ambiente. São citadas as formas de manutenção corretiva e adaptativa (“IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology”, [s.d.]). A manutenção de software mantém a capacidade de provisão de serviços através de monitoramento, registro de incidentes, tomada de ações corretivas, adaptativas e preventivas (“14764-2021 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Software engineering

- Software life cycle processes - Maintenance”, 2022). Outro padrão ISO/IEC/IEEE apresenta a construção de um plano de manutenção de software, que possui como objetivo a sustentação da capacidade de fornecimento adequado de serviços (“15026-4-2021 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering--Systems and software assurance
- Part 4: Assurance in the life cycle”, 2021). Em suma, os padrões ISO/IEC/IEEE referentes à manutenção de software apresentam, em comum, classificações referentes à correção de falhas, adaptação e aperfeiçoamento do software e prevenção de falhas.

Há novas definições para as modalidades de manutenção descritas anteriormente (“Systems and software engineering - Vocabulary”, 2010):

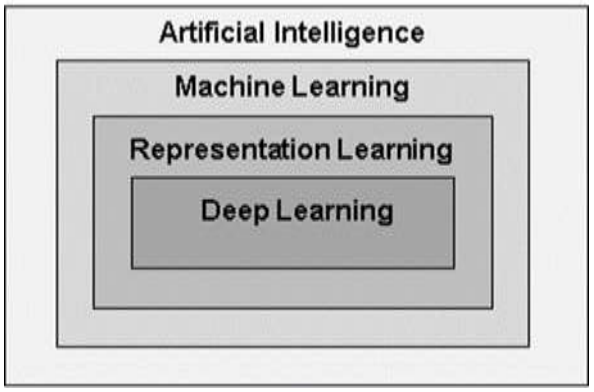
- Manutenção adaptativa: provê melhorias necessárias para a acomodação de mudanças no ambiente;
- Manutenção corretiva: modificação reativa aplicada a fim de corrigir falhas e problemas. Podem ser aplicados planos de ação emergenciais;
- Manutenção de aperfeiçoamento: aplicada na correção de erros latentes e melhorias sugeridas ou solicitadas.

Nos supracitados padrões, não foram identificados itens referentes à manutenção preditiva. Porém, de acordo com a análise dos artigos encontrados na execução da chave de busca descrita na seção 3, serão adotadas as classificações corretiva – evolutiva – preditiva com o intuito de explorar esta área.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O termo "Inteligência Artificial" foi cunhado na década de 1950 com abordagens racionais e centradas no ser humano. As abordagens racionais são uma combinação de Engenharia e Matemática, enquanto as centradas no ser humano são parte das ciências empíricas. A fim de serem eficientes, as técnicas de Inteligência Artificial deveriam possuir a capacidade de extrair padrões de dados e criar seu próprio conhecimento, o que é conhecido como "machine learning". Deep learning, um desdobramento do representation learning, permite que o aprendizado ocorra através de diversos níveis de abstração, que formam modelos de camadas de multiprocessamento (BORGES et al., 2021). A fim de ilustrar este conceito, os autores apresentam o diagrama da Figura 1:

Figura 1 – hierarquia entre as camadas da Inteligência Artificial.



Fonte: Adaptado de (BORGES et al., 2021)

3. MÉTODO

Foram selecionadas, para a elaboração deste trabalho, os métodos "bibliometria" e "análise de conteúdo" através de codificação. A bibliometria é um método que utiliza os dados bibliográficos de bases de publicações científicas a fim de construir representações gráficas relacionadas aos campos de estudo, desempenho de pesquisa e validação da estrutura do conhecimento (ZUPIC; ČATER, 2015). A codificação é utilizada para executar análises quantitativas dos principais construtos identificados durante a pesquisa.

AMOSTRAGEM

O primeiro passo da amostragem é composto pela definição das bases de dados a serem consultadas, seleção dos termos que compõem a chave de busca e os tipos de documentos considerados no estudo. Definiram-se também os critérios de inclusão e exclusão de documentos. Por fim, será apresentada uma análise referente aos resultados deste estudo.

A base de publicações escolhida para exploração é a Web of Science por ser reconhecidamente confiável, amplamente utilizada na pesquisa científica e conter journals conceituados e utilizados em estudos de revisão de literatura.

Os critérios utilizados na seleção inicial dos documentos foram os de tipo *“article”, “early access”, “review” e “article/proceedings”,* em inglês. Não foi estabelecido limite temporal nas buscas; ou seja, publicações recentes e antigas foram levadas em consideração, sem a aplicação de filtro por ano. A primeira busca foi executada em 20 de julho de 2022, passou por algumas revisões e a última ocorreu em 06 de agosto de 2022. A chave de busca empregada é a seguinte: *"artificial intelligence” AND (“software maintenance” OR "software evolut*" OR "Software Defect Prediction” OR "software unava*" OR "system reliability" or "software failure" or "bug prediction")*. A busca pelos termos na base foi feita levando-se em conta o item “Tópico”. O operador lógico “*and*” foi utilizado para combinar os grupos de termos de busca; o operador “*or*” foi aplicado entre sinônimos a fim de retornar todos os documentos relacionados. O resultado desta busca é apresentado na Tabela 1.

Feita a busca, os resultados foram exportados e gerou-se um arquivo de metadados em formato BiBTEX. Este arquivo serviu como entrada para o processo de limpeza e consolidação para a formação posterior de uma base final que apoiará todo o trabalho. Este processo foi executado através de um script de tratamento de dados na ferramenta R Studio. Realizou-se uma verificação manual a fim de validar o arquivo de saída deste tratamento e a qualidade do processamento descrito. Por fim, aplicaram-se os critérios de seleção definidos a fim de gerar a base de dados final com as publicações selecionadas para leitura e estudo.

Tabela 1 – Pesquisa bibliográfica

Base	Chave de busca	Campos	Filtros	Quantidade
Web of Science	*"artificial intelligence" and ("software maintenance" or "software evolut*" or "software defect prediction" or "software unava*" or "system reliability" or*	Tópico	*Inglês; "article", "early access", "review" e "article/proceedings "*	133
	"software failure" or "bug prediction")			

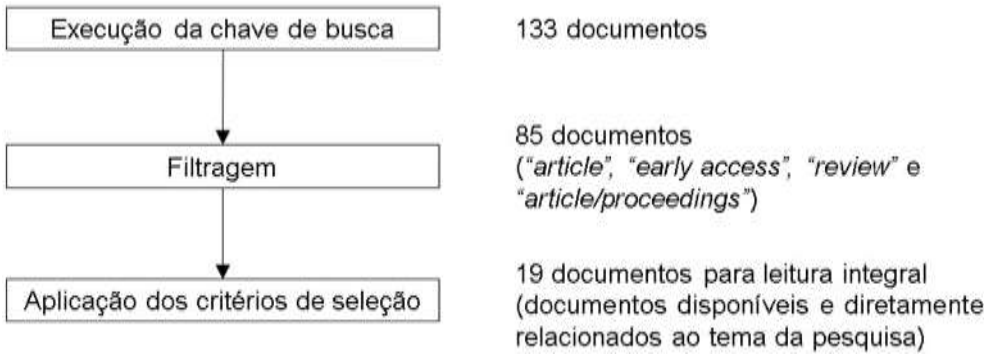
Fonte: autoria própria.

Os critérios de seleção foram definidos através da seguinte estrutura:

- Seleção por tipo de documento (artigos, acesso antecipado, revisão e "*article/proceedings*", em inglês);
- Execução de *script* para processamento da base de metadados via ferramenta *R Studio*;
- Leitura dos títulos e resumos com o objetivo de selecionar apenas as publicações relacionadas ao tema do trabalho. Os demais foram desconsiderados e excluídos da seleção para a base final.

A Figura 2 ilustra a execução da sequência de etapas descritas anteriormente e os resultados obtidos em cada uma delas.

Figura 2 – Processo de amostragem



Fonte: autoria própria

Em suma, o processo de amostragem consistiu na consulta da chave de busca na base *Web of Science*, o que trouxe 133 documentos. Após a aplicação de filtros baseados por tipo de publicação, 85

documentos foram selecionados para análise dos títulos e resumos. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, 19 artigos foram lidos na íntegra para o desenvolvimento deste trabalho.

ANÁLISE DOS DADOS

A revisão de literatura pode ser apoiada por diferentes abordagens, tais como bibliometria, meta-análise e análise de conteúdo (CARVALHO; FLEURY; LOPES, 2013). Para a escrita deste artigo, foram utilizados os métodos "bibliometria" e "análise de conteúdo". A interface web *Biblioshiny* foi empregada no desenvolvimento da bibliometria. Os metadados extraídos da base *Web of Science* foram utilizados para realizar as análises posteriores referentes à bibliometria (SECINARO et al., 2020). Em seguida foi construída a análise de conteúdo através da catalogação e leitura dos artigos selecionados. A Tabela 2 apresenta a aplicação dos métodos selecionados (bibliometria e análise de conteúdo) na resposta às questões de pesquisa.

Tabela 2 – questões de pesquisa, métodos e ferramentas

ID	Questão de pesquisa	Método	Ferramenta
1	Qual é a evolução da pesquisa ao longo dos anos, principais *journals* e autores referentes à utilização de Inteligência Artificial na manutenção de software?	Bibliometria	Biblioshiny
2	Quais são as aplicações de Inteligência Artificial utilizadas nas diferentes classificações de manutenção de software?	Análise de conteúdo; codificação	-

Fonte: autoria própria

BIBLIOMETRIA

A bibliometria é um conjunto de métodos para extração de medições em um conjunto de dados bibliográficos. Diversas áreas de pesquisa utilizam métodos bibliográficos a fim de explorar impactos de área de pesquisa, grupo de pesquisadores ou até mesmo um artigo específico (COBO et al., 2011).

Neste trabalho foram construídos elementos gráficos utilizando-se a ferramenta Biblioshiny, além de uma análise exploratória no Excel. As análises desenvolvidas no Biblioshiny ilustram o impacto da produção por autor através do número de citações, mapa temático para verificar a relevância do tema,

relação entre países, autores e palavras-chave. A análise exploratória demonstra o número de publicações por ano.

ANÁLISE DE CONTEÚDO

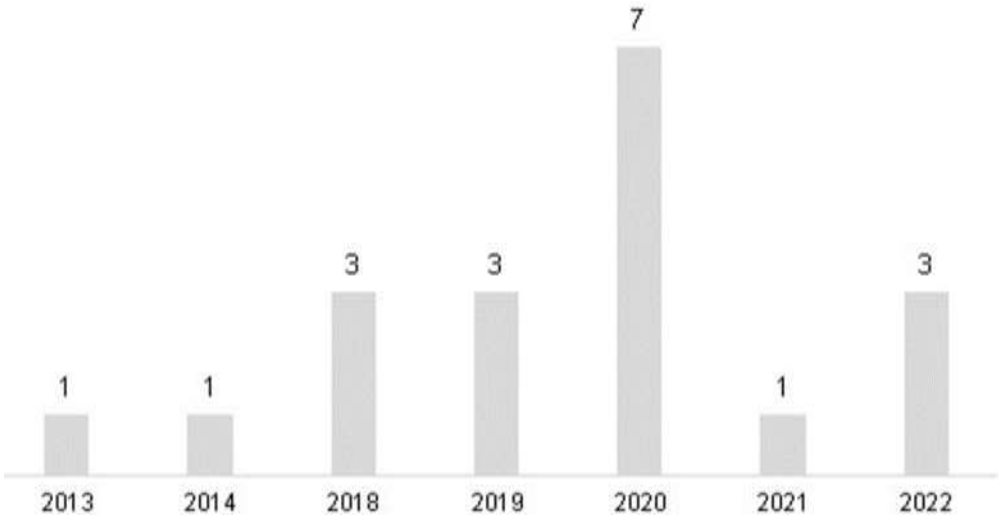
A análise de conteúdo é uma metodologia utilizada para explorar as referências por meio da quantificação do significado da língua falada ou escrita. Tal método fornece uma visão integrativa do texto e seus contextos relacionados para que o pesquisador compreenda o fenômeno de forma subjetiva (RENZ; CARRINGTON; BADGER, 2018).

Tal análise segue a metodologia previamente descrita, a partir da codificação dos principais conceitos identificados em cada um dos artigos, com a finalidade de fornecer base e direcionamento para a posterior apresentação dos resultados do estudo. A fim de compor a análise final, foi feita uma contagem de ocorrências de cada um dos itens nos artigos, classificadas por grupos. As discussões apresentadas posteriormente são fundamentadas por tal processo de análise.

4. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados das análises construídas através da bibliometria, de acordo com os procedimentos indicados em Metodologia. Construiu-se uma análise exploratória com base na amostra bibliográfica extraída a fim de verificar e quantificar a produção científica. A Figura 3 apresenta a quantidade de publicações relacionadas ao tema por ano. Nota-se que é um campo de pesquisa já explorado nas últimas décadas, mas que recebeu maior atenção em 2020. Porém, o número de publicações demonstra uma possível oportunidade de pesquisa em um campo ainda não suficientemente explorado.

Figura 3 – publicações por ano

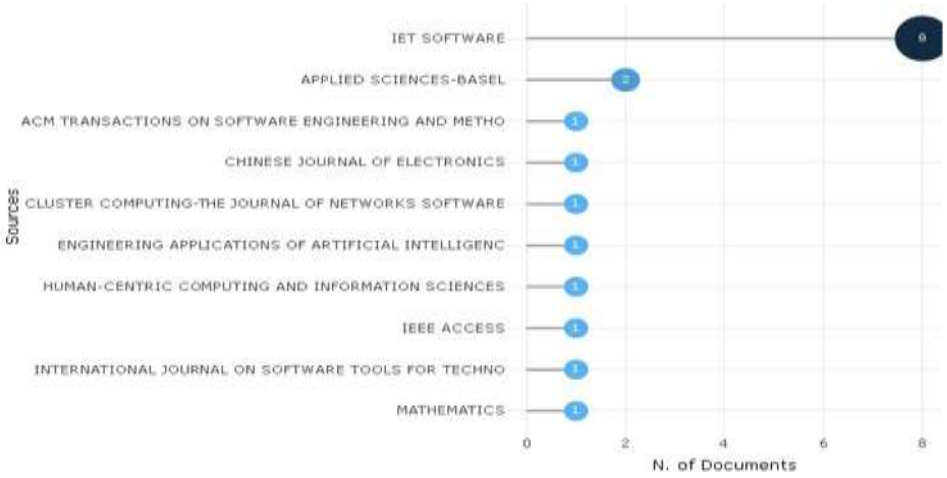


Fonte: autoria própria

Diversas áreas exploraram o assunto; porém, de forma esparsa. O journal com o maior número de publicações é a IET Software, com oito publicações, seguida por Applied Sciences-Basel, com duas publicações. As demais disponibilizaram apenas um documento referente ao tema da pesquisa. IET Software é um journal que publica pesquisas originais a respeito de todo o ciclo de vida do software ("IET Software Impact Factor & Key Scientometrics", [s.d.]). Applied Sciences-Basel publica pesquisas relevantes referentes a diversos temas, incluindo Engenharias, Sustentabilidade e Ciência dos Materiais ("About Applied Sciences", [s.d.]). Ambos os journals são golden open access. Não é possível identificar uma clara concentração de publicações em áreas diversas. A Figura 4 apresenta uma síntese desta análise.

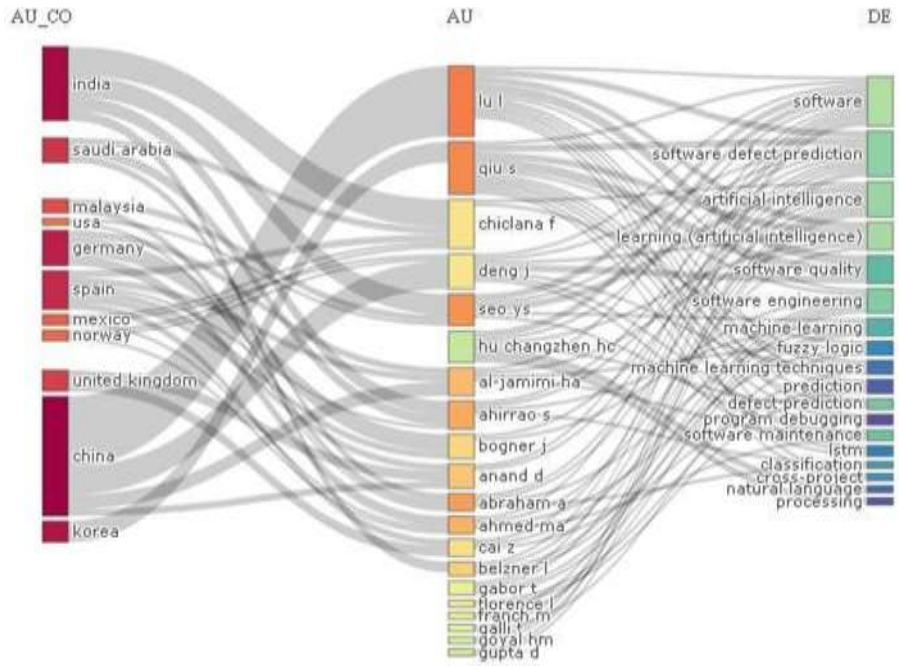
A Figura 5 representa, através de um gráfico do tipo three fields plot, o conjunto de relações entre países, autores e palavras-chave. Foram encontradas dezoito palavras- chave, vinte autores e onze países. O termo com o maior número de ligações é "software", com o total de sete. O maior número de publicações foi escrito na China.

Figura 4 – publicações por *journal*



Fonte: autoria própria

Figura 5 – países, autores e palavras-chave

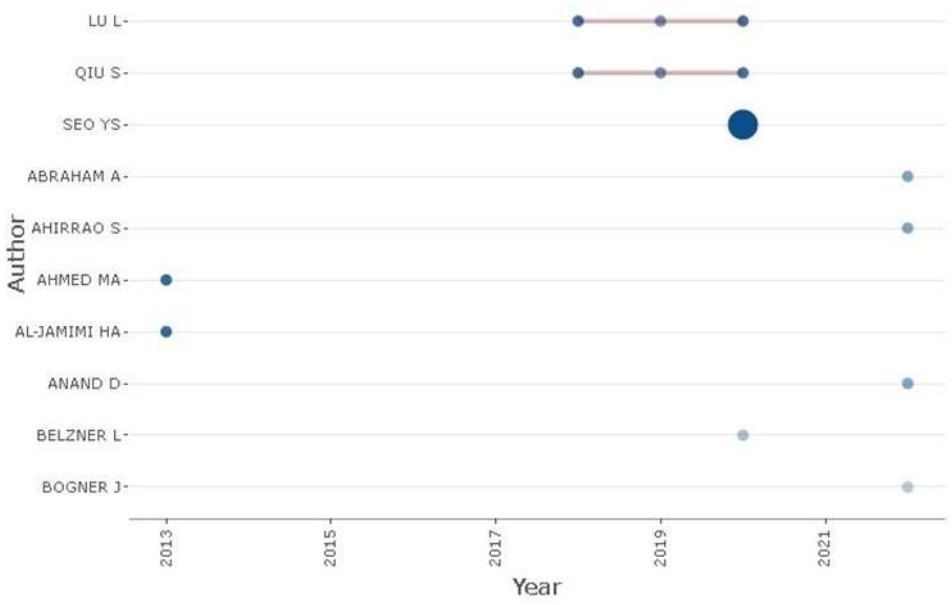


Fonte: autoria própria

A Figura 6 ilustra a relação dos autores mais produtivos durante o período analisado. Graficamente, o tamanho do círculo é diretamente proporcional ao número de artigos publicados, enquanto a intensidade da cor do círculo representa o número de citações por ano. Assim, quanto maior o círculo, maior a quantidade de documentos publicados; quanto menor a transparência da cor do círculo, maior o número de citações do autor em determinado ano. A reta vermelha representa o período no qual os autores produziram material científico. Assim, pode-se concluir que o autor Lu, L., o mais produtivo, é

um pesquisador recente e recebeu citações entre 2017 e 2020, mesmo período em que esteve em atividade.

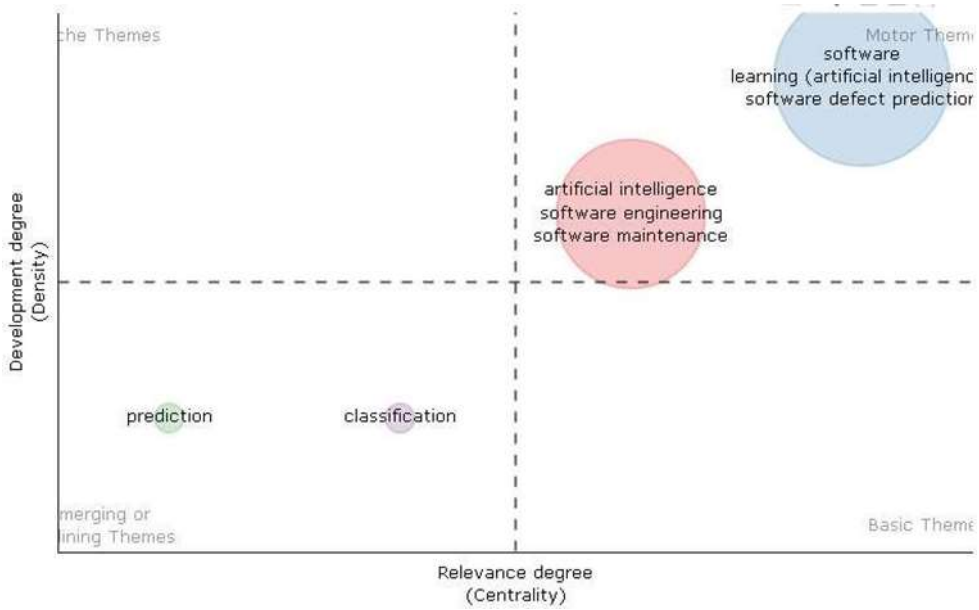
Figura 6 – autores e produção



Fonte: autoria própria

A análise do mapa temático (ou diagrama de co-palavras) distribui as palavras-chave em diferentes quadrantes de acordo com sua ocorrência. São considerados temas cuja densidade e centralidade são utilizadas em sua classificação e no mapeamento em um diagrama bidimensional. A Figura 7 apresenta o mapa temático da amostra. Os temas são divididos em 4 quadrantes: (1) quadrante superior direito: temas motores; (2) quadrante inferior direito: temas básicos; (3) quadrante inferior esquerdo: temas emergentes; (4) quadrante superior esquerdo: temas especializados ou de nicho. Neste caso, os temas de maior interesse são os motores e de nicho. Os temas motores são os mais explorados e que atualmente orientam as pesquisas. Os temas de nicho são especializados e detêm maior potencial para exploração, com baixas quantidades de bibliografia desenvolvida. Com base na Figura 7 é possível observar que os temas motores estão relacionados a inteligência artificial e software (engenharia, detecção de defeitos e manutenção). Não foram identificados temas básicos ou de nicho. Temas emergentes estão relacionados a predição e classificação.

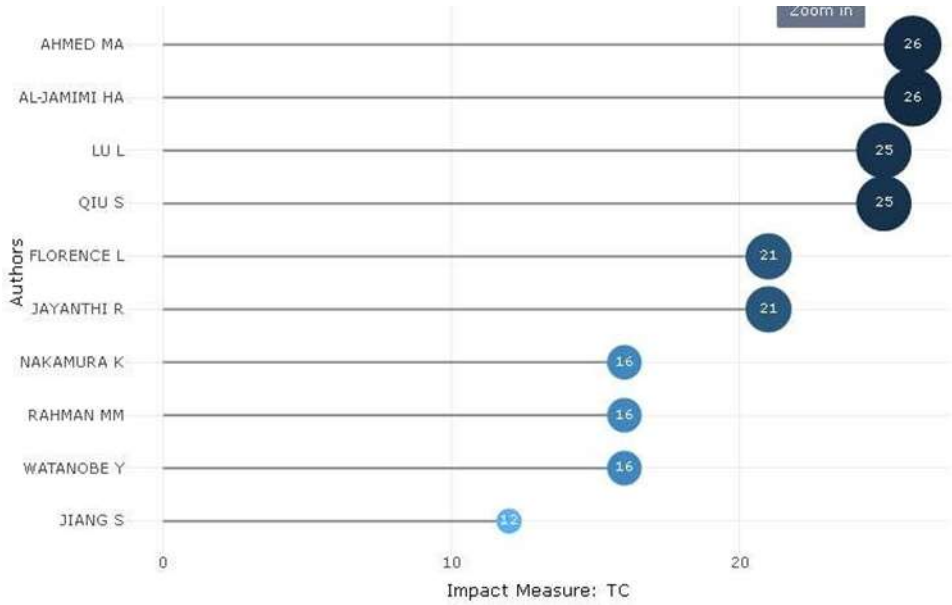
Figura 7 – mapa temático



Fonte: autoria própria.

A Figura 8 apresenta o impacto local dos autores com base no número de citações. Os mais influentes, com 72 citações cada um, são Ahmed, M. e Al-Jamimi, H.

Figura 8 – autores mais influentes por número de citações



Fonte: autoria própria

Pode-se inferir, referente à resposta à questão de pesquisa 1 (QP1), que foram publicados 19 artigos que estudam Inteligência Artificial aplicada à manutenção de software. Os artigos foram publicados a partir de 2013 e existe uma produção contemporânea em andamento, com três artigos já produzidos

em 2022, até o mês de agosto. O principal journal que trata do assunto é o IET Software, com 8 publicações. Os autores mais influentes são Ahmed e Al-Jamimi. A maior comunidade de pesquisa está localizada na China. Os principais tópicos relacionados são classificados como motores; ou seja, estão no foco da pesquisa científica.

A partir da leitura dos artigos selecionados através do processo de amostragem, foi feita uma análise de conteúdo e codificação dos conceitos identificados. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos: machine learning é citado por todos os artigos e a manutenção preditiva é a mais citada.

Tabela 3 – análise de conteúdo

Código	Descrição	Ocorrências	Porcentagem
Inteligência artificial	*Machine learning*	Em todos os artigos	
	Deep learning	9	47%
	Representation learning	1	5%
	Total de artigos	19	
Manutenção	Corretiva	1	5%
	Evolutiva	2	11%
	Preditiva	17	19%
	Total de artigos	19	

Fonte: autoria própria

A questão de pesquisa 2 (QP2), conforme apresentado anteriormente no artigo, pode ser respondida através desta análise de conteúdo e codificação dos conceitos. Tal questão refere-se a quais são as aplicações de Inteligência Artificial utilizadas nas diferentes classificações de manutenção de software. Algumas observações podem ser feitas através da Tabela 3. Foram identificadas três aplicações de Inteligência Artificial: machine learning, deep learning e representation learning. Machine learning é a mais significativa, recebendo citações em todos os artigos. Deep learning está em segundo lugar, citado em 9 referências (47% da amostra). Representation learning é apresentado em apenas 1 artigo (5%) da amostra. As diferentes classificações de manutenção de software identificadas na análise dos artigos são corretiva, evolutiva e preditiva. A manutenção preditiva é a mais citada (17 artigos ou 89% da amostra). Em seguida, a manutenção evolutiva é mencionada em dois artigos (11% da amostra) e, finalmente, a manutenção corretiva figura em um artigo (5% da amostra).

5. DISCUSSÕES

Os resultados estão organizados segundo as categorias identificadas e analisadas. Em cada tópico é realizada a discussão dos resultados obtidos por meio da análise de conteúdo. Uma tabela é

apresentada ao término da seção a fim de ilustrar a distribuição das referências de acordo com os tópicos.

Os artigos selecionados foram inicialmente analisados com a finalidade de identificar a frequência de apresentação dos principais termos “inteligência artificial” e “manutenção”. As categorias referentes a Inteligência Artificial estudadas foram “Artificial Intelligence”, Machine Learning”, “Representation Learning” e “Deep Learning” (BORGES et al., 2021). Todos os artigos citaram o termo “machine learning”; nove artigos citaram “deep learning” e apenas um artigo citou “representative learning”. Com relação à Manutenção, apenas um artigo referenciou “manutenção corretiva”, dois artigos citaram “manutenção evolutiva” e dezessete artigos tratam de “manutenção preditiva”. Este estudo indica que “machine learning” e “manutenção preditiva” são campos de pesquisa já explorados e que podem pertencer ao grupo de “temas motores”, conforme ilustrado anteriormente pela Figura 7. As Tabelas 4 e 5 sumarizam a distribuição das referências bibliográficas por tais classificações de manutenção e inteligência artificial.

Tabela 4 – análise de conteúdo: manutenção

Corretiva	**Evolutiva**	**Preditiva**
(LEE; SEO, 2020)	(GABOR et al., 2020), (HUH; HWA; SEO, 2020)	(JAYANTHI; FLORENCE, 2019), (PACHOULY et al., 2022), (PANDIT et al., 2022), (ZHANG; JING; WU, 2018), (QIU; LU; JIANG, 2018), (ZHU et al., 2020), (DENG; LU; QIU, 2020), (PANDEY; RATHEE; TRIPATHI, 2020), (KHAN, 2014), (CAI; LU; QIU, 2019), (WEI et al., 2019), (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ et al., 2022), (RAHMAN; WATANOBE; NAKAMURA, 2020), (HUH; HWA; SEO, 2020), (AHMED; AL-JAMIMI, 2013), (GALLI; CHICLANA; SIEWE, 2021), (WU; LIU; MA, 2018).

Fonte: autoria própria

Tabela 5 – inteligência artificial e componentes

Inteligência artificial	***Machine learning***	***Representation learning***	***Deep learning***
(GABOR et al., 2020) (JAYANTHI; FLORENCE, 2019), (PACHOULY et al., 2022), (PANDIT et al., 2022), (ZHANG; JING; WU, 2018), (QIU; LU; JIANG, 2018), (ZHU et al., 2020), (DENG; LU; QIU, 2020), (PANDEY; RATHEE; TRIPATHI, 2020), (KHAN, 2014), (CAI; LU; QIU, 2019), (WEI et al. 2019), (LEE; SEO, 2020), (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ et al., 2022), (RAHMAN; WATANOBE; NAKAMURA, 2020), (HUH; HWA; SEO, 2020), (AHMED; AL-JAMIMI, 2013), (GALLI; CHICLANA; SIEWE, 2021), (WU; LIU; MA, 2018)	(GABOR et al., 2020), (JAYANTHI; FLORENCE, 2019), (PACHOULY et al., 2022), (PANDIT et al., 2022), (ZHANG; JING; WU, 2018), (QIU; LU; JIANG, 2018), (ZHU et al., 2020), (DENG; LU; QIU, 2020), (PANDEY; RATHEE; TRIPATHI, 2020), (KHAN, 2014), (CAI; LU; QIU, 2019), (WEI et al., 2019), (LEE; SEO, 2020), (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ et al., 2022), (RAHMAN; WATANOBE; NAKAMURA, 2020), (HUH; HWA; SEO, 2020), (AHMED; AL-JAMIMI, 2013), (WU; LIU; MA, 2018), (GALLI; CHICLANA; SIEWE, 2021).	(ZHU et al., 2020)	(PACHOULY et al., 2022), (ZHU et al., 2020), (DENG; LU; QIU, 2020), (PANDEY; RATHEE; TRIPATHI, 2020), (CAI; LU; QIU, 2019), (WEI et al., 2019), (LEE; SEO, 2020), (MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ et al., 2022), (RAHMAN; WATANOBE; NAKAMURA, 2020)

Fonte: autoria própria

A manutenção evolutiva é importante quando ocorrem mudanças no ambiente ou nas regras de negócio (MENS, 2016). Porém, a utilização da inteligência artificial como tecnologia de apoio é pouco explorada na literatura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal objetivo analisar a literatura disponível referente às aplicações de inteligência artificial na manutenção de software. Utilizou-se a revisão de literatura para atingir tal objetivo e responder as questões de pesquisa indicadas com o uso de bibliometria e análise de conteúdo.

Os resultados obtidos a partir de métodos bibliométricos demonstram que o tema não é explorado ainda por um alto número de fontes. A primeira menção foi feita em 2013; foram publicados artigos em anos não consecutivos até o presente e o maior número de publicações (sete artigos) foi feito em 2020. Tais números podem representar as oportunidades a serem exploradas, já que os principais termos foram classificados como motores.

Quanto à resposta à primeira questão de pesquisa (estado da arte da literatura), pode-se afirmar que dois journals fizeram mais de uma publicação referente ao tema. A primeira é a IET Software, com oito publicações; a segunda é a Applied Sciences – Basel, com duas publicações. O autor mais produtivo, com três publicações, é Lu, L. Foi citado entre 2017 e 2020, mesmo período em que esteve em atividade. Quanto ao impacto, os autores com maior número de citações são Ahmed, A. e Al-Jamimi, A., ambos com vinte e seis citações. O país mais produtivo é a China, com cinco publicações.

A segunda questão de pesquisa (principais exemplos apresentados na literatura) é respondida através da verificação, através de uma análise de conteúdo, que a manutenção preditiva é a que mais emprega a inteligência artificial, especialmente através do uso de ferramentas de machine learning.

Com referência a limitações e direções de pesquisas futuras, identificou-se, durante a leitura das referências e construção deste artigo, que a disciplina de Qualidade de Software também utiliza amplamente a inteligência artificial como recurso, mas não foi avaliada neste trabalho. Identificou-se que a manutenção evolutiva, apesar de possuir importância, recebeu menores esforços de pesquisa até a atualidade. Desta forma, uma pesquisa aprofundada a respeito do tema é recomendada como caminhos futuros.

REFERÊNCIAS

14764-2021 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Software engineering - Software life cycle processes - Maintenance. 2022.

15026-4-2021 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering--Systems and software assurance -- Part 4: Assurance in the life cycle. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9444258>.

About Applied Sciences. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/journal/applsci/about>. Acesso em: 15 ago. 2022.

AHMED, M. A.; AL-JAMIMI, H. A. Machine learning approaches for predicting software maintainability: a fuzzy-based transparent model. IET Software, v. 7, n. 6, p. 317–326, dez. 2013.

BORGES, A. F. S. et al. The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. International Journal of Information Management, v. 57, p. 102225, abr. 2021.

BOURQUE, P.; FAIRLEY, R. Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. [s.l.] IEEE Computer Society, 2014.

CAI, Z.; LU, L.; QIU, S. An Abstract Syntax Tree Encoding Method for Cross-Project Defect Prediction. IEEE Access, v. 7, p. 170844–170853, 2019.

CARVALHO, M. M.; FLEURY, A.; LOPES, A. P. An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. Technological Forecasting and Social Change, v. 80, n. 7, p. 1418–1437, set. 2013.

COBO, M. J. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. Journal of the American Society for Information Science and Technology, v. 62, n. 7, p. 1382–1402, jul. 2011.

DENG, J.; LU, L.; QIU, S. Software defect prediction via LSTM. IET Software, v. 14,

n. 4, p. 443–450, ago. 2020.

GABOR, T. et al. The scenario coevolution paradigm: adaptive quality assurance for adaptive systems. International Journal on Software Tools for Technology Transfer, v. 22, n. 4, p. 457–476, 6 ago. 2020.

GALLI, T.; CHICLANA, F.; SIEWE, F. Genetic Algorithm-Based Fuzzy Inference System for Describing Execution Tracing Quality. Mathematics, v. 9, n. 21, p. 2822, 6 nov. 2021.

HUH, J.-H.; HWA, J.; SEO, Y.-S. Hierarchical System Decomposition Using Genetic Algorithm for Future Sustainable Computing. Sustainability, v. 12, n. 6, p. 2177, 11mar. 2020.

IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=159342>.

IET Software Impact Factor & Key Scientometrics. Disponível em:

<https://www.scijournal.org/impact-factor-of-iet-softw.shtml>. Acesso em: 15 ago. 2022.

JAYANTHI, R.; FLORENCE, L. Software defect prediction techniques using metrics based on neural network classifier. Cluster Computing, v. 22, n. S1, p. 77–88, 7 jan. 2019.

KHAN, M. J. Applications of case-based reasoning in Software Engineering: a systematic mapping study. IET Software, v. 8, n. 6, p. 258–268, dez. 2014.

LEE, D.-G.; SEO, Y.-S. Improving bug report triage performance using artificial intelligence based document generation model. Human-centric Computing and Information Sciences, v. 10, n. 1, p. 26, 16 dez. 2020.

MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, S. et al. Software Engineering for AI-Based Systems: A Survey. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, v. 31, n. 2,

p. 1–59, 30 abr. 2022.

MENS, T. An Ecosystemic and Socio-Technical View on Software Maintenance and Evolution. 2016 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME). Anais...IEEE, out. 2016. Disponível em:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/7816449/>

PACHOULY, J. et al. A systematic literature review on software defect prediction using artificial intelligence: Datasets, Data Validation Methods, Approaches, and Tools.

Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 111, p. 104773, maio 2022.

PANDEY, S. K.; RATHEE, D.; TRIPATHI, A. K. Software defect prediction using K- PCA and various kernel-based extreme learning machine: an empirical study. IET Software, v. 14, n. 7, p. 768–782, 17 dez. 2020.

PANDIT, M. et al. Towards Design and Feasibility Analysis of DePaaS: AI Based Global Unified Software Defect Prediction Framework. Applied Sciences, v. 12, n. 1,

p. 493, 4 jan. 2022.

QIU, S.; LU, L.; JIANG, S. Multiple-components weights model for cross-project software defect prediction. IET Software, v. 12, n. 4, p. 345–355, ago. 2018.

RAHMAN, MD. M.; WATANOBE, Y.; NAKAMURA, K. Source Code Assessment and Classification Based on Estimated Error Probability Using Attentive LSTM Language Model and Its Application in Programming Education. Applied Sciences, v. 10, n. 8, p. 2973, 24 abr. 2020.

RENZ, S. M.; CARRINGTON, J. M.; BADGER, T. A. Two Strategies for Qualitative Content Analysis: An Intramethod Approach to Triangulation. Qualitative Health Research, v. 28, n. 5, p. 824–831, 9 abr. 2018.

SECINARO, S. et al. Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars. Journal of Cleaner Production, v. 264, p. 121503, ago. 2020.

SOMMERVILLE, I. Engenharia de Software. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

Systems and software engineering - Vocabulary. Disponível em:

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5733835>.

WEI, H. et al. Software Defect Prediction via Deep Belief Network. Chinese Journal of Electronics, v. 28, n. 5, p. 925–932, set. 2019.

WU, H.; LIU, H.; MA, Y. Empirical study on developer factors affecting tossing path length of bug reports. IET Software, v. 12, n. 3, p. 258–270, jun. 2018.

ZHANG, Z.-W.; JING, X.-Y.; WU, F. Low-rank representation for semi-supervised software defect prediction. IET Software, v. 12, n. 6, p. 527–535, dez. 2018.

ZHU, K. et al. Within-project and cross-project just-in-time defect prediction based on denoising autoencoder and convolutional neural network. IET Software, v. 14, n. 3, p. 185–195, jun. 2020.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization.

Organizational Research Methods, v. 18, n. 3, p. 429–472, 22 jul. 2015.

Capítulo 2

10.37423/250409877

AUDITORIA COMO FERRAMENTA DE GESTÃO NA SAÚDE OCUPACIONAL

Valéria Cristiane RIBEIRO *UFF - Universidade Federal Fluminense*

Resumo: A atividade de auditoria nas instituições de saúde e empresas, se destacam como sendo um instrumento de fiscalização e controle que pode se adequar as necessidades de cada Instituição, fornecendo ao processo decisório informações e recurso de informação em tempo real, necessários ao mercado altamente competitivo. Assim, a auditoria atua como uma forma de fiscalização das despesas e receitas obtidas de forma que se averigue se está havendo a correta gestão dos recursos. Diante deste contexto, este estudo possui como objetivo geral, analisar o papel do profissional enfermeiro na gestão dos serviços de saúde. Para tanto, utilizou-se como metodologia de pesquisa bibliográfica baseada em livros e materiais científicos, sobre o tema. Identificou-se que a auditoria, principalmente no que se refere a gestão de instituições com setor de saúde como a Medicina do Trabalho, uma vez que bem aplicada traz benefícios, pois permite que haja controle de questões financeiras e da qualidade do serviço que vem sendo realizado aos colaboradores pela equipe de saúde que compõe o SESMT. Do ponto de vista financeiro, a auditoria permite que se diminua os desperdícios financeiros e de materiais, principalmente pelo uso de serviços que não são necessários e que são feitos de forma indiscriminada. No ponto de vista documental, o prontuário é um documento essencial para a prestação do cuidado ao colaborador, sendo ainda, um instrumento de defesa legal. Para tanto, deve-se buscar no prontuário apresentar informações claras e objetivas, evitando informações incompletas, indevidas, ilegíveis, e demais padrões de desconformidade. Neste contexto o enfermeiro do trabalho com foco na auditoria é capaz de identificar ausências de dados das ações realizadas, registros de prontuários incorretos/ indevidos ou incompletos, gestão dos custos, pois o pagamento de materiais, medicamentos, EPI's e serviços são registrados no prontuário.

Palavras-chave: auditoria em saúde; enfermeiro auditor, auditoria hospitalar.

INTRODUÇÃO

A gestão de instituições de saúde exige que o profissional tenha conhecimento das áreas técnicas para que possa atuar na tomada de decisão, além de poder oferecer serviços de qualidade, com investimento em tecnologia, técnicas de auditoria, economia, aspectos financeiros, relacionamento humano, gestão de pessoas, entre outros.

Nesse contexto, a atividade de auditoria nas instituições de saúde, se destaca como sendo um instrumento de fiscalização e controle, que pode se adequar as necessidades do ambiente proposto, fornecendo ao processo decisório, informações e recurso de informação em tempo real, necessários ao mercado altamente competitivo.

Além disso, trata-se de recursos financeiros e humanos que precisam ser bem empregados, para que não ocorram problemas financeiros, e ocorrendo, que sejam minimizados e que possam ser resolvidos. Capacidade para controlar e fiscalizar custos e resultados, acompanhar prontuários, estimar os gastos dos serviços prestados, gerenciamento das informações e controle da instituição como um todo, são objetos da auditoria no setor de saúde.

METODOLOGIA

A seguir será tratada a metodologia e as técnicas aplicadas no desenvolvimento deste estudo. Assim, a metodologia tem o papel de definir o tipo de pesquisa a ser realizada, os procedimentos a serem adotados, para coleta e análise dos dados (PRODANOV; FREITAS, 2006). Para esta pesquisa, foi utilizada como metodologia a pesquisa bibliográfica**.** A pesquisa bibliográfica é aquela que se efetua tentando resolver um problema, ou adquirir conhecimentos através de informações obtidas por meio de material gráfico, sonoro ou informatizado. Trata-se de pesquisa exploratória (BARROS; LEHFELD, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa apresenta relevância social, haja vista a importância do tema junto as instituições de saúde, sendo um tema latente na atualidade da atividade. Para a atividade acadêmica, os benefícios da pesquisa são trazer mais aparato cientifico sobre o tema, haja vista ser um tema que não possui muitos estudos já realizados. No que se refere a auditoria ligada a qualidade dos serviços prestados, observa-se que está atrelada a revisão de prontuários no que se refere a determinadas patologias, condições, tratamentos, entre outros.

As auditorias no que tange a qualidade da assistência, trata da questão epidemiológica e também da questão clínica. Na abordagem epidemiológica, faz-se uma comparação e análise de dados dos resultados em saúde. Já na abordagem clínica, trata de uma análise do prontuário clinico do paciente, do seu histórico de saúde, identificando erros e melhorias que deverão ser feitas. A equipe que compõe o SESMT, precisa estar alinhada com todas as informações relacionadas à segurança e saúde do trabalhador, para que possam juntos, fornecer e garantir qualidade e segurança nos EPI's, treinamentos e assistência à saúde, com objetivo maior na prevenção de acidentes e doenças relacionados ao trabalho.

CONCLUSÕES

Por meio deste estudo, identificou-se que a auditoria, principalmente no que se refere a gestão de instituições de saúde, uma vez que bem aplicada traz benefícios, pois permite que haja controle de questões financeiras e da qualidade do serviço que vem sendo realizado ao paciente pelos prestadores de serviço médico.

Quando se fala em enfermeiro auditor tem-se a análise das anotações registradas no prontuário dos pacientes, servindo como uma forma de comunicação entre toda a equipe que realiza o trabalho multidisciplinar e dessa forma, possibilitando a continuidade do trabalho de assistência ao paciente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE SUPLEMENTAR – ANS. Caderno de Informação da Saúde Suplementar: beneficiários operadoras planos de saúde. Brasília: ANS, 2009.

BALZAN, Marcio V. O Perfil dos Recursos Humanos do Setor de Faturamento e seu Desempenho na Auditoria de Contas de Serviços Médico-Hospitalares. Dissertação de Mestrado em Administração de Empresas. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas/EAESP, 2000.

BANCHER, A. Medicina preventiva no setor suplementar de saúde: estudo das ações e programas existentes e das motivações para sua implantação. Dissertação de Mestrado em Administração de Empresas. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas/EAESP, 2004.

BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide aparecida de Souza. Fundamentos da metodologia científica. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BORSATO FG, ROSSANEIS MA, Haddad MCFL, Vannuchi MTO, Vituri DW. Qualidade das anotações de enfermagem em unidade de terapia intensiva de um hospital universitário. Rev. Eletr. Enf. 2012.

CAMARGO, Izabel. Aula adaptada do material cedido pela profa. Josiane Justus (2011). Curitiba: Curso de Especialização em Auditoria e Gestão em Saúde, Universidade Tuiuti do Paraná, 2012.

CAPRA F. O ponto de mutação. A Ciência, a Sociedade e a Cultura Emergente. São Paulo: Cultrix; 1982. CIANCIARULLO, T. I. Teoria e prática em auditoria de cuidados. São Paulo: Ícone, 1997.

CONSELHO FEDERAL DE ENFERMAGEM. Resolução nº 266, 05 de outubro de 2001. Aprova atividades de Enfermeiro Auditor. Disponível em: http://www.cofen.gov.br/resoluo-cofen-2662001_4303.html. Acesso em 12 set. 2019.

Conselho Federal de Enfermagem. Código de ética os profissionais de enfermagem. http://www.cofen.gov.br/wp-content/uploads/2012/03/resolucao_311_anexo.pdf. Acesso em 12 set. 2019.

DIAS, Teresa Cristia Lyporage; SANTOS, José Luís Guedes; CORDENUZZI, Onélia da Costa Pedro; PROCHNOW, Adelina Giacomelli. Auditoria em enfermagem: revisão sistemáticada literatura. Revista Brasileira de Enfermagem, Brasília, v 64, n 5, p 931-7, 2011

Realização:

DORNE, J. D.; HUNGARE, J. V. Conhecimentos teóricos de auditoria em enfermagem. Uningá Review. v.15,n.1,p.11-17. 2013.

FERREIRA TS, Braga ALS. Auditoria de enfermagem: o impacto das anotações de enfermagem no contexto das glosas hospitalares. Aquichán. 2015. GODOI AP, Machado CS, Lins MA, Cruz MG, Batista VM, Rosa BA. Auditoria de custo: análise comparativa das evidências de glosas em prontuário hospitalar. Rev. Inst. Ciênc. Saúde. 2008.

KOYAMA, Marcos Fumio. Auditoria e Qualidade dos Planos de Saúde: percepções de gestores de operadoras da cidade de São Paulo a respeito do programa de qualificação da saúde suplementar da ANS. São Paulo: Escola de Administração de Empresas de São Paulo, 2006.

MEZOMO, J.C. Gestão da qualidade na saúde: princípios básicos. São Paulo, Manole, 2001. PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. Metodologia do Trabalho Cientifico. (2013, p. 115-116). Disponível em: https://aedmoodle.ufpa.br/pluginfile.php/291348/mod_resource/content/3/2.1-E-book-Metodologia-do-Trabalho-Cientifico-2.pdf. Acesso em 14 set. 2019. URBANIC, F. R.; HAUSER, R.C. Hospital audit commitees: a comparative analysis of structural and functional characteristics. Hospital & Health Services Administration, v. 36, n. 3, p.383-96, 1991.

TAVARES, R.; BIAZIN, D. T. Auditoria de Enfermagem e a Redução dos Custos Hospitalares: uma revisão sistemática. Terra e Cultura - No 52. 2011.

Capítulo 3

10.37423/250409880

SISTEMA MÓVEL COMPACTO PARA O ENSINO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Alessandra Taketomi Feitosa — *Universidade do Estado do Amazonas*

Salomão Moraes da Silva Junior — *Universidade do Estado do Amazonas*

Elves P. Balieiro — *Universidade do Estado do Amazonas*

Charles Luiz Silva de Melo — *Universidade do Estado do Amazonas*

Roberto Higino Pereira da Silva — *Universidade do Estado do Amazonas*

Resumo: *Com a evolução dos microcontroladores os CLPs evoluíram ganhando mais aplicações, rapidez e flexibilidade, tornando-se para as empresas um equipamento indispensável nos sistemas complexos de produção. Por outro lado o corpo técnico de automação industrial não cresceu na mesma proporção para atuação nesse seguimento, gerando uma grande necessidade de mão de obra qualificada. O treinamento de profissionais só são possíveis nos grandes centros onde existem laboratórios equipados em automação industrial. Diante das necessidades das empresas tanto da capital como dos municípios do interior é que este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de uma maleta didática portátil com o objetivo de ministrar cursos teóricos seguidos de experimentos práticos em automação industrial em locais fora das instituições de ensino, onde há dificuldades de acesso aos laboratórios. Na realidade estará disponível um minilaboratório portátil a essas localidades.*

Palavras-chave: *IHM, CLP, Maleta didática portátil.*

1. INTRODUÇÃO

No início da industrialização, os processos industriais utilizavam o máximo da força humana. A produção era composta por etapas ou estágios, nos quais as pessoas desenvolviam sempre as mesmas funções, especializando-se em certa tarefa ou etapa da produção. Assim tínhamos o princípio da produção seriada (MAMEDE FILHO, 2001).

Com o surgimento da tecnologia de estado sólido, desenvolvida a princípio em substituição às válvulas a vácuo, alguns dispositivos transistorizados passaram a ser utilizados também em substituição aos relés (SILVEIRA; SANTOS, 2002).

O lançamento dos microcontroladores e microprocessadores foram fundamentais para o surgimento e evolução de novas tecnologias que ajudaram a alavancar a produção. Esses componentes deram maior flexibilidade aos equipamentos e são responsáveis por receber informações das entradas, associá-las às informações contidas na memória e a partir destas desenvolver uma lógica para acionar as saídas (MORAES; CASTRUCC1, 2007).

Os CLPs são equipamentos eletrônicos de controle que atuam a partir dessa filosofia, pois as mudanças lógicas ocorrem com grande facilidade, sem que sejam necessárias alterações do hardware ou inclusão de componentes eletrônicos ou elétricos. Esta é a principal característica dos sistemas de automação flexíveis e o que faz dos CLPs ferramentas de grande aplicação nas estruturas de automação industrial (MAMEDE FILHO, 2001).

Uma das grandes problemáticas dessa evolução e expansão tecnológica foi que o corpo técnico especializado não cresceu com a mesma proporção e hoje há uma carência de profissionais qualificados na área de automação industrial.

Ao trata-se das cidades interioranas, como os centros de treinamentos não têm laboratórios de automação fora da sede, com isso empresas enfrentam hoje grandes dificuldades em contratar profissionais qualificados em automação industrial.

Levando-se em conta esses argumentos e o custo elevado para se adquirir um equipamento portátil que se equipare a um laboratório é que, com as tecnologias existentes no mercado será possível elaborar uma maleta didática, portátil, compacta, de baixo custo comparado aos disponíveis no mercado e construído exatamente em cima das nossas necessidades.

Dentro da maleta didática estará disponível um CLP, uma IHM, fonte chaveada, disjuntores, chaves, botoeiras, rede de comunicação, um motor DC e sensores de proximidade (indutivos), ou seja, dentro de uma maleta há um minilaboratório de automação industrial.

Então, o principal fundamento para a elaboração do protótipo didático constituiu-se da necessidade, ou melhor, da falta de laboratórios específicos para o aprendizado acadêmico em automação industrial em municípios fora da capital e em outras localidades fora das instituições de ensino e da carência das empresas e outros estabelecimentos por profissionais qualificados.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma maleta didática em automação industrial, o que permitirá uma maior acessibilidade e autonomia para o ensino de automação industrial. Pode-se ressaltar que na comunidade acadêmica de tecnologia eletrônica e demais cursos e outras entidades de ensino, e que estes possam utilizá-la de forma que venha contribuir para o conhecimento teórico e prático em controladores lógicos programáveis de futuros engenheiros.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado na Universidade do Estado do Amazonas (UEA) no campus da Escola Superior de Tecnologia (EST), como projeto de apoio a iniciação cientifica no curso Superior em Engenharia de Controle Automação Industrial.

A metodologia para o estudo dos componentes eletrônicos consistiu em entender como eles funcionavam, quais eram as aplicabilidades, características e particularidades.

O trabalho foi dividido basicamente em três etapas. A primeira delas consiste na abordagem e detalhamento do funcionamento do Controlador Lógico Programável (CLP). Optou-se pelo CLP da Mitsubishi da série FX0N-24MT-DSS, pelo fato de ser compacto, pequeno, rápido e universal com capacidade de expansão modular, mostrado na Figura 1. Deve-se ressaltar que este CLP consegue trabalhar com três tipos de linguagem, são elas:

Lista de Instruções, Linguagem *Ladder* e Sequência de Gráfico de Funções (SFC). Neste projeto, os experimentos práticos serão programados pela Linguagem *Ladder*.



Figura 1 – CLP Mitsubishi FX0N-24MT.

Segundo (SILVA, 2006) diz que o CLP é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instrução para implementação específica, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processo.

Fanchi (2011) diz que a linguagem *ladder* uma linguagem gráfica baseada na lógica de relés e contatos elétricos para a realização de circuitos de comandos de acionamentos elétricos. Sendo a primeira linguagem utilizada pelos fabricantes, é a mais difundida e encontrada em quase todos os CLPs da atual geração.

Para a programação do CLP FX0N-24MT-DSS utilizamos o software GX Developer da versão 8.78.

A especificação do CLP utilizado para o desenvolvimento da maleta didática em automação industrial é descrita pela tabela 1.

Tabela 1 – Especificações do CLP Mitsubishi da série FX0N-24MT.

ESPECIFICAÇÃO	
Número de Entradas	14
Número de Saídas	10
Tipo de Saída	Transistor
Alimentação	24 volts
Programação	*Ladder* e Lista de Instruções

Outra vantagem considerável do CLP é a possibilidade de reprogramação, sem a necessidade de realizar modificações de hardware, permitindo alterar a lógica para acionamento das saídas em função das entradas.

A segunda etapa deste trabalho consiste em abordar e detalhar as utilidades dos componentes de entradas e saídas do CLP, como sensores indutivos, capacitivos, relés, disjuntores e chaves. Também abordando a aplicabilidade da Interface Homem-Máquina (IHM).

A interface homem-máquina são sistemas normalmente utilizados em automação no chão de fábrica. Possui construção extremamente robusta, resistente a umidade, poeira de acordo com o IP (grau de proteção) e temperatura. Faz parte do sistema supervisores que são sistemas digitais de monitoração e operação da planta que gerenciam variáveis de processo. Estas são atualizadas continuamente e podem ser guardadas em bancos de dados locais ou remotos para fins de registros históricos (MORES; CASTRUCCI, 2007).

Para a programação dos equipamentos práticos na IHM GT 1030-LBD utilizamos o software *GT Designer 2*.

Segundo Seippel(1983), sensores são dispositivos usados para detectar, medir ou gravar fenômenos físicos tais como calor, radiação, etc., e que responde transmitindo informação, iniciando mudanças ou operando controles. Considerem agora outra definição de sensores2: “São dispositivos que mudam seu comportamento sob ação de uma grandeza física, podendo fornecer diretamente ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza”.

Quando operam diretamente convertendo uma forma de energia em outra são chamados de transdutores. Os de operação indireta alteram suas propriedades, como a resistência, a capacitância ou a indutância, sob ação de uma grandeza, de forma mais ou menos proporcional.

As redes de campo surgiram das necessidades de interligar equipamentos usados no sistema de automação, que se proliferavam independentes.

Hoje controladores lógicos programáveis, expansões, IHMs, conversores de frequência (inversor de frequência), medidores de grandeza, controladores de processo, sistemas supervisórios e outros elementos formam redes complexas em fábricas, permitindo que a informação flua de forma instantânea e precisa ao longo de todas as etapas de produção, supervisão, gerenciamento e planejamento (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009).

Na terceira etapa foi destinada para a implementação da maleta didática. Onde consistia a definição dos componentes utilizados tais como CLP, IHM e os periféricos do CLP e características mecânicas da maleta.

Selecionamos para o protótipo didático duas fontes de alimentação do tipo chaveadas. Sendo uma com saída de 24 VDC e outra com saída de 10 VDC.

Para o desenvolvimento mecânico da maleta, utilizou-se como base a estrutura mecânica de uma maleta convencional, adicionando-se apenas uma chapa de alumínio, esta necessária para a fixação mecânica dos componentes. Nas laterais da maleta foram realizados cortes para a fixação da tomada AC (Alimentação de 110 VAC e 220 VAC) e os fusíveis de proteção para os componentes alimentados por 24 VDC e 10 VDC.

3. DESENVOLVIMENTO

O projeto desenvolvido teve como principal intuito a redução de custo e a viabilidade de acesso ao ensino da automação industrial. As etapas de implementação do protótipo passou-se pelas seguintes etapas:

- Estudo teórico geral e específico dos componentes eletrônicos que fariam parte do projeto;
- Definição da maleta;
- Definição dos componentes;
- Preparação da maleta;
- Incorporação de uma chapa de alumínio na maleta para fixação dos componentes;
- Fixação mecânica dos componentes na maleta;
- Criação do circuito elétrico de alimentação da maleta;
- Soldagem dos componentes na maleta;
- Teste ôhmico dos componentes;
- Teste antes de energizar o sistema através de um multiteste para verificação de funcionalidade de cada componente;
- Teste de continuidade das interligações dos componentes;
- Alimentação elétrica do sistema;
- Teste elétrico de cada módulo do sistema;
- Simulação dos experimentos práticos proposto para validar o sistema;
- Analise dos resultados;
- Elaboração dos relatórios

A maleta foi definida de acordo com suas dimensões e resistência. Para o trabalho precisaríamos de uma maleta pequena e que suportasse retrabalhos e se adequasse ao trabalho de fixação dos componentes sem que sua estrutura básica viesse ceder às possíveis pressões mecânicas. Os componentes encontram-se organizados em módulos fixados sobre uma chapa de alumínio e sobre a base da maleta.

As ligações entre os dispositivos são realizados através de fios jumpers e bornes, possibilitando a montagem de diversas combinações de circuitos elétricos de maneira simples.

3.1. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DA MALETA

A maleta mede 40 cm de comprimento por 26 cm de largura e 9.5 cm de altura, foi escolhida devido o seu design reduzido e ter a construção constituída de material resistente com revestimento metálico na parte interna. Possui uma alça para transporte e proteção de alumínio nos cantos;

Sua estrutura interna é toda reforçada com madeira, tanto nas laterais quanto nas partes superiores e inferiores (base);

Tampa superior livre para que não haja contato com os componentes fixados na base. Na lateral direita temos uma tomada e dois suportes de fusíveis para a alimentação e proteção do sistema.

Para compor a maleta foi incluso uma chapa de alumínio, esta necessária para a fixação mecânica dos componentes. A chapa tem o formato e tamanho interno da maleta,com 3 mm de espessura. Nesta foi feito os cortes de acordo com a disposição dos componentes dentro da maleta.

3.2. COMPOSIÇÃO DA MALETA DIDÁTICA PORTÁTIL

A maleta é composta por:

- Um CLP FX0N da Mitsubishi;
- Uma IHM GT 1030-LBD da Mitsubishi ;
- Módulos de chaves: 8 chaves *push-buttons* do tipo N/A e 8 chaves liga desliga;1 chave *push-buttons* para ser usada como dispositivo de emergência;
- 3 chave do tipo liga desliga para habilitar os 24 VDC, 10VDC e IHM.
- Possui80 bornes para conexões;
- Todas as entradas possuem indicação luminosa e bornes de 3 mm permitindo acesso externo;
- Módulo de indicação luminosa dos pontos de saída digital através de leds;
- Módulo com dois potenciômetros multivolta para aplicação linear de sinal analógico;

- Módulos de fontes de tensão, sendo um módulo com uma saída de tensão fixa de 24 VDC / 3 A e um módulo fonte de tensão 10 V/ 1 A. As duas fontes são protegidas contra curto-circuito através de fusíveis;
- Um motor DC para simulação de experimentos como exemplo de uma cancela;
- Dois sensores indutivos de proximidade do tipo PNP para auxiliar nos experimentos analógicos;
- Uma tomada AC com três pinos (F, N, G) para energização da maleta, podendo esta ser alimentada tanto por 110VAC quanto por 220VAC;
- Um disjuntor para ligar e desligar o sistema elétrico;
- Ventoinha para refrigeração dos componentes;
- Dois fusíveis de 2ª, sendo um para proteção da fonte de 24 VDC e o outro para a fonte de 10 VDC.

3.3. INSTALAÇÕES MECÂNICAS DOS COMPONENTES NA MALETA DIDÁTICA PORTÁTIL

Para a fixação e instalação dos componentes como as chaves e botoeiras foi elaborado uma chapa de alumínio fora das instalações da EST. Na chapa, que tem o formato e tamanho das dimensões internas da maleta, foram feito cortes de acordo com a disposição dos componentes eletrônicos e da quantidade de bornes dentro da maleta, conforme apresentado na Figura 2. Aos componentes que o usuário não precisa manipular durante a operação e programação não foram feito cortes, estes estarão ocultos por baixo da chapa.



Figura 2 – Chapa de Alumínio retrabalhada.

Após os cortes foram feito medidas dos furos com paquímetro e comparados com o as reais dimensões de cada componente. Com a aprovação da chapa foi feito a pintura com tinta metálica, por esta não deixar digitais e facilitar a limpeza.

Nas laterais da maleta também foram feitos corte para fixação da tomada AC (Alimentação de 110 VAC e 220 VAC) e os fusíveis de proteção para os componentes alimentados por 24 VDC e 10 VDC, conforme apresentado na Figura 3.



Figura 3 – Vista Lateral da Maleta.

Após a aprovação da chapa e a pintura, realizou-se a fixação mecânica dos componentes, fixou-se a chapa na maleta, acrescentaram-se as fontes de 24 volts e de 10 volts, um disjuntor e uma ventoinha para resfriamento do equipamento.

Com os componentes fixados na chapa foi feito as ligações elétricas de cada componente utilizando solda comum e a técnica de estanhar primeiramente os terminais antes de soldar. Na Figura 4 apresenta a maleta didática portátil.



Figura 4 – Maleta Didática Portátil.

3.4. MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CORRETIVA

Os fios jumpers que ligam os componentes fixos na base com os componentes fixos na chapa foram dimensionados para facilitar as manutenções preventivas ou corretivas. O técnico que for executar a manutenção poderá posicionara chapa ao lado esquerda da maleta, ou seja, a chapa poderá virar do lado direito para o esquerdo em até 180°, apresentado na Figura 5. Com isso o técnico terá totais

acessos durante a manutenção tanto para a base da maleta como para a chapa de alumínio. A troca ou ressolda de qualquer componente é facilitado com esse sistema.



Figura 5 – Vista da Maleta durante a manutenção corretiva ou preventiva.

3.5. TESTE DE FUNCIONALIDADE DO SISTEMA

Neste teste verificamos cada etapa do circuito energizado.

Primeiro passo: Energizamos a maleta portátil através de um cabo de força de três pinos ligados diretamente entre à rede elétrica local e a tomada AC da maleta, lembrando que esta é bivolt, podendo ser energizada tanto em 110VAC quanto em 220VAC. Depois ligamos o disjuntor D1 (esquerda para direita). Com este passo observou-se que a lâmpada L1 acendeu indicando que a maleta estava recebendo a tensão normal da rede elétrica local;

Segundo passo: A chave CH 03 foi acionada (esquerda para direita). Com esta chave habilitada e ventoinha funcionou normalmente, indicando que a fonte chaveada de 10VDC de saída estava trabalhando normalmente. Com esta chave acionada foram feito teste de funcionalidade do motor DC o qual girou normalmente;

Terceiro passo: Ligamos o borne vermelho positivo no borne + 24V da fonte FX2N-20PSU. Também conectamos o borne preto negativo ao borne – 24V da fonte FX2N-20PSU. Com este passo estava energizado 24VDC na chave CH 01. Acionamos a CH 01 (esquerda para direita). Com a tensão de 24VDC disponível fez-se os testes de funcionalidades nas lâmpadas, nas chaves liga-desliga e nas chaves *push-button*. Também foram feito testes de funcionalidade do CLP e dos sensores indutivos;

Quarto passo: Ligando a IHM. Conectou-se os bornes +24V da fonte com o borne 24VDC da IHM. O -24V da fonte com o 0V da IHM. Acionamos a chave CH 02 (esquerda para a direita) com estes passos a IHM estava energizada.

3.6. SEGURANÇA DO EQUIPAMENTO

Em respeito à segurança do usuário foi incluído no circuito elétrico uma chave *puch-buttonemergency stop*. Com isso, em um eventual problema elétrico ou mecânico que ponha em risco o sistema e o operador, basta pressionar a chave de emergência que o sistema irá interromper a energia elétrica para os circuitos de 24VDC e 10VDC. Neste sistema também foi feito teste de funcionalidade o qual operou dentro do esperado.

3.7. SIMULAÇÃO DO EXPERIMENTO PRÁTICO

Será exposto um dos experimentos feitos com a maleta por este englobar a aplicação com o CLP e a IHM ao mesmo tempo, os dois controlando um motor DC com reversão. Incluiu-se também neste experimento as lâmpadas sinalizadoras que indicarão o momento exato em que o motor faz a reversão.

Com o CLP, inicia-se o processo acionando um dos botões *push-button*. O motor passará 5 vezes pelo sensor indutivo e quando vai para a sexta volta faz a reversão.

Com a IHM, como ela é *touchscreen*, criou-se um botão de start e após pressionarmos o start começa o processo de o motor girar. O dog do motor passará 5 vezes no sensor e depois ocorrerá a reversão. Na tela também mostrará as contagens de 1 a 5 voltas e depois o inverso.

Houveram outros experimentos como: Simulação de um semáforo com uma via e duas vias, estrela triângulo, controle do motor DC simulando uma esteira onde uma peça para sempre em um mesmo ponto, etc.

Para realizarmos o experimento 1 utilizamos o software *GX Developer* para programar o CLP e o software GT Designer 2 foi utilizado para programar a IHM..

4. ANALISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos dos experimentos foram todos alcançados. A maleta didática portátil funcionou conforme o esperado tendo em vista que não apresentou anomalias durante os experimentos

práticos, onde todos os acionamentos dos comandos foram plenamente executados conforme a programação elaborada na IHM e no CLP.

Os CLP's se tornaram equipamentos cada vez mais presentes em todos os campos da automação, o que torna cada vez mais necessária a formação de profissionais capazes de aplicá-los de forma eficiente na solução dos mais diversos problemas.

Comisso a partir do conceito desta maleta didática portátil possa ser tornar mais acessível à utilização de práticas de automação industrial voltada pra a programação desses tipos de controladores.

5. CONCLUSÃO

Com os objetivos alcançados com os testes de continuidade, ôhmicos e de funcionalidade, foi feito o teste final de aceitação da maleta didática através de experimentos práticos utilizando todos os recursos da maleta.

Durante os experimentos constatou-se com satisfação que o sistema portátil funcionou dentro das expectativas podendo ser este de grande utilidade e importante ferramenta na aplicação de cursos teóricos seguidos de exercícios práticos fora das instituições de ensino, onde inexistem laboratórios de automação industrial.

Por a maleta ser bivolt poderá esta ser utilizada em qualquer localidade onde há energia elétrica, deixando este de ser um entrave para a não realização do curso técnico.

6. REFERENCIAS

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo. Redes Industriais. São Paulo: Ensino, 2009.

FRANCHI, Claiton Moro; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos. São Paulo: Editora Érica. 2008.

MAMEDE FILHO, João. Instalações elétricas industriais. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plinio de Lauro. Engenharia de automação industrial. 2 ed. São Paulo: LTC, 2007.

SEIPPEL, Robert G. Transducers, sensors & detectors.[S.I]: [S.ed.], 1983.

SILVA, Daniel Soares. Apostila Criativa Automação Industrial S.A. Curso Básico de PLC. São Paulo: ITA, 2006.

SILVEIRA, Paulo Rogério da; SANTOS, Winderson E. dos. Automação e controle discreto. 4. ed. São Paulo, SP: Érica, 2002.

Capítulo 4

10.37423/250409888

EFEITO DO TRATAMENTO DE ENVELHECIMENTO NA LIGA AA7075 PARA APLICAÇÕES ESTRUTURAIS

Luis Gustavo Ferracioli Alves — *Universidade Federal de São Paulo*

Amanda Nogueira Lino — *Universidade Federal de São Paulo*

Renata Jesuina Takahashi — *Universidade Federal de São Paulo*

Luzia Pedroso de Oliveira — *Universidade Federal de São Paulo*

Danieli Aparecida Pereira Reis — *Universidade Federal de São Paulo*

Resumo: Uma boa resistência mecânica e baixa massa específica fazem das ligas de alumínio fortes candidatas para aplicações mecânicas na indústria. Os principais elementos de liga da série 7XXX são o zinco e o magnésio, que elevam as características de resistência mecânica do alumínio. Esta série de liga permite o processamento através de tratamentos térmicos que aumentam sua resistência mecânica, dureza e ductilidade, possibilitando sua utilização em peças sujeitas a grandes esforços. Neste estudo foram comparados os tratamentos de endurecimento por solubilização e têmpera (W), de envelhecimento artificial (T62) e a condição sem tratamento térmico (O), considerando corpos de prova (CDPs) de chapas da liga AA7075. A dureza foi analisada por ensaio Rockwell superficial na escala 15T. Foram realizadas análises estatísticas para comparar os tratamentos com relação a dureza, tensão máxima (σMAX), tensão de escoamento (σESC), tensão na ruptura (σRUP) e deformação máxima na ruptura (εMAX), obtidas nos ensaios de tração e análises de difração de raios X para indicar as fases formadas após os tratamentos térmicos. Foram encontrados indícios da fase endurecedora MgZn2, típica nas ligas da série 7XXX. A σMAX da liga na condição “W” em relação à condição inicial “O” apresentou um aumento de 172,48 %, e quando comparada a condição T62 com a condição “W”, o aumento foi de 2,56 %. A dureza aumentou em 32,43 % nas condições de “W” para “O” e de 3,46 % de T62 para “W”. Assim, conclui-se, de acordo com o teste estatístico de Tukey, que o tratamento T62 alcançou maiores valores médios de tensão máxima e dureza, propriedades essenciais em materiais para aplicação estrutural.

Palavras-chave: Liga de alumínio; Tratamento térmico; Dureza; Microestrutura; Análise estatística.

1. INTRODUÇÃO

As ligas de alumínio podem sofrer tratamentos para reforçar suas propriedades e alcançar maiores possibilidades de aplicação, sem perder suas qualidades [1,2]. O tratamento térmico para endurecimento das ligas de alumínio é o endurecimento por precipitação ou também conhecido como envelhecimento. Neste tratamento a temperatura do material é elevada de modo que ocorra a precipitação dos elementos adicionados à liga e estes, por sua vez, formam compostos intermetálicos na fase matriz composta pelo alumínio [3,4].

A liga AA7075 possui a leveza do alumínio, característica muito importante para o uso de um material em veículos de transporte. Além disso, os materiais para aplicação estrutural, tais como vigas e reforços em estruturas de asas de aeronaves e reforços de portas e pilares em carrocerias de carros, requerem alta resistência mecânica e dureza a fim de manterem a sua integridade estrutural sob carregamentos [5-10]. Portanto, a liga AA7075 pode receber incremento de resistência mecânica e dureza através de tratamento térmico, satisfazendo assim, requisitos para aplicação estrutural e ao mesmo tempo ser leve o suficiente para seu uso nos setores automotivo e aeroespacial [11-14].

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito dos tratamentos de solubilização (W) e de envelhecimento (T62) sobre as propriedades mecânicas da liga AA7075. Foram considerados ensaios de tração e de dureza Rockwell superficial 15T e realizada análise estatística a partir dos dados obtidos. Características microestruturais foram analisadas por meio da difratometria de raios X (DRX) para indicar as fases resultantes dos tratamentos térmicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros de processamento da liga AA7075 para tratamento térmico T62. O tratamento iniciou-se com a solubilização, onde foi feita a introdução das peças em condição “O” em forno de resistência elétrica em temperatura ambiente e, então, foi feito o aumento gradativo da temperatura até o patamar definido para o processo e pelo tempo determinado. Em seguida, as peças foram colocadas rapidamente em meio refrigerante (etilenoglicol) para que ocorresse a têmpera. Na última etapa, as peças foram dispostas no forno para o envelhecimento e mantidas no período definido pela norma AMS 2770 [15]. O tratamento de solubilização foi feito utilizando dos parâmetros de processamento descritos na Tabela 1, exceto pela aplicação do processo de envelhecimento artificial.

O ensaio de dureza Rockwell Superficial 15T foi feito no durômetro de bancada Mitutoyo modelo HR-400, conforme a norma ASTM E18-22 [16]. O ensaio de tração foi executado na máquina universal para ensaios de tração Instron modelo 3367, conforme a norma ASTM E8/E8M [17], e foram realizados no total de 15 CDPs, sendo 05 para cada condição sob temperatura (21°C) e umidade (40 %) controladas.

A preparação metalográfica das amostras seguiu a sequência de lixas de grana 600, 800, 1200, 1600, 1800 mesh e o polimento com sílica coloidal (OPS). Na sequência as peças foram submetidas ao ataque químico por 13 s com reagente Keller nas proporções: ácido fluorídrico (HF) 2,0 %, ácido clorídrico (HCl) 3,0 %, ácido nítrico (HNO3) 5,0 % e água destilada. A análise das fases resultantes dos tratamentos foi feita no difratômetro de raios X (DRX) da marca Rigaku modelo Ultima IV. Utilizou-se um feixe de radiação monocromática de Cu-Kα (1,54 Å), sob condições de 40 kV e 30 mA. A coleta dos espectros foi realizada em temperatura ambiente e pressão atmosférica com varredura no intervalo de 20° a 90°, com passo 0,02°, velocidade de 10°/min. As análises foram realizadas no *software* X'Pert Highscore Plus.

Tabela 1: Parâmetros de processamento da liga AA7075 para obtenção da condição T62.

Processo	Temperatura [°C]	Tempo	Meio
Solubilização	466	30 min	Forno ao ar
Têmpera	25 (Temperatura ambiente)	Tempo necessário para que cesse o borbulhamento das peças no meio refrigerante.	Solução de etilenoglicol
Envelhecimento	121	23-25 h	Forno ao ar

Fonte: [15].

2.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

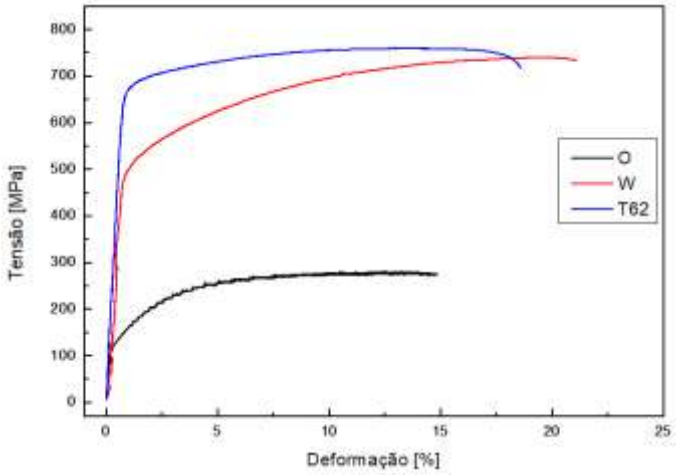
Nos ensaios de tração e de dureza considerou-se inicialmente o modelo de análise de variâncias (ANOVA) com um fator de efeito fixo [18] para comparar as médias nas três condições analisadas "O", "W" e T62. A suposição de normalidade dos resíduos foi checada por meio do gráfico de quantis da distribuição normal com envelope simulado [19] e teste de Shapiro-Wilk [19] e a de homogeneidade

de variâncias por meio do diagrama de dispersão dos resíduos versus preditos [18] e teste de Breusch-Pagan [20]. Nos casos em que alguma das suposições do modelo não foi satisfeita avaliou-se a qualidade de ajuste de modelos lineares generalizados para dados contínuos [21,22] e nos casos em que não houve bom ajuste optou-se pelo teste não paramétrico de Kruskal Wallis [18], que possibilita checar se as amostras nas três condições provém de populações idênticas. Quando a hipótese de igualdade de médias na ANOVA foi rejeitada, prosseguiu-se com os testes de comparações múltiplas de Tukey [18] e nos casos em que rejeitou-se a hipótese de igualdade das três condições pelo teste de Kruskal Wallis, prosseguiu-se com o teste não paramétrico de soma de postos de Wilcoxon (Mann-Whitney) [18,23] com correção de Holm [24]. Em ambos os casos as três condições foram comparadas duas a duas, considerando-se um nível de significância global de 0,05. Para os demais testes também utilizou-se um nível de significância de 0,05. As análises foram realizadas no programa R versão 4.3.2 [25] no ambiente do RStudio 2023.09.1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a curva tensão *versus* deformação de três corpos de prova, um em cada condição, nas três condições estudadas. A partir desse gráfico, observa-se que σESC e σMAX nas condições “W” e T62 são maiores em relação à condição “O”. Essa diferença se dá pelo tratamento térmico que resultou na presença de precipitados na matriz de Al [26]. Para as amostras na condição T62 têm-se a resistência num patamar estável o qual pouco sofrerá mudanças ao longo do tempo, já que recebeu o tratamento de envelhecimento artificial. Já as amostras na condição “W”, embora tenham ganho considerável resistência em relação à condição inicial, ainda se encontravam em processo de endurecimento na data do ensaio. Isso se deve ao fato que, como elucidado por Mouritz [27], como a liga AA7075-W sofreu somente a solubilização e têmpera, o processo de precipitação foi iniciado, mas só deveria alcançar seu maior patamar de dureza após mais de 06 meses ou depois de um ano de envelhecimento.

Figura 1: Gráfico Tensão × Deformação do ensaio de tração para a liga AA7075 nas condições "O", "W" e T62.



A Figura 2 apresenta os valores observados de σMAX, σESC, σRUP e εMAX nos CDPs nas três condições "O", "W" e T62 e suas respectivas médias por condição e totais, possibilitando uma análise visual detalhada dos valores obtidos no ensaio de tração. A Tabela 2 apresenta os valores médios, os respectivos erros padrões nas condições "O", "W" e T62 e os resultados dos testes estatísticos no ensaio de tração. No caso da tensão máxima e da deformação o modelo de ANOVA ajustou-se bem aos dados, sendo os p-valores dos testes de normalidade de Shapiro Wilk 0,1101 e 0,4732 e do teste de Breusch-Pagan 0,638 e 0,4019, respectivamente. De acordo com a ANOVA a hipótese de igualdade de médias nas três condições foi rejeitada, sendo p<0,0001 tanto para a tensão máxima como para a deformação. Nesses casos, as letras em sobrescrito na Tabela 2, representam os resultados das comparações de Tukey. Para σMAX e ε**MAX** as médias nas condições "O", "W" e T62 foram estatisticamente diferentes entre si, considerando um nível de significância global de 0,05 (letras diferentes). Com relação às tensões de escoamento e de ruptura as suposições de normalidade do modelo de ANOVA não foram satisfeitas, sendo os p-valores do teste de Shapiro Wilk 0,0007 e 0,0002, respectivamente. Com relação às suposições de homogeneidade de variâncias não houve evidências para rejeitá-las, sendo o p-valor do teste de Breusch-Pagan igual a 0,2222 para σESC, e 0,1916 para σMAX. Assim sendo, para σMAX e ε**MAX**, como alternativa a ANOVA avaliou-se a qualidade de ajuste de modelos lineares generalizados com distribuições gama e normal inversa e com distribuição normal e função de ligação logarítmica. Entretanto, nenhum desses modelos conseguiu explicar a variabilidade dos valores observados com a presença de um ou dois pontos atípicos (Figura 2). Dessa forma, utilizou-se os testes não paramétricos de Kruskal Wallis e de Wilcoxon com correção de Holm para as comparações múltiplas. Para as tensões de escoamento e de ruptura os p-valores do teste de

Kruskal Wallis foram 0,0019 e 0,0052, respectivamente, de modo que em ambos os casos foi rejeitada a suposição de que as amostras nas três condições provém de populações idênticas. De acordo com os resultados dos testes de Wilcoxon para comparações das amostras independentes, duas a duas, após as correções de Holm, verificou-se que com relação a σESC houve evidências de que as amostras nas três condições "W", "O" e T62 provém de populações diferentes, enquanto que para σRUP não houve evidências para rejeitar a hipótese de igualdade entre as populações nas condições "W" e T62, havendo portanto, evidências de diferenças somente entre as condições "O" e "W" e entre as condições "O" e T62.

Figura 2: Diagramas de dispersão dos valores observados no ensaio de tração por corpo de prova, juntamente com os valores médios por condição (tratamento) e médias globais referentes às variáveis estudadas.

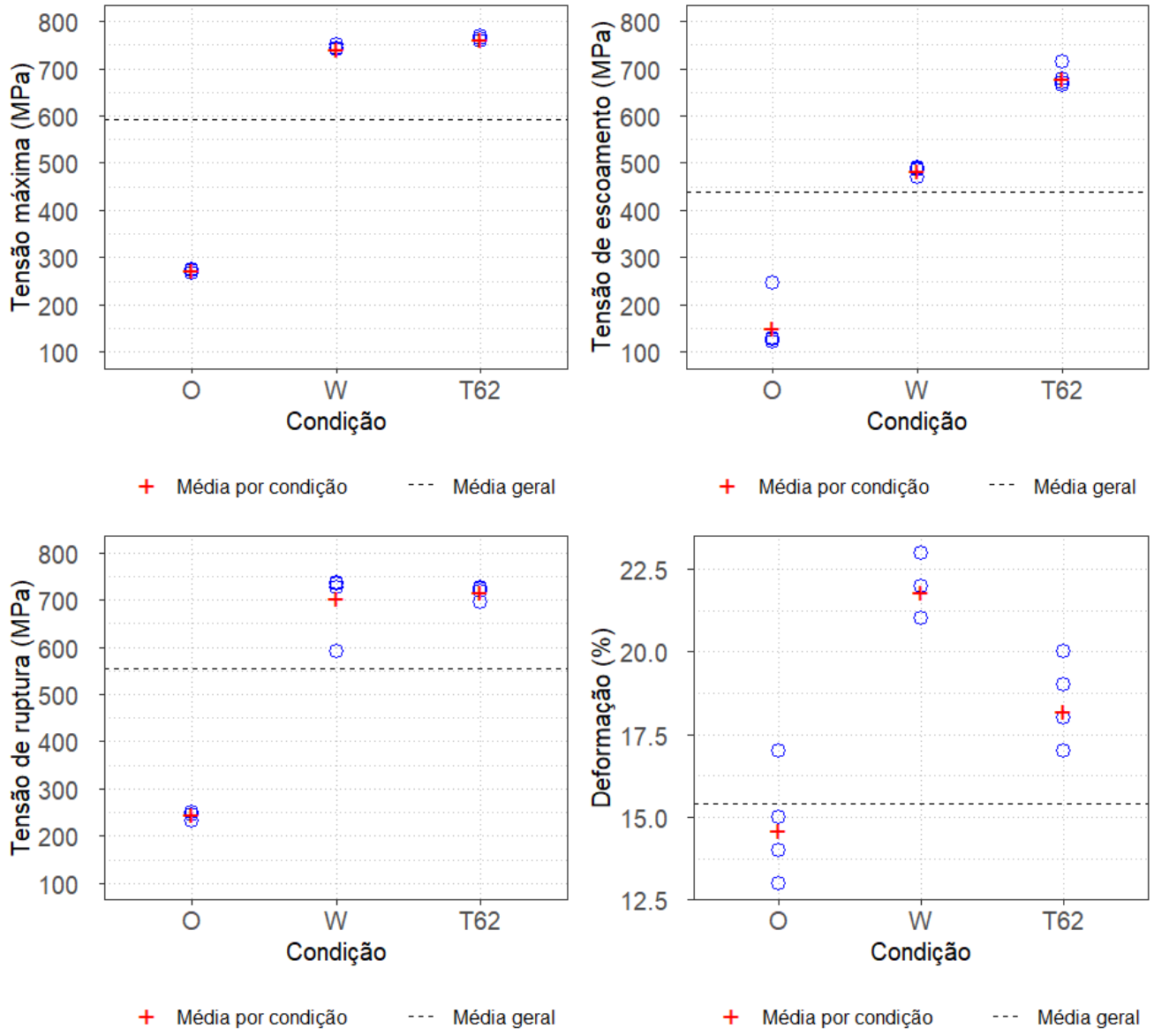


Tabela 2: Valores médios (erros padrões) obtidos no ensaio de tração, p-valores dos testes de comparação das três condições e resultados das comparações múltiplas.

	σ_{MAX} (MPa)	σ_{ESC} (MPa)	σ_{RUP} (MPa)	ε_{MAX} (%)
"O"	$272,49^{c}$ (1,40)	$150,71^{c}$ (24,12)	$245,43^{b}$ (3,29)	$14,60^{c}$ (0,68)
"W"	$742,49^{b}$ (1,99)	$484,46^{b}$ (3,58)	$704,23^{a}$ (28,70)	$21,80^{a}$ (0,30)
T62	$761,51^{a}$ (2,22)	$680,08^{a}$ (9,08)	$717,40^{a}$ (5,79)	$18,20^{b}$ (0,58)
p-valor	$< 0,0001^{*}$	$0,0019^{**}$	$0,0052^{**}$	$< 0,0001^{*}$

*p-valor da ANOVA; **p-valor do teste de Kruskal Wallis. Letras em ordem decrescente de valores médios. Letras iguais significa que não houve diferença significativa (nível de significância global de 0,05).

A Figura 3 apresenta os valores observados no ensaio de dureza de quatro indentações de CDPs nas condições "O", "W" e T62, juntamente com os valores médios por condição e geral. Na Tabela 3 são apresentados os valores médios, os respectivos erros padrões e os resultados das comparações múltiplas obtidas pelo teste de Tukey, indicados pelas letras sobrescritas nos valores médios. Neste caso, as suposições de normalidade (p=0,2154) e de homogeneidade de variâncias (p=0,2906) foram satisfeitas, sendo a hipótese de igualdade de médias rejeitada (p<0,0001). As médias nas três condições foram estatisticamente diferentes entre si (Tukey).

O valor de dureza encontrado para a amostra na condição T62 foi aquele previsto por ASM [28], 150 HB, e também obtido na Literatura [29]. Fazendo um comparativo entre os valores obtidos para cada condição da liga vê-se que houve um aumento de dureza de 32,43% da condição "W" comparada a "O" e de 3,46 % de T62 comparada a "W". Para comparação com a literatura, os valores medidos de dureza superficial *Hardness Rockwell 15T* (HR15T) foram convertidos para valores em *Hardness Brinell* (HB) através do uso de uma tabela de conversão, seguindo a norma ASTM E-140-12b [30]. Os valores convertidos também são apresentados na Tabela 3.

Figura 3: Diagrama de dispersão dos valores obtidos no ensaio de dureza e médias por condição

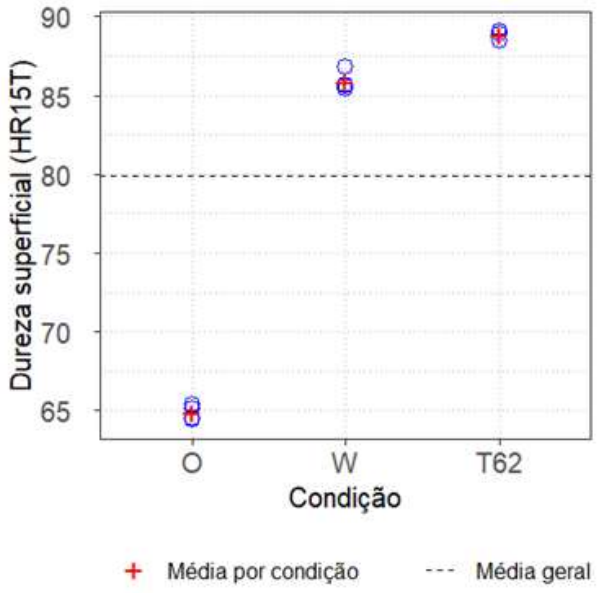


Tabela 3: Média (erro padrão) do ensaio de dureza Rockwell Superficial 15T (HR15T) e média da conversão da ASTM E140-12b (HB)

	Dureza Rockwell Superficial 15T	
	HR15T	**HB**
"O"	$64{,}85^{c}$ (0,24)	50
"W"	$85{,}88^{b}$ (0,31)	115
T62	$88{,}85^{a}$ (0,13)	150
p-valor	< 0,0001	

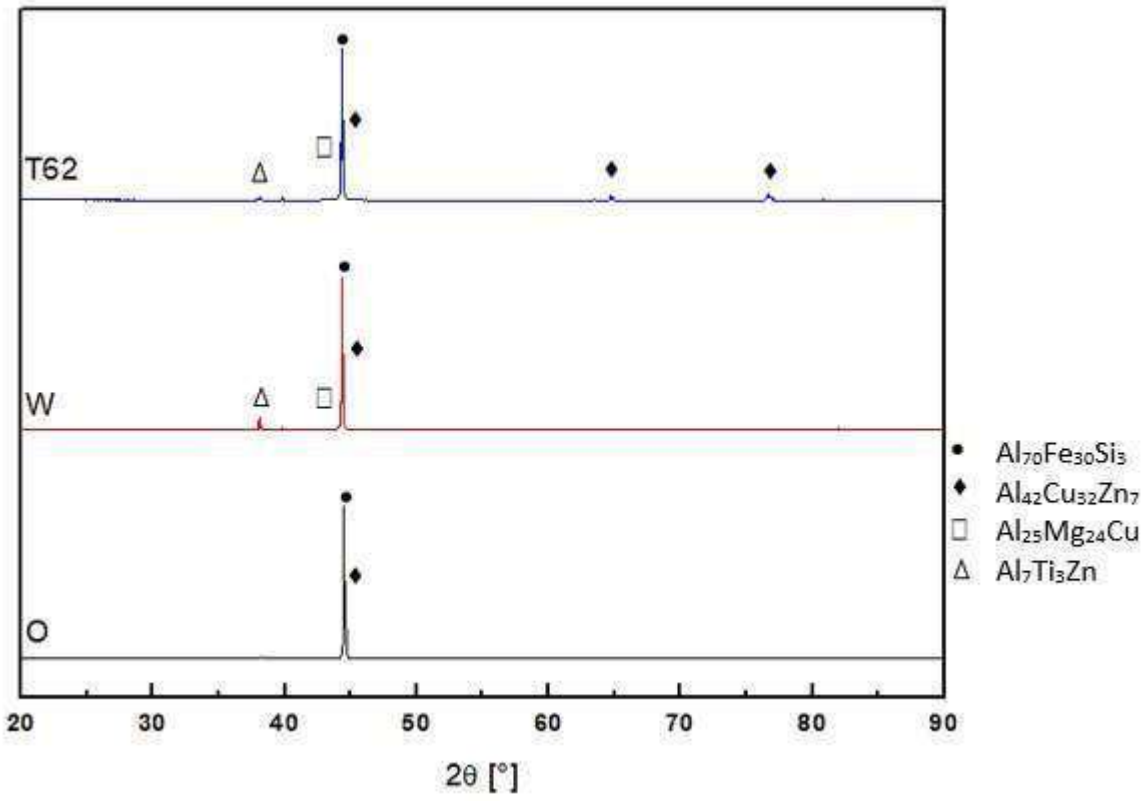
Letras em ordem decrescente de valores. As letras diferentes significam que não houve diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey (nível de significância global de 0,05).

valor do ensaio convertido foi de 50 HB. Esta divergência pode ter ocorrido devido à própria conversão dos valores, e sua imprecisão intrínseca prevista pela norma ASTM E-140-12b [30]. A condição "W" resultou em um valor médio de 115 HB, valor condizente para a liga, visto que, esta liga não alcançou o seu valor máximo de dureza.

A Figura 4 mostra o difratograma onde observa-se a presença das diferentes fases. Uma das fases encontradas nas amostras para as três condições estudadas foi a Al70Fe30Si3, que, como outras fases

contendo Fe e Si, não tem contribuição significativa no aumento da resistência em ligas da série 7XXX [31]. Esta fase é incoerente com a matriz, tem dimensões elevadas e alta dureza, assim como outras formadas por Fe e Si. A ocorrência da fase Al42Cu32Zn7 foi comum para as três condições estudadas e já era esperada visto que o Cu e Zn estão dentre os constituintes em maior proporção na liga de Al. A fase Al25Mg24Cu nos resultados do difratograma para a condição T62 aponta para a presença da fase endurecedora η' (MgZn2) ou a fase T (Al32(MgZn)49), a qual participa do incremento de dureza no fenômeno de endurecimento por precipitação, porém com contribuição bem menor do que a fase η'. Segundo a Literatura [29], a fase η' é muito difícil de se encontrar diretamente devido às suas pequenas dimensões. Percebe-se ainda que a fase Al25Mg24Cu apresenta um pico maior na condição T62 quando comparada com a "W". Dado o fato que as fases endurecedoras η' e T têm Mg na sua composição, este elemento pode ter formado uma dessas fases através de difusão conforme o envelhecimento avançou quando comparadas as amostras "W" e T62.

Figura 4: Difratograma obtido de amostras da liga AA7075 das condições "O", "W" e T62.



As fases encontradas via DRX indicam presença das fases formadas por Fe e Si conforme a Literatura [29,31]. As fases Al25Mg24Cu e Al42Cu32Zn7 encontradas por DRX apontam para a presença das fases endurecedoras η (MgZn2) e T (Al2Mg2Zn3). Esta estimativa é reforçada pelos trabalhos de Pontes [32]

e Camarinha [29] onde se descrevem tais fases endurecedoras como sendo formas mais claras, de formato circular e de pequenas dimensões, quando comparadas com outras fases típicas dessa liga.

4. CONCLUSÕES

Foram desenvolvidos neste trabalho o processo de tratamento térmico de solubilização, têmpera, envelhecimento artificial de amostras de chapas de liga de alumínio AA7075, ensaios de tração e dureza e análise por difratometria de raios X (DRX), onde pôde-se concluir que:

➢ Houve um ganho de 172,48 % na tensão máxima (σMAX) da liga na condição “W” comparado com “O” e de 2,56 % em T62 comparado com “W”, sendo os valores médios nas três condições estatisticamente diferentes entre si, quando comparados dois a dois.

➢ A média de σESC foi 221,45 % maior na condição "W" comparada com “O” e 40,38 % maior em T62 comparado com “W”, sendo significativas as diferenças nas três condições.

➢ A σRUP foi maior em 186,94 % quando comparada a média da condição “W” com a de “O” e de 1,87 % na comparação de T62 com “W”. Houve evidências de diferenças entre as condições “O” e “W” e entre as condições “O” e T62, entretanto, não houve diferença significativa entre as condições “W” e T62.

➢ A deformação apresentou maior média na condição "W" (21,8 %), seguida pela T62 (18,2 %) e "O"(14,6 %), sendo os valores médios nas três condições estatisticamente diferentes entre si, quando comparados dois a dois.

➢ Quanto à dureza, teve-se um aumento no valor médio de 32,43 % na condição “W” em comparação com a condição “O” e um aumento no valor médio de 3,46 % na condição T62 em comparação com “W”, sendo as diferenças entre os valores médios nas três condições estatisticamente significativas.

A liga na condição “W” alcançou valores de resistência mecânica e dureza superiores à condição “O”, no entanto, não se encontravam em seus valores máximos, pois o processo de precipitação ainda não se encontrava estável quando no momento das análises;

➢ Os resultados dos ensaios de tração e de dureza dos CDPs na condição T62 mostraram valores condizentes com aqueles esperados para uma liga tratada termicamente.

➢ As fases Al42Cu32Zn7 e Al25Mg24Cu, identificadas por DRX, apontam para presença da fase endurecedora η’ (MgZn2).

➢ A fase Al70Fe30Si3 foi identificada via DRX nas amostras de “W” e T62. Esta fase é mais grosseira e disforme, característica das fases formadas a partir de Fe e Si nas ligas endurecidas termicamente;

➢ Como foi observada a presença de alguns valores distantes dos demais para σESC e σRUP recomenda-se para ensaios futuros o uso de uma quantidade maior de corpos de prova em cada condição, tendo em vista a dificuldade para controlar outras fontes de variação que são inerentes ao processo e passam a ser atribuídas ao erro experimental.

REFERÊNCIAS

[1] Reed-Hill, R. E.; Abbaschian, R.; Abbaschian, L. Physical Metallurgy Principles, Fourth Edition. Editora Cengage Learning, 2009.

[2] Totten, G.E.; Mackenzie D.S.; Handbook of Aluminum: Volume 1. Physical Metallurgy and Processes. Marcel Dekker, Inc. Nova Iorque-EUA, 2003.

[3] Callister, W. D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 8ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

[4] Hatch, J. E.; Aluminum: Properties and physical metallurgy. Metals Park: American Society for Metals, 1984.

[5] Hong, J. et al. Evaluation of rate-dependent forming limit for AA7075 sheets under pneumatic stretching method at elevated temperatures. Journal of Materials Research and Technology, p.1839-1854, 2022.

[6] Miklos, T; Czinege, I.; Comparative study of the application of steels and aluminum in lightweight production of automotive parts. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, p229-238, 2018.

[7] Niu, Michael Chung-Yung. Airframe: Stress analysis and sizing. 2nd edition. Hong Kong Conmilit press. Hong Kong, 2005.

[8] Niu, Michael Chung-Yung. Airframe structural design: Practical design information and data on aircraft structures. 2nd edition. Hong Kong Conmilit press. Hong Kong, 1989.

[9] Rocha LO, Camarinha MGG, Martins GV, Çaha I, Alves A, Takahashi RJ, et al. Corrosion and tribocorrosion behavior of plasma nitrided AA7075 - T651. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2023;20:e2866. http://doi.org/10.4322/2176-1523.20232866.

[10] Camarinha MGG, Campanelli LC, Barboza MJR, Reis L, Couto AA, Reis DAP. Fatigue behavior of notched and unnotched 7075-T6 aluminum alloy subjected to retrogression and re-aging (RRA) heat treatment and plasma nitriding. Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2023;127:104051. http://doi.org/10.1016/j.tafmec.2023.104051.

[11] ABAL - Associação Brasileira de Alumínio. In: Alumínio Características Físicas e Químicas. Disponível em: <https://abal.org.br/>. Acesso em: 28 de Dez. 2022.

[12] Bamberg, P. et al. Development of a new approach to resistance spot weld AW-7075 aluminum alloys for structural applications: an experimental study e Part 1. Journal of Materials Research and Technology. 2021; p.5569-5581.

[13] Maria Gabriela Galvão Camarinha, Leticia Oliveira Rocha, Miguel Justino Ribeiro Barboza, Gislene Valdete Martins, Marcos Massi, Argemiro Soares Silva, Douglas Marcel Gonçalves Leite, Danieli Aparecida Pereira Reis. Evaluation of plasma nitriding process in the wear resistance of 7075 aluminum alloy. Tecnol Metal Mater Min. 2024;21:e3029 | https://doi.org/10.4322/2176-1523.20243029.

[14] Savonov GS, Camarinha MGG, Rocha LO, Barboza MJR, Martins GV, Reis DAP. Study of the influence or the RRA thermal treatment and plasma nitriding on corrosion behavior of 7075-T6 aluminum alloy. Surface and Coatings Technology. 2019;374:736-744. http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.04.095.

[15] SAE - Society of Automotive Engineers. AMS 2770 - Aerospace Material Specification. Heat Treatment of Wrought Aluminum Alloy Parts - AMS 2770H, 2006.

[16] ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM E18-22 - Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials - ASTM E18-22, 2022.

[17] ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM E8/E8M - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials - ASTM E8/E8M-22, 2022.

[18] Walpole, R. E. et al. Probabilidade e estatística para engenharia e ciências. Tradução: Luciane F. Pauleti Vianna. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

[19] Fox, J. et al. Companion to Applied Regression: Package 'car'. 2023. Disponível em https://cran.r-project.org/web/packages/car/car.pdf.

[20] Hothorn, T. et al. D. Testing Linear Regression Models: Package 'lmtest'. 2023. Disponível em https://cran.r-project.org/web/packages/lmtest/lmtest.pdf.

[21] Cordeiro, G. M.; Demétrio, C. G. B. Modelos Lineares Generalizados e Extensões. Piracicaba, 2008. 392p.

[22] Paula, G. A. Modelos de regressão com apoio computacional. IME-USP, 2023. Disponível em https://www.ime.usp.br/~giapaula/texto_2023.pdf.

[23] Montgomery, D. C.; Runger, G. C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros. Tradução: Veronica Calado. 7ª ed. Grupo GEN, 2021.

[24] Holm, S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. Scandinavian Journal of Statistics, v.6, n.2, p. 65–70, 1979.

[25] R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em https://www.R-project.org/.

[26] Shackelford, J.F. Introdução à ciência dos materiais para engenheiros. 6ª ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice-Hall, 2008.

[27] Mouritz, A. P. Aluminium alloys for aircraft structures, Introduction to Aerospace Materials, Woodhead Publishing, 2012, Pages 173-201, ISBN 9781855739468, (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978185573946850008X)

[28] ASM - American Society of Materials. Metals Handbook Desk Edition, Second Edition. ASM International Handbook Committee 2ª ed., 1998.

[29] Camarinha, M. G. G. Estudo do Comportamento em Fadiga e Corrosão da Liga de Alumínio 7075 Submetida a Diferentes Tratamentos Térmicos e Nitretação a Plasma. Tese (Doutorado) –

Universidade Federal de São Paulo. Instituto de Ciência e Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. São José dos Campos, 2018. 135f.

[30] ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM E140-12b - Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness ASTM E140-12b , 2019 .

[31] Reda, Y.; Abdel-Karim, R.; Elmahallaw, I. Improvements in Mechanical and Stress Corrosion Cracking Properties in Al-alloy 7075 via Retrogression and Reaging. Materials Science and Engineering A. v.495, p.468-475, 2008.

[32] Pontes, A. M. P.; Análise da Resistência à Corrosão da Liga de Alumínio AA7075-T6 após Conformação por Laminação à Frio. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Itajubá, 2017.

Capítulo 5

10.37423/250409889

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO MARAGING 300

Larissa Ferreira Pinto — *Universidade Federal de São Paulo*

Renata Jesuina Takahashi — *Universidade Federal de São Paulo*

Tiago Alegretti Zucarelli — *Universidade Federal de São Paulo*

Danieli Aparecida Pereira Reis — *Universidade Federal de São Paulo*

Resumo: O aço maraging é um tipo de aço de ultra resistência que se destaca pela ausência de carbono e pela grande quantidade de níquel, o que confere ao material maior resistência, ductilidade e tenacidade. Quando a soldagem é necessária nesse material busca-se técnicas capazes de proporcionar uma junta soldada com propriedades similares às do material base. Nesse sentido, objetivo deste estudo é analisar as propriedades mecânicas e microestruturais em juntas soldadas a plasma de aço maraging 300, através dos ensaios de tração e do mapeamento da dureza, além da análise por microscopia óptica e da análise por difratometria de raios X. Os resultados mostram que após a solda, a região fundida e a região adjacente à solda apresentam uma dureza cerca de 15% menor quando comparadas a região do material base, onde não houve a influência da temperatura. A análise microestrutural constatou-se a homogeneidade da região soldada e a ausência de vazios e porosidade local. A difração dos raios X mostrou fases metálicas em cada região, evidenciando o aumento da fase austenita. O estudo evidenciou a excelente soldabilidade do material, destacando sua baixa incidência de defeitos e porosidades. Além disso, forneceu informações a fim de aprimorar os processos de soldagem e elevar o padrão de qualidade das juntas soldadas.

Palavras-chave: Soldagem a plasma; Ligas metálicas; Maraging 300; Aplicação aeroespacial.

1 INTRODUÇÃO

No aço maraging a ausência de carbono, aliada a uma grande porcentagem de níquel confere uma significativa melhora na resistência, ductilidade e tenacidade do material. Em função dessas características os aços com essa conformação são considerados como de ultra alta resistência, ou seja, são muito empregados em projetos de caráter estrutural, onde altas relações de resistência/peso são necessárias, tais como estruturas de motores de foguetes, tubulações, navios e entre outros [1-2].

Na indústria aeroespacial o aço maraging é um material que atende a exigência de um material com a resistência mecânica sob altas temperaturas. Estudos de melhoria das propriedades do aço para atuação em altas temperaturas como nitretação, tratamento superficial com laser e processos de soldagem são fontes de estudos recentes e estão obtendo resultados promissores para a aplicação [2-12].

Para essa pesquisa em questão, estuda-se a linha de foguetes de sondagem, e pretende contribuir aos estudos do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) visando obter um material de fabricação mais simples e resistente, a fim de unificar os materiais metálicos envolvidos na confecção dos envelopes motores. Sendo estes o principal componente de um propulsor espacial, consistindo em um invólucro cilíndrico, produzido a partir de chapas calandradas e com soldas nos sentidos longitudinais e circunferenciais. Esse componente forma a câmara de combustão, onde o propelente sólido é queimado, gerando a pressão e consequentemente o empuxo necessário para a propulsão do veículo [13].

O processo de soldagem considerado ideal para os aços maraging, assim como para qualquer material, é aquele que proporciona uma junta soldada com as propriedades mecânicas mais similares possíveis em comparação com as do material base. O processo de soldagem a plasma apresenta-se como uma técnica viável para a soldagem de envelopes motores fabricados em aço maraging. O processo consiste na criação de um arco elétrico que gera o estado de plasma, seguido da fusão do material de adição (arame cuja composição química é similar ao material que está sendo soldado). O argônio é utilizado como proteção do material fundido com o ambiente [12-14].

As composições químicas do metal base e do metal de solda devem ser os principais fatores que influenciam nos cordões de solda. Sendo assim o controle químico deve ser rígido para evitar grandes concentrações de compostos danosos (TiC, TiN e outros) nos contornos interdendríticos do metal da

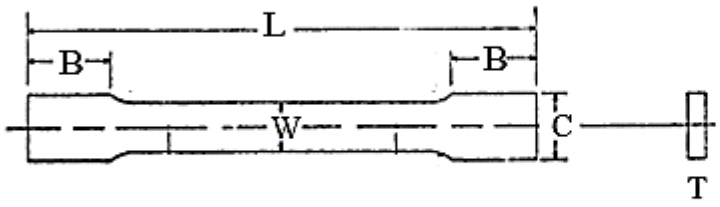
solda. Os elementos como o C, S, O e N devem ser mantidos nos mais baixos níveis, de modo a obter uma maior tenacidade à fratura na solda [14].

Além de uma investigação da composição química faz necessário um estudo acerca da microestrutura do material soldado, assim como a comparação dos resultados mecânicos entre o material com e sem a influência da solda.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado na pesquisa foi uma placa laminada de aço maraging, com espessura de 3,3 mm, na condição solubilizada. A chapa foi cortada em uma guilhotina industrial, sendo obtidas duas peças nas dimensões de 3,3 mm x 100 mm x 300 mm. As peças foram soldadas pelo processo de solda a plasma, com uma fonte de soldagem PLASMA-TIG com capacidade de 400 A, Merkle – modelo P421 AC-DC.

Para a preparação dos corpos de prova de tração, será utilizada a geometria, e dimensão, padronizada pela ASTM E8 [15] (subsize), apresentadas na Figura 1.



Cota	Dimensão (mm)
B	30
C	10
L	100
T	3,3
W	6,13

Figura 1. Dimensões médias dos corpos de prova [4].

Para a realização dos ensaios de dureza por microindentação, análise microestrutural e análise de fases por difração de raios x, foi necessário a preparação metalográfica dos corpos de prova, conforme a norma ASTM E-3 [16]. As amostras foram cortadas e embutidas em uma embutidora metalográfica TECLAGO-EM40D com aproximadamente 60 g de baquelite. Para o embutimento das amostras foram cortadas pequenas aparas da cabeça dos corpos de prova para auxiliarem no suporte da amostra e evitar o abaulamento no processo. Posteriormente, em uma lixadeira semiautomática PVV300 TECLAGO, foram lixadas as amostras começando pela lixa de 80 para retirar as imperfeições causadas pelo corte e pela baquelite ainda presente. Cada amostra embutida foi lixada pela sequência de lixas:

80, 120, 280, 360, 400, 600 e 1200 respectivamente. Em cada mudança de lixa, alterou-se a direção da amostra em 90º e a verificação do êxito do lixamento era pela análise visual da direção dos riscos do lixamento sob a amostra, de modo a garantir a remoção dos riscos da lixa anterior.

2.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração foi realizado conforme a norma ASTM A370 [17], em uma máquina universal de ensaio 810 Material Test System (MTS) com garra hidráulica, assistido pelo *software* MTS Flex Test 40 (MTS Testing Solutions).

Os corpos de prova foram ensaiados em duas condições diferentes, sendo elas: com reforço de solda e sem o reforço de solda. Isto é, na segunda condição o "reforço da solda" foi removido por usinagem. Apesar de uma situação atípica, a remoção do reforço tem como objetivo, além de obtenção da curva, constatar a região de fratura do corpo de prova.

As amostras foram ensaiadas com a aplicação de carga até seu rompimento e os parâmetros solicitados ao *software* foram a tensão máxima (σMAX), deformação (ε), tensão de ruptura (σRUP), módulo elástico (E) e tensão de escoamento (σESC).

2.2 ENSAIO DE DUREZA

A medição de dureza foi realizada na metodologia Vickers, conforme a norma ASTM E384 [18], no durômetro ECMO TEST – DuraScan, equipado com o sistema de análise EmcoWorks.

As impressões foram efetuadas em 83 pontos diferentes, em toda a extensão da amostra, mantendo uma distância de 0,25 mm entre elas tanto na região da solda quanto nas regiões próximas, que foram afetadas termicamente, até o material base. Sendo assim possível ter uma avaliação da influência do reparo na região fundida e a avaliação das zonas termicamente afetadas (ZTA). 5/11

2.3 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ÓPTICA (MO)

A preparação da amostra e análise de microestrutura iniciou-se pelo processo padrão de polimento, isto é, em uma politriz semi-automática PVV300 TECLAGO, utilizou-se uma pasta de diamante de 3 µm, adicionada aos poucos, para o polimento com pano de 1µm para realizar o polimento grosseiro. Para acompanhar a evolução do polimento, examinou-se a amostra no microscópio óptico FELDMAN, após a verificação de que a amostra já apresentava redução dos riscos referentes ao lixamento, seguiu-

se para o polimento final. No polimento final, utilizou-se o abrasivo de sílica coloidal 0,25µm em pano OPCHEM, até que fosse observado uma superfície sem riscos.

Para o ataque químico foi empregado o método de imersão com reagente Vilella por 18 minutos de exposição. A microscopia óptica (MO) foi realizada no microscópio da marca ZEISS modelo AXIO IMAGER 2.

2.4 ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

A análise da composição elementar das fases presentes no material base e no material soldado, foram feitas no difratometro de raios X (DRX) da marca Rigaku modelo Ultima IV. Utilizou-se um feixe de radiação monocromática de Cu-Kα (1,54 Å), sob condições de 40 kV e 30 mA. A coleta dos espectros foi realizada em temperatura ambiente e pressão atmosférica com varredura no intervalo de 30 a 90°, com passo 0,02°, velocidade de 10°/min. Os dados foram analisados com auxílio do *software* Xpert HighScore Plus.

A fins de comparação, foram analisadas duas amostras diferentes, uma pertencente à região da solda, zona termicamente afetada (ZTA) e outra pertencente ao material base (MB).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

Por meio do ensaio de tração foram avaliados a tensão máxima (σMAX), tensão de escoamento (σESC) e tensão de ruptura (σRUP) para os corpos de prova sem reforço e com reforço. A Tabela 1 apresenta os melhores resultados dos parâmetros obtidos no ensaio de tração, e na Figura 2 observa-se o gráfico tensão x deformação para as duas condições estudadas.

Tabela 1. Melhores resultados do ensaio de tração.

CPD's	σ_{MAX} [MPa]	σ_{ESC} [MPa]	σ_{RUP} [MPa]
Sem reforço	849,01	763,53	456,50
Com reforço	1015,93	898,46	509,38

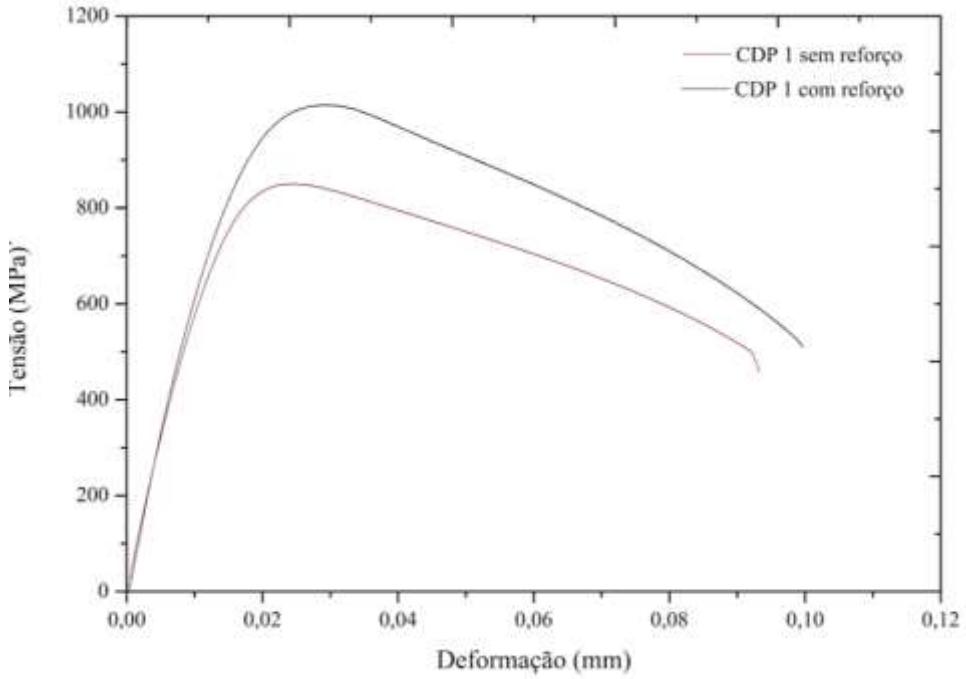


Figura 2. Gráfico tensão x deformação.

Segundo Silva e Mei [19], o aço maraging 300Ni solubilizado tem tensão máxima (σMAX) de 1020 MPa. As amostras soldadas com reforço apresentaram valores semelhantes ao da literatura, com uma perda na resistência à tração de aproximadamente 0,8%. Esse valor se torna mais significativo quando comparado à condição sem reforço, onde ocorre uma perda na resistência à tração de aproximadamente 16%.

Ao analisar os valores médios de σMAX, σESC e σRUP dos ensaios de tração observa-se maiores valores de resistência obtido pelas condições com reforço em relação aos valores da condição sem reforço, essa variação nos valores, pode estar relacionado ao local de fratura de cada condição. Nos corpos de prova com reforço a fratura ocorreu na região logo após à solda, isto é, na Zona Termicamente Afetada (ZTA), já nos corpos de prova que tiveram o reforço de solda removido à fratura ocorreu exatamente na região soldada, isto é, na Zona Fundida (ZF).

A Figura 3 mostra a comparação das fotografias das peças revelando características macroscópicas das fraturas nas amostras com e sem reforço de solda.

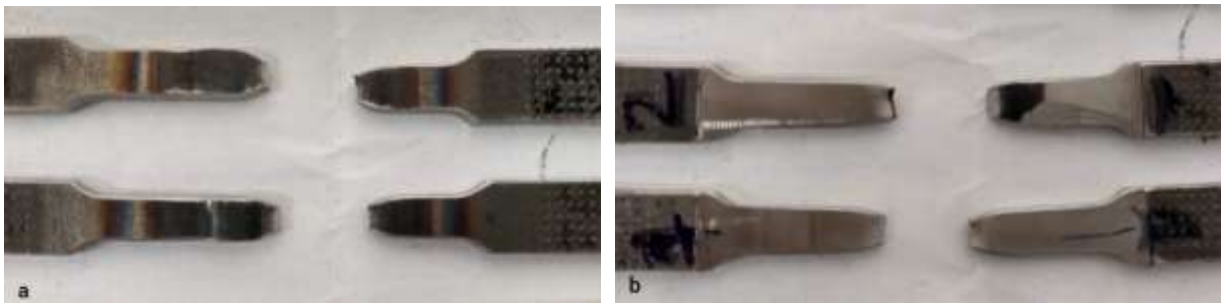


Figura 3. Comparação de corpos de prova após o ensaio de tração: **(a)** condição com reforço de solda e **(b)** condição sem reforço de solda.

Na Figura 3(a) e 3 (b) é possível observar que em ambas as condições a fratura é dúctil, uma vez que há a formação da estricção que antecede a formação e propagação das trincas. Entretanto o que se difere nas imagens é o local onde ocorre a estricção e a ruptura do material, na Figura 3(a), onde existe o reforço soldado, a fratura ocorreu logo após o reforço, já que nesse ponto o acúmulo de material dificulta a propagação das trincas, e consequentemente, o rompimento. Já na Figura 3(b), onde o reforço de solda foi removido, todos os corpos de prova ensaiados romperam na exata junção da solda, evidenciando que essa é a região mais suscetível a falhas.

3.2 ENSAIO DE DUREZA

A Figura 4 apresenta o perfil de dureza da amostra analisada.

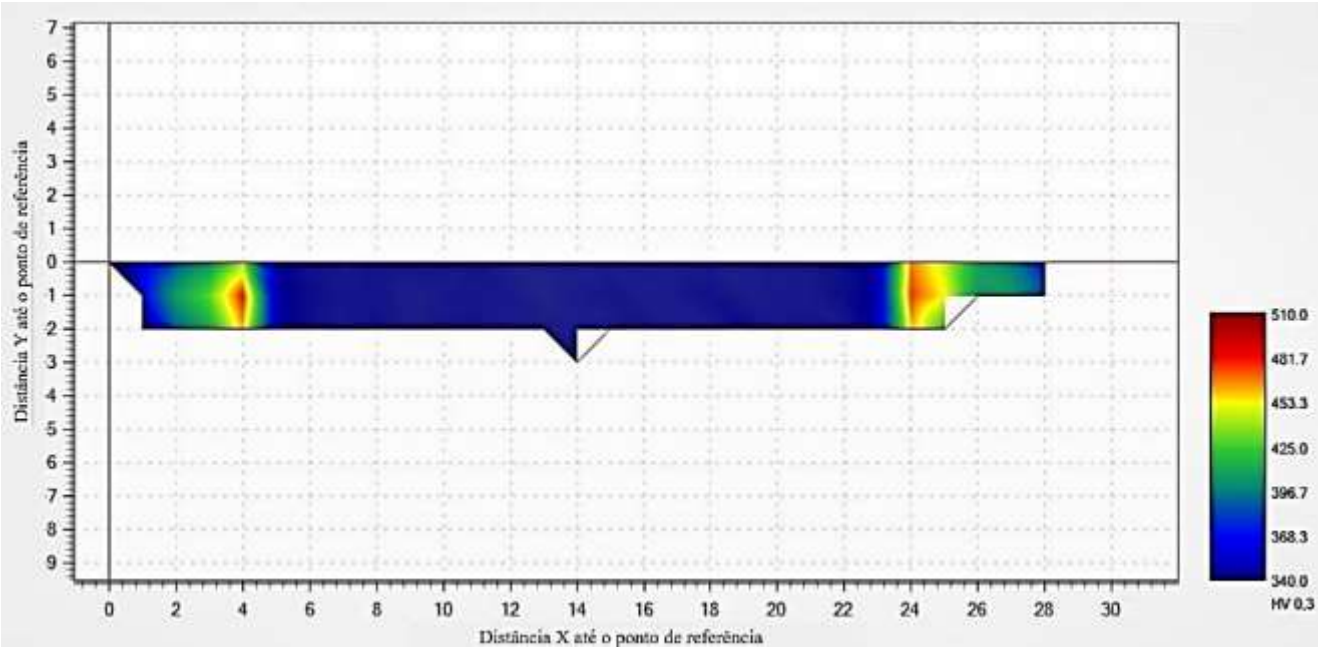


Figura 4. Perfil de dureza encontrado na amostra.

Ao analisar o perfil de dureza obtido no ensaio é possível constatar que o calor gerado durante o processo de soldagem resultou em um amolecimento na Zona Fundida (ZF), apresentada em azul na Figura 4, uma vez que a fusão desta região ocasionou alterações na microestrutura, resultando na perda do efeito das fases endurecedoras, em especial das fases intermetálicas precipitadas. Este efeito tende a diminuir à medida que se afasta do cordão de solda, em consonância com o gradiente de temperatura gerado na soldagem. A zona termicamente afetada (ZTA), representada em tons de vermelho na Figura 4, por sua vez, recebeu calor suficiente para atingir as temperaturas de seu campo austenítico. Durante o processo de resfriamento, devido ao efeito de histerese associado à transformação martensita-austenita apresentada por esta liga, a austenita somente se converterá novamente em martensita em temperaturas próximas a 200°C. Já na região do Material Base (MB), representada em verde na Figura 4, não se observa mais o efeito do envelhecimento, os valores de dureza são similares aos da literatura, segundo Silva [8] que obteve uma média de dureza de 342,8 HV no Material Base.

Além do perfil de dureza representado na Figura 4, com os valores encontrados durante o ensaio foi possível também obter a média de dureza em toda a amostra, assim como a dureza máxima na Zona Termicamente Afetada (ZTA) e dureza mínima na Zona Fundida (ZF), esses valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de dureza encontrados no ensaio.

Regiões	Dureza (HV)
Média	341,6
Máxima - ZTA	479
Mínima - ZF	293

A região soldada apresentou um declínio de aproximadamente 15% em relação ao material base, onde não houve a influência da temperatura.

3.3 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ÓPTICA

A evolução microestrutural decorrente do aporte térmico gerado pelo processo de soldagem é apresentada na Figura 5. A análise foi realizada após ataque químico com reagente Vilella por imersão durante 18 minutos.

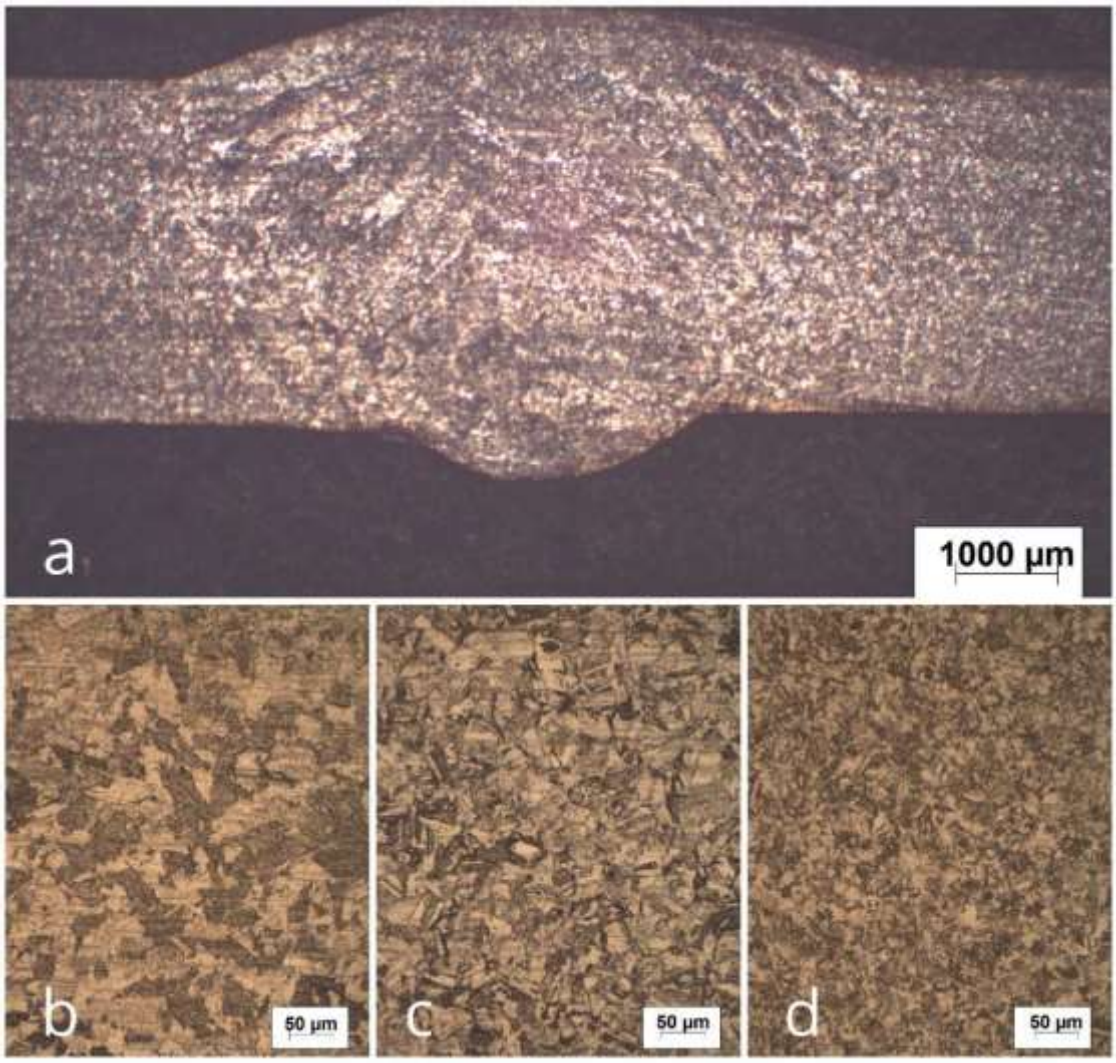


Figura 5. Microestrutura da junta soldada mostrando a morfologia dos grãos nas regiões, após ataque químico com reagente Vilella, 18min: (a) panorama da amostra, (b) Zona Fundida (ZF), (c) Zona Termicamente Afetada (ZTA) e (d) Metal Base (MB).

Na Figura 5(a) é apresentada uma macrografia da junta soldada, evidenciando uma soldagem homogênea, com a ausência de descontinuidades, porosidades, vazios por falta de fusão e trincas.

A Figura 5(b) representa a zona de solidificação do material de adição (arame de solda), caracterizando-se como uma área de fusão bruta. Nela é possível observar a presença de uma estrutura dendrítica, característica de zonas soldadas, com uma alta concentração de austenita reversa.

Na Figura 5(c) é possível visualizar a Zona Termicamente Afetada (ZTA), essa região atingiu uma temperatura substancialmente elevada, o que possibilitou a estabilização do campo austenítico.

Por meio de um processo de resfriamento rápido e controlado, desencadeado pela alta concentração de calor, foram produzidas regiões com diversas microestruturas, incluindo fases martensíticas de granulação fina e grossa, a presença de austenita revertida na fase martensítica, bem como áreas que foram submetidas à solubilização.

O Material Base (MB), Figura 5(d), exibe uma diminuição dos tamanhos de grãos, em relação a ZTA, dado a ausência da influência da temperatura, mantendo a estrutura martensítica característica da amostra.

3.4 ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

A análise por difratometria de raios-X têm como objetivo primordial no estudo avaliar e confirmar as fases presentes no material base e no material soldado. A Figura 6 mostra o difratograma obtido via DRX e foi comparado com fichas do banco de dados do *software* Xpert HighScore Plus, onde pôde-se observar a presença das fases martensítica e austenítica. Ambas as fases obtidas (martensita e austenita) estavam em conformidade com a literatura. Segundo Reis [20] e Oliveira [12] em alguns casos foram observados um pico de martensita mais elevado em torno de 45° e outros picos de difração de fase martensítica em torno de 65° e 85°.

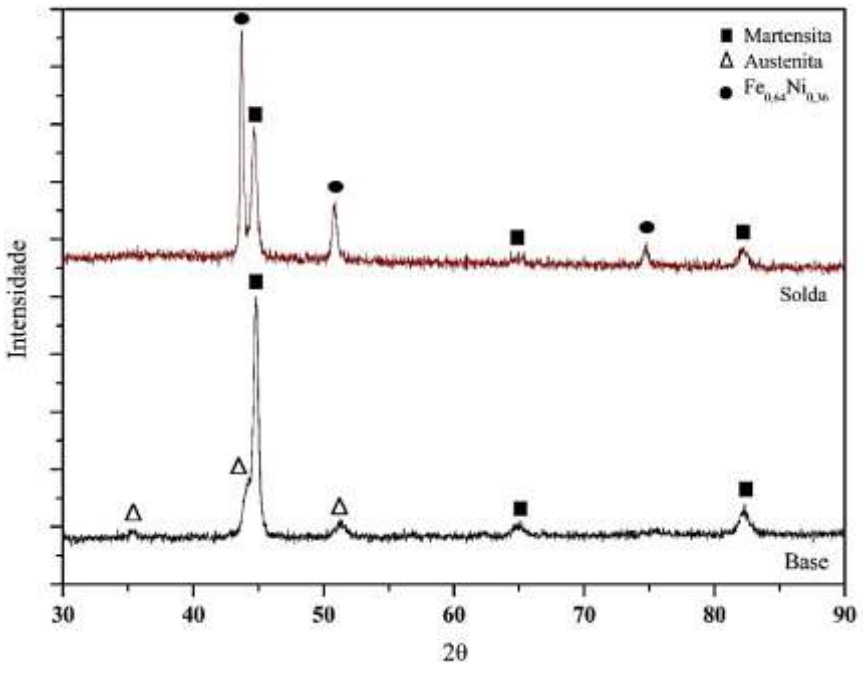


Figura 6. Difratograma obtido nas amostras de Aço Maraging 300.

5 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou o processo de solda a arco plasma (PAW) em uma placa laminada de Aço Maraging 300, com espessura de 3,3 mm, na condição solubilizada. O material demonstrou boa soldabilidade, apresentando um mínimo de defeitos e descontinuidades no geral. Para análise mecânica foram realizados, ensaios de tração e dureza, além de análise microestrutural por microscopia óptica (MO) e difratometria por raios X (DRX), onde pôde-se concluir que:

● O processo de solda a arco à plasma (PAW) resultou na criação de três zonas diferentes ao longo da amostra, dado o gradiente de temperatura e a propagação de calor, sendo estas: região da solda, identificada zona fundida (ZF), a região mais próxima à solda, identificada como Zona Termicamente Afetada (ZTA) e a região mais distante do cordão de solda, identificada como Material Base (MB).

● Em relação ao ensaio de tração, os corpos de prova soldados apresentaram valores de resistência próximos aos de corpos de prova não soldados encontrados na literatura, indicando que esse fenômeno não teve uma grande influência nas propriedades mecânicas à tração da liga.

● Ao que tange à dureza da amostra foi observada uma queda na dureza na Zona Fundida. Essa redução de dureza está associada à formação dendrítica nessa região, assim como à possível segregação de molibdênio e titânio, que contribuem para a formação da austenita revertida. A Zona Termicamente Afetada exibiu variações na dureza devido a alterações microestruturais, como o crescimento de grãos nas proximidades da Zona Fundida e o envelhecimento em pontos mais distantes do centro da solda. O Material Base, por sua vez, apresentou valores semelhantes aos do aço sem tratamento térmico, evidenciando a ausência da influência da temperatura naquela região.

● A análise de fases e a microscopia óptica puderam comprovar as teorias acerca das variações de dureza observadas no material, salientando a presença das fases martensíticas e austeníticas, além de revelarem as microestruturas dendríticas presentes no cordão de solda, e o aumento e diminuição dos grãos ao longo da amostra.

REFERÊNCIAS

[1] Schiavo, C.P.; Zucarelli, T.A.; Reis, D.A.P.. Maraging 300 Steel Plasma Welding Characterization for Aerospace Application. Materials Research, v. 26, p. 1, 2023.

[2] Silva, D.F.. Caracterização mecânica e microestrutural do aço MARAGING 300, soldado a plasma e submetidas a reparos. 2014. 112 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

[3] Marchetto, L.R.O.; Briguente, L.A.N.S.; Reis, D.A.P.; Lopez, J.O.; Reis, A.G.. Microstructural evaluation of maraging 300 steel surface treated by Nd:YAG. Brazilian Journal of Development, v. 8, p. 15918-15924, 2022.

[4] Giacomelli, J.P.; Freitas, F.E.; Reis, A.G.; Oliveira, A.C.; Santos, V.R.; Reis, D.A.P.. Avaliação dos parâmetros de nitretação por laser de CO2 no aço maraging 18Ni (300) para melhoria da resistência à oxidação. Tecnologia Em Metalurgia, Materiais e Mineração, v. 18, p. e2363, 2021.

[5] Reis, A.G; Reis, D.A.P; Abdalla, A.J.; Couto, A.A.; Otubo, J.. Short-term Creep Properties and Fracture Surface of 18 Ni (300) Maraging Steel Plasma Nitrided. Materials Research, v. 20, p. 2-9, 2017

[6] Reis, A. G. ; Reis, D.A.P. ; Abdalla, J. ; Sandim, H. R. Z. . A dilatometric study of the continuous heating transformations in maraging 300 steel. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Print), v. 97, p. 012006, 2015.

[7] Reis, A.G.; Reis, D.A.P.; Abdalla, A.J.; Otubo, J.. High-temperature creep resistance and effects on the austenite reversion and precipitation of 18 Ni (300) maraging steel. Materials Characterization, v. 107, p. 350-357, 2015.

[8] Reis, A.G.; Reis, D.A.P.; Abdalla, A.J.; Otubo, J.. Avaliação das propriedades de fluência a 600 °C do aço maraging 300 solubilizado. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração (Impresso), v. 11, p. 22-26, 2014.

[9] Reis, A. G. ; Reis, D. A. P ; Abdalla, A. J. ; Otubo, J. . Effect of Plasma Nitriding on Creep Behavior at 550 °C of a Maraging Steel (300 Grade) Solution Annealed. Materials Science Forum (Online), v. 802, p. 452-456, 2014.

[10] Reis, A.G. ; Moura Neto, C. ; Reis, D. A. P ; Abdalla, A. J. . Creep behavior study at 550ºC of a maraging 300 alloy solution heated. SAE Technical Paper Series, v. 01, p. 01-03, 2013

[11] Reis, A. G. ; Reis, D. A. P ; Moura Neto, C. ; Abdalla, A. J. . Creep Behavior Study at 550 ºC of a Maraging 300 Alloy Solution Treated. SAE Technical Paper Series, v. 201336, p. 1-5, 2013.

[12] Oliveira, RC. Caracterização mecânica e microestrutural dos aços 300 M e Maraging 300 após soldagem a plasma. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica; 2015.

[13] Fanton, L. Estudo do comportamento mecânico e microestrutural de um aço maraging após soldagem a laser e tratamentos térmicos. 2013. 89 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

[14] Santos, D. R. Otimização dos parâmetros de tratamento térmico e soldagem do aço maraging 18Ni 300. 2001. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2001.

[15] ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM E8/E8M-22 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, 2022.

[16] ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM E3-17, Standard Methods of Preparation of Metallographic Specimens, 2017.

[17] ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM A370-22, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, 2022.

[18] ASTM - American Society for Testing Materials. ASTM E384-22, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, 2022.

[19] Silva, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto. Aços e ligas especiais. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

[20] Reis, A. G. Comportamento mecânico do aço Maraging 300 solubilizado, envelhecido e nitretado por plasma. Tese. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2015.

Capítulo 6

10.37423/250409890

REVIEW: PERFORMANCE OF THE INPE'S SOLIDIFICATION FURNACE IN THE BRAZILIAN MICROGRAVITY PROGRAM

Rafael Cardoso Toledo — *Universidade Federal de São Paulo*

Plínio Ivo Gama Tenório — *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

Marcelo Sampaio — *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

Renata Jesuina Takahashi — *Universidade Federal de São Paulo*

Danieli Aparecida Pereira Reis — *Universidade Federal de São Paulo*

Irajá Newton Bandeira — *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

Chen Ying An — *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

Abstract: Microgravity is a powerful tool for better understanding fundamental questions of science in order to find technological solutions to terrestrial problems. Because it is considered a strategic area of space research, the Brazilian Space Agency (AEB) has provided a regular sequence of opportunities for the scientific community in order to carry out experiments and spatial hardware in microgravity environment. The opportunities normally contemplate missions made on the Brazilian sounding rockets VS-30 and VSB-30 developed by the Aeronautical and Space Institute (IAE). The Coordination of Applied Research and Technological Development (COPDT) of the Brazilian Space Research Institute (INPE) participated in several missions with a multi-user microgravity compact solidification furnace, and this work describes the results and the performance of the furnace during these flight missions.

INTRODUCTION

The space environment is distinguished by its unique characteristics, namely the presence of a vacuum, the high energy radiation from the Sun and other cosmic sources, and the apparent absence of gravitational effects. This final factor, termed microgravity, enables the observation and exploration of phenomena that would otherwise be obscured by terrestrial gravity. Conducting experiments in a microgravity environment is a prerequisite for research in numerous scientific disciplines, as it facilitates the investigation of physical, chemical, and biological phenomena that, in the presence of Earth's gravity, could not be studied in the same manner [1,2] Microgravity plays a fundamental role in advancing the space sector, enabling new methods for scientific experimentation and training specialized professionals, which is why it is a strategic area of research. In the context of Brazil, the National Space Activities Program (PNAE) establishes guidelines and prioritized actions with the objective of cultivating critical technologies and research in microgravity, in addition to the training of specialists in space activities [3].

A plethora of methodologies have been developed to access the microgravity environment, the vast majority of which are predicated on the notion of imponderability (an object in a state of free fall). These methodologies encompass drop towers and tubes, balloons, parabolic flights, sounding rockets, satellites, space shuttles and space stations [1,2]. Of these, only the drop tubes, which are available in the Brazilian Space Research Institute (INPE), and the sounding rockets developed by the Institute of Aeronautics and Space (IAE), from the Aerospace Technology and Science Department (DCTA), are currently available for Brazilian researchers. Furthermore, collaborative endeavors have been initiated for the utilization of the International Space Station (ISS), with a single mission successfully conducted in 2006, transporting eight experiments and the inaugural Brazilian astronaut [4].

The Brazilian Microgravity Program, established in 1998 by the Brazilian Space Agency (AEB) with the objective of providing a consistent series of flight opportunities for the Brazilian scientific community to conduct experiments and evaluate microgravity facility hardware, represents the nation's primary microgravity initiative. The program provides support for microgravity activities, including the selection and monitoring of experiments from their initial project phases to the flight mission, and offers partial financial support for approved applications [4,5].

Since 2002, Brazilian sounding rockets (VS-30 and VSB-30) have been launched from the Brazilian Alcântara Launching Center (CLA) in northeast Brazil. These rockets have conducted six parabolic flights, carrying microgravity experiments [6-16].

THE HISTORY THE BRAZILIAN SOUNDING ROCKETS

Sounding rockets are defined as single-stage or multi-stage solid propellant vehicles. These vehicles are launched almost vertically and are utilized for the purpose of probing the upper atmospheric regions, in addition to space research during sub-orbital parabolic flights (Fig. 1). They also serve as easily affordable platforms to test or prove prototypes of new components or subsystems intended for use in satellites [11,17].

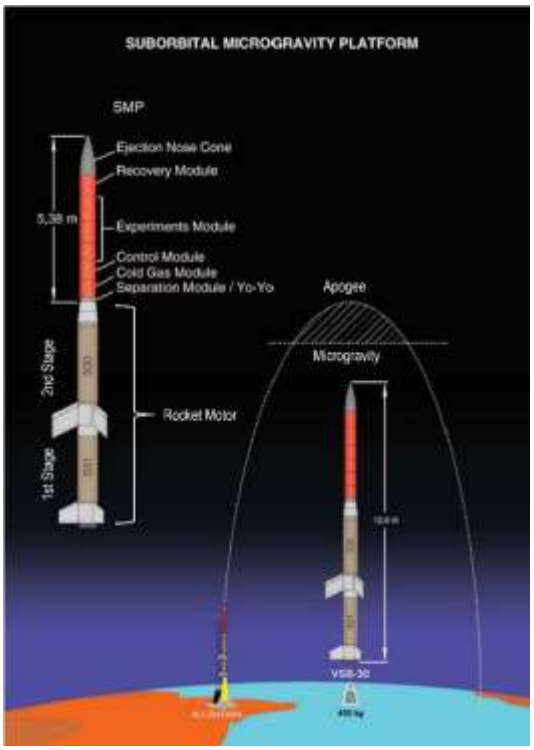


Fig. 1 Schematic of a sounding rocket and the flight profile of a sounding rocket in its parabolic trajectory.

The VS-30 rocket is a single-stage aerodynamically stable design, equipped with the S30 booster. It has the capability for launching a 300 kg payload to an apogee of approximately 150 km and a duration of microgravity of between 3 and 4 minutes. The VSB-30 is a two-stage rocket, unguided and rail launched, and is based on the VS-30 rocket with the S-30 and S-31 booster engine. It has been demonstrated to have the capability for launching a 300 kg payload to an altitude of approximately 330 km and a duration of microgravity of about 6 to 8 minutes (Fig. 2). The VSB-30 is the result of a cooperative endeavor between the Institute of Aeronautics and Space and the German Aerospace Center (DLR) [11,17].

The Brazilian sounding rocket (VS-30, VSB-30) is equipped with a payload compartment that is based on the TEXUS technology, which was developed by the European/German sounding rocket program.

This technology serves the microgravity programs of the German Aerospace Centre and the European Space Agency (ESA). Following the retirement of the British Skylark rocket in 2005, the VSB-30 has been extensively utilized by the ESA and the DLR [11,17]. Beginning in 2022, the Brazilian Space Program initiated the qualification of the payload compartment with national technology, developed by Orbital Engineering in collaboration with IAE, with the aim of replacing the previous one and thus having a rocket entirely with Brazilian technology [16].

The Brazilian microgravity program has previously conducted four Announcements of Opportunity (AO) for parabolic flights utilizing VS-30 and VSB-30 rockets. During the flights, high-speed telemetry and real-time high-resolution digital video were made available. The flights were conducted at the Brazilian Alcântara Launching Center, located in the northeast region of the country, with only one flight achieving complete success. The AO encompasses experiments from universities and research centers, embracing scientific areas such as biochemistry, biology, material sciences and transport phenomena.

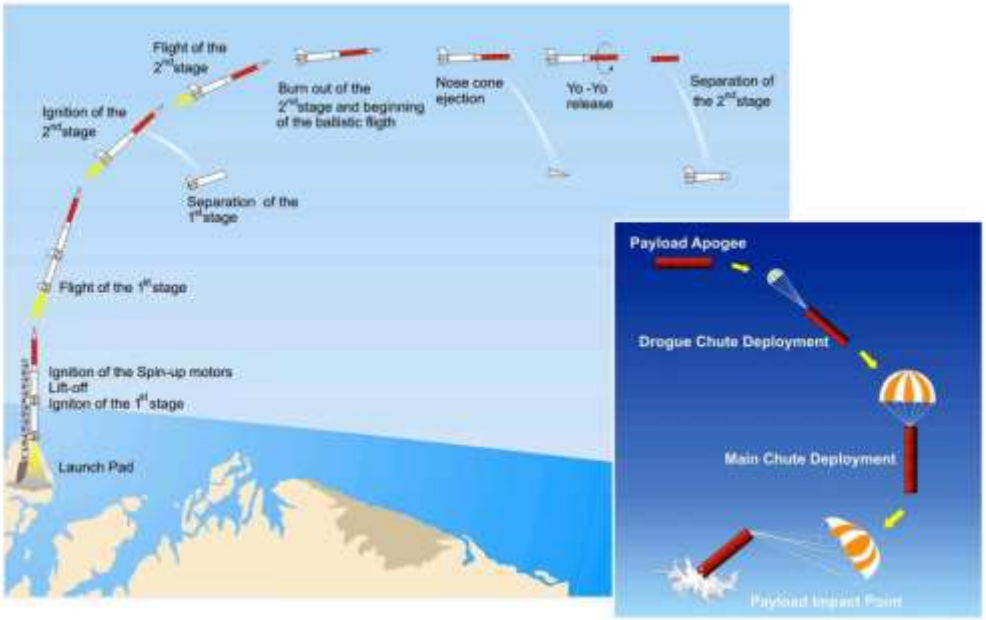


Fig. 2 VSB-30 flight events.

The 1st AO flight occurred in December 2002 and was designated the Cumã Mission. During this mission, eight experiments were initiated aboard a VS-30 sounding rocket. The flight duration was 11 minutes, with an apogee of 120 km being achieved. However, a failure occurred 29 seconds after the VS-30's take-off, resulting in the premature separation of the payload module. This constrained the experiments to a mere 30 seconds of microgravity exposure. The microgravity time obtained was sufficient only to record the experiments' data, which had been transmitted by telemetry.

Unfortunately, the payload could not be rescued, making the experiments recovery and analysis impossible [8,9].

The 2nd flight, designated Cumã II Mission, was conducted in July 2007 and involved the execution of eight experiments from the 1st AO, in addition to the 2nd AO experiments. The mission was initiated through the utilization of a VSB-30 sounding rocket. The flight duration was 19 minutes, with an apogee of 242 km and a microgravity environment that persisted for 6.2 minutes. However, during the re-entry phase into the Earth's atmosphere, telemetry signal oscillations occurred, which hindered the execution of the rescue operation. Consequently, the payload module was once again lost in the sea, thus rendering the recovery of the experiments impossible [10].

The 3rd AO flight, designated Maracati Mission, was conducted in December 2010. A total of ten experiments were initiated aboard a VSB-30 sounding rocket. The mission entailed the installation of DLR telemetry equipment in the payload module, thereby ensuring redundancy in the monitoring of the rocket's trajectory, in addition to the Brazilian equipment. The flight duration was 18 minutes, during which an apogee of 242 km was achieved, and a microgravity environment was established for a duration of 6 minutes. The re-entry into Earth's atmosphere proceeded without incident, and the payload module was recovered after fell with parachute 140 km from the coast, with assistance from the Brazilian Air Force. The successful retrieval of the payload enabled the analysis of the experiments [6,7,11,12].

The 4th flight, designated Mutiti Mission, was conducted in December 2018. This mission encompassed five experiments and was initiated by a VS-30 sounding rocket. The flight duration was 8 minutes, with an apogee of 120 km achieved; however, the establishment of a microgravity environment was unsuccessful. The objective of this mission was to qualify payload subsystems developed with national technology (Yo-Yo System and Separation System). As it was not foreseen to recover the payload, the results of experiments were obtained only by telemetry [13].

The 4th AO flight, designated Rio Verde Mission, was conducted in December 2016. A total of ten experiments were initiated aboard a VSB-30 sounding rocket. The flight duration was 11 minutes, with an apogee of only 44 km (according to unofficial data). It was observed that the microgravity environment was not achieved. Thirty seconds after the launch of the VSB-30, a mechanical failure resulted in the premature separation of the payload module. The flight did not attain the anticipated microgravity phase, and the payload descended onto the ocean, where it was retrieved by the Brazilian Air Force approximately one hour later [15].

The 2nd flight of the 4th AO, designated the Santa Branca Mission, was conducted in October 2022. A single experiment was initiated aboard a VSB-30 sounding rocket. The mission's objective was to qualify the Suborbital Microgravity Platform (PSM), a project developed in collaboration between Orbital Engineering and IAE, for integration onto the payload module. The flight duration was 13 minutes, during which an apogee of 227 km was reached, and a microgravity environment was established for a duration of 6 minutes. Subsequent to the conclusion of the flight, the payload module was recovered. Upon retrieval, the payload was found to have fractured into at least three pieces, with only the module containing the solidification experiment being salvaged. The primary cause of the payload's fragmentation is believed to be a failure in the parachute system, leading to a severe impact with the ocean surface [16].

SOLIDIFICATION FURNACE

In the year 2000, a group of researchers from the Coordination of Applied Research and Technological Development (COPDT) of the Brazilian Space Research Institute (INPE) initiated the project, construction and qualification of compact furnaces as a permanent facility for the sounding rocket microgravity program. These furnaces were to be utilized by several groups interested in materials processing in microgravity. The compact furnaces, with a mass of less than 15 kg, were designed for experiments that did not require the complexity of bulky and heavy furnaces, such as those employed in the TEXUS program [11,17].

OPERATION

The purpose of the solidification furnace experiment is to melt and solidify alloys with melting points up to 900°C. The furnace should be capable of rapid cooling, compatible with the short microgravity times of suborbital flights, to solidify samples up to 10 mm in diameter and up to 120 mm in length. The group currently has two furnace models, which differ in the sample capacity they support. The furnaces are heated and controlled from the ground via the rocket umbilical until the desired temperature is reached. After launch, the temperature is maintained by thermal inertia. When the microgravity environment is reached, a signal starts the motor that moves the hot part of the furnace to an upper position in less than ten seconds, while the sample remains fixed in the cold region and a rapid cooling of the sample is obtained (Fig. 3).

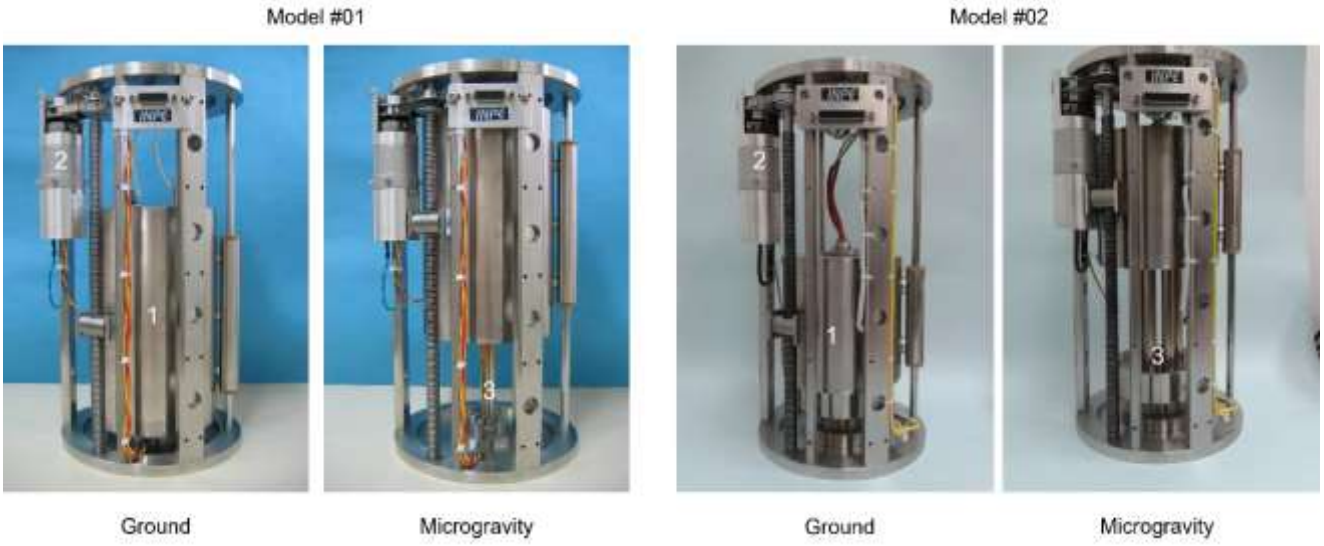


Fig. 3 Models of the solidification furnace in its two working phases: at the bottom heating the sample during ground and ascending periods, and at the top permitting a fast sample cooling during microgravity. (1) Furnace; (2) Motor; and (3) Sample holder.

AEB uses the VSB-30 sounding rocket manufactured by IAE. These vehicles are launched from the Alcântara Launch Center (CLA), so the available operational shaped structure of the furnace project. The project consists of two modules: Suborbital Module and Terrestrial Module. The Suborbital Module accommodates the Furnace assembly and the Platform Unit responsible for the furnace control, data acquisition and DC power supply of the suborbital systems with Ni-MH batteries. The Terrestrial Module accommodates the Power Supply, which provides the power required to heat the Furnace, the Interconnection Box, and the System Control in the Bunker, which allows the operator to control the system, and a notebook for data monitoring (Fig. 4 and 5).



Fig. 4 (a) Furnace (1), Platform Unit (2); (b) Power Supply (3); and System Control.

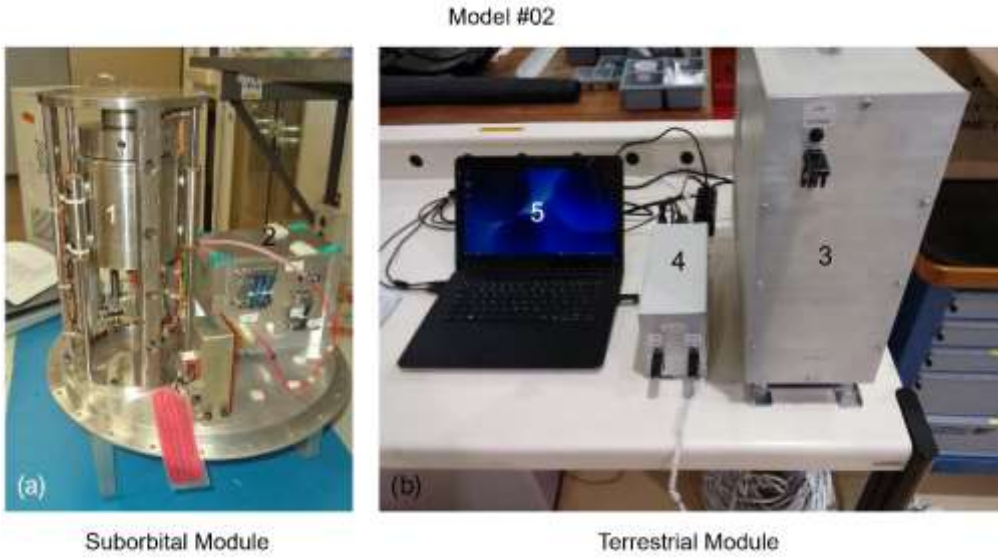


Fig. 5 (a) Furnace (1), Platform Unit (2); and (b) Power Supply (3), Interconnection Box (4), System Control (5) and Notebook.

During the pre-flight procedures, the Power Supply and the Interconnection Box are located closer to VSB-30 sounding rocket than to the Bunker, in the Electric Panel facility. The Interconnection Box will be the interface between the umbilical signals coming from the Platform Unit and the umbilical signals coming from the Bunker Unit. Through this Interconnection Box, the DC Source control signals come from the System Control in at the Bunker and the DC power line goes out to the Furnace heater.

The Batteries Module supplies the energy for the operation of the Control Circuits Module and also for the movement (opening) of the Furnace, the Control Circuits Module handles the signals coming from the thermocouples installed in the Furnace, starts and times the furnace movement when in microgravity, and the Data Center module does the signal interface between the Control Circuits and the Microgravity Suborbital Platform (MSP) and it also stores the data. The Data Center module has two models, one for Texus technology and the other for Brazilian technology.

The System Control in the Bunker allows the operator to define the temperature to be stabilized in the Furnace according to the needs of the experiment. Switches on the front panel allow the operator to turn on the Power Supply and the Platform Unit. It is also possible to enable/disable the reception of the µg signal that commands the opening of the Furnace.

Prior to the flight, the Suborbital Module (Furnace and Platform Unit) was subjected to a series of qualification tests, the purpose of which was to verify its capacity to function within the confines of the sounding rocket. The qualification process comprised the following steps: (i) measurement of mass

properties (to ascertain mass, center of gravity and inertia); (ii) functional test (to verify operational and functional integrity of the unit, performed before and after the thermal cycle and the random vibration tests); (iii) thermal cycle test (to identify failures in the manufacture and assembly of electronic systems by means of cyclical thermal variations); (iv) sinusoidal vibration test (designed to evaluate the structure and fixation points to determine any resonant condition which may result in flight failure); (v) random vibration test (aimed to verify if the experiment withstands the vibration conditions at flight levels). Fig. 6 and 7 shows the equipment undergoing qualification tests at INPE and IAE.

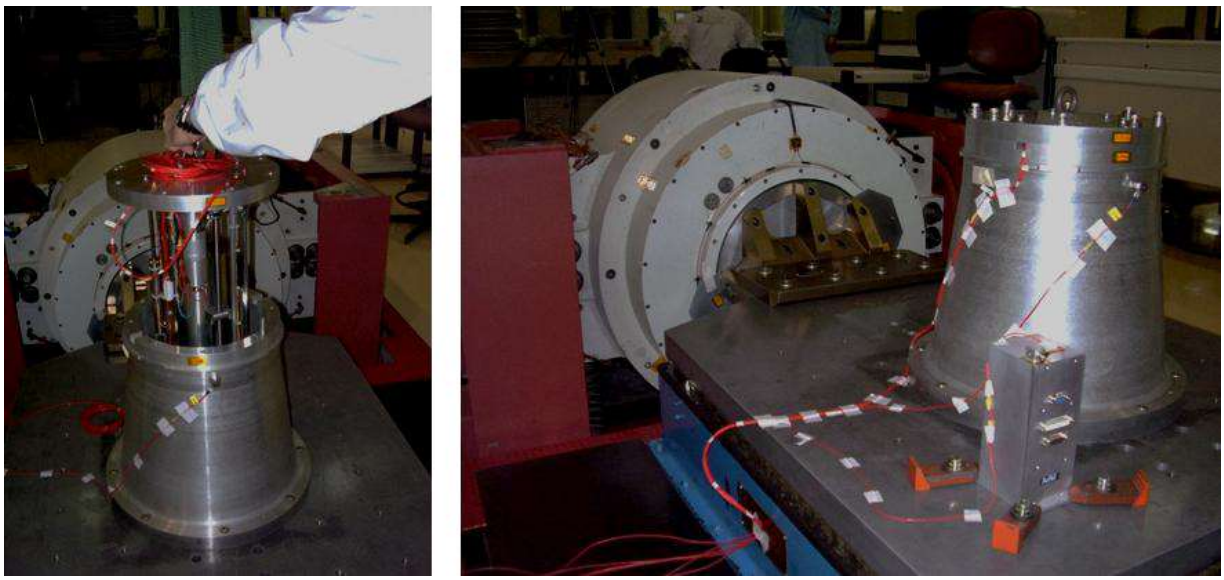


Fig. 6 The vibration tests at LIT.

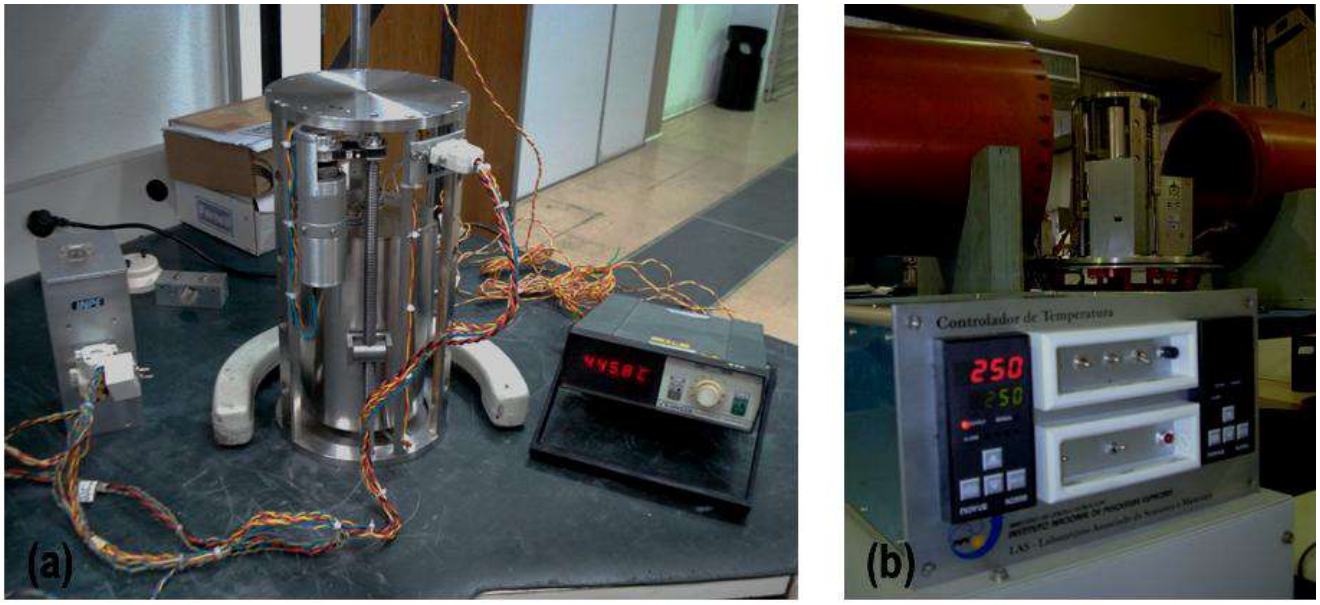


Fig. 7 (a) The functional test at LABAS; (b) The electrical integration test at IAE.

FLIGHT PERFORMANCE

As the main idea was to have a multiuser furnace for the Brazilian groups working in the area, in the first flights (Cumã and Cumã II Missions) the furnace mode #01 was shared with an experiment of the Federal University of Pernambuco (UFPE), that proposed to study the thermal migration of metallic nanoparticles in hybrid glass material. Fig. 8a shows the thermal gradient of the furnace model #01 for the three missions and the positioning of the experiments and Figure 8b shows the furnace thermal cycle for the sample.

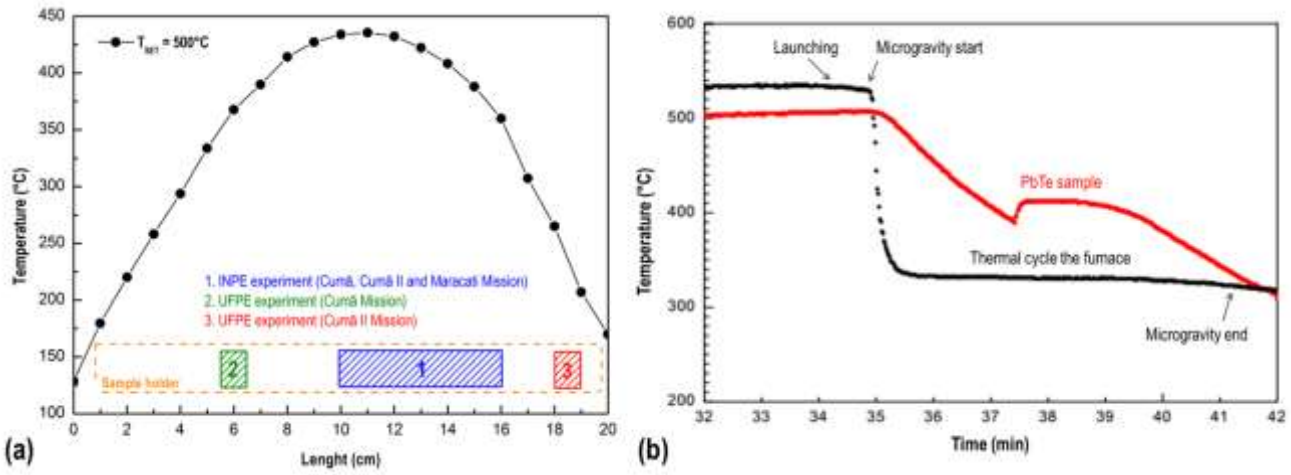


Fig. 8 (a) Temperature gradient of the solidification furnace showing the position of the samples in a quartz ampoule inside a steel sample holder; (b) The thermal cooling cycle.

The Fig. 9 shows the comparison of the thermal cycles used to solidify the PbTe and PbSn eutectic samples on the flight and on the laboratory, as measured by the furnace data-logger in Maracati Mission [11,12].

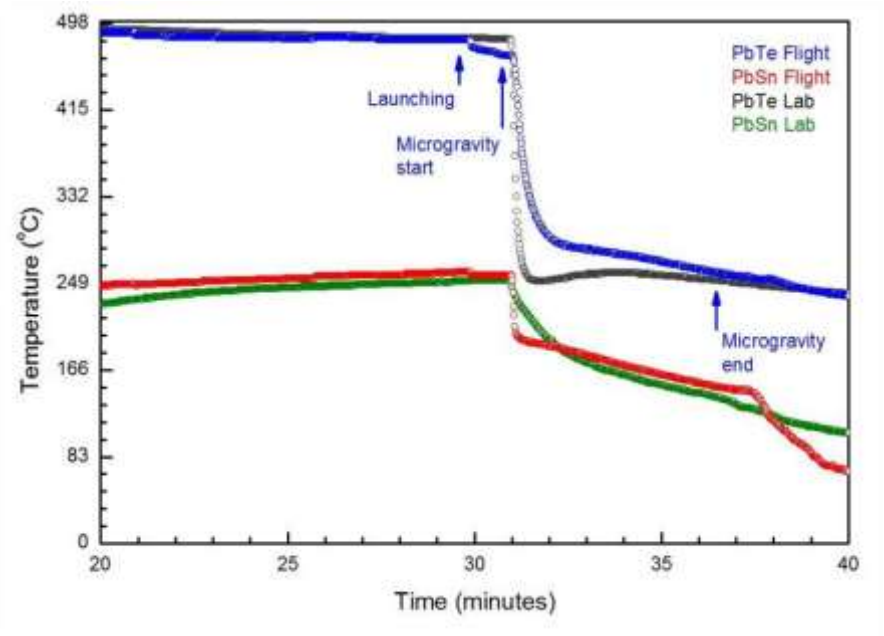


Fig. 9 Thermal cycle curves for the microgravity flight and the laboratory experiment.

The Maracati Mission experiment consisted of the solidification of eutectic PbSn and PbTe alloys. The samples that solidified in microgravity were analyzed and compared with others obtained in the laboratory in the same furnace and thermal cycle. It was concluded that the formation of dendritic structures in PbSn alloy is related to the presence of sedimentation and convective flow during solidification; the size of these structures is connected to the solidification time; in microgravity environment there is no formation of dendritic structures, and the profile of solute distribution remains constant throughout the sample. For PbTe eutectic alloy the microgravity conditions have not caused significant changes compared to the ground solidified sample [11,12].

In the following flights (Mutiti Mission and Rio Verde Mission), the furnace model #02 was used, which is a compact, multi-user microgravity solidification furnace for operation at low temperatures (100 to 300 °C). The furnace is capable of rapid cooling, compatible with the short microgravity times of suborbital flights, to solidify six samples up to 9 mm in diameter and up to 100 mm in length. It operates identically to the previous one but has a more sophisticated electronic control system.

In the Mutiti Mission, the objective of the experiment was to qualify the new control system in flight, since the researchers knew that the rocket's payload would not be recovered, thus not allowing analysis of the samples.

The Rio Verde Mission experiment consisted of the solidification of eutectic alloys of BiSn and BiCd. Due to the failure of the Mission, the samples that would solidify in microgravity could not be analyzed

and compared with others obtained in the laboratory in the same furnace and thermal cycle [15]. The Fig. 10 shows the comparison of the thermal cycles used to solidify the BiSn and BiCd eutectic samples on the flight and on the laboratory, as measured by the furnace data-logger in Rio Verde Mission.

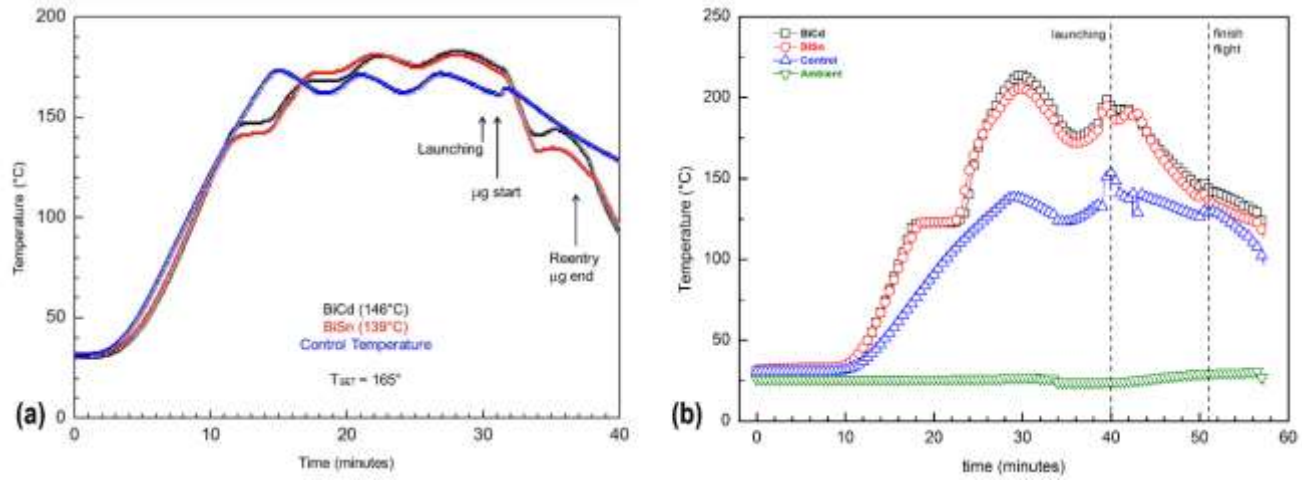


Fig. 10 Thermal cycle curves for the laboratory experiment (a) and the microgravity flight (b).

In the Santa Branca Mission (6th flight) the model #01 furnace with a new electronic control was used. The electronic control of experiment was be modernized/updated so that the mechanical layout and of the onboard electronic control used are compatible with a payload based on TEXUS technology and with the Brazilian payload (Fig. 11) [16].

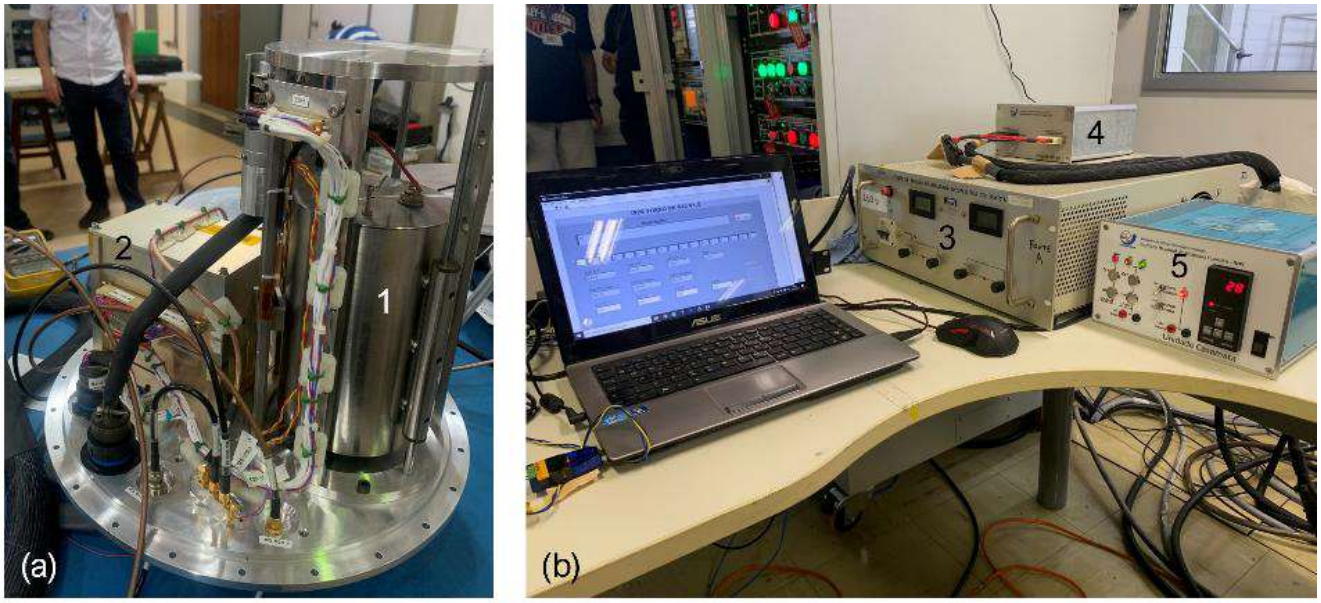


Fig. 11 (a) Furnace (1), Platform Unit (2); and (b) Power Supply (3), Interconnection Box (4), System Control (5) and Notebook.

The Fig. 12 shows the comparison of the thermal cycles used to solidify the PbSn and BiSn eutectic samples on the flight and on the laboratory, as measured by the furnace data-logger.

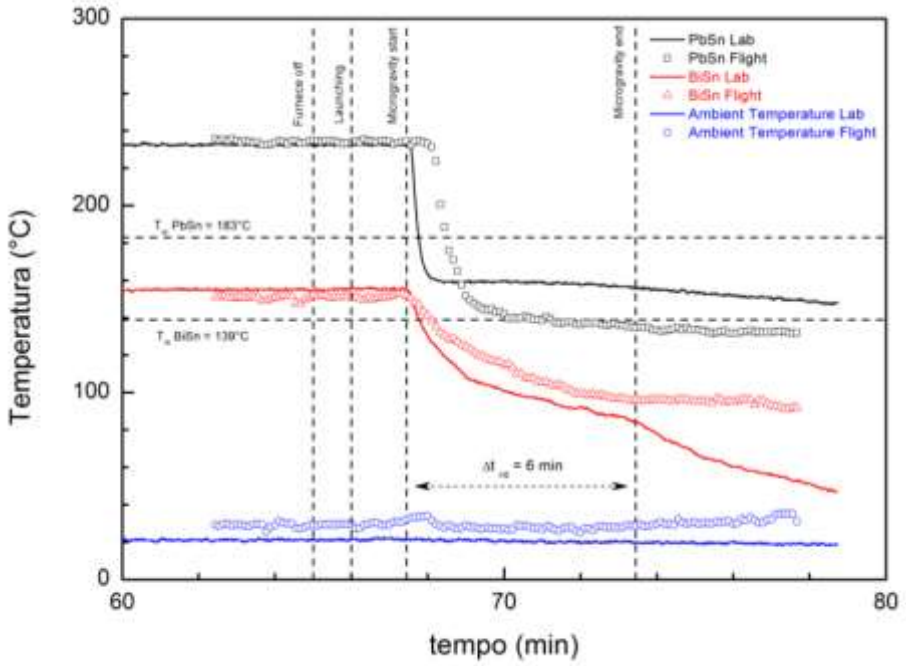


Fig. 12 Thermal cycle curves for microgravity flight and the laboratory experiment.

CONCLUSIONS

The Brazilian Microgravity Program, developed by AEB, can be considered a success, as it provides a regular sequence of flights for the Brazilian scientific community to conduct experiments and test equipment for microgravity installations.

The solidification furnace developed by COPDT/INPE is in accordance with the proposal of the National Space Activities Program (PNAE). The furnaces developed were qualified for flights on sounding rockets and are currently permanent facilities for other researchers and are suitable for use in experiments on future missions.

REFERENCES

[1] Naumann, R.J., Herring, H. W.: Materials processing in space - early experiments. NASA, Scientic and Technical Information Branch, Washington (1980)

[2] Hamacher, H., Fitton, B., Kingdon, J.: The environment of earth-orbiting systems. In: Fluid sciences and materials science in space - a European perspective. Springer, Berlin (1987)

[3] Agência Espacial Brasileira (AEB): Programa Nacional de Atividades Espaciais - PNAE: 2022-2031. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Agência Espacial Brasileira, Brasília (2021)

[4] Bandeira, I. N.; Bogossian, O.; Correa, F. Centenary mission – first Brazilian microgravity experiments at ISS. Microgravity Science and Technology, v. 19, p. 42–48, 2007. DOI: 10.1007/BF02919451.

[5] Correa, F. et al. Brazilian microgravity program: challenges and perspectives. In: EUROPEAN SPACE AGENCY. Proceedings of the 17th ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research, 2005, Sandefjord, Norway. Sandefjord: ESA, 2005.

[6] An, C. Y. et al. Performance of a solidification furnace developed for sounding rockets. Microgravity Science and Technology, v. 23, p. 427–432, 2011. DOI: 10.1007/s12217-011-9263-8.

[7] An, C. Y. et al. Solidification furnace for microgravity experiments on sounding rockets. Journal of Aerospace Technology and Management, v. 4, n. 2, p. 237–240, 2012. DOI: 10.5028/JATM.2012.04021412.

[8] Bandeira, I. N. et al. Forno Multiusuário para Solidificação em Microgravidade: Proposta ao Anúncio de Oportunidade para Vôo Suborbital com Foguete de Sondagem VS-30. São José dos Campos: INPE, 2013.

[9] Bandeira, I. N. et al. Relatório Final da Operação Cumã: Experimento PEM05 – Forno Multiusuário para Solidificação (FORMU-S). São José dos Campos: INPE, 2013.

[10] Bandeira, I. N. et al. Relatório final Operação Cumã 2: INPE – Forno Multiusuário para Solidificação (FORMU-S). São José dos Campos: INPE, 25 p., 2013.

[11] Toledo, R. C. Estudo da solidificação de ligas metálicas eutéticas em ambiente de microgravidade. 1. ed. Londrina: Sorian, 2023. v. 1, 200 p.

[12] An, C. Y. et al. Solidification of lead tin and lead telluride eutectic alloys in microgravity. Microgravity Science and Technology, v. 25, p. 267–273, 2014. DOI: 10.1007/s12217-013-9348-7.

[13] An, C. Y. et al. Experimento Multiusuário com forno elétrico em microgravidade – EMFEM. São José dos Campos: INPE, 2016.

[14] An, C. Y. et al. Solidificação de ligas eutéticas em microgravidade – SLEM. São José dos Campos: INPE, 2016.

[15] Toledo, R. C. et al. Solidification furnace developed for sounding rockets: Rio Verde mission. Journal of Aerospace Technology and Management (Online), [s.l.], p. 1, 2019.

[16] Toledo, R. C. et al. Solidification furnace developed for sounding rockets: Santa Branca mission. Microgravity Science and Technology, v. 36, p. 18, 2024.

[17] Garcia, A. VSB-30 sounding rocket: history of flight performance. Journal of Aerospace Technology and Management, v. 3, n. 3, p. 325–330, 2011. DOI: 10.5028/jatm.2011.03032211.

Capítulo 7

10.37423/250409894

CISTERNAS AGRÍCOLAS PARA AUTOSSUFICIÊNCIA HÍDRICA SUSTENTÁVEL DE PROPRIEDADES RURAIS

Rodrigo Couto Santos	*Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)*
Edlaine Aparecida Siqueira da Silva	*Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)*
Juliano Lovatto	*Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)*
Carlos Alberto Chuba Machado	*Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)*
Mamadou Cellou Abdoulaye Diallo	*Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)*
Luis Alberto Schwind Pedroso Stussi da Silva Pereira	*Centro Universitário da Grande Dourados – UNIGRAN*
Igor Seicho Kiyomura	*Centro Universitário da Grande Dourados – UNIGRAN*
Matheus Dias Belarmino	*Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)*
Sidnei Gregório Tavares	*Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)*
Cicero Ernandes de Melo Santos	*Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)*

Resumo: A cisterna rural é um tipo de reservatório que pode armazenar a água da chuva para ser utilizada em momentos estratégcos de necessidade. Este estudo analisou o potencial de cisternas agrícolas como solução sustentável para o armazenamento de água da chuva em propriedades rurais. Foi realizado um estudo considerando o dimensionamento de um sistema para uma família de quatro pessoas, com dados de precipitação média anual, demanda hídrica e coeficiente de escoamento do telhado. Os cálculos demonstraram que uma cobertura inclinada com área de 99 m² é suficiente para captar 109.500 litros de água por ano em regiões como o Mato Grosso do Sul, que enfrentam estiagens prolongadas. Conclui-se que cisternas bem projetadas são viáveis para garantir autonomia hídrica, reduzir gastos com abastecimento externo e mitigar os efeitos da escassez em áreas não contempladas por políticas públicas de combate à seca.

Palavras-chave: Captação pluvial; Manejo da Água; Reservatório doméstico; Segurança hídrica; Tecnologia Agrícola.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água nas zonas rurais do Brasil tem sido comprometida por alterações no regime climático, impactando diretamente a produção agropecuária e o bem-estar das comunidades locais (da Silva *et al.*, 2024). Embora políticas públicas estejam mais concentradas em áreas tradicionalmente afetadas, como o Sul e Semiárido, outras regiões do país, como o Centro Oeste também vêm enfrentando restrições hídricas significativas.

Fenômenos extremos, como secas prolongadas, têm se tornado mais frequentes e intensos em zonas anteriormente consideradas estáveis do ponto de vista hídrico, merecendo destaque o Sudeste e Centro Oeste (Luiz-Silva; Oscar-Júnior, 2022; Tomasella *et al.*, 2023). Esse cenário reforça a necessidade de estratégias descentralizadas de gestão da água, capazes de atender às demandas locais com eficiência e sustentabilidade (De Jesus *et al.,* 2021).

Nesse contexto, o uso de cisternas agrícolas tem ganhado relevância como alternativa sustentável para a captação e armazenamento de água da chuva (Silva Júnior *et al.*, 2024). Esses sistemas, quando corretamente dimensionados, permitem a redução da dependência de fontes públicas ou de alto custo, favorecendo a autonomia hídrica de pequenos produtores (Mesquita; Cabral, 2021).

Estudos demonstram que a adoção de reservatórios domiciliares em propriedades rurais pode atender a demandas básicas durante longos períodos sem precipitação (Casagrande *et al.*, 2024). Além disso, cisternas bem projetadas contribuem para a mitigação da pressão sobre aquíferos, reduzindo o impacto ambiental da captação convencional de água (Pu *et al.*, 2025).

A implementação de sistemas descentralizados de captação pluvial representa uma estratégia alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que tange ao acesso à água potável e à adaptação às mudanças do clima (Ullah *et al.*, 2024). Tais sistemas são replicáveis, de baixo custo e apresentam elevada aplicabilidade em regiões não cobertas por programas governamentais.

Diante desse panorama, este estudo teve como objetivo analisar o potencial do uso de cisternas agrícolas como solução sustentável para o enfrentamento da escassez hídrica em propriedades rurais brasileiras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Assim com proposto por Santos *et al.* (2020), este estudo também utilizou metodologia quantitativa e exploratória de análise ambiental, mas nesse caso com a inteção de avaliar o desempenho de cisternas agrícolas no armazenamento de água pluvial com base em dados de precipitação e consumo doméstico rural.

Segundo Klock *et al.* (2015), para a conservação da água, é interessante que o reservatório fique enterrado até aproximadamente dois terços da sua altura. Da mesma forma, para evitar a contaminação desta água, torna-se necessário o uso de fossa séptica, separadas da construção (Figura 1).



FIGURA 1. Modelo de cisterna circular. Fonte: (Feitosa; Yada; Soares, 2018)

Corrêa *et al. (*2024) colocam como critério a ser avaliado na captação e armazenagem da chuva a demanda de água para as pessoas atendidas e o índice médio de precipitação para a região, no caso deste estudo considerado de um ano.

No dimensionamento de uma cisterna, o índice de precipitação deve ser obtido em instituições como INMET. Para o cálculo do volume do reservatório foi utilizada a Equação 1 descrita por (Gris; Bertolini; Johann, 2017).

$$V_{reservatório} = D_{diária} \times N_{dias} \quad (1)$$

em que:

$V_{cisterna}$ = volume da cisterna (m^3);

$D_{diária}$ = demanda de água (m^3); e

N_{dias} = número de dias de captação (365 dias).

Neste projeto considerou-se a água captada para o reservatório exclusivamente vinda de telhados.

No projeto, calcula-se a área superficial do telhado considerando a precipitação média anual da Estação Meteorológica mais próxima, determinando-se assim o volume da cisterna.

De acordo com Gris, Bertolini e Johann (2017) pode-se calcular a área necessária ($A_{necessaria}$) do telhado pela Equação 2.

$$A_{necessária} = \frac{V_{cisterna}}{Precipitação * C} \quad (2)$$

em que:

$A_{necessária}$ = área mínima do telhado (m^2);

$V_{cisterna}$ = volume da cisterna (L);

Precipitação = precipitação média anual (mm); e

C = coeficiente de escoamento do material, admensional, entre 0 e 1.

O modelo construtivo proposto para a cisterna é do tipo circular, semienterrado, com revestimento interno em argamassa, o que favorece a conservação térmica da água e reduz perdas por evaporação (Fan *et al.*, 2021). A instalação deve ficar com um distanciamento mínimo de 15 metros de potenciaos fontes de contaminação (Almeida, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de cisternas semienterradas na região Centro Oeste, em especial no estado de Mato Grosso do Sul pode mitigar os efeitos das estiagens prolongadas, garantindo abastecimento doméstico nos períodos de defict hídrico. Além disso, sistemas de captação pluvial proporcionam expressiva economia ao substituir parcial ou totalmente o uso da água fornecida por redes externas, cujos custos operacionais e tarifários têm impacto direto no orçamento de pequenos produtores ou consumidores de baixa renda (Ross; Alim; Rahman, 2022).

Apesar do estado de MS não ser priorizado por políticas federais específicas de combate à seca, há registros crescentes de insegurança hídrica em comunidades rurais isoladas, o que reforça a necessidade de estratégias descentralizadas, de baixo custo e alta replicabilidade como as cisternas agrícolas aqui proposta (Gabas *et al.*, 2022).

Para demonstrar a aplicabilidade da proposta, foi realizado o dimensionamento de uma cisterna para uma unidade familiar de quatro pessoas em contexto rural no estado de Mato Grosso do Sul. Considerou-se uma demanda hídrica de 300 litros por dia, ao longo de 365 dias, totalizando 109.500 litros por ano, valor compatível com os padrões de consumo rural apontados por (Silva, 2019).

A região do Bolsão Sul-Mato-Grossense apresenta precipitação média anual em torno de 1300 mm, concentrada entre os meses de novembro e março. No entanto, longos períodos de estiagem são

comuns no final do outono e início da primavera, antes da retomada do ciclo chuvoso, exigindo soluções de armazenamento que garantam abastecimento contínuo. Para a telha cerâmica, o coeficiente de escoamento a ser adotado foi de 0,85 (Bresolin; Oliveira, 2013).

Assim, considerando a precipitação média anual (1300 mm), um volume de armazenamento de 109.500 L, e o coeficiente de escoamento de 0,85, a área necessária calculada de telhado ($A_{necessária}$) será aproximadamente 99 m^2.

Para garantir uma área de captação inclinada de 99 m², adequada para suprir a demanda anual de uma família rural de quatro pessoas, foi projetada uma cobertura simétrica em duas águas, com inclinação de 30°, conforme as recomendações técnicas para telhas de barro (Persch; Rosas, 2023).

Considerando a largura total da casa como 10 metros, cada água do telhado cobre uma projeção horizontal de 5 metros (meia largura). Com base na relação trigonométrica entre cateto adjacente (*a*) e hipotenusa (*l*), o resultado foi l ≈5,77m. O comprimento aproximado total da casa é de 8,6 metros.

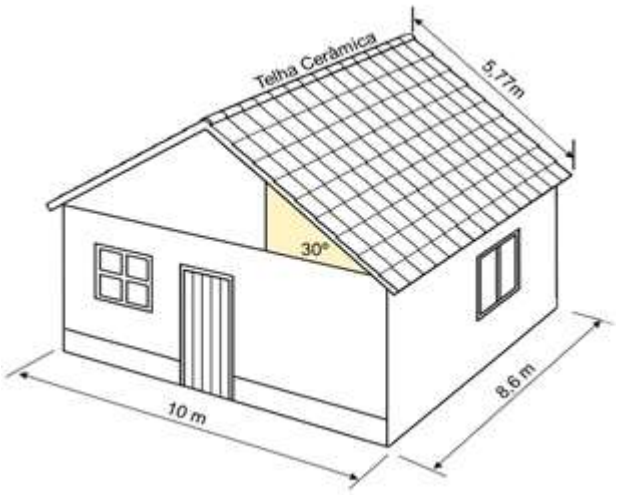


FIGURA 2. Casa de duas águas usada para captação de água. Fonte: Os autores

Analisando a Figura 2 é possível verificar que uma casa com uma projeção horizontal da cobertura de 10m x 8,6m seria suficiente para captar a água necessária para atender os períodos de seca ou contribuir com a economia de água da residencia. Estudo realizado por Sánchez-Galvis *et al.* (2024) concluiram que, diante de um cenário de incertezas hidrológicas é grande importância a utilização de recursos sustentáveis capazes de reduzir os impactos que o homem causa ao ambiente, como os sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva.

4. CONCLUSÃO

A utilização de cisternas demonstrou ser uma alternativa construtiva viável para a captação e armazenamento de água em períodos de de estiagem ou para economia do consumo de água fornecida por fonte externa.

O uso de cisternas agrícolas representa uma solução eficiente, sustentável e replicável para garantir segurança hídrica em regiões rurais com precipitação sazonal ou que se deseja ter economia com uso de água.

A metodologia demonstrou que construções modestas são suficientes para captar volumes anuais necessários para suprir o consumo de famílias rurais.

Estados fora do foco de políticas públicas, como MS, PA e RO, apresentam elevada viabilidade técnica para adoção de sistemas de captação pluvial com cisternas de captação de água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Enos de Araújo. Aspectos do saneamento básico na zona rural de janduís/rn: diagnóstico para a melhoria da qualidade sócioambiental. 2021. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/8141. Acesso em: 10 abr. 2025.

BRESOLIN, Roberval; OLIVEIRA, João Hélvio Righi. Aproveitamento de água de chuva sem tratamento em uma residência. p. 1–17, 2013. Disponível em: http://ecoinovar.com.br/cd2013/arquivos/artigos/ECO035.pdf.

CASAGRANDE, Dieison et al. Climate adaptation policies and rural income: Evidence from social technologies in Brazil. World Development, v. 181, p. 106683, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X24001530. Acesso em: 10 abr. 2025.

CORRÊA, Junio Aparecido Pereira et al. Fitting and suitability of mathematical models for the practical design of rainwater harvesting reservoirs for the state of Minas Gerais, Brazil. Sustainable Water Resources Management, v. 10, n. 4, p. 136, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40899-024-01118-y. Acesso em: 10 abr. 2025.

DA SILVA, Eduardo Teixeira et al. Evaluation of the influence of distributed generation on the well-being of the rural community using PLS-SEM. Journal of Cleaner Production, v. 442, p. 141023, 2024. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624004700. Acesso em: 10 abr. 2025.

DE JESUS, Fernanda Lamede Ferreira et al. Seasonality of biomass production of irrigated Mombaça 'Guinea grass'. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science, v.71, n.3, p.156-164, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1863456. Acesso em: 10 abr. 2025.

FAN, Jihui et al. Rainwater Conservation Practices in China. In: HANDBOOK OF WATER HARVESTING AND CONSERVATION. John Wiley & Sons, Ltd, 2021. p. 261–281. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119776017.ch18. Acesso em: 10 abr. 2025.

FEITOSA, Everton Ricardo; YADA, Marcela Midiori; SOARES, Nathalia Maria. Uso de cisternas na captação da água da chuva para uso animal. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 1, p. 305–314, 2018. Disponível em: https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/351. Acesso em: 10 abr. 2025.

GABAS, S. G. et al. The role of groundwater in economic and social development of Mato Grosso do Sul State, Midwest of Brazil. In: GROUNDWATER FOR SUSTAINABLE LIVELIHOODS AND EQUITABLE GROWTH. CRC Press, 2022.

GRIS, Vanessa Gleica Cantú; BERTOLINI, Geysler Rogis Flor; JOHANN, Jerry Adriani. Rural tanks: economic viability and perception of farmers in Palotina-PR. REVISTA NERA, n. 37, p. 169–194, 2017. Disponível em: https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/4755. Acesso em: 10 abr. 2025.

KLOCK, Adriana Lidia Santana et al. Cisternas: Construção, utilização e manutenção. Boletim Técnico, p. 30–30, 2015. Disponível em: https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/417. Acesso em: 10 abr. 2025.

LUIZ-SILVA, Wanderson; OSCAR-JÚNIOR, Antonio Carlos. Climate extremes related with rainfall in the State of Rio de Janeiro, Brazil: a review of climatological characteristics and recorded trends. Natural Hazards, v. 114, n. 1, p. 713–732, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11069-022-05409-5. Acesso em: 10 abr. 2025.

MESQUITA, Patrícia dos Santos; CABRAL, L. Cavalcante de Souza. Role of Water Infrastructure Programs for Family Farmers in Strengthening Adaptive Capacities to Climate Change: Lessons from the Cisterns Program in Semi-Arid Brazil Sustainability in Debate. Sustentabilidade em debate-Brasilia (Sustainability in Debate), v. 12, n. 3, p. 137–152, 2021. Disponível em: https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/592551. Acesso em: 10 abr. 2025.

PERSCH, Franciele Aline; ROSAS, Leticia Reis Batista. Dimensionamento de estruturas de madeira para telhados: estudo de caso. Revista Arq-Engenharia de Mato Grosso, v. 1, n. 2, p. 77–93, 2023. Disponível em: https://revistas.fasipe.com.br/index.php/rae-mt/article/view/287. Acesso em: 10 abr. 2025.

PU, Jaan et al. The future of rainwater recycling: assessing health risks and environmental impact. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 30, p. e20240038, 2025. Disponível em: https://www.scielo.br/j/esa/a/TZzGSQMVhpWSGKyHyPqWWjJ/. Acesso em: 10 abr. 2025.

ROSS, Tara T.; ALIM, Mohammad A.; RAHMAN, Ataur. Community-Scale Rural Drinking Water Supply Systems Based on Harvested Rainwater: A Case Study of Australia and Vietnam. Water, v. 14, n. 11, p. 1763, 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4441/14/11/1763. Acesso em: 10 abr. 2025.

SÁNCHEZ-GALVIS, Juan Esteban et al. Potencial de economia de água potável por meio do uso de águas pluviais em habitações de interesse social em Viçosa-Brasil. Uniciencia, v. 38, n. 1, p. 44–59, 2024. Disponível em: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2215-34702024000100044&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 10 abr. 2025.

SANTOS, Rodrigo Couto et al. Expert systems as a tool to manage accident risks in grain storage facilities. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, v. 41, n.1, p.87-94, 2020. DOI: https://doi.org/10.5433/1679-0375.2020v41n1p87. Acesso em: 10 abr. 2025.

SILVA, Debora Danna Soares da. Estudos Biológicos e Ambientais do Brasil. 1. ed. Editora Pascal LTDA, 2019. Disponível em: https://editorapascal.com.br/catalogo/. Acesso em: 10 abr. 2025.

SILVA JÚNIOR, Wamberto Raimundo et al. Água boa: disseminação de tecnologia social como barreira sanitária para sistemas de aproveitamento de água de chuva em comunidades rurais. Revista Práxis: saberes da extensão, v. 12, n. 25, p. 69–79, 2024. Disponível em: https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/praxis/article/view/8330. Acesso em: 10 abr. 2025.

TOMASELLA, Javier et al. Assessment of trends, variability and impacts of droughts across Brazil over the period 1980–2019. Natural Hazards, v. 116, n. 2, p. 2173–2190, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11069-022-05759-0. Acesso em: 10 abr. 2025.

ULLAH, Sadiq et al. Potential Sites for Rainwater Harvesting Focusing on the Sustainable Development Goals Using Remote Sensing and Geographical Information System. Sustainability, v. 16, n. 21, p. 9266, 2024. Disponível em: https://www.mdpi.com/2071-1050/16/21/9266. Acesso em: 10 abr. 2025.

Capítulo 8

10.37423/250409899

CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA CALOUROS DA ENGENHARIA

Priscila Pigatto Gasparin — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Medianeira*

Pedro Elton Weber — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Medianeira*

Liliane Hellmann — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR*

André Sandmann — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Medianeira*

Marlene Lucia Donel — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Medianeira*

Shiderlene Vieira de Almeida Araujo — *Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus Medianeira*

Resumo: *Ao ingressar no ensino superior em cursos de engenharia os alunos se deparam com a disciplina de Cálculo Diferencial e Integral I (CDI I) a qual apresenta índices de reprovação elevados e é apontada por inumeras pesquisas a disciplia com o maior índice de desistência. Visando conhecer um pouco da realidade do estudante ao ingressar na universidade especificamente dos conhcecimentos matemáticos que o mesmo apresenta ao iniciar a graduação. Aplicou-se um questionáro para os estudantes do primeiro período dos cursos de Engenharia Elétrica, Produção em Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Medianeira, para identificar quais conteúdos de matemática básica os mesmos apresentam maior dificuldade. Os resultados encontrados foram disponibilizados em uma tabela em que está destaca a porcentagem que cada curso teve como dificuladade. Além disso, foram apontadas algumas estratégias que a UTFPR campus Medianeira está adotando para minimizar as dificuldades apresentadas na disciplina de CDI I.*

Palavras-chave: *Dificuldade, Aprendizagem, Matemática Básica*

INTRODUÇÃO

O alto índice de reprovação nos cursos de engenharias, especificamente na disciplina de Cálculo Diferencial e Integral, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Medianeira, fez com que professores do Departamento de Educação e professores de Matemática se motivassem a realizar pesquisas e trabalhos em conjunto para verificar quais conteúdos específicos e "básicos" desta disciplina os alunos apresentam mais dificuldades.

Por meio do REUNI (Reestruturação e Expansão das Universidades Federais), foram criados vários cursos de engenharia. Esta expansão traz a democratização do acesso ao ensino superior, porém, percebe-se que cada vez mais, alunos ingressam no ensino superior sem terem adquirido os conhecimentos básicos que são pré – requisitos para novas disciplinas a serem cursadas.

Observa-se que o maior índice de reprovação se dá justamente nos primeiros anos da graduação em que os alunos se deparam com disciplinas da área de exatas e com isso o índice de evasão, desistência e desanimo por parte dos alunos tem aumentado.

Desta forma, realizou-se uma pesquisa por meio de dois questionário em que verificou-se quais os conteúdos que os alunos ingressantes à universidade apresentam mais dificuldade e com este resultado está sendo possível realizar um trabalho mais detalhado tanto pelos professores de Matemática e o Departamento de Educação e consequentemente tem auxiliado o curso de pré-cálculo e as monitorias.

O ENSINO DE CÁLCULO NO ENSINO SUPERIOR

Para Laudares e Ribeiro (2001), autores de diversas pesquisas sobre o ensino de Engenharia, tendo por base o modelo de conhecimento cartesiano e positivista, a ciência não tem como objetivo refletir sobre o seu significado. Limita-se a calcular, prever, classificar e inventariar dados empíricos, ou seja, o conhecimento é estruturado independente da história e dos processos sociais. Dessa forma, o sujeito assume uma posição passiva diante dos fatos e acontecimentos. Num modelo de conhecimento baseado na teoria crítica, a ciência é discutida de forma integrada ao contexto social no qual ela se encontra. A proposta desta teoria, segundo o mesmo autor, "(...) é que a ciência faça uma reflexão sobre si mesma, uma vez que os progressos que a tecnologia apresenta em uma determinada sociedade não se separam da forma como o conhecimento foi constituído. O ensino de engenharia pode, desta forma, ser construído dentro de uma nova base questionadora e atualizada". (p.65)

O debate atual sobre a Educação Matemática no Brasil e no mundo indica a necessidade de mudança na forma de se conceber o seu ensino nos mais diversos níveis, seja ele o fundamental, médio ou superior, já que num mundo cada vez mais globalizado não faz sentido o ensino "enciclopédico" em que o aluno apenas recebe o conhecimento e não se posiciona criticamente frente a ele.

Ao discutir sobre a educação matemática Pais (2011) argumenta que esta deveria considerar o raciocínio lógico do aluno ou em outras palavras: "(...) despertar no aluno o hábito de fazer uso de seu raciocínio e de cultivar o gosto pela resolução de problemas." (p. 35)

Para Machado, (2002), o cálculo diferencial e integral é um conhecimento que permite, "(...) nas mais variadas áreas do conhecimento, como engenharia, química, física, biologia, economia, computação, ciências sócias, ciências da terra etc, a análise sistemática de modelos que permitem prever, calcular, otimizar, medir, analisar o desempenho e performance de experiências, estimar, proceder a análises estatísticas e ainda desenvolver padrões de eficiência que beneficiam o desenvolvimento social, econômico e humanístico dos diversos países do mundo". (p.14)

Silva (2008) relata que os estudantes, ao ingressarem em cursos superiores, trazem expectativas inerentes a suas formações básicas - os que no Ensino Médio logravam sempre boas notas em Matemática, acabam levando para a universidade a esperança de que o curso de Cálculo não deva representar grandes obstáculos para o seu aprendizado. Entretanto, ao se depararem com questões globais envolvendo os temas anteriormente estudados, em geral de abordados isoladamente, acrescidas de novas ideias impactantes como o infinito, as aproximações, a continuidade, a incomensurabilidade, quase sempre veem frustradas suas expectativas iniciais.

As dificuldades de alunos quanto à aprendizagem dos conteúdos envolvidos na disciplina Cálculo Diferencial e Integral, que compõe a grade curricular de cursos de Exatas em diferentes áreas, se traduz pelo alto índice de reprovação e desistência do curso inicialmente escolhido pelo jovem universitário.

Para Fonseca Bom (2003), professores de Cálculo também têm suas expectativas quanto ao nível de desempenho dos alunos, muitas vezes guiado por uma visão idealizada de que os estudantes trazem uma bagagem da educação básica suficiente para compreender suas explicações e construir seu próprio saber matemático. Do mesmo modo os professores do ensino médio esperam que, com a Matemática ensinada e o modo como o ensino foi conduzido por eles, possam concorrer para que os alunos sigam sem traumas um 'bom' curso de Cálculo na universidade.

Segundo o autor, estudos realizados na educação básica demonstram um contrato didático baseado em organizações matemáticas pontuais, com procedimentos predominantemente algorítmicos, muito mais voltados aos processos que propriamente aos objetos matemáticos. O professor, ao desenvolver 'bem' os procedimentos acredita estar desempenhando a contento sua função e que seus alunos estão suficientemente preparados para iniciar um curso universitário em que haja estudos matemáticos.

2.1 A DIFICULDADES NA DISCIPLINA DE CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL APRESENTADAS PELOS ALUNOS INGRESSANTES E O PAPEL DA UNIVERSIDADE FRENTE A ESTE CONTEXTO

A preocupação com o ensino de Cálculo vem se mostrando constante; em quase todos os eventos relacionados com ensino de Matemática ou Engenharia tem-se encontrado trabalhos relacionados com as dificuldades demonstradas pelos alunos dessa disciplina, às vezes com sugestões de atividades para tentar modificar a situação. Também em artigos ou livros publicados nos últimos anos, percebe-se a preocupação com o ensino de disciplinas matemáticas e as propostas de mudanças. Flemming, Luz e Coelho (2000) constatam a defasagem de conteúdos básicos em alunos calouros de uma Universidade catarinense e a criação de um projeto de ensino extra-classe, como uma forma de apoio aos estudantes.

Nascimento (2002) relata várias pesquisas e experimentos, realizados em salas de aula da disciplina de Cálculo Diferencial e Integral, para reduzir as dificuldades intrínsecas da disciplina. Segundo o autor, "o método de pesquisa serviu a dois propósitos: realizar a investigação proposta e corrigir as deficiências observadas." (p. 272). Barbosa, Concordido e Carvalhaes (2004) discutem a experiência de implementação de uma disciplina de Pré-Cálculo na Universidade Estadual do Rio de Janeiro, criada através do Programa de Apoio ao Estudante de Graduação, ligado ao surgimento do sistema de cotas na referida universidade. Apesar de concordarem com a importância da disciplina, muitos alunos desistiram, por motivos variados, entre os quais está a incompatibilidade da carga horária, especialmente para os estudantes que trabalham durante o dia.

Doering, Nácul e Doering (2004) relatam a criação do programa Pró-Cálculo, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para "implementar ações visando reduzir o desnível existente entre a bagagem de Matemática que o aluno traz do Ensino Médio e a que se necessita para um bom desempenho no Cálculo." (p. 216). Cabral e Baldino (2004) apresentam as diretrizes didático-pedagógicas que norteiam as ações desenvolvidas no curso de Engenharia de Sistemas Digitais, da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, baseadas em fichas de trabalho.

Especificamente sobre análise de erros em respostas a questões de disciplinas matemáticas, encontramos, nos anais dos Congressos Brasileiros de Ensino de Engenharia (COBENGE), alguns relatos sobre as dificuldades encontradas pelos estudantes. Cury (2003) apresenta uma experiência realizada com estudantes de Engenharia Química, na qual são investigados os erros cometidos em questões de prova, em conteúdos como gráfico de funções, cálculo de limites, derivadas e integrais. Também são apontadas algumas estratégias para auxiliar os alunos em suas dificuldades, mais diretamente aquelas ligadas ao Ensino Fundamental.

Araújo e Moreira (2005), ao relatarem experiências com a monitoria de Cálculo, justificam sua necessidade pelo fato de que os alunos chegam à Universidade sem terem desenvolvido, na Educação Básica, as habilidades de interpretar a linguagem matemática, abstrair, generalizar, explorar problemas. Como salientam os autores, "às vezes, ´guardam` a técnica e não o significado dos conceitos." (p. 2). O monitor, ao acompanhar o estudante mediante orientação sistemática, substitui o professor nos momentos em que este não pode trabalhar individualmente com os alunos.

Os mesmos autores ainda apontam as vantagens da monitoria para a Universidade: Como atividade extra-classe, atua como fonte de auxílio, a fim de suprir deficiências de conhecimentos necessários para o perfeito entendimento de conceitos do curso, numa situação em que a população estudantil assistida ganha, qualitativamente, pois o monitor, por ser um integrante da mesma categoria da população alvo, reúne favoráveis condições de se tornar um vetor motivacional no processo de ensino aprendizagem. (ARAÚJO; MOREIRA, 2005, p.20)

METODOLOGIA

Foram selecionados de forma aleatória alunos de primeiro período dos cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia Ambiental e Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR campus Medianeira totalizando quareta e dois alunos, em que o objetivo da pesquisa foi identificar os conteúdos "básicos" de Matemática que estes apresentam mais dificuldades. Desta forma, foi aplicado um questionário com questões do Ensino Fundamental II as quais abordaram os seguintes conteúdos regras de potência, radiciação, geometria, trigonometria, operações com polinômios, e questões do Ensino Médio com os seguintes conteúdos, função polinomial, exponencial, logarítmica e trigonométrica, sistemas de equações lineares, polinômios.

O questionário foi aplicado no final do segundo semestre de 2012. Após isso foram realizadas a tabulação dos dados, com a qual pode-se diagnosticar quais são os conteúdos matemáticos mais

impactantes na formação básica os quais, podem remeter a resultados indesejados no inicio de cursos superiores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com as pesquisas de Amorim (1991) e Turra e Ribeiro (1982) estudantes apresentam um baixo desempenho em Matemática. Inúmeras são as razões que contribuem para esse baixo desempenho. Duval (2003) ressalta a dificuldade que os estudantes tem em diferenciar o objeto matemático estudado da representação que o torna acessível.

Desta forma, observou-se com a coleta de dados, que a maioria dos alunos tem dificuldades de expressar o "seu" raciocínio em linguagem matemática, muitos por não conhecer a linguagem e ficarem em dúvidas do que escrever e como escrever, outros ainda apresentam a dificuldade de colocar no papel o que realmente raciocinaram para desenvolver o problema, ou o cálculo realizado para encontrar a solução.

Avaliando o questionário obsevou –se que a maioria dos alunos dos cursos de engenharia elétrica, produção e ambiental, apresentaram dificuldades com relação aos seguintes conteúdos:

Tabela 1 - Dificuldades apresentadas no questionário

Conteúdos	Engenharia Elétrica	Engenharia de Produção	Engenharia Ambiental
Potência	4,70%	54,76%	45,23%
Radiciação	9,50%	26,19%	26,19%
Operações com frações	7,14%	35,71%	42,85%
Simplificações algébricas	7,14%	38,09%	42,85%
Operações com conjuntos	11,90%	21,42%	14,30%
Função: Função do 1 grau, 2 grau, exponencial, logarítimica	57,14%	85,30%	78,60%
Construção de gráficos	30,5%	35,90%	33,3%
Função Trigonométrica	30,9%	52,4%	50%

Um outro ponto relevante é a falta de interpretação da questão, sem interpretar o aluno não sabe o que ele tem que fazer em um determinado exercício e/ou problema, assim observou-se que algumas vezes os alunos escreveram de qualquer forma sem utilizar a linguagem matemática ou se tentaram escrever na linguagem matemática escreveu-se de forma errada.

Outro conteúdo a divisão de polinômios, teve um grande número de erros nas respostas avaliadas, este conteúdo é de extrema importância pois é trabalhado em funções, limites e derivadas sendo parte necessária para a disciplina de Cálculo. Além disso, questões relacionadas a trigonometria, geometria também apresentaram um grande índice de erros em que muitos não souberam nem começar o exercício.

Segundo Carmo et al (2012) relata em sua pesquisa alguns fatores que contribuem para os altos índices de reprovação e desistência da disciplina de CDI I, podem ser descritas como a falta de revisão dos conteúdos básicos por parte de alguns professores, isso faz com que alunos que há muito tempo concluíram o ensino médio encontram mais dificuldades na disciplina. A falta de aplicação dos assuntos abordados em CDI I em situações-problema. A falta de autonomia nos estudos muito comum em alunos do Ensino Médio, mas que não é compatível com a realidade universitária. Significa dizer que no Ensino Médio o aluno é mais dependente do professor que tem toda a responsabilidade de apresentar o conhecimento o que em geral não ocorre na universidade, onde o professor atua de modo semelhante a um tutor, sendo assim extremamente necessária uma atitude de iniciativa e responsabilidade do aluno diante da aprendizagem.

Além disso, obsevou-se que, a maioria dos alunos apresentam grande dificuldades nos conteúdos relacionados a função e a construção de gráficos, em relacionar o domínio e a imagem da função. Em média cerca de 44% dos alunos apresentam dificuldades no conteúdo de função trigonométrica, muitos não compreendem as relações trigonométricas, outros escreveram não terem aprendido o conteúdo no ensino médio.

Segundo Pedroso (2010) a maior parte dos conteúdos considerados chaves para o início dos estudos de Física e CDI I não são dominados por cerca de 46% dos estudantes, isso faz com que esta situação gera um grande potencial de evasão não aproveitando de forma completa as disciplinas, uma vez que muitos estudantes terão dificuldades em compreender os conteúdos sendo tratados em virtude de lacunas de conceitos.

De acordo com a pesquisa de Lacaz, Carvalho e Fernandes (2007) os resultados apresentados pelo questionário indicam pouco conhecimento da matemática básica para um bom desempenho em

Cálculo e dificuldades na transição do ensino médio para superior. Outras pesquisas como Artigue (2003), Cabral e Baldino (2004) Cury e Oliveira (2004), apontam para estas dificuldades ao relatar experiências com o ensino de Cálculo. Da mesma forma, Cury e Casso (2004) revelam que os erros cometidos por estudantes de engenharia demonstra que estes não dominam os conteúdos de álgebra, geometria e trigonometria do ensino básico.

Com base nos resultados das pesquisas relatadas acima, é possível constatar que a maioria dos alunos chega até a universidade com uma grande defasagem nos conteúdos básicos de matemática, gerando um grande número de reprovações e desistências.

De acordo com Almeida e Donel (2014) realizou-se um levantamento de dados da UTFPR campus Medianeira e observou-se que num total de 923 matrículas na disciplina de Cálculo Diferencial e Integral I, apenas 20,9% foram aprovados. Além disso, 23,4% dos acadêmicos solicitaram o cancelamento da disciplina e um total de 55,7% reprovados, em que destes 67% foram reprovados por nota e 33% reprovaram por nota e falta. Considerando a média de reprovação por curso, temos a seguinte situação: Engenharia Elétrica 69.4%; Engenharia de Produção 50.4% e Engenharia Ambiental 48.9%.

Os dados estatísticos com relação ao índice de aprovação e reprovação apresentados em diversas instituições de ensino superior do Brasil são alarmantes, porém muitos alunos almejam cursar engenharia mas devido a grande dificuldade com as disciplinas de exatas a maioria acaba desistindo do curso.

Segundo Donzeli (2007, p. 10):

> [...] Segundo os docentes, os motivos que mais contribuem para as reprovações são a falta de estudo do aluno, a seleção do vestibular, a ausência de monitoria e o conhecimento prévio por parte do aluno. Questões com relação à falta de infraestrutura da universidade e ao calendário acadêmico que é modificado durante o semestre também foram levantadas pelos docentes [...]

De acordo com Doering *et al* (2004), o conteúdo apresentado na maioria dos plano de ensino da disciplina de CDI I apresentam como item inicial a revisão do estudo de função real de variável real, conteúdo considerado estudado no ensino médio. Segundo Lacaz, Carvalho e Fernandes (2007) não consideram proveitoso rever conceitos, mas sim solidificá-los, ou aprofundá-los, de tal maneira que o aluno incorpore o seu significado e uso.

As estratégias de ensino que estão sendo utilizadas na UTFPR campus Medianeira para diminuir o número de desistentes e o número de repetentes, são as aulas de pré – cálculo, em que estas são

realizadas em horários diferenciados para que todos os alunos interessados possam participar. As monitorias, são realizadas por alunos em que os mesmos atendem em horários alternativos para auxiliar os alunos com dificuldades na resolução de listas de exercícios, esclarecimento de dúvidas.

De acordo com a pesquisa realizada por Cáceres (2013) na UTFPR- Medianeira referente as monitorias, o qual elaborou um questionário em que quarenta alunos participaram e os resultados encontrados foram: Cerca de 35% buscaram a monitoria por apresentarem dificuldades na disciplina, 90% dos alunos consideram a monitoria como uma boa alternativa para auxiliar nos estudos, 67% foram aprovados na disciplina em que buscou o atendimento na monitoria, com relação ao um melhor rendimento nas avaliações cerca de 77% dos alunos tiveram êxito e 77% dos alunos afirmam que a monitoria contribuiu de forma significativa na aprendizagem.

Outra estratégia que foi implantada, é a disciplina de CDI I a distância, a qual está sendo disponibilizada na plataforma Moodle. O material foi elaborado por um conjunto de professores da UTFPR com objetivo de ser um material mais didático e para que o aluno possa ter autonomia de estudar sozinho, além disso, na plataforma os alunos tem acesso a vídeo-aulas e links que lhe dão suporte para compreender da melhor forma possível os conceitos de CDI, esta modalidade ainda está em análise.

Além disso, Lacaz, Carvalho e Fernandes (2007) apontam como estratégias para a melhoria da aprendizagem da disciplina de CDI I, trabalhar com tarefas investigativas, ou seja, com demonstrações, aplicações uso de calculadoras e *softwares* que despertem no aluno a curiosidade e a aplicação matemática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das dificuldades encontradas na disciplina de CDI I, a defasagem dos conteúdos em matemática básica é apontada por diversas pesquisas como um dos obstáculos que causam um grande índice de reprovação e desistência pelo fato dos alunos apresentarem um baixo desenpenho na disciplina.

Desta forma, por meio de um questionário identificou-se alguns conteúdos em que os alunos dos cursos de Engenharia Elétrica, Produção e Ambiental da UTFPR campus Medianeira, apresentaram grande dificuldade para encontrar a solução e escrever na linguagem matemática correta.

Também apresentou-se algumas estratégias que estão sendo desenvolvidas pela UTFPR campus Medianeira para minimizar as dificuldades de aprendizagem na disciplina de CDI I por meio das monitorias e do curso de pré cálculo.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. V.; DONEL, M. L. H. Aprendizagem e Matemática: uma análise no ensino superior. Revista Linha Mestra (no prelo)

AMORIM, A. Avaliação institucional da universidade. São Paulo: Cortez, 1991

ARAÚJO, R.; MOREIRA, L. F. N. Monitoria da disciplina de Cálculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 33, 2005, Campina Grande. Anais... Campina Grande: UFPB, 2005. CD-ROM.

ARTIGUE, M. ¿Qué se puede aprender de la investigación educativa en el nivel universitario? Boletín de la Associatión Matemática Venezolana, v. X, n. 2, p. 117-134, 2003.

AZAMBUJA, C. R. J.; SILVEIRA, F. A. R.; GONÇALVES, N. S. Tecnologias síncronas e assíncronas no ensino de cálculo diferencial e integral. In: CURY, H. N. Disciplinas matemáticas em cursos superiores: reflexões, relatos, propostas. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004. p. 225-243.

BARBOSA, A. C. C.; CONCORDIDO, C. F. R.; CARVALHAES, C. G. Uma proposta de Pré-Cálculo com ensino colaborativo. In: COLÓQUIO DE HISTÓRIA E TECNOLOGIA DO ENSINO DA MATEMÁTICA, 2, 2004, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: UERJ, 2004. CD-ROM.

CABRAL, T. C. B.; BALDINO, R. R. O ensino de Matemática em um curso de Engenharia de Sistemas Digitais. In: CURY, H. N. Disciplinas matemáticas em cursos superiores: reflexões, relatos, propostas. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004. p. 139-186.

CÁCERES, F.R.. A importância e as contribuições da monitoria nos cursos de engenharia da UTFPR – Medianeira. Monografia.29.p. Especialização em Métodos e Técnicas de Ensino, UTFPR, 2013.

CURY, H. N.; CASSOL, M. Análise de erros em Cálculo: Uma pesquisa para embasar mudanças. Acta Scientiae, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 27-36, jan./jun. 2004.

CURY, H. N.; OLIVEIRA, A. M. P. Da saliva e pó de giz ao software de computação algébrica: A difícil adaptação dos professores de Matemática às exigências da sociedade informatizada. In: CURY, H. N. (org.). Disciplinas matemáticas em cursos superiores: reflexões, relatos, propostas. Porto Alegre: EDPUCRS, p. 17-40, 2004.

DOERING, C. I.; NÁCUL, L. B. C.; DOERING, L. R. O programa Pró-Cálculo da UFRGS. In: CURY, H. N. Disciplinas matemáticas em cursos superiores: reflexões, relatos, propostas. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004. p. 201-223.

DUVAL, R. Registros de representação semióticas e funcionamento cognitivo da compreensão em matemática.In: MACHADO, S. D. A. aprendizagem em matemática: registros de representação semiótica. Campinas, SP: Papirus, 2003. p. 11-34.

FONSECA BOM, C. (2003). Discontinuidades matemáticas y didácticas entre la enseñanza secundaria y la enseñanza universitaria. Tese. Universidad de Vigo. Espanha.

FLEMMING, D. M.; LUZ, E. F.; COELHO, C. Dificuldades em conceitos básicos de matemática: diagnóstico e análise dos alunos ingressantes na UNISUL. Revista Brasileira de Ensino de Engenharia. Brasília, v. 19, n. 2, p. 35-39, dez. 2000.

NASCIMENTO, J. L. do. Uma metodologia para o Cálculo I. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 28, 2000, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: UFOP, 2000. CD-ROM.

MACHADO, Nilson José. Epistemologia e Didática: as concepções de conhecimento e inteligência e a prática docente. 3.ed. São Paulo: Cortez, 1999. 320p. p.125.

LACAZ, T.M.V.S.; CARVALHO, M.T.L.; FERNANDES, J.A.S. Implicações das dificuldades dos alunos na aprendizagem da disciplina cálculo diferencial e integral I da FEG/UNESP para as práticas pedagógicas. Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Curitiba, PR, 2007.

LAUDARES, J. B.; RIBEIRO, S. Trabalho e formação do engenheiro. Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Porto Alegre, RS: Cobenge, 2001.

SILVA, B.A.Contrato Didático. In: Sílvia Dias Alcântara Machado. (Org.). Educação Matemática: Uma (nova) introdução. 3ª ed. São Paulo: EDUC, 2008.

TURRA, P.; RIBEIRO, N. P. Planejamento de ensino e avaliação. Porto Alegre: EMMA, 1982.

Capítulo 9

10.37423/250409901

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AMOSTRAGEM DISCRETA E AMOSTRAGEM POR MULTI INCREMENTOS

Amanda Gonçalves Kieling — *Universidade do Vale do Rio dos Sinos*

Tuane Alves da Silva — *Universidade do Vale do Rio dos Sinos*

Natalia Andrade de Brito — *Universidade do Vale do Rio dos Sinos*

Renata Ester dos Santos Zapata — *LZ Ambiental*

Luciana Paulo Gomes — *Universidade do Vale do Rio dos Sinos*

Marcelo Oliveira Caetano — *Universidade do Vale do Rio dos Sinos*

Resumo: Os estudos relacionados à área ambiental vêm crescendo e se desenvolvendo a cada ano, como técnicas de amostragens para áreas contaminadas que possam resultar em dados mais concretos, satisfatórios e com grau de confiabilidade maior. Para cada técnica escolhida deve ser levado em consideração qual o propósito do estudo e principalmente quais contaminantes que possam ser encontrados. Visando esses pontos, a escolha da mesma deve ser a mais adequada e objetiva possível. Em 2012 foi concluído um estudo de uma nova metodologia que estabelece uma nova técnica no momento de amostragem, diferenciando das demais metodologias executadas no Brasil. Essa técnica é denominada de Amostragem por Multi Incremento (AMI), onde a mesma é coletada em mais pontos na unidade de decisão (UD), tornando se uma amostra homogênea e trazendo dados mais confiáveis quando comparada, por exemplo, com a Amostragem Discreta (AD) que é uma técnica mais usual.

Portanto, este artigo tem como objetivo apresentar os estudos já realizados entre essas duas amostragens, apresentando como foram implementadas, suas principais diferenças quando coletadas e preparadas para análises químicas.

Os estudos dos artigos abordados neste trabalho resultaram que o novo modelo de amostragem, a AMI é mais eficaz, traz resultados mais confiáveis do que a AD, e apesar de ter mais coletas na área ela se torna mais homogeneizada diminuindo assim os custos em amostras a serem analisadas.

Palavras-chave: Áreas contaminadas, Gerenciamento Ambiental, Amostragem discreta, Amostragem incremental.

INTRODUÇÃO

Conforme o Ministério do Meio Ambiente, áreas contaminadas são locais que apresentam substâncias em certas quantidades que poderiam gerar ou geram impactos negativos ao meio ambiente ou a saúde humana. Para a análise e o gerenciamento ambiental destas áreas contaminadas, o Brasil possui a Resolução CONAMA 420/2009. Ela também dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias. Para o gerenciamento de estudos referentes à degradação da área a ser analisada, amostragens são necessárias.

A amostragem é um procedimento no qual uma pequena parcela de um material é coletada e transportada de forma conveniente para ser analisada. Esta amostra, mesmo que pequena, consegue representar as características efetivas do ambiente a ser analisado. (CARVALHO, 2014). Portanto, não existe a viabilidade de todo o solo do local ser removido e caracterizado, e sim serem executadas metodologias apropriadas que possibilitem investigar o local de interesse de forma eficiente. (CETESB, 1999).

A crescente demanda de estudos ligados ao gerenciamento ambiental de áreas contendo passivos ambientais levou os órgãos ambientais e profissionais do meio ambiente a criarem e aprimorarem metodologias para essas investigações mais eficazes, economicamente viáveis e resultando em dados mais confiáveis. (BRASIL, 2014).

Nesse contexto, surgiu uma nova técnica de amostragem por multi incrementos (AMI) elaborada pelo Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) dos Estados Unidos da América, que tem o objetivo de aprimorar a metodologia da amostragem de solo tornando a mais barata e com resultados estatísticos confiáveis quando comparados com a amostragem discreta (AD). (CELESTE, 2010).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem teórica e comparativa entre a metodologia tradicional de amostragem discreta (AD) e a amostragem por multi incrementos (AMI), visando às vantagens de custos na preparação e na quantidade de análises químicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

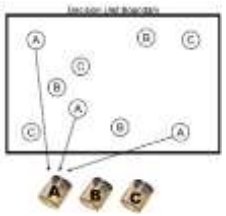
Quando se adquire um terreno o empreendedor adquire também os passivos ambientais presentes nele. Passivos ambientais são aos danos negativos ao terreno e também as compensações econômicas e sociais para preservar e recuperar a qualidade ambiental de um determinado ambiente (Foladori).

Por isso se faz necessário realizar a amostragem, não somente para monitorar a qualidade do solo de um determinado site, enquanto uma atividade está sendo realizada, mas também quando se decide realizar a aquisição de determinada área. Para realizar o gerenciamento de uma área contaminada, uma sequência de etapas é seguida. A Resolução Conama 420/2009, além de outros atos normativos aplicáveis, tais como as normas brasileiras NBR/ABNT 15.515-1:2007, 15.515-2:2011 e 15.515-3, dispõe desta ordem, denominando-as como avaliação preliminar, investigação confirmatória e investigação detalhada. A investigação confirmatória tem como objetivo validar ou não a suspeita de que um determinado local está contaminado e é o procedimento de amostragem, uma das principais ferramentas que auxiliam na confirmação da situação.

Uma grande quantidade de trabalhos vem abordando a comparação de metodologias de amostragem para indicar o melhor método para cada caso. Celeste (2010) visualizou a importância de definir a abordagem mais adequada para a análise de áreas possivelmente contaminadas, uma vez que há várias técnicas com estratégias distintas. Com isso, desenvolveu uma comparação teórica da amostragem discreta e a incremental. Ciantelli et al (2016) comparou as técnicas de amostragem por multi-incremento e a direcionada, aplicando-as em solo contaminado com Bifenilas Policloradas (PCBs).

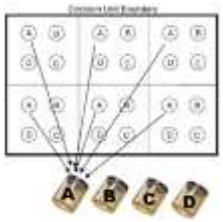
No manual do ITRC de 2012 são prescritas algumas metodologias de amostragem, são elas: Agrupada, Aleatória Estratificada, Aleatória Simples (discreta), Sistemática, Ranqueada e Multi-Incremento. A sequência de figuras a seguir apresenta alguns exemplos das amostragens quando realizadas em campo, como a amostragem composta (Figuras 1, 2 e 3), em seguida a amostragem discreta (Figura 4) e por último a amostragem multi-incrementos (Figura 5).

Figura 1 – Amostragem Composta (design 1)



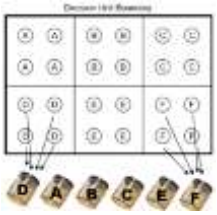
Fonte: Adaptado pelos autores

Figura 2 – Amostragem Composta (design 2)



Fonte: Adaptado pelos autores

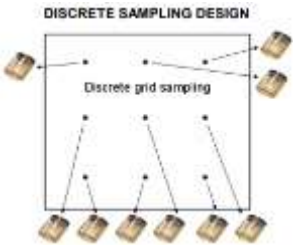
Figura 3 – Amostragem Composta (design 3)



Fonte: Adaptado pelos autores

As três figuras são exemplos de diferentes abordagens da técnica de amostragem composta. Na figura, a coleta é baseada em um design aleatório simples. Amostras com a mesma letra são armazenadas juntas. Também não há a presença de espaçamento igualitário referente aos pontos para amostragem. Na figura 2, o terreno foi dividido em quadrantes e dentro deles ocorreu a determinação de 4 pontos (a,b,c e d) que apresentam distâncias igualitárias entre si. As amostras de mesma letra de cada quadrante são armazenadas juntas. Na Figura 3, o terreno também foi dividido em quadrantes como na figura 2. Entretanto, cada quadrante é um bloco unitário (as quatro amostragens de um quadrante são armazenadas juntas).

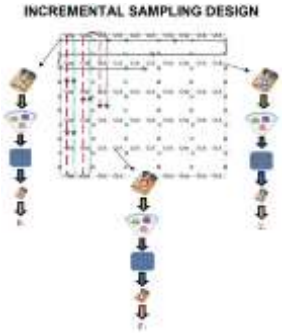
Figura 4 – Amostragem Discreta



Fonte: Adaptado pelos autores

A Figura 4 representa uma amostragem discreta. Nota-se que para a amostragem discreta a coleta é feita aleatoriamente e gera se várias amostras do local para serem analisadas, ou seja, cada amostra pode apresentar vários resultados e deve ser analisada cada uma separadamente.

Figura 5 – Amostragem em campo



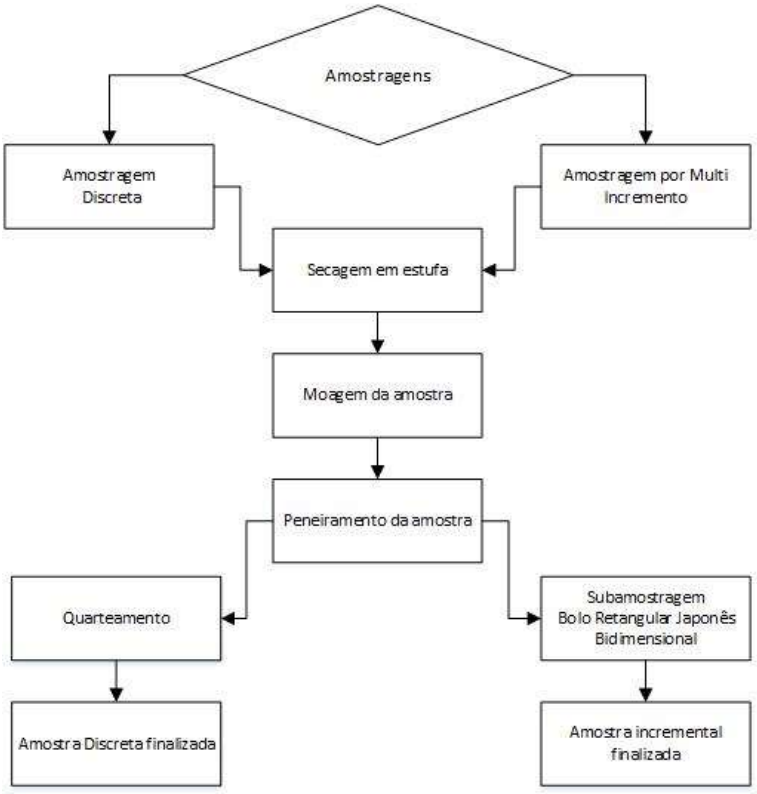
Fonte: Adaptado pelos autores

A Figura 5 apresenta a técnica de multi incremento. Nesta técnica, são selecionados os pontos de amostragens no local esquematicamente, coletados vários incrementos do mesmo e homogeneizado em uma amostra.

AMOSTRAGEM DISCRETA X AMOSTRAGEM MULTI INCREMENTOS

Neste trabalho são abordados dois métodos de amostragem, apresentando as diferenças de como são realizadas as amostragens em campo e a preparação das amostras para análises química. Na Figura 6, são apresentadas as etapas que compõem cada tipo de amostragem.

Figura 6- Fluxograma de amostragens



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.A amostragem discreta (AD) é a metodologia comumente utilizada na amostragem de solo. Nesta abordagem, a área de estudo é dividida, onde as coletas das amostras de solo ocorrem em pontos definidos, sendo um ponto afastado do outro pela mesma distância. Cada ponto gera uma amostra que será, posteriormente, analisada em laboratório. Quanto menor o número de pontos de amostragem, maior será a incerteza no resultado final. Tal fato dificulta a tomada de decisão nos processos, pois a decisão de intervenção para esta determinada área se daria pelas concentrações médias encontradas em poucos pontos de coleta em comparação com a grande área estudada.

Entendendo-se que boa parte da área apresenta esta quantidade de concentrações, são necessárias muitas amostras discretas em um terreno com suspeita de contaminação para se ter um resultado confiável. (ITRC, 2012). De acordo com o manual da CETESB n° 6300 de 1999, para um plano de amostragem da AD deve ser definida a quantidade total de amostragens na área. Neste processo, deve ser levado em consideração o tamanho do local, qualidade das informações fornecidas, o grau de contaminação e se o tipo de contaminação é conhecida ou desconhecida. A profundidade dessa amostragem deve variar de 0,15 m a 0,75 m e a quantidade ideal de cada amostra deve ser de 2 kg. Após a amostra deve ser enviada ao laboratório para ser seca em estufa, moída e peneirada.

A AMI é uma metodologia de amostragem nova que visa trazer mais vantagens e confiabilidade para investigações ambientais. Este método está sendo usado principalmente para amostragens de áreas a serem remediadas. Nessa amostragem, a área objeto de estudo é dividida em Unidades de Decisão (UD) para serem coletadas as amostras. A UD pode abranger toda a área ou apenas parte da mesma, dependendo da estratégia de investigação da área de estudo. Em cada UD devem ser coletadas no mínimo 30 alíquotas (incrementos) de solo, o qual irá compor uma amostra.

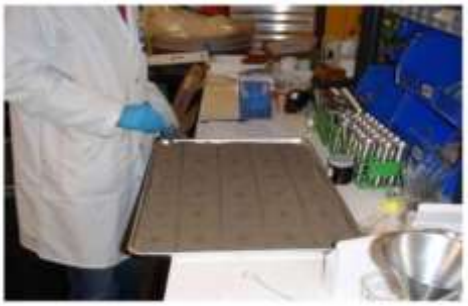
Para tanto, devem ser utilizadas ferramentas de amostragem adequadas às características do solo e dos contaminantes a serem analisados. Após o procedimento de amostragem, as amostras são enviadas para laboratórios, contudo são preparadas previamente à análise. Primeiramente, o solo é espalhado sobre fôrmas de aço inox e posteriormente submetidas à secagem em estufa, até que estas amostras estejam completamente secas, esse processo leva no mínimo 48 h.

Após a secagem, as amostras são moídas utilizando-se almofariz e pilão; e, peneiradas com malha >2 mm. Na última etapa do processo de preparação da amostra, já com granulometria >2 mm, podem ser aplicadas diferentes metodologias para a re-amostragem, como a do bolo retangular japonês bidimensional, conforme Figura 7. Neste método é realizado o processo de sub-amostragem,

simulando o processo de amostragem no campo, espalhando-se a amostra por toda a fôrma revestida com um material que não interfira na composição química da amostra.

A amostra é dividida, com auxílio de uma espátula, na mesma quantidade de quadrantes definidas na amostragem. Assim é retirado um incremento de cada quadrante para formar uma amostra total. Para esse procedimento deve ser utilizado uma colher quadrada com dimensões de 16 mm de largura, com laterais e sem cortes, porque assim, consegue se representar toda a parte do quadrante no incremento, conforme Figura 8. Cada incremento deverá ter de 1 a 3g para alcançar a massa desejada da amostra final. (ITRC, 2012).

Figura 7- Bolo retangular japonês bidimensional



Fonte: ITRC. (2012,

Figura 8- Execução da AMI com colher quadrada.



Fonte: Elaborado pelos

RESULTADOS

Em Ciantelli, et al (2015), o estudo foi realizado para avaliar a eficiência da amostragem direcionada e se seria necessário a amostragem por multi incrementos, mesmo havendo uma grande quantidade de informações sobre a área. A ideia principal seria abordar uma discussão referente aos procedimentos utilizados pelos profissionais do país.

A comparação entre a amostragem por multi incremento e a direcionada gerou resultados analíticos diferentes. Ambos detectaram a presença da substância acima do permitido, porém a diferença de concentrações foi consideravelmente alta. Isso se dá, pois, a amostragem direcionada possui uma heterogeneidade. Com isso, hot spots podem ser criados e caso não haja uma boa interpretação dos resultados, a investigação pode ser encaminhada para direções não muito adequadas.

Os resultados encontrados nas duas metodologias distintas foram que a AMI possui mais vantagem na diminuição do número de análises em relação às amostras, consequentemente o custo com análises químicas e físicas diminui muito se comparadas com a AD e também, na AMI homogeneíza-

se melhor a amostragem daquele ponto coletado. E as desvantagens da AMI são que dependendo do ponto do local coletado, pode apresentar teores químicos e físicos maiores do que em outros locais coletados. Isso pode gerar extravios de informações específicas da área estudada. Além disso, esta metodologia não seria a mais adequada para suspeitas de contaminação do solo por substâncias voláteis e para quando se utilizará técnicas in situ (CETESB, 2012).

Em Sivertsen et al (2016), a AMI foi utilizada para analisar o solo de 14 playgrounds na Dinamarca. O estudo foi realizado para verificar se o solo foi contaminado devido às antigas atividades realizadas nos locais. A técnica foi abordada para avaliar se a metodologia proporciona resultados representativos. Em cada playground foi realizada a média de 45 a 100 incrementos, tudo dependia do histórico da região.

Após as análises do resultado, concluiu-se que através deste método foi possível adquirir uma abordagem mais abrangente da área. Destaca-se que em um dos casos analisados ocorreu uma variação de resultados em triplicata. Com isso, foi realizada uma verificação que revelou um erro. Ele apenas foi encontrado devido à metodologia aplicada.

Além disso, obtiveram um entendimento melhor da distribuição da contaminação uma vez que os pontos com maior contaminação coincidem com o histórico do local. Com a realização dessa metodologia para a amostragem foi possível adquirir uma base de informações melhores para a avaliação de risco da área. Estes resultados não seriam possíveis com a utilização do método tradicional.

Porém, entende-se que houve um maior gasto de tempo e dinheiro, uma vez que, para sua realização da amostragem, foi necessário um estudo preliminar da metodologia, a limpeza da área (relacionado à vegetação), o manuseio de maiores volumes de amostras, um número maior de incrementos e os equipamentos tiveram que ser adquiridos, pois não havia sido utilizada esta técnica antes.

Entretanto, os profissionais concluíram que com a realização deste estudo, as próximas investigações nas quais será utilizada a técnica de multi incremento serão mais práticas. E que a cada nova prática, mais experiências são adquiridas. Os responsáveis estão procurando novas oportunidades para a utilização desta técnica em áreas com possível contaminação do solo.

Brewer et al (2017) apresentaram um estudo no qual foi analisada uma revisão da técnica de amostragem discreta. Com isso, os resultados adquiridos através da amostragem discreta, foram comparados com os de multi incremento e outras técnicas. Para a realização do estudo foram

escolhidas três áreas para análise, uma delas se localiza na ilha do Hawai e as outras duas na ilha de Oahu. Estes locais já haviam sido analisados e foi comprovada contaminações com arsênio, chumbo e PCBs.

Após a análise dos resultados foi possível confirmar que as amostras obtidas através da amostragem discreta não podem ser consideradas como representativas do local analisado. Pode ocorrer a subestimação da real extensão de uma contaminação do local determinado. Com a análise discreta ocorre o aparecimento de “pontos quentes” e “pontos frios”, nos quais, podem prejudicar a tomada de decisão para a realização da remediação. Gerando prejuízos financeiros e temporais.

Brewer et al (2017) apresentam que profissionais relacionados às áreas da indústria, da agricultura e mineração há muito tempo não confiam e afirmam haver uma ineficiência relacionada ao uso da técnica de amostragem discreta

Uma grande quantidade de trabalhos acadêmicos aborda esta comparação de metodologias de amostragem para indicar as melhores para cada caso. Celeste (2010) realiza uma comparação entre a análise discreta e a incremental. No qual, apresenta a boa aplicabilidade da técnica de amostragem incremental para análises de locais contaminados com PCBs, metais pesados, Pahs e pesticidas.

Estudos como Celeste (2010), Ciantelli, et al (2015) e Brewer, et al (2017) indicam que para resultados mais eficientes é necessário um bom planejamento de estudo. Muitos dos erros se dão devido ao número de amostragens realizadas, à localização das alíquotas, a quantidade de solo retirada das mesmas e a metodologia utilizada para o tratamento das amostras (Celeste 2010). Além disso, devem ocorrer treinamentos adequados para os profissionais que vão coletar e manusear as amostras Brewer, et al (2016).

Silverstsen et al (2016) é um indicador de que em diversos países há a procura por compreensão da técnica de multi incremento. Este estudo mostrou que o governo Dinamarquês está empenhando-se em aplicar e estudar esta nova técnica para torna-la mais comum nas investigações. O estado do Hawai iniciou a troca da metodologia da amostragem discreta para a de multi incrementos em 2006, lançando um manual sobre a técnica em 2012 e atualizada em 2016 (Brewer et al 2017).

Conforme Brewer et al (2017), profissionais relacionados às áreas da indústria, da agricultura e mineração há muito tempo não confiam e afirmam haver uma ineficiência relacionada ao uso da técnica de amostragem discreta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo apresentou alguns estudos realizados referentes às duas metodologias de amostragem (AD e AMI). Através da comparação das técnicas foi possível compreender as diferenças entre os dois métodos.

A AMI é uma metodologia nova. Percebe-se que a partir do estudo apresentado pelo ITRC (2012), diversos profissionais começaram a utilizar a técnica de amostragem por multi incremento para estudos ambientais. Portanto, em relação a essas duas metodologias, os resultados podem ser diferentes por causa do estilo de amostragem, onde na AD os mesmos apresentam amostras mais heterogêneas e na AMI os resultados são mais homogêneos.

A AD já era uma técnica muito conhecida e utilizada pelos profissionais da área para a coleta de solo potencialmente contaminado. Esta metodologia apresentou muitas desvantagens em comparação com a AMI, principalmente por apresentar maior incerteza no resultado final.

Conclui-se que a nova metodologia (AMI) é uma técnica nova e melhor quando se trata em obter amostras homogêneas, gerar menos amostras para serem preparadas para análises físicas e químicas, tornando essa etapa mais rápida, como também, diminuindo os custos de análises nas investigações ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mes¬trado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1992. BRASIL, CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 420 de 28 de dezembro 2009 do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620> . Acesso em: 26 out. 2018.

2. BREWER, Roger; PEARD, John. HESKETT, Marvin. A critical review of discrete soil sample data reability: part 1 – field study results. Soil and Sediment Contamination: An International Journal. Vol.26, n.1, 1-22, nov. 2016. Disponível em: < https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15320383.2017.1244171>. Acesso em: 26 out. 2018.

3. BRASIL. Sandra Lúcia de Moraes. Organizador (Org.). Guia de elaboração de planos de intervenção para o Gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo: Isbn, 2014. 398 p.

4. CELESTE, Jorge. Estratégias de Amostragem Discreta Versus Incremental na Avaliação da Contaminação de Solos. 2010. Disponível em: <http://repositorio.lnec.pt:8080/bitstream/123456789/1001181/1/12CNG%20artigo-celeste%20jorge%20Amostragem%20incremental%20_final_.pdf>. Acesso em: 19 out. 2018.

5. CIANTELLI, Gabriela Kristensen et al. Amostragem de solo multi-incremento e direcionada aplicadas em área com Bifenilas Policloradas (PCBs). InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. Vol. 10, n.1, jun/2015. Disponível em: <http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2015/06/141_InterfacEHS_ed-vol_10_n_1_2015.pdf> . Acesso em: 25 out. 2018.

6. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 6300: Amostragem do Solo. 1 ed. São Paulo: Cetesb, 1999. 44 p.

7. ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2012. Incremental Sampling Methodology. ISM1 Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Incremental Sampling Methodology Team. www.itrcweb.org.

8. ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). Incremental Sampling Methodology. ISM1 Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Incremental Sampling Methodology Team. 2012. Disponível em: https://www.itrcweb.org/ism-1/pdfs/ISM-1_021512_Final.pdf. Acesso em: 25 out. 2018

9. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Áreas Contaminadas. Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas.html>. Acesso em: 26 out. 2018.

10. FOLADORI, Guilhermo. Resenha Desengenharia. O passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/asoc/n10/16890.pdf>. Acesso em: 26 out. 2018.DI BERNARDO, L. Comunicação pessoal sobre Técnicas de Tratabilidade. 1993/1995.

11. SIVERTSEN, Anne ; ELLEHØJ, Kirstine Voss ; KORNBECK, Trine. Teste of the Multi Increment Sampling, Method on 14 Playgrounds. Remediation Journal, September 2016, Vol.26(4), pp.127-138.

Capítulo 10

10.37423/250409906

"ESTUDO SOBRE KITS DE ROBÓTICA PEDAGÓGICA ATRAVÉS DE UMA ANÁLISE COMPARATIVA TENDO COMO PARÂMETRO: CUSTOS E CARACTERÍSTICAS DE ENSINO. ”

Maruedson Pires Martins — *Universidade Estadual de Santa Cruz*

Alan Paranhos de Souza e Silva — *Universidade Estadual de Santa Cruz*

Gabriel Santos Oliveira — *Universidade Estadual de Santa Cruz*

Danilo Leite Pontes — *Universidade Estadual de Santa Cruz*

Robson Marinho Silva — *Universidade Estadual de Santa Cruz*

Resumo: *Os atuais avanços tecnológicos, principalmente no que diz respeito aos temas de controle e automação, fazem com que o ensino destes temas ganhe uma importância muito grande nas instituições de educação. Porém a metodologia tradicional limita o acesso dos estudantes a este conhecimento, principalmente pelo alto custo de aquisição e manutenção dos equipamentos, tornando o contato dos alunos com esses temas quase que teórico. Mas como alternativa a este problema, foram desenvolvidos os kits de robótica educacional, que podem ser divididos em dois principais tipos: os kits proprietários, que são fechados a modificações dos alunos e de custo de aquisição ainda elevado para os padrões de ensino, e kits livres, os quais podem ser construídos pelos próprios estudantes, sendo adequado às necessidades de cada instituição. Neste trabalho busca-se fazer uma análise comparativa das características dos Kits de robótica livre e dos proprietários, enfatizando que as características técnicas influenciam diretamente no custo e na aplicabilidade do ensino.*

Palavras-chave: *Robótica Pedagógica, Lego Mindstorm, Kits de Robótica.*

1 INTRODUÇÃO

A robótica é definida como ligação inteligente entre a percepção e ação, sendo necessário certo grau de inteligência para realização de uma determinada tarefa e envolve uma interação física entre o sistema e o meio onde a tarefa está sendo realizada [PIO et al. 2006]. Ainda de acordo com Steffen (2002) a robótica pode ser definida como uma área de conhecimento relacionada com o controle e a construção de robôs.

A robótica faz referência ao estudo e utilização de robôs ou de qualquer sistema de automação em geral. É uma área tecnológica que se utiliza da matemática, física, eletrônica e informática para realizar trabalhos de maneira autônoma e pré-programada.

Originalmente a robótica se desenvolveu embasada na necessidade de encontrar soluções adequadas para problemas técnicos, tais como acesso a ambientes confinados, reabilitação de pacientes e sondas espaciais (GARCIA et al. 2007), além de atender as necessidades industriais por quantidade de produção cada vez maiores e inalcançáveis para que somente a força do homem pudesse atende-la.

Nesse sentido o ensino e formação de profissionais em robótica são de fundamental importância para o mundo tecnológico de hoje. A rápida evolução e sofisticação atingida pela área forçam um desafio maior na obtenção de metodologias de ensino competentes que garantam o conhecimento técnico necessário para que um país ou uma sociedade em geral alcance seus objetivos.

O ensino tradicional, voltado para resoluções de problemas teóricos de programação, pode dificultar o interesse e a criatividade na prática de funcionamento da automação. Assim a obtenção de protótipos de robótica para ensino surge como uma solução eficaz na aprendizagem, de fato, da robótica.

Portanto, a Robótica pedagógica ganha força por se tratar da aplicação da robótica na área de educação, com o objetivo de disponibilizar aos alunos a oportunidade de criar soluções voltadas ao mundo real, de forma e possibilitar o aprendizado de forma dinâmica e estimulante.

Baseado nesta metodologia de disseminação da robótica no ambiente de ensino surgiram os kits proprietários, assim chamados, que tentam tonar mais flexível a metodologia de ensino, fazendo com que os alunos tenham um maior acesso no ambiente de programação e modelagem dos robôs. Esse tipo de metodologia é uma realidade recente nas faculdades de engenharia em geral e nos cursos técnico-profissionalizantes, porém verifica-se que seu acesso é restrito em muitos desse ambientes,

devido ao alto custo na aquisição de um Kit Proprietário, a maioria deles importados (FILHO E GONÇALVES, 2008), onde podemos destacar a plataforma LEGO Mindstorms.

Nos Estados Unidos o conjunto LEGO Mindstorms, no qual o NXT está incluído, apresenta um custo em torno de US$200,00 enquanto que no Brasil esse valor gira em torno de US$700,00. Essa significante diferença de preço se deve a taxas e impostos de importação, sendo, de fato, a sua utilização restrita a poucas escolas (SIPITAKIAT et al., 2004; ALVES et al., 2005; MIRANDA, 2006).

Alem dos custos de aquisição dos kits proprietários, podem-se encontrar outras limitações no que se diz respeito ao desenvolvimento dos estudantes, em relação aos conhecimentos de eletrônica. Então como alternativa a essas dificuldades encontradas nos kits proprietários, desenvolveu-se diversos kits de robótica livre/próprio (CESAR E BONILHA 2007, CESAR 2004, CESAR 2010).

Este trabalho consiste na comparação das características dos Kits de robótica livre/próprio e dos proprietários; tendo em vista que características técnicas diferentes podem influenciar no custo e na aplicabilidade do ensino de robótica.

2 ROBÓTICA EDUCACIONAL

2.1 KITS PROPRIETÁRIOS

O ensino da robótica pedagógica, com os kits proprietários, surgiu como alternativa a metodologia tradicional de ensino, trazendo maior flexibilidade. Segundo Bagnall (2007), o emprego da robótica em ambientes educacionais tem demonstrado ser uma ferramenta adequada para o desenvolvimento de atividades que envolvam criar, projetar e planejar, favorecendo assim o processo de ensino-aprendizagem e ainda ampliar a integração entre diferentes áreas de conhecimento [BAGNALL 2007].

Neste trabalho utilizaremos como referencia as características desses kits a plataforma LEGO Mindstorms, por ser uma das mais comercializadas no Brasil, plataforma esta que é uma das mais utilizadas na Feira Brasileira de Ciências e Engenharia (FEBRACE) (LOPES et al., 2003, 2004, 2005, 2006, 2007) onde diversas equipes usam em seus protótipos partes deste kit.

Uma das marcas mais conhecidas no mundo o LEGO, consiste de um conjunto de peças plásticas para a construção de modelos mecânicos, que permite a aprendizagem através da elaboração de projetos, inventando e experimentando sistemas controlados por computador,

tais como robótica pedagógica. A flexibilidade e a divisão modular associada à plataforma LEGO Mindstorms permite criar rapidamente diferentes configurações, apresentando uma motivação para o público que está dando seus primeiros passos no mundo da robótica, além disso, está adquirindo conhecimentos baseados na técnica de prototipagem rápida (RESHKO et al., 2000).

O NXT, que pode ser observado na Figura 1) é o dispositivo programável, chamado bloco lógico, que atua como a unidade de controle central de um kit e onde se encontra a tecnologia Mindstorms, que transforma modelos mecânicos em robôs e controla suas ações. O NXT amplia a possibilidades de uso do kit, permitindo aos alunos construir não apenas as estruturas e mecanismos, mas também desenvolver conhecimentos e técnicas baseadas no comportamento de sistema de controle.

A programação do tijolo é realizada em um computador pessoal utilizando uma versão da linguagem Logo, conhecida como Logo de tijolo (Logo Bricks), sendo em seguida efetuada a transferência do programa para o tijolo programável através de um cabo USB ou através de comunicação via Bluetooth. A partir deste ponto podem ocorrer duas situações: o tijolo continuar conectado com o computador pessoal e continuar trocando informações ou tornar-se autônomo e independente (RESNICK et al., 1996).

O NXT possui quatro entradas (numeradas com números de 1 a 4) e três saídas (indicados com letras de A até C). Isso significa que os blocos NXT podem coletar informações do ambiente, através de quatro sensores, e pode acionar três dispositivos de atuação. Os sensores comuns usados por esta plataforma são os sensores infravermelhos, sensores de toque e sensores sonoros. No entanto, é possível obter sensores adicionais para conectar o controlador NXT, tais como sensores de temperatura, explorando a potencialidade do LEGO Minsdstorms.



Figura 1 – O NXT com seus sensores, motores e acessórios

A plataforma oferece três motores DC de nove volts equipado com uma caixa de velocidades. A caixa de velocidades permite reduzir a velocidade angular da roda e aumentar o torque disponível, como

2.2 KITS DE ROBÓTICA LIVRE

Diversos trabalhos apresentam propostas alternativas aos kits proprietários, todos com preços que variam entre R$ 70,00 a 150,00 em média, denominada Robótica Livre (CESAR e BONILHA 2007, CESAR 2004, CESAR 2010), os quais podem ser utilizados como ferramentas auxiliares no ensino de computação nas diversas modalidades de ensino e nos diversos cursos. A maioria dos projetos de robótica educacional pode utilizar soluções livres de hardware e software. Sobre esta nova filosofia de utilização de software livre, i.e, todo o desenvolvimento de hardware e software poderá ser encontrado para utilização, estudo, redistribuição e modificação.

Para que a filosofia do software livre possa ser empregada na Robótica Educacional é necessária a especificação de um kit de robótica educativa, com hardware e software documentados e definidos de forma didática, para que possa ser utilizado em larga escala por professores e alunos de diferentes modalidades de ensino. Além disso, é importante que exista uma retro-alimentação das experiências realizadas em sala de aula, indicando sugestões, críticas e criações realizadas na utilização dos kits, bem como fatores subjetivos observados como aumento de motivação e o estímulo da criatividade dos alunos, permitindo a criação de um ambiente de comunicação bidirecional visando à interação entre utilizadores dos kits.

De acordo com Lucena (1997) a construção de ambientes dinâmicos de aprendizagem se baseia na teoria sóciointeracionista de Vygotsky, que aponta a cooperação como fator destacado para a promoção da aprendizagem.

3 A CONSTRUÇÃO DE KITS/PROTÓTIPOS DE ROBÓTICA LIVRE

Na idealização de um protótipo de robótica pedagógica, deve se considerar os objetivos do projeto quanto ao ensino e seu custo; o que acarreta em mudanças técnicas na construção de um Kit de Robótica Livre.

Assim; aspectos como o Hardware (Circuito Eletrônico), Software e Estrutura Mecânica, utilizados - entre outros; devem ser muitas vezes diferentes, levando se em conta tais objetivos.

3.1 PLACAS CONTROLADORAS

O circuito eletrônico do Kit é talvez, o aspecto mais importante em termos técnicos e pedagógicos, já que dependendo da sua complexidade, muda-se todo um projeto.

Há no mercado inúmeras placas disponíveis para compra, entre elas o Arduíno (ARDUINO, 2009), e a GoGo (SIPITAKIAT, 2004) – entre as mais utilizadas e representadas na Figura 2). Essa última, produzida com alguns compromissos diferenciados, como simplicidade de projeto; baixo custo dos componentes; projeto e códigos abertos, o que possibilita a construção pelo próprio usurário (GOGO, 2007a.;GOGO2007b).ilustrado na Figura 1.

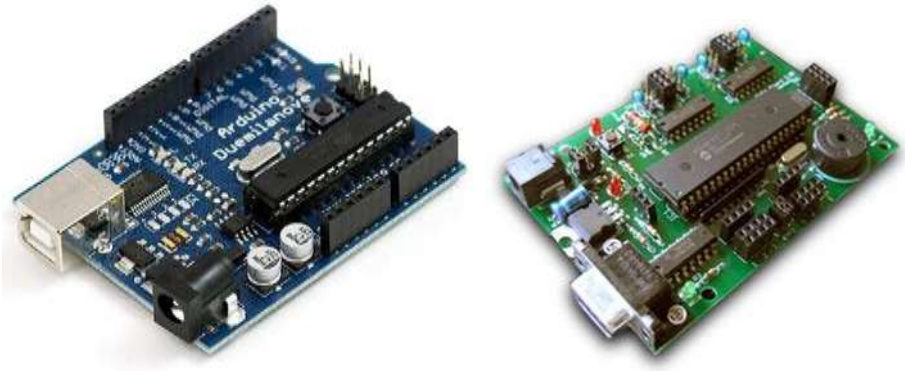


Figura 2 – As placa Arduíno e GoGo, respectivamente

Em se tratando de ensino da automação, o uso de micro controladores é um aspecto a se considerar, pois tais estruturas eletrônicas são de fundamental importância no processamento de dados pelo robô de forma independente, em vez de uma dependência maior do computador, para além do envio de comandos do software. Tal característica é fundamental em cursos de engenharia elétrica e mecânica

que necessitam de um aprendizado mais complexo no que se refere a circuitos eletrônicos e seus componentes.

Por outro lado o ensino em escolas de nível médio e até mesmo superiores como o de Computação não requer projetos robóticos mais elaborados nesse aspecto, e assim diminuindo em custo nos seus Kits.

3.2 SOFTWARE

O software é o componente do Kit Pedagógico responsável pela comunicação entre o usuário e a máquina. Dependendo da sua complexidade e facilidade de uso, na realização do seu objetivo, pode-se mudar suas características de ensino.

Há diferentes abordagens em se tratando de programação de autômatos, onde o nível de abstração é o principal foco, isto é, dependendo da linguagem de computação utilizada com mais funcionalidades, porém mais difícil de ser implementada, resultará em um Software com um nível de acessibilidade e complexidade diferente.

O uso de uma biblioteca com funções pré-definidas para controle do hardware, para cursos que não possuem foco em programação como eletrônica e eletrotécnica, é sem dúvida essencial para tornar o processo de aprendizado mais ágil e interessante. Outro recurso algumas vezes utilizado, que requer mais investimento no projeto, é a utilização de um programa de interface controladora, onde o usuário/aluno, não necessite do acesso ao código- fonte e possa apenas manipular ícones para movimentar o robô.

Assim dependendo do foco de ensino (Computação, Engenharia ou Médio) o planejamento do software, de suas características influenciará no aprendizado de forma significativa.

Na Figura 3), segue um exemplo de interface desenvolvida para controlar um guindaste, construído como um projeto de kit próprio.

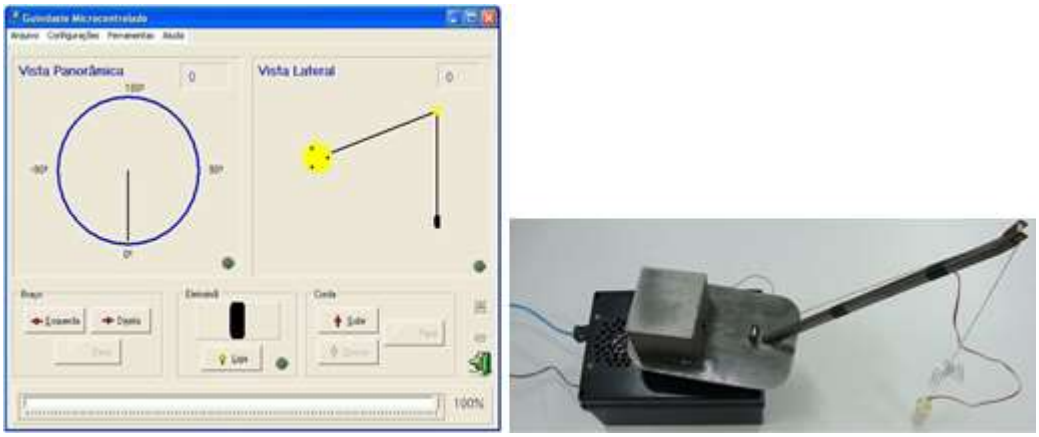


Figura 3 – Interface controladora e seu objeto controlado

3.3 ESTRUTURA MECÂNICA

É neste item que a criatividade dos alunos é estimulada, pois haverá sempre a soluções de problemas que requerem a disposição de estruturas diferentes. Assim, a construção de uma plataforma de ensino é de fundamental interesse, já que nela existirá a possibilidade de compor objetos controlados diferentes. Em vez disso o desenvolvimento de um protótipo único (como um braço mecânico, carro, etc.) é muitas vezes mais barato e pretendido para objetivos práticos de ensino médio, onde se pretende apenas ter um referencial de eletricidade e mecânica.

Em se tratando de custo, no que se refere à estrutura mecânica do Kit, abre se aqui um importante item a se considerar: o uso de sucata eletrônica e de informática na construção de Kits pedagógicos. O aproveitamento do lixo tecnológico na construção dos objetos controlados acarreta em desafios de engenharia na adaptação e reaproveitamento de peças vistas como inutilizadas e em uma importante consciência ecológica e sustentável desenvolvida pelos alunos, se assim for estimulada pelos professores.

Há ainda componentes obrigatórios; como motores, tipo de conexão; e dispositivos extras; como sensores e inversores de freqüência, etc.; que dependendo da sua natureza e presença no projeto, podem significar diferenças de custo em Kits diferentes.

4 ANÁLISE COMPARATIVA

Os kits proprietários desempenham um importante papel na disseminação do ensino da robótica. Tal visibilidade foi alcançada pela facilidade de manuseio de duas plataformas e linguagem de

programação. Contudo, tais equipamentos de ensino apresentam um alto custo de aquisição, o que dificulta a sua disponibilidade em escolas públicas, por exemplo. Como alternativa surgiram os diversos kits livres, com a proposta de possuírem menor custo, tornando-os mais acessíveis as instituições de ensino como o todo.

Propõem-se aqui, portanto, a partir da comparação em termos objetivos, a análise na formação de kits de Robótica Educacional, levando se em conta os itens de sua construção (Hardware, software e Estrutura Física).

Sendo tais critérios como “Facilidade de Uso”, relacionado com o fácil manuseio pelos alunos no uso dos Kits e assim aprender de forma satisfatória. E “Complexidade”, como o nível de aprendizagem necessária e obtida no uso do Kit. O quadro comparativo encontra-se na Figura 4) a seguir.

	COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS	FACILIDADE DE USO	COMPLEXIDADE	CUSTO	APLICABILIDADE NO ENSINO
KITS DE ROBÓTICA LIVRE	PLACA	COM MICROCONTROLADOR	FÁCIL	ALTA	ALTO	ENGENHARIA/ CURSOS PROFISSIONALIZANTES
		SEM MICROCONTROLADOR	MÉDIO	BAIXA	MEDIO	ENS. MÉDIO/FUNDAMENTAL(COMPUTAÇÃO)
	SOFTWARE	FUNÇÕES PRÉ-DEFINIDAS DE LINGUAGEM	FACIL	MEDIA	MEDIO	ENGENHARIA
		LINGUAGEM COMPLEXA	DIFICIL	ALTA	MEDIO	COMPUTAÇÃO/CURSOS PROFISSIONALIZANTES
		ACESS. AO CÓDIGO FONTE	DIFICIL	ALTA	BAIXO	COMPUTAÇÃO
		SEM ACESS. AO CÓGIDO FONTE	FÁCIL	BAIXA	ALTO	ENGENHARIA e ENS. MÉDIO/FUNDAM.
	ESTRUTURA MECÂNICA	PLATAFORMA GERAL	FACIL	MEDIA	ALTO	ENGENHARIA
		PLATAFORMA ÚNICA	FACIL	BAIXA	BAIXO	ENS. MÉDIO/FUNDAMENTAL
		USO DE SUCATA	MEDIO	ALTA	BAIXO	TODOS
		USO DE PEÇAS PRONTAS	FACIL	BAIXA	ALTO	ENGENHARIA
		ESTRUTURA COMPLEXA	DIFICIL	ALTA	ALTO	ENGENHARIA / C. PROFISSIONALIZANTES
		ESTRUTURA SIMPLES	FACIL	MEDIA	BAIXO	ENS. MÉDIO/FUNDAMENTAL
LEGO MINDSTORMS	-		MEDIA	MEDIA	ALTO	TODOS

Figura. 4 – Quadro comparativo de ensino, custo e aplicabilidade

Usando os parâmetros “Facilidade de Uso” e “Complexidade do Kit”, obtêm-se, enfim, uma idéia geral de quais características um Kit de Robótica Educacional Livre, deve ter para determinado ensino, antes mesmo da confecção do Protótipo.

Verifica-se a necessidade do uso de kits mais complexos e completos em aulas de automação para cursos de Engenharia, onde o entendimento em detalhes de todos os componentes e processos envolvidos na robótica é fundamental.

Em cursos de necessidades “intermediarias”, por assim dizer, como o de Computação e cursos superiores semelhantes, a partir do quadro, sugere-se um Kit com um Circuito Eletrônico mais simples (onde a dependência maior do PC será bem vinda) e com o uso de linguagens diversas em se tratando de complexidade (mais funções) e principalmente com uma liberdade de acesso ao código-fonte, com um manipulamento para além de uma interação somente com botões de interface, por parte desses alunos.

No que se refere ao uso do kit em aulas de Ensino médio e Fundamental, nas escolas, pode-se optar por um dos kits mais baratos e de simplicidade em termos de Hardware, Software e Estrutura Física.

A análise do custo demonstra que esse critério ou parâmetro, varia muito dependendo do uso e objetivo do robô. Já o Kit Proprietário Lego Mindstorms, leva desvantagem, principalmente nesse quesito.

Assim, traçando o plano pedagógico e os conceitos a serem abordados em sala de aula, cabe ao professor (que vivencia as necessidades dos alunos), e o coordenador pedagógico, encontrar o melhor protótipo de robótica educacional para as aulas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da comparação feita neste artigo pode-se notar que os kits livres são uma alternativa viável ao ensino de robótica, por possuírem um custo muito inferior aos kits proprietários. E por permitirem aos alunos uma interação maior com a construção não somente da estrutura do robô, mas também a construção dos sistemas lógicos e sensoriais, (introduzindo assim conceitos de eletrônica no aprendizado da robótica); além de formação de conhecimento nas áreas de computação e mecânica.

Todas essas considerações demonstram que esses kits são realmente educacionais, fato que não ocorre com os kits proprietários nesses termos.

Permite-se também, a partir desse estudo comparativo das características dos kits, quanto ao ensino e seu custo, inferir que há possibilidades de Kit Educacionais Livres diferentes, dependendo do plano pedagógico de ensino a ser usado.

6 REFERÊNCIAS BOBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. C.; BLINKSTEIN, P.; LOPES, R. D. Robótica na periferia? Uso de tecnologias digitais na rede pública de São Paulo como ferramentas de expressão e inclusão. In: XI WIE - Workshop sobre Informática na Escola, 2005, São Leopoldo. Anais do XI WIE – Workshop sobre Informática na Escola (SBC), 2005 CD-ROM.

ARDUINO (2009) “Open-source physical computing platform”. Disponível em:

<http://www.arduino.cc>. Acesso em: 30-07-2009.

BAGNALL, B. (2007). Maximum Lego NXT: Building Robots with Java Brains. Variant Press.

CESAR, D. R. (2004). Robótica Livre: Soluções tecnológicas livres em ambientes informatizados de aprendizagem na área da Robótica Pedagógica. In Anais do Simpósio sobre Trabalho e Educação, São Paulo, SP, Brasil.

CESAR, D. R. (2010). Projeto robótica livre. http://www.roboticalivre.org.

CESAR, D. R. e Bonilha, M. (2007). Robótica Livre: Implementação de um Ambiente Dinâmico de Robótica Pedagógica com Soluções Tecnológicas Livres no CEFET em Itabirito

- Minas Gerais - Brasil. In Anais do XXVII Congresso da SBC - XIII Workshop de Informática na Escola, São Paulo, SP, Brasil.

DANTE A. MEDEIROS FILHO, PAULO C. GONÇALVES. Robótica Educacional de Baixo Custo: Uma Realidade para as Escolas Brasileiras. Belém do Pará. Pará. Congresso da SBC. 2008

FILHO, D. M. E GONÇÃLVES, P. (2008). Robótica Educacional de Baixo Custo: Uma Realidade para as Escolas Brasileiras. In Anais do XXVIII Congresso da SBC - XIV Workshop de Informática na Escola, Belém, PA, Brasil.

GARCIA,E., JIMENEZ, M., DE SANTOS, P., E ARMANDA, M. (2007). The Evolution of Robotics Research. IEEE Robotics and Automation Magazine, 14(1):90–103.

GOGO, GoGo Board. 2007a. Disponível em: <http://www.gogoboard.org>. Acesso em 05/11/2007.

GOGO, GoGo Board Source Code. 2007b. Disponível em:

<http://code.google.com/p/gogoboard/>. Acesso em 05/11/2007.

LOPES, R. D; FICHEMAN, I.K; ALVES, A.C.; SAGGIO, E. (Org.). Feira Brasileira de Ciências e Engenharia. Anais FEBRACE 2007. São Paulo.Disponível em: Disponível em: http://www.lsi.usp.br/febrace/sobrefebrace/historia/anaisfebrace2007.pdf Acesso em: 05 nov. 2007.

LOPES, R. D; FICHEMAN, I.K; ALVES, A.C.; SAGGIO, E. (Org.). Feira Brasileira de Ciências e Engenharia. Anais FEBRACE 2006. São Paulo. Disponível em:

<http://www.lsi.usp.br/febrace/sobrefebrace/historia/anaisfebrace2006.pdf Acesso em: 05 nov. 2007.

LOPES, R. D; FICHEMAN, I.K; ALVES, A.C.;FILHO,I.L. (Org.). Feira Brasileira de Ciências e Engenharia. Anais FEBRACE 2005. São Paulo. Disponível em:

<http://www.lsi.usp.br/febrace/sobrefebrace/historia/anaisfebrace2005.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2007.

LOPES, R. D; FICHEMAN, I.K; ALVES, A.C.;FILHO,I.L. (Org.). Feira Brasileira de Ciências e Engenharia. Anais FEBRACE 2004. São Paulo. Disponível em:

<http://www.lsi.usp.br/febrace/sobrefebrace/historia/anaisfebrace2004.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2007.

LOPES, R. D; FICHEMAN, I.K; ALVES, A.C., (Org.). Feira Brasileira de Ciências e Engenharia. Anais FEBRACE 2003. São Paulo. Disponível em:

<http://www.lsi.usp.br/febrace/sobrefebrace/historia/anaisfebrace2003.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2007.

LUCENA, M. Um modelo de Escola Aberta na Internet: Kidlink no Brasil. Rio de Janeiro. Ed. Brasport. 1997.

MIRANDA, L. C. RoboFácil: Especificação e Implementação de Artefatos de Hardware e Software de Baixo Custo para um Kit de Robótica Educacional. Rio de Janeiro. 2006.

124 f. Dissertação (Mestrado em Informática)-Instituto de Matemática, Núcleo de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PIO, J. L., CASTRO, T., AND CASTRO, A. (2006). A robótica móvel como instrumento de apoio à aprendizagem de computação. In XVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, pages 197–206.

RESHKO, G., MASON M., NOURBAKHSH R., Rapid Prototyping of Small Robots. Technical report. Carnegie Mellon University.2000.

RESNICK, M. MARTIN, F.; SARGENT, R.; SILVERMAN B. Programmable Bricks: Toys to Think With. IBM Systems Journal, vol. 35, no. 3-4, pp. 443-452, 1996.

SIPITAKIAT, A.; BLIKSTEIN, P.; CAVALLO, D. (2004) “GoGo Board: Augmenting Programmable Bricks for Economically Challenged Audiences”, In: Proceedings of the Int. Conf. of the Learning Sciences (ICLS 2004), Los Angeles, USA.

STEFFEN, HELOISA HELENA. (2002), Robótica pedagógica na educação: Um recurso de comunicação, regulagem e cognição, em ‘Dissertação de Mestrado em Ciências da Comunicação. Escola de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, SP, 2002.’, http://www.bibvirt.futuro.usp.br/textos/teses/helo_robotica.pdf.

Capítulo 11

10.37423/250409913

SIMULAÇÃO DA PERFORMANCE DE GERADOR TERMOELÉTRICO PARA RECUPERAÇÃO DA ENERGIA DOS GASES DE EXAUSTÃO AUTOMOTIVA

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica*

Carlos Antônio Cabral dos Santos — *Universidade Federal da Paraíba (UFPB); Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica*

Cleiton Rubens Formiga Barbosa — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica*

Elierton Evangelistadas Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica*

Jéssica Chayanne de Carvalho Silva das Neves — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica*

Matheus Antônio Pereira da Silva — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica*

Resumo: *Os estudos e desenvolvimento de novas aplicações de engenharia nas últimas décadas estão cada vez mais associados à aplicação de técnicas numéricas e softwares computacionais capazes de estimar com grande precisão a solução de modelos matemáticos com grau de complexidade crescente em diversas áreas. Neste trabalho foi concebido um projeto piloto de um sistema de recuperação de calor associado a um arranjo de placas termoelétricas para compor um gerador termoelétrico útil para diversas aplicações de engenharia onde resíduos térmicos estão disponíveis como fonte de calor. Para o dimensionamento deste gerador termoelétrico, buscou-se avaliar a eficácia de uma geometria semelhante a tubos de gases de exaustão automotiva com aletas internas como elemento recuperador de calor com a montagem na superfície externa de um conjunto de placas TEG (gerador termoelétrico) baseado em telureto de bismuto. Os resultados obtidos mostraram que a simulação do efeito da geração termelétrica no Ansys com os módulos térmico-elétrico está de acordo com a performance prevista nas fichas técnicas apresentadas pelos fabricantes.*

Palavras-chave: *GERADOR TERMOELÉTRICO, RECUPERAÇÃO DE ENERGIA, EFICIÊNCIA, EFEITO SEEBECK, MODELAGEM E SIMULAÇÃO.*

1. INTRODUÇÃO

A simulação de fenômenos físicos é a representação mais simplificada de um processo ou sistema do mundo real. Nas simulações são utilizados modelos que representam as principais características ou comportamentos do sistema ou processo selecionado.

Normalmente, faz-se uso de computadores no processamento da simulação. A simulação pode ser usada em inúmeros contextos, como simulação de tecnologia para otimização de desempenho ou ajuste de parâmetros, testes de segurança, treinamentos, programas educacionais etc.

A simulação pode ser usada para demonstrar os eventuais efeitos reais de condições alternativas e/ou alguma ação não corriqueira. A simulação também é muito utilizada quando o sistema real não pode ser acionado, ou pode ser perigoso, ou por está sendo projetado, mas ainda não tenha sido construído, ou ainda pode simplesmente não existir.

As questões primordiais em modelagem e simulação incluem a aquisição de fontes adequadas e válidas de informação, a seleção relevante das principais características e comportamentos empregados para construir o modelo, o uso de aproximações e pressupostos simplificadores dentro do modelo e a fidelidade e validade dos resultados da simulação.

Procedimentos para verificação e validação de modelos são um campo interessante de estudo acadêmico, refinamento, pesquisa e desenvolvimento em tecnologia ou prática de simulação, em especial no trabalho de simulação computacional.

Nos últimos anos pesquisadores vêm desenvolvendo modelos numéricos capazes de predizer com precisão o desempenho de geradores termoelétricos. Quando comparado com o método experimental, um modelo numérico pode reduzir custos e economizar tempo de desenvolvimento de protótipos. (Luo *et al*. 2022), (Luo *et al*. 2023a)

Neste contexto, a presente pesquisa aborda a simulação numérica em regime permanente de desempenho um gerador termoelétrico de exaustão automotiva alicerçada na modelagem fluido-térmico-elétrica (M-FTE) dos seus domínios físicos.

Com o propósito de aumentar o desempenho do gerador termoelétrico automotivo, pesquisadores utilizaram o modelo numérico M-FTE para otimização das dimensões da aleta no canal de escoamento dos gases de exaustão do trocador de calor. (Yang *et al*. 2023)

Com a distância e a espessura das aletas de 2 mm e 0,5 mm, houve melhorias significativas de desempenho do TEG-a, com potência de saída, eficiência de conversão, potência líquida e eficiência líquida aumentando em 26,85%, 42,22%, 9,52% e 22,95%, respectivamente. (Yang *et al*. 2023)

Cientistas utilizando modelo numérico M-FTE otimizaram as dimensões do trocador de calor de um gerador termoelétrico (TEG-a) para carro de passeio. Eles compararam o desempenho de dois trocadores de calor com e sem aletas. Através de otimizações, os parâmetros ótimos para o trocador de calor com aletas são NW = 2 linhas, H = 30 mm e NL = 5 colunas, e as do trocador de calor sem aletas são NW = 2 linhas, H = 10 mm e NL = 4 colunas. (Luo *et al*. 2023b)

A potência de saída, potência líquida, eficiência de conversão e eficiência líquida do sistema TEG-a ótimo com aletas são 35,49 W, 22,93 W, 1,89% e 1,22%, respectivamente, e as do sistema TEG-a ótimo sem aletas são 16,49 W, 8,67 W, 1,51% e 0,79%, respectivamente. Através do uso de aletas, a potência líquida e a eficiência líquida do sistema TEG-a podem ser aumentadas em 164,48% e 54,43%, respectivamente. Os resultados são úteis para orientar a otimização e o projeto de sistemas TEG-a. (Luo *et al*. 2023b)

Ao utilizar módulos termoelétricos (MET) para reciclar calor residual dos gases de exaustão, pesquisadores observaram que a corrente gerada pelo MET é limitada pela corrente mínima entre as pernas termoelétricas, o que causa perdas de energia elétrica. (Luo *et al*. 2020)

Para resolver este problema, eles propuseram um novo método de otimização MET, no qual o comprimento das pernas termoelétricas é determinado por suas diferenças específicas de temperatura. O estudo foi conduzido com TEG-a simplificado com um único MET utilizando modelo M-FTE e uma bancada experimental para validação. O MET otimizado permitiu maior desempenho de saída sob o mesmo uso de materiais termoelétricos. (Luo *et al*. 2020)

Um novo design de TEG-a anular com uma fita trançada teve seu desempenho analisado no modelo M-FTE do COMSOL Multiphysics. As principais conclusões foram: (1) A fita trançada pode aumentar a potência de saída do TEG-a, mas também pode aumentar a resistência ao atrito e a perda de energia de contrapressão. (2) O raio, o comprimento e a razão de torção da fita trançada são os principais fatores que afetam a eficiência do TEG-a. (3) Em comparação com o TEG-a sem fita trançada, a potência líquida e a eficiência são melhoradas em 10,41% e 22,51%, respectivamente. (Zhu *et al.* 2022)

Recentemente a abordagem M-FTE foi utilizada para avaliação das características de desempenho energético e exergético, sustentabilidade ambiental e aspecto econômico de geradores termoelétricos automotivos de um estágio, dois estágios e segmentados. (Garud *et al.* 2022)

Os resultados revelaram que o gerador termoelétrico de dois estágios de telureto de bismuto apresenta desempenhos energéticos e exergéticos superiores, maior sustentabilidade ambiental e menor economicidade. (Garud *et al.* 2022)

Um modelo M-FTE foi estabelecido na plataforma COMSOL para investigar a viabilidade do uso de geradores de vórtice longitudinal (LVGs) para melhorar a transferência de calor em sistemas TEG-a. Foram pesquisados os efeitos da altura LVG, ângulo de ataque LVG e temperatura do gás de entrada do lado quente. (Ma *et al.* 2015)

O desempenho dos geradores termoelétricos com LVGs foi melhor para LVGs que abrangem toda a altura do canal na temperatura mais alta examinada (550 K), onde a entrada de calor, a potência líquida e a eficiência de conversão térmica são aprimoradas em 29%–38%, 90%–104% e 31%–36%, respectivamente, em comparação com o canal de fluxo suave.

À medida que a temperatura do gás de entrada do lado quente diminui, a potência de bombeamento permanece constante e requer uma porção maior da saída de energia, uma vez que a entrada de calor e a saída de energia são significativamente reduzidas. (Ma *et al.* 2015a)

Portanto, não é benéfico usar LVGs altos em temperaturas de entrada mais baixas e números de entrada de Reynolds mais altos devido à grande relação entre queda de pressão e saída de energia, mas LVGs menores ainda são úteis nessas condições. (Ma *et al.* 2015a)

O modelo M-FTE foi utilizado na plataforma COMSOL para investigar o efeito de geradores longitudinais de vórtices (LVGs) no desempenho de um gerador termoelétrico (TEG) de grande escala com um trocador de calor de placas com aletas, na qual os efeitos termoelétricos Seebeck, Peltier, Thomson e Joule são levados em consideração. (Ma *et al.* 2015b)

As propriedades termoelétricas equivalentes do módulo TE foram consideradas na simulação numérica. Os resultados indicam que os LVGs podem produzir vórtices transversais complexos na seção transversal a jusante dos LVGs, aumentando assim a transferência de calor e o desempenho elétrico do TEG em comparação com um TEG sem LVGs. (Ma *et al.* 2015b)

A avaliação do desempenho do novo módulo termoelétrico (TEM) de BiSbTeSe, onde a área de secção transversal dos termoelementos aumenta gradualmente com o fluxo descendente do fluido quente, foi realizada por meio de um modelo M-FTE em estado estacionário e tridimensional.

Para validar o modelo numérico, foi realizada a comparação entre resultados numéricos e experimentais. chegou-se às seguintes conclusões: (1) Em comparação com um TEM convencional, a nova estrutura de ETM pode atingir um melhor desempenho (2) A potência máxima de saída do novo TEM ocorre quando a resistência à carga é ligeiramente maior que a sua resistência interna. (3) Geralmente, quanto maior a temperatura e vazão mássica, maiores os ganhos do novo TEM. O modelo M-FTE proposto apresentou erro máximo da potência de saída de 2,18%. (Luo *et al.* 2019)

O modelo M-FTE da presente pesquisa foi aplicado na fase inicial de desenvolvimento do protótipo de gerador termoelétrico para recuperação da energia dos gases de exaustão de um motor térmico.

Os resultados obtidos nesta simulação M-FTE foram muito importantes para o dimensionamento do protótipo e inserção de aletas retangulares no canal de escoamento dos gases quentes para intensificação da captação de calor do gerador termoelétrico automotivo proposto.

1.1 OBJETIVOS

1.2 JUSTIFICATIVAS

1.3 MODELO MULTIFÍSICO E EQUAÇÕES GOVERNANTES

A simulação M-FTE também possibilitou economia de tempo e custo, reduzindo a necessidade de testes experimentais exaustivos e onerosos para definição do protótipo de TEG automotivo de recuperação da energia dos gases de exaustão.

A presente pesquisa tem como objetivo principal a simulação multifísica fluido-térmico-elétrico (M-FTE) desenvolvida na plataforma do ANSYS para estimar a performance em regime permanente de gerador termoelétrico de exaustão automotiva.

Nos últimos anos pesquisadores vêm desenvolvendo modelos numéricos capazes de predizer com precisão o desempenho de geradores termoelétricos. Quando comparado com o método experimental, um modelo numérico pode reduzir custos e economizar tempo de desenvolvimento de protótipos. (Luo *et al*. 2022)

Para muitos pesquisadores, os modelos numéricos multifísicos fluido-térmico-elétrico (M-FTE) de simulação de geradores termoelétricos, em razão de considerar quase todas as condições reais, são capazes de prever resultados mais próximos da realidade precisos do que os modelos de resistência térmica e analíticos. (Luo *et al*. 2023a)

Em estudos recentes, modelos numéricos M-FTE para regime permanente têm sido criados combinando o modelo de dinâmica dos fluidos computacional CFD e o modelo numérico térmico-elétrico. (Luo *et al*. 2023a)

Atualmente existe no mercado alguns softwares comerciais de elementos finitos que têm integrado as equações governantes de geradores termoelétricos ao pacote de software, incentivando a utilização desses modelos numéricos por muitos pesquisadores. (Luo *et al*. 2022), (Luo *et al*. 2023a)

Em razão dos altos custos de desenvolvimento e fabricação de geradores termoelétricos, muitos pesquisadores utilizam uma abordagem de modelagem numérica para otimizar os parâmetros do projeto de um gerador termoelétrico específico, sem a necessidade de recorrer a diferentes estruturas geométricas e numerosos ensaios experimentais para comparar seus desempenhos. (Jaziri *et al*. 2020)

O modelo numérico multifísico fluido-térmico-eletrico (M-FTE) considera a estrutura completa do gerador termoelétrico, a relação topológica entre os módulos termoelétricos e as propriedades do material dependentes da temperatura. (Luo et al. 2022), (Luo et al. 2023a), (Jaziri et al. 2020)

O gerador termoelétrico de exaustão automotiva envolve acoplamento do campo multifísico que inclui o campo de escoamento de gases de exaustão e líquido de arrefecimento, o campo térmico de todo o sistema e o campo elétrico de pernas termoelétricas, eletrodos de cobre e resistência à carga.

O calor é transferido dos gases de exaustão para o trocador de calor do lado quente, módulos termoelétricos, trocadores de calor do lado frio e, finalmente, dissipado pelo líquido de arrefecimento.

Alimentados pela diferença de temperatura, os módulos termoelétricos gerarão eletricidade. Ao mesmo tempo, o calor parasita gerado pelo fluxo de corrente elétrica afetará a transferência de calor e o escoamento dos fluidos, e esses efeitos de acoplamento ocorrem simultaneamente.

Portanto, o campo de fluxo, o campo térmico e o campo elétrico devem ser calculados simultaneamente para garantir a razoabilidade dos resultados numéricos. O modelo M-FTE baseia-se nas seguintes pré-condições:

I. calor da radiação é ignorado;
II. Os materiais termoelétricos são isotrópicos;
III. efeito da gravidade é desprezado.

O modelo numérico multifífico fluido-térmico-elétrico (M-FTE) para geradores termoelétricos de exaustão automotiva consiste em equações de transporte para diferentes regiões. Nas regiões fluidas dos gases de escape e do líquido de arrefecimento, a massa, o momento e a energia, em regime permanente, podem ser expressos como: (Luo *et al*. 2022)

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot (\vec{v}\,\vec{v}) = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nabla \cdot (\mu \nabla \vec{v}) \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (\lambda \nabla T) = \rho c\, \vec{v} \cdot \nabla T \quad (3)$$

Onde *v* é o vetor de velocidade do fluxo de fluidos, *ρ* é a densidade dos fluidos, p é a pressão estática, *μ* é a viscosidade molecular, *λ* é a condutividade térmica, *c* é o calor específico e *T* é a temperatura absoluta.

Em razão do baixo número de Mach, os gases de escape e o líquido de arrefecimento são considerados incompressíveis. Para o fluxo turbulento de gases de escape e líquido de arrefecimento, adota-se o modelo padrão k - ε que pode ser expresso da seguinte forma:

$$\rho\,(\vec{v} \cdot \nabla)\,k = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\nabla k\right] + P_k - \rho\varepsilon \quad (4)$$

$$\rho(\vec{v} \cdot \nabla)\varepsilon = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\nabla \varepsilon\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}P_k - C_{1\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

Com:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

Onde, *k* é a energia cinética de turbulência, *Pk* é a produção de cisalhamento da energia cinética de turbulência, e ε é a taxa de dissipação da energia cinética de turbulência. As constantes do modelo são $C1\varepsilon$ = 1,44, $C2\varepsilon$ = 1,92, $C\mu$ = 0,09, σk = 1,0 e $\sigma\varepsilon$ = 1,3, respectivamente.

Nas regiões sólidas que envolvem apenas transferência de calor, incluindo placas cerâmicas e trocadores de calor do lado quente e do lado frio, a equação de conservação de energia no estado estacionário é:

$$\nabla \cdot (\lambda \nabla T) = 0 \qquad (7)$$

Para as regiões sólidas que envolvem transferência de calor e geração de calor parasita, incluindo pernas termoelétricas, eletrodos de cobre e resistência à carga, a conservação de energia em estado estacionário pode ser definida como:

$$\nabla \cdot (\lambda_m \nabla T) + \dot{S}_m = 0 \qquad (8)$$

$$\dot{S}_m = \begin{cases} \sigma_p^{-1}(T)\vec{J}^2 - \nabla \alpha_p(T)\vec{J}T_p; \text{p} - \text{tipo do conector termoelétrico} \\ \sigma_n^{-1}(T)\vec{J}^2 - \nabla \alpha_n(T)\vec{J}T_n; \text{n} - \text{tipo do conector termoelétrico} \\ \sigma_{co}^{-1}\vec{J}^2; \text{ eletrodo de cobre} \end{cases}$$

Também:

$$\dot{S}_m = \sigma_L^{-1}\vec{J}^2; \text{ carga da resistência} \qquad (9)$$

Onde $\sigma{-}1(T)$ representa a resistividade elétrica dependente da temperatura, *α(T)* representa o coeficiente de Seebeck dependente da temperatura, e $\vec{J}$ representa o vetor de densidade de corrente.

O primeiro termo à direita de Equação (9) representa o calor de Joule, e o último termo representa o calor de Thomson ao longo de materiais termoelétricos e o calor de Peltier nas junções.

Para o campo elétrico que envolve o fluxo de corrente elétrica, as equações governantes incluem:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi + \alpha_{p,n}(T)\nabla T \qquad (10)$$

$$\vec{J} = \sigma_m \vec{E} \qquad (11)$$

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \qquad (12)$$

Onde $\vec{E}$ representa o vetor de densidade do campo elétrico, ϕ representa o potencial elétrico, $\alpha p,n(T)\nabla T$ representa a tensão de Seebeck, Equação (12) representa a continuidade do fluxo de corrente elétrica. As Equações de (1) a (12) constituem as equações fundamentais do modelo multifísico M-FTE do gerador termoelétrico de exaustão automotiva.

O calor dos gases de exaustão é primeiro transferido para o permutador de calor através de transferência de calor convectiva e, posteriormente, para o módulo termoelétrico através da condução de calor. (Luo *et al.* 2023a)

1.4 EFEITO *SEEBECK* DOS GERADORES TERMOELÉTRICOS

Assim, a temperatura do lado quente das pernas termoelétricas é diretamente influenciada pela temperatura do escapamento, enquanto a temperatura do lado frio das pernas termoelétricas é diretamente influenciada pela temperatura da água de resfriamento.

O domínio do fluido, composto por gases de exaustão e água de resfriamento, obedece aos princípios de conservação de massa, momento e energia.

Nesse domínio fluido, o padrão de escoamento pode ser considerado como o regime turbulento, e o modelo k - ε de Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) é selecionado para resolver o transporte de energia cinética de turbulência e dissipação. (Nithyanandam *et al.* 2018)

Para a área sólida, segue o princípio de conservação de energia, e o calor parasita produzido pelo campo elétrico pode ser considerado como o termo fonte de energia na equação. Além disso, a área sólida envolvendo o fluxo de corrente segue a conservação do campo elétrico e a continuidade da corrente. (Luo *et al*. 2023a), (Chen *et al.* 2011)

A Devido ao efeito Seebeck, as pernas termoelétricas geram corrente elétrica impulsionada pela diferença de temperatura. Ao mesmo tempo, calor parasita também é gerado devido a outros efeitos termoelétricos (Joule, Peltier e Thomson) que afetarão as temperaturas do lado quente e frio das pernas termoelétricas. A base da tecnologia de uso dos geradores termoelétricos está no aproveitamento do efeito Seebeck que alguns semicondutores possuem também chamado termoelétrica do material, este efeito pode calculado pela equação abaixo. (Bhuiyan *et al.* 2019)

$$\alpha = \frac{dV}{dT\alpha} \qquad (13)$$

Onde V representa a voltagem e T a temperatura. Os diversos materiais semicondutores podem ser avaliados, quanto a sua capacidade de serem usados como materiais termoelétricos, comumente pela avaliação de sua figura de mérito, Z, este fator de qualidade é definido por através da equação abaixo: (Bhuiyan *et al.* 2019)

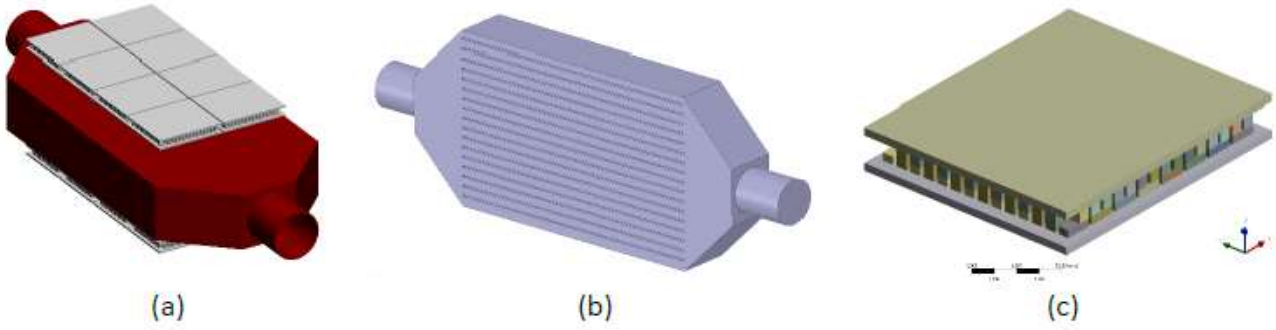
$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho\lambda} \qquad (14)$$

Onde α, ρ e λ são respectivamente o coeficiente Seebeck [V/K], resistividade elétrica [Ω.m] e condutividade térmica [W/(K.m)] do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para previsão da performance do gerador térmoelétrico automotivo proposto, compreende basicamente a geração do modelo 3-D dos componentes do protótipo, discretização e geração da malha, inserção das condições de contorno, aplicação das equações do modelo M-FTE e acoplamento do sub-modelo CFD fluido-térmico com sub-modelo térmico-elétrico no software ANSYS.

FIGURA 1. Modelos 3-D: (a) Gerador termoelétrico (b) Trocador de calor (c) Módulo termoelétrico

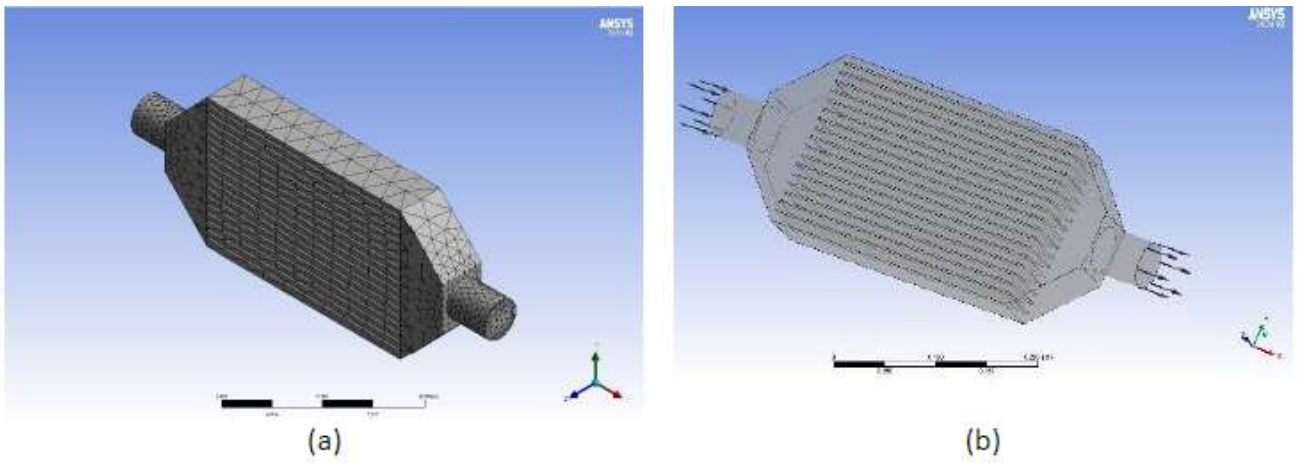


Fonte: Elaborado pelos autores

Inicialmente foi realizada a modelagem 3-D do gerador termoelétrico (Figura 1-a) proposto na pesquisa que compreende basicamente um trocador de calor (Figura 1-b) fabricado de alumínio e contendo aletas internas para intensificação da captação de calor, módulos termoelétricos (Figura 1-c) pré-selecionados a base de telureto de bismuto e dissipadores de calor com refrigeração à água.

Na etapa seguinte, o trocador de calor do gerador termoelétrico proposto (Figura 2-a) foi discretizado pelo método dos elementos finitos utilizando-se malha triangular e refinamento de malha do tipo “inflator” nos contornos do modelo, para otimização do tempo de convergência e de processamento da solução numérica.

FIGURA 2. (a) Malha do Trocador de calor (b) Condições de contorno do modelo fluido-térmico

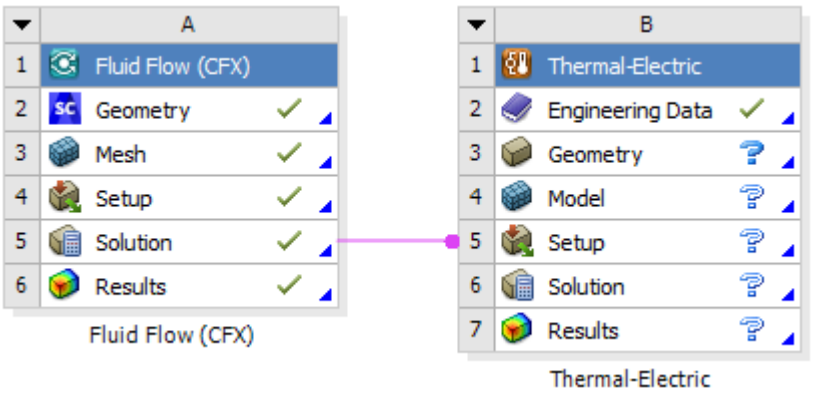


Fonte: Elaborado pelos autores

O modelo multifísico M-FTE do ANSYS utilizado na simulação da performance do gerador termoelétrico proposto nesta pesquisa é tri-dimensional, regime permanente e apresenta escoamento turbulento. Na simulação numérica, o ar atmosférico escoando de com diferentes temperaturas e vazões de entrada foi a fonte de calor em substituição aos níveis térmicos característicos dos gases de exaustão na tubulação de exaustão de um motor de combustão interna.

Também foi especificada a temperatura de entrada do líquido de arrefecimento para dissipação do excesso do calor que atravessa os módulos termoelétricos. A Figura 3 mostra o acoplamento do sub-modelo fluido-térmico (CFX) com o sub-modelo térmico-elétrico.

FIGURA 3. Acoplamento no ANSYS dos sub-modelos fluido-térmico e térmico-elétrico



Fonte: Elaborado pelos autores

Os dados da Tabela 1 foram inseridos no sub-modelo fluido-elétrico do ANSYS.

TABELA 1. Propriedades dos materiais do gerador termoelétrico

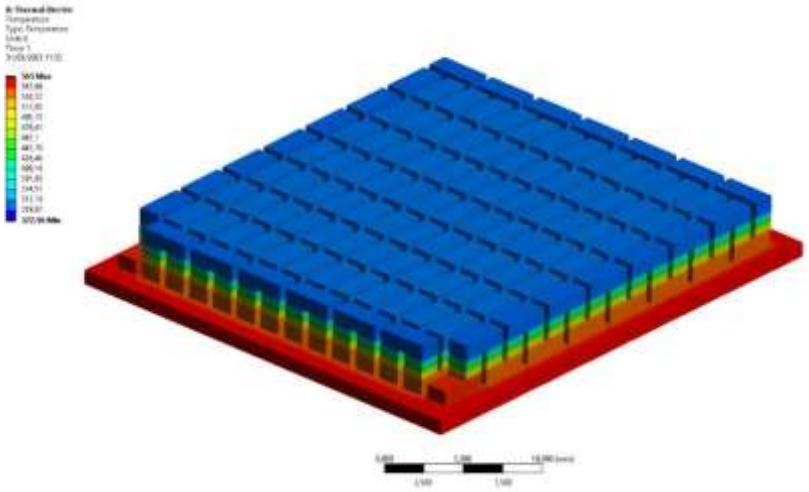
Nome	Valor	Unidade
Condutividade térmica das placas cerâmicas	22	$W.m^{-1}.K^{-1}$
Condutividade térmica dos eletrodos de cobre	165.64	$W.m^{-1}.K^{-1}$
Resistividade elétrica dos eletrodos de cobre	$1.75x10^{-8}$	Ohm.m
Condutividade térmica dos semicondutores tipo-p	$\lambda_p(T) = -3.05984x10^{-9}.T^4 + 4.56781x10^{-6}.T^3 - 2.51621x10^{-3}.T^2 + 0.61074.T - 53.98632$	$W.m^{-1}.K^{-1}$
Coeficiente *Seebeck* dos semicondutores tipo-p	$\alpha_p(T) = -1.80268x10^{-7}.T^4 + 3.23632x10^{-4}.T^3 - 0.21537.T^2 + 62.97444.T - 6616.56781$	$\mu V.K^{-1}$
Resistividade elétrica dos semicondutores tipo-p	$\sigma^1{}_p(T) = -3.08802x10^{-9}.T^4 + 4.56531x10^{-6}.T^3 - 2.58541x10^{-3}.T^2 + 0.65579.T - 60.58804$	10^{-5} Ohm.m
Condutividade térmica dos semicondutores tipo-n	$\lambda_n(T) = -3.05984x10^{-9}.T^4 + 4.56781x10^{-6}.T^3 - 2.51621x10^{-3}.T^2 + 0.61074.T - 53.98632$	$W.m^{-1}.K^{-1}$
Coeficiente *Seebeck* dos semicondutores tipo-n	$\alpha_n(T) = 1.80268x10^{-7}.T^4 - 3.23632x10^{-4}.T^3 + 0.21537.T^2 - 62.97444.T + 6616.56781$	$\mu V.K^{-1}$
Resistividade elétrica dos semicondutores tipo-n	$\sigma^1{}_n(T) = -3.08802x10^{-9}.T^4 + 4.56531x10^{-6}.T^3 - 2.58541x10^{-3}.T^2 + 0.65579.T - 60.58804$	10^{-5} Ohm.m

Fonte: Adaptado de Luo et al. (2019)

3. RESULTADOS

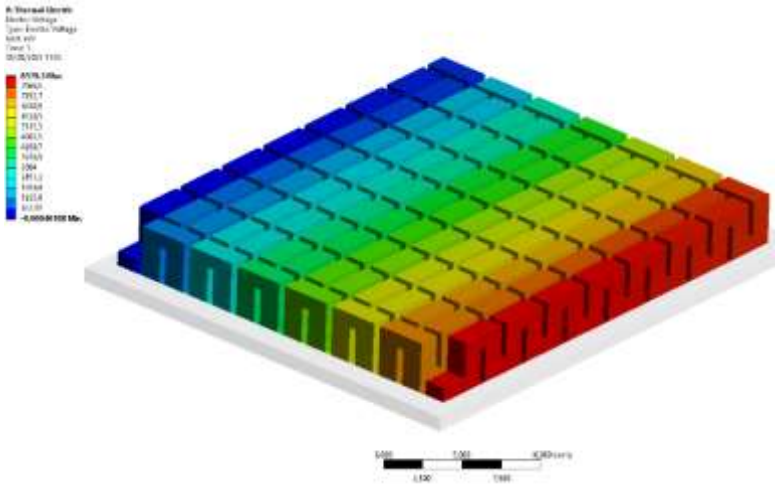
Nesta seção, são apresentados e analisados os resultados da simulação M-FTE no ANSYS, isto é, os dados de performance do gerador termoelétrico de exaustão automotiva serão analisados e comparados com as especificações dos módulos termoelétricos fornecidas pelos fabricantes. As Figuras de 4 a 6, ilustram os resultados obtidos para os módulos termoelétricos da distribuição de temperatura, variação de tensão e densidade total de corrente elétrica.

FIGURA 4. Distribuição de temperatura no módulo termoelétrico



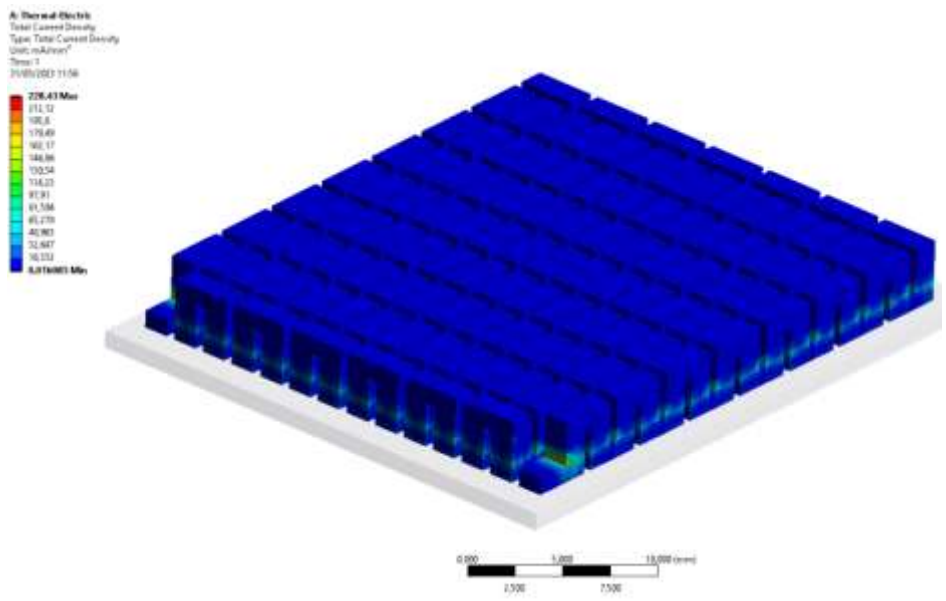
Fonte: Elaborado pelos autores

FIGURA 5. Tensão elétrica no módulo termoelétrico



Fonte: Elaborado pelos autores

FIGURA 6. Densidade de corrente elétrica no módulo termoelétrico



Fonte: Elaborado pelos autores

Os resultados da simulação M-FTE apresentados nas Figuras 4, 5 e 6 fornecem uma estimativa do desempenho isolado de um módulo termoelétrico.

A Tabela 2 apresenta o quadro resumo da simulação para outras condições de contorno de temperatura e vazão do ar de entrada na seção do gerador termoelétrico.

TABELA 2. Simulação da performance do gerador termoelétrico para diferentes condições de temperatura e vazão dos gases de exaustão

Parâmetro	Condições	Fabricante	Simulado	%	Unidade
Potência		-	0,09	-	W
Voltagem (circuito aberto)	T_h = 425 K, T_c = 323 K Vazão mássica = 35 g/s	-	3,78	-	V
Corrente		-	0,025	-	A
Potência		-	0,42	-	W
Voltagem (circuito aberto)	T_h = 475 K, T_c = 323 K Vazão mássica = 45 g/s	-	5,49	-	V
Corrente		-	0,077	-	A
Potência		2,95	3,18	+7,79%	W
Voltagem (circuito aberto)	T_h = 575 K, T_c = 323 K Vazão mássica = 55 g/s	7,86	8,97	+14,12 %	V
Corrente		0,375	0,355	-5,33%	A

Fonte: Elaborado pelos autores

Com base nos valores da tabela 2, para uma temperatura dos gases em 575 K, a uma potência elétrica produzida pelo gerador termoelétrico com 16 placas seria de 50,88 W.

CONCLUSÕES

Nesta pesquisa um modelo numérico Multifísico Fluido-Térmico-Elétrico (M-FTE) foi implementado no software ANSYS para predizer a performance de um gerador termoelétrico automotivo. O modelo M-FTE considera a geometria do gerador termoelétrico, a topologia da conexão dos módulos termoelétricos, o pareamento de impedância e a dependência das propriedades do material com a temperatura para simular as condições reais de funcionamento do dispositivo termoelétrico.

Selecionando-se valores de temperaturas e vazões típicas dos gases de exaustão, foi simulado no modelo M-FTE o desempenho do gerador termoelétrico automotivo. De acordo com os resultados obtidos, as principais conclusões estão listadas a seguir:

I. A potência elétrica e a eficiência de conversão termoelétrica aumentam com a elevação da temperatura dos gases de exaustão;

II. A inserção das aletas retangulares no canal de escoamento do gerador termoelétrico melhorar sensivelmente a captação de energia do trocador de calor;

III. A distribuição de temperatura na superfície do trocador de calor em contato com os módulos termoelétricos é muito uniforme favorecendo a conversão termoelétrica;

IV. A diferença percentual potência elétrica simulada de saída do gerador termoelétrico automotivo e a declarada pelo fabricante foi de 7, 79%.

V. O software ANSYS é uma ferrramenta muito útil e de fácil implementação do modelo M-FTE para previsão da performance de geradores termoelétricos.

REFERÊNCIAS

ARIDI, R.; FARAJ, J.; ALI, S.; LEMENAND, T.; KHALED, M. Thermoelectric Power Generators: State-of-the-Art, Heat Recovery Method, and Challenges. Electricity 2021, 2, 359–386. https://doi.org/10.3390/electricity2030022.

DING LUO, RUOCHEN WANG, WEI YU, WEIQI ZHOU, A novel optimization method for thermoelectric module used in waste heat recovery, Energy Conversion and Management, Volume 209, 2020, 112645, ISSN 0196-8904.

DING LUO, RUOCHEN WANG, WEI YU, Comparison and parametric study of two theoretical modeling approaches based on an air-to-water thermoelectric generator system, Journal of Power Sources, Volume 439, 2019, 227069, ISSN 0378-7753.

DING LUO, RUOCHEN WANG, WEI YU, WEIQI ZHOU, Performance evaluation of a novel thermoelectric module with BiSbTeSe-based material, Applied Energy, Volume 238, 2019, Pages 1299-1311, ISSN 0306-2619.

DING LUO, YUYING YAN, YING LI, XUELIN YANG, HAO CHEN, Exhaust channel optimization of the automobile thermoelectric generator to produce the highest net power, Energy, Volume 281,2023, 128319, ISSN 0360-5442.

DING LUO, ZEYU SUN, RUOCHEN WANG, Performance investigation of a thermoelectric generator system applied in automobile exhaust waste heat recovery, Energy,Volume 238, Part B, 2022, 121816, ISSN 0360-5442.

DING LUO, ZIHAO WU, YUYING YAN, DONGXU JI, ZIMING CHENG, RUOCHEN WANG, YING LI, XUELIN YANG, Optimal design of a heat exchanger for automotive thermoelectric generator systems applied to a passenger car, Applied Thermal Engineering, Volume 227, 2023, 120360, ISSN 1359-4311.

K. NITHYANANDAM, R.L. MAHAJAN, Evaluation of metal foam based thermoelectric generators for automobile waste heat recovery, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 122, 2018, Pages 877-883, ISSN 0017-9310.

KUNAL SANDIP GARUD, JAE-HYEONG SEO, YOU-MA BANG, YOUNG-DUG PYO, CHONG-PYO CHO, MOO-YEON LEE, DONG-YEON LEE, Energy, exergy, environmental sustainability and economic analyses for automotive thermoelectric generator system with various configurations, Energy,Volume 244, Part A, 2022, 122587, ISSN 0360-5442.3]

MIN CHEN, LASSE A. ROSENDAHL, THOMAS CONDRA, A three-dimensional numerical model of thermoelectric generators in fluid power systems, International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 54, Issues 1–3, 2011, Pages 345-355, ISSN 0017-9310.

M. S. R. BHUIYAN, A. EL-SHAHAT AND V. SOLOIU, "Thermoelectric Generator Analysis Through ANSYS and Matlab/Simulink," 2019 SoutheastCon, Huntsville, AL, USA, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/SoutheastCon42311.2019.9020528

NESRINE JAZIRI, AYDA BOUGHAMOURA, JENS MÜLLER, BRAHIM MEZGHANI, FARES TOUNSI, MOHAMMED ISMAIL, A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and

common applications, Energy Reports, Volume 6, Supplement 7, 2020, Pages 264-287, ISSN 2352-4847.

TING MA, JAIDEEP PANDIT, SRINATH V. EKKAD, SCOTT T. HUXTABLE, QIUWANG WANG, Simulation of thermoelectric-hydraulic performance of a thermoelectric power generator with longitudinal vortex generators, Energy, Volume 84, 2015, Pages 695-703, ISSN 0360-5442.

TING MA, JAIDEEP PANDIT, SRINATH V. EKKAD, SCOTT T. HUXTABLE, SAMRUDDHI DESHPANDE, QIUWANG WANG, Study on Thermoelectric-hydraulic Performance of Longitudinal Vortex Generators in a Large-scale Thermoelectric Power Generator, Energy Procedia, Volume 75, 2015, Pages 639-644, ISSN 1876-6102.

WENCHAO ZHU, AOQI XU, WENLONG YANG, BINYU XIONG, CHANGJUN XIE, YANG LI, LAMEI XU, YING SHI, WEI LIN, Optimal design of annular thermoelectric generator with twisted tape for performance enhancement, Energy Conversion and Management, Volume 270, 2022, 116258, ISSN 0196-8904.

WENLONG YANG, WENCHAO ZHU, YANG LI, CHANGJUN XIE, BINYU XIONG, YING SHI, WEI LIN, Global structural optimization of annular thermoelectric generators based on a dual-finite-element multiphysical model, Applied Thermal Engineering,Volume 220, 2023, 119797, ISSN 1359-4311.

Capítulo 12

10.37423/250409914

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DIDÁTICO PARA ANÁLISE TERMODINÂMICA DE TURBINAS A GÁS: CICLO BRAYTON COM E SEM REGENERAÇÃO

Edilson Marinho da Silva Júnior — *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)*

Cleiton Rubens Formiga Barbosa — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica*

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior — *Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Departamento de Engenharia Mecânica*

CleberMedeiros de Lucena — *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)*

Anderson Felipe Chaves Fortes — *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)*

Mikael de Souza Dias — *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN)*

Resumo: *A presente pesquisa teve como propósito o desenvolvimento de uma ferramenta didática de simulação capaz de estimular o treinamento e aprendizado de conceitos sobre turbinas a gás ciclos de potência estudantes do curso de energia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) de conceitos relacionados a ciclos de potência a gás. que utiliza conceitos da indústria 4.0 em ambiente de sala de aula para motivação e treinamento de conceitos alunos do curso de engenharia de energia do IFRN no processo de ensino-aprendizagem. treinamento de estudantes do curso de energia de ensino médio e superior do instituto simulação e análise de ciclos termodinâmica de turbinas a gás potência a gás Brayton, de modo a determinar os principais dados termodinâmicos e exergéticos dos ciclos e dos dispositivos que os compõem e contribuir no estudo e desenvolvimento de projetos termodinâmicos em termelétricas a gás natural. Serão realizadas análises energéticas e exergéticas dos ciclos de potência a gás Brayton com e sem regeneração utilizando-se algumas hipóteses simplificadoras: processos em regime permanente, processos adiabáticos em compressores e turbinas etc. O software didático proposto nesta pesquisa de simulação de ciclos de potência a gás Brayton apresenta interface amigável com o usuário e nível de confiabilidade de parâmetros termodinâmicos superior a 85%.*

Palavras-chave: *Motores diesel, tribologia, desgaste, desempenho, gás natural liquefeito, manutenção.*

1. INTRODUÇÃO

A denominação indústria 4.0 foi criada e desenvolvida em 2011, na Alemanha, quando um conjunto de representantes da tríplice: governo, empresas e academia promoveram a ideia de uma abordagem que tinha como intuito aperfeiçoar a competitividade da indústria alemã. Nesse ensejo, o governo alemão anunciou que esse conceito faria parte da High-Tech Strategy 2020 for Germany, cuja finalidade seria levar a Alemanha à liderança na inovação tecnológica (KAGERMANN et al., 2013 apud MARINHO, 2018).

A indústria 4.0 trouxe ainda ao cenário mundial a necessidade de desenvolvimento de ações estratégias nas áreas de ciências, tecnologia e inovação capazes de agregar melhores tecnologias de forma a garantir maior confiabilidade nas tomadas de decisões através da velocidade em análise de processos por meio de plataformas ciberfísicas de simulação real assistida, na área de energias (Marinho, 2019).

Observou-se a necessidade de desenvolvimento de plataformas digitais capazes de simular plantas de polos industriais de geração de energia elétrica e atrelado a isso metodologias facilitadoras do processo ensino-aprendizagem nas áreas das engenharias de energia com foco no desenvolvimento de habilidades e aptidões em simulações de plantas industriais em espaços ciberfísicos, por meio de softwares educativos (Marinho, 2019).

A metodologia ativa se utiliza da problematização como principal estratégia de ensino-aprendizagem, com o objetivo motivacional ao discente quando se depara com um problema, levando-o ao encontro com as informações e o desenvolvimento do conhecimento para solucionar os revezes e garantir o seu próprio desenvolvimento. Trata-se de uma metodologia libertadora direcionada para formação ativa, mostrando a necessidade de aprender a aprender. O ensino é centrado no estudante e a educação é problematizadora, fundamentada no diálogo entre o professor e o estudante, valorizando os conhecimentos colhidos de experiências da vida profissional do docente (COVIZZI; LOPES DE ANDRADE, 2012).

Devido a necessidade de estratégias e ferramentas que cada vez mais inicie os discentes ao universo da indústria 4.0, a sinergia entre modelos de metodologias ativas englobando conceitos e ferramentas da indústria 4.0 nos cursos de engenharia mecânica vem sendo cada vez mais atrativas para a motivação e ao entendimento de conceitos e conteúdos complexos. Com isso, diversas ferramentas

da metodologia ativa vêm sendo usadas para esse fim, dentre elas temos as tecnologias educativas, voltadas, nesse objeto de estudo, aos estudos de simulações termodinâmicas em ciclos de potência a gás utilizados nas usinas termelétricas a gás natural (Marinho, 2019).

Dito isso, o presente trabalho visa apresentar um recorte do trabalho de conclusão de curso do autor, que consiste em fundir ferramentas da metodologia ativa com os conceitos da indústria 4.0 no estudo da energia, por meio da elaboração de um software de simulação didática dos ciclos de potência a gás Brayton simples e com regeneração, de modo a determinar os principais dados termodinâmicos e exergéticos dos ciclos e dos dispositivos que os compõem e contribuir no estudo e desenvolvimento de projetos termodinâmicos em termelétricas a gás natural.

1. MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise de monitoramento, foram utilizadas duas locomotivas trabalhando em teste acelerado, carga e rotação máxima, cuja uma locomotiva, Diesel/GNL, continha o kit gás, proveniente da mistura 70% Diesel e 30% Gás Natural Liquefeito (GNL) e a outra locomotiva (Diesel) apenas abastecida a diesel.

O teste acelerado se define como um ensaio do motor, em regime dinâmico, no qual este é submetido a uma potência (4100 hp) e rotação (1050 rpm) em regime máximo de trabalho.

A especificação quanto a porcentagem da mistura foi previamente estipulada pela empresa por questões de eficiência energética e custo. Em condição inicial, zero horas, os motores tiveram todos os cilindros retificados, os anéis de segmento e as válvulas de admissão e exaustão substituídos por novos.

A disposição de análise consiste em 1050 horas de teste acelerado nas duas locomotivas, nas quais a cada 150 horas eram realizadas paradas no teste para abertura do motor e medições dimensionais. Cumpre ressaltar, que as medições de seus fenômenos físicos eram realizadas em plena carga. Foram realizadas 08 (oito) medições dimensionais e de seus fenômenos físicos.

A escolha de intervalos a cada 150 horas foi determinada tanto por questões estatísticas, pois para uma população possuir informações estatísticas significantes no tocante ao terceiro momento estatístico se faz necessário pelo menos sete aquisições, como também os intervalos foram determinados por questões econômicas, explicando tanto os intervalos quanto o tempo de ensaio total, tendo em vista que duas locomotivas paradas geram custos de produção.

O motor 7FDL16-EFI GE consiste em um motor gerador Diesel composto por 16 cilindros em V, com o governador eletrônico, bomba injetora e injetor de combustível da Bosch e turboalimentado, sua potência máxima opera a 4100HP e 1050 rpm, cujas especificações se encontram na tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Especificações do motor 7FDL16-EFI GE

Especificação	7FDL16
Número de cilindros	16
Número de tempos	4
Disposição de cilindros	"V" 45°
Diâmetro	228,6 mm
Curso	226,7 mm
Taxa de compressão	12,7:1
Marcha lenta	440 rpm
Rotação máxima	1050 rpm
Ordem de ignição	1R-1L-3R-3L-7R-7L-4R-4L-8R-8L-6R-6L-2R-2L-5R-5L
Altura	2811 mm
Comprimento	6615 mm
Largura	1737 mm
Peso	19736 Kg

Fonte: Manual motor diesel 7FDL16-EFI GE DASH 9

A metodologia experimental consiste em descrever os tipos de instrumentos utilizados no trabalho, bem como o método utilizado para as medições, dividindo-se em medições dimensionais e medições dos fenômenos físicos e químicos.

Como medições dimensionais temos as análises diametrais dos cilindros, medições das alturas de válvulas, medições da abertura das folgas e da espessura dos anéis de segmento.

A análise diametral dos cilindros dos motores das locomotivas em estudo foi realizada com o instrumento metrológico súbito de marca Dorsey com resolução de 0.0001’. A partir da análise diametral é possível traçar um estudo do desgaste das paredes do cilindro com o intuito de mensurar a taxa de desgaste nas regiões de ponto morto superior, ponto morto inferior e fase intermediária do cilindro, bem como nas regiões transversais e longitudinais.

As medições das alturas das válvulas têm a função de quantificar seus respectivos desgastes, por meio do uso de um paquímetro universal com resolução de 0.05 mm. As medidas foram realizadas com referência a base de fixação do bico injetor nas jaquetas dos cilindros. Elas correspondem a distância entre o topo da válvula (extremidade da haste da válvula) e a base mencionada.

Na medição da abertura dos anéis, foi utilizado um conjunto de lâminas com 0.05mm de resolução para mensurar o espaçamento entre faces das secções transversais do anel. Os anéis eram posicionados a 40 cm da borda dos cilindros de referência 7R para o motor Diesel/GNL e 8R para o motor Diesel.

A medição da folga dos anéis de segmento consiste em determinar o espaçamento entre os anéis e suas respectivas canaletas no pistão. Utilizou-se nas medições o calibre de lâminas, resolução 0.05mm, em regiões distanciadas aproximadamente em 120°, sendo duas próximas e uma oposta a abertura do anel.

A medição da espessura do anel consiste na caracterização dimensional das regiões axiais dos anéis de segmento para análise e controle do desgaste, através do uso do instrumento metrológico micrômetro com resolução 0.01 mm. Como método de controle o anel de segmento foi dividido em três pontos de análises, os quais se distanciam em aproximadamente 120°.

Para estudo da análise de óleo, foram realizadas análise espectrográfica, insolúveis e número de basicidade total (TBN). Na análise espectrográfica os elementos analisados foram: Prata (Ag), Alumínio (Al), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Sódio (Na), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Silício (Si), Estanho (Sn) e Zinco (Zn).

No tratante a metodologia de análise, tendo como finalidade estudos e interpretação dos pontos medidos entre 0h-1050h, nas medições de folga, espessura e abertura de anéis de segmento (compressão 01, 02 e raspador de óleo) dos motores das locomotivas Diesel/GNL (Diesel/GNL) e Diesel (Diesel), houve uma comparação entre os aspectos de desgaste e a vida útil de componentes.

Geraram-se gráficos de séries temporais durante o período de testes (1050h), exibidas para cada atividade de medição e seus respectivos intervalos de tempo durante os testes realizados.

Nos modelos de visualização de tendências e análise comparativa das locomotivas foram aplicados métodos estatísticos, a fim de traçar a tendência real dos pontos, que consistiu na média desses para suas respectivas horas.

Foi realizada a análise de regressão linear, da média, do gráfico de dispersão dos anéis de segmento (compressão 01, 02 e raspador de óleo das locomotivas Diesel/GNL e Diesel) e logo após, a relação das taxas de variação dos motores Diesel/GNL e Diesel para a folga, espessura e abertura dos anéis.

Para análise dos dados de medição da altura das válvulas foi realizado estudo do comportamento da média, traçando uma relação entre a derivada da regressão linear dos dados do motor Diesel/GNL com a derivada da regressão linear dos dados do motor Diesel.

O estudo da análise diametral consiste em analisar e comparar as medidas diametrais do cilindro nas direções transversal e longitudinal ao pino do pistão, por meio da relação da taxa da regressão linear das médias dos valores mensurados nos motores Diesel/GNL e Diesel.

A utilização da regressão linear para o ajuste de curva das medidas se justifica por obter um melhor comportamento quando extrapolados os valores temporais, bem como o uso da razão dos coeficientes angulares se justifica por ser relacionado com a taxa dos valores mensurados em razão do tempo, ou seja, a taxa de desgaste. Importante destacar que o ajuste linear das medições é apenas uma aproximação, tendo em vista que a grande maioria dos fenômenos tribológicos é de ordem não linear. O ajuste linear é adequado pois o período de 1050h é pequeno se comparado a vida útil de um motor Diesel.

Com o objetivo de analisar a condição do óleo lubrificante e os seus parâmetros tribológicos, inicialmente realizou-se a avaliação dos elementos da análise espectográfica com o intuito de evidenciar as correlações diretas dos elementos de um mesmo motor, pelo método de Pearson. Posteriormente, foi identificada a relação das médias elementares entre os particulados metálicos dos motores Diesel e Diesel/GNL com o intuito de quantificar e qualificar a presença dos debris no óleo do motor, como também foi realizada a clusterização dos elementos químicos do motor Diesel/GNL. Por fim, foi analisado o TBN (número total de basicidade) e os respectivos insolúveis no lubrificante.

A clusterização é uma técnica de mineração de dados que vem sendo usada tanto para análise de séries temporais, quanto como para estratégia de marketing digital para classificação qualitativa de dados. O método de representação usado nesse trabalho foi o dendograma, no qual os grupos próximos são ligados em árvore.

3. RESULTADOS AND DISCUSSÕES

Foi abordado neste artigo um recorte dos resultados, apresentando os dados das análises dimensionais e do óleo lubrificante, decorrentes da pesquisa original, permitindo aos leitores que seja observado os resultados dessas análises e suas relações com o desgaste dos componentes dos motores. Dividindo a análise dimensional em: folga do anel de segmento, espessura do anel de segmento, abertura do anel de semento, altura de válvula e análise diametral do cilindro.

4.1 FOLGA DO ANEL DE SEGMENTO

A figura 1 mostra tendências crescentes das folgas dos anéis de segmento do motor Diesel/GNL durante as 1050 horas de teste acelerado. Como exemplo do gráfico do anel de compressão 01 do motor bicombustível Diesel/GNL.

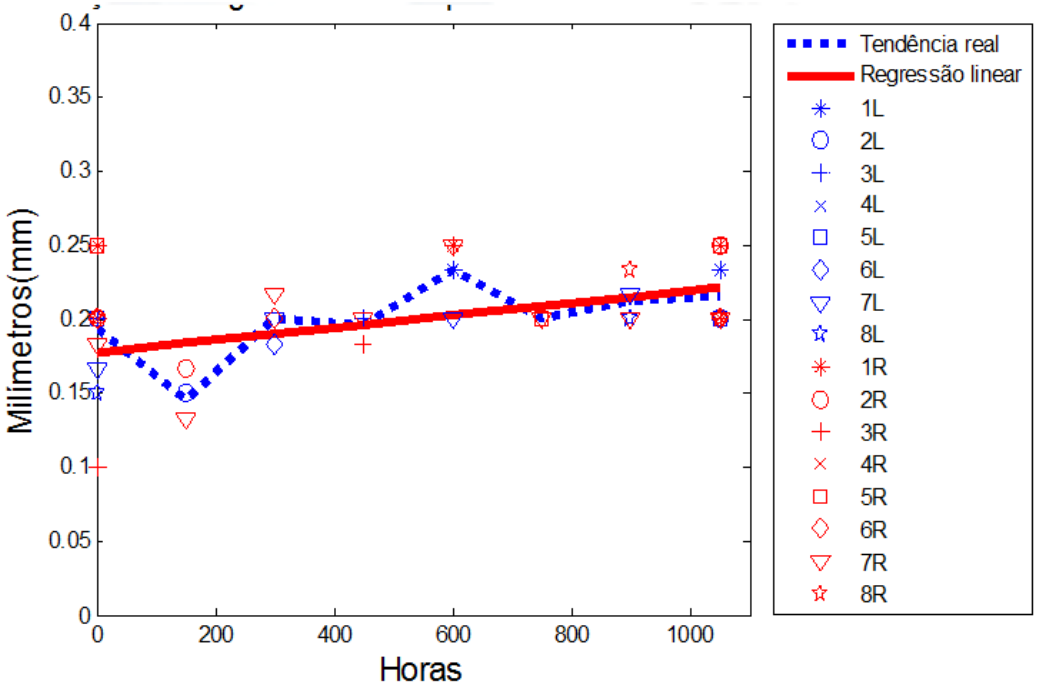


Figura 1. Folga do anel de compressão 01 – Diesel/GNL

Fonte: Marinho (2013**).**

Na Tabela 3 são mostradas as taxas de desgaste em mm/h obtidas pela derivada da regressão linear dos gráficos de folga dos anéis de segmento dos motores Diesel/GNL e Diesel obtidas durante 1050 horas de teste acelerado. A razão entre elas encontra-se na coluna 4.

Tabela 3. Taxas de desgaste (mm/h) da folga dos anéis

Folga dos anéis	Taxa Diesel/GNL	Taxa Diesel	Diesel-GNL / Diesel
Compressão 1	4.1584e-005	3.8773e-005	1.0725
Compressão 2	2.2404e-005	4.2163e-006	5.3137
Raspador de óleo	1.4716e-005	7.8538e-006	1.8737

Fonte: Marinho (2013).

Observa-se na Tabela 3 que as taxas de folga dos anéis do motor Diesel/GNL são aproximadamente 7,2% maior para o anel de compressão 01 e 5,3 vezes maior para o anel de compressão 02 e 87% maior para o anel raspador de óleo.

Essa maior folga está inversamente relacionada com o menor acúmulo dos resíduos de combustão no motor Diesel/GNL, pois a combustão dessa mistura favorece a redução dos resíduos.

4.2 ESPESSURA DO ANEL DE SEGMENTO

A figura 2 mostra, como exemplo, a tendência decrescente da espessura do anel de seguimento do motor Diesel/GNL durante as 1050 horas de teste acelerado.

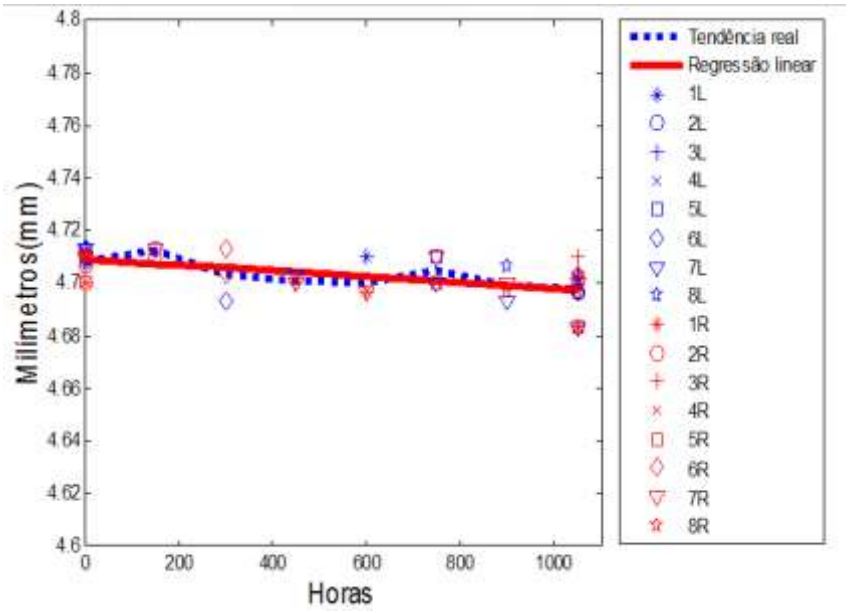


Figura 2. Espessura do anel de compressão 01 - Diesel/GNL

Fonte: Marinho (2013).

Na Tabela 4 são mostradas as taxas de desgaste em mm/h obtidas pela derivada da regressão linear dos gráficos de espessura dos anéis de segmento dos motores Diesel/GNL e Diesel obtidas durante 1050 horas de teste acelerado. A razão entre elas encontra-se na coluna 4.

Tabela 4. Taxas de desgaste (mm/h) da espessura dos anéis de segmento

Espessura dos anéis	Taxa Diesel/GNL	Taxa Diesel	Diesel-GNL / Diesel
Compressão 1	-1.0979e-005	-8.7632e-006	1.2528
Compressão 2	-1.1905e-005	-1.1095e-005	1.0730
Raspador de óleo	-1.9097e-005	-1.1971e-005	1.5953

Fonte: Marinho (2013).

Observa-se na Tabela 4 que as taxas de redução da espessura dos anéis do motor Diesel/GNL em relação ao motor Diesel são aproximadamente 25% maior para o anel de compressão 01, 7,3% maior para o anel de compressão 02 e 59% maior para o anel raspador de óleo.

4.3. ABERTURA DO ANEL DE SEGMENTO

A Figura 3 mostra, como exemplo, o comportamento da abertura do anel de compressão 01 do motor Diesel/GNL (Diesel/GNL).

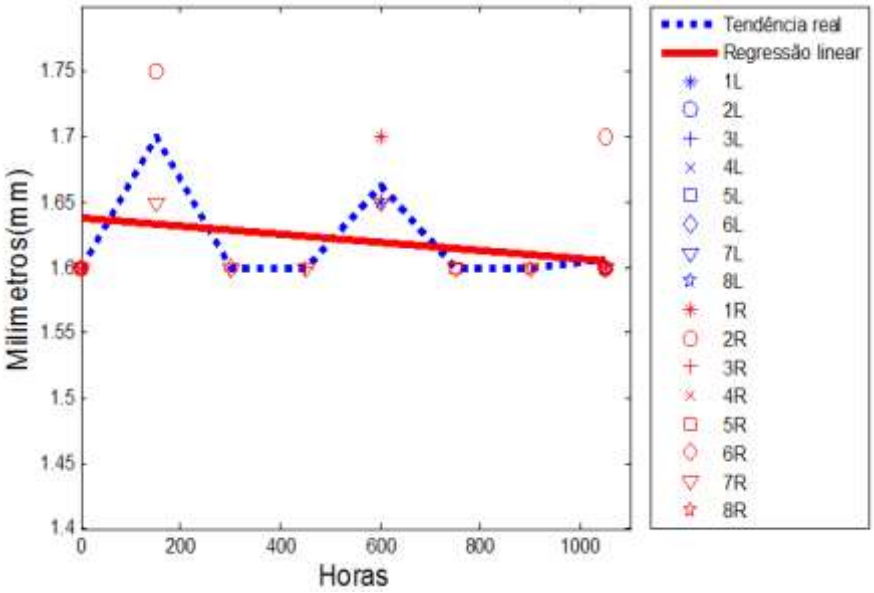


Figura 2. Abertura do anel de compressão 01 - Diesel/GNL

Fonte: Marinho (2013).

Na Tabela 5 são mostradas as taxas de desgaste em mm/h obtidas pela derivada da regressão linear dos gráficos de abertura dos anéis de segmento dos motores Diesel/GNL e Diesel obtidas durante 1050 horas de teste acelerado. A razão entre elas encontra-se na coluna 4.

Tabela 5. Taxas de desgaste (mm/h) da abertura dos anéis de segmento

Abertura dos anéis	Taxa Diesel/GNL	Taxa Diesel	Diesel-GNL / Diesel
Compressão 1	-3.1250e-005	6.6964e-006	-4.6667
Compressão 2	1.7113e-005	3.0010e-005	0.5702
Raspador de óleo	1.3666e-004	1.4980e-004	0.9123

Fonte: Marinho (2013).

Observa-se na Tabela 5 que as taxas de espessura dos anéis do motor Diesel/GNL em relação ao motor Diesel são aproximadamente 43% menor para o anel de compressão 02 e 9% menor para o anel

raspador de óleo. O anel de compressão 01 apresentou um comportamento inverso, com tendência decrescente, e taxa de desgaste 460% maior para a respectiva espessura, se mostrando inconclusivo.

4.4. ALTURA DA VÁLVULA

A figura 4 mostra um exemplo da medição da altura da válvula de admissão do motor Diesel/GNL evidenciando tendência crescente da distância entre a extremidade da haste das válvulas e a base de fixação do bico injetor.

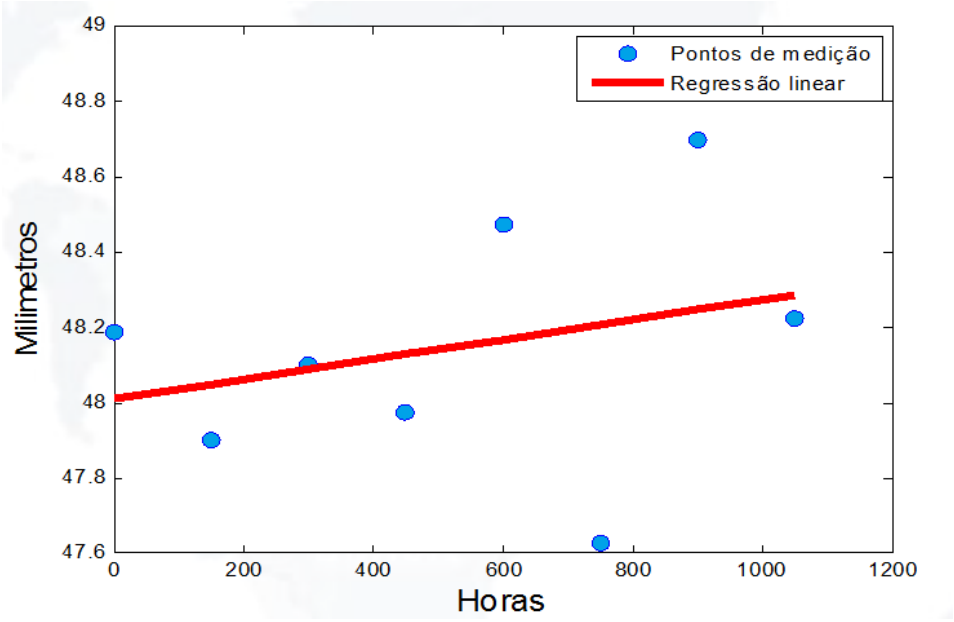


Figura 4. Altura da válvula de admissão Diesel/GNL

Fonte: Marinho (2013).

Na Tabela 6 são mostradas as taxas de desgaste em mm/h obtidas pela derivada da regressão linear dos gráficos de altura de válvula dos motores Diesel/GNL e Diesel obtidas durante 1050 horas de teste acelerado. A razão entre elas encontra-se na coluna 4.

Tabela 6. Taxas de desgaste (mm/h) da altura de válvula

Altura de válvula	Taxa Diesel/GNL	Taxa Diesel	Diesel-GNL / Diesel
Admissão 01	2.6488e-004	3.4276e-004	0.7728
Admissão 02	2.9911e-004	4.1766e-004	0.7162
Escape 01	2.0833e-005	3.5218e-005	0.5915
Escape 02	4.1766e-004	4.4048e-004	0.9482

Fonte: Marinho (2013).

Se observa na Tabela 6 que as taxas de altura da válvula do motor Diesel/GNL em relação ao motor Diesel são aproximadamente 23% e 29%, menores para as válvulas de admissão 01 e admissão 02, respectivamente. As taxas das válvulas de escape 01 e escape 02 são respectivamente 41% e 6% menores para o motor Diesel/GNL.

A tendência crescente das medições está possivelmente relacionada ao fenômeno denominado *Creep* e ao mecanismo de desgaste oxidativo na sede de válvula e válvula. O *Creep* é a deformação plástica de materiais quando sua temperatura de operação é maior do que um 1/3 da temperatura de fusão.

Normalmente a temperatura de trabalho das válvulas de admissão é aproximadamente 550 ºC e das válvulas de escape 760 °C, valores onde o fenômeno Creep se configura (Penido Filho, 1949).

Em todas as válvulas foram notórias a maior faixa de altura de válvulas para o motor Diesel/GNL, fenômeno esse que pode ser atribuído a dilatação volumétrica do elemento, tendo em vista que as temperaturas de trabalho se mostraram superiores, como também pela maior tendência em gerar óxidos, tendo em vista a mistura GNL/Ar, nas regiões de sede de válvula e válvula.

As menores taxas de desgaste das alturas de válvulas no motor Diesel/GNL demonstram um maior desgaste erosivo, o qual este impede o crescimento do óxido gerando um ciclo periódico de quebra e construção da camada de óxido, conforme pode ser notado um comportamento senoidal nos gráficos de alturas de válvulas do motor Diesel/GNL.

De acordo com Schafer (2004), o desgaste previsto para um motor 100% GNL convertido em gás é da ordem de 10 vezes a taxa de desgaste do motor Diesel nas sedes de válvulas.

4.5. ANÁLISE DIAMETRAL DO CILINDRO

As figuras 5 e 6 exemplificam as medições de diâmetro do cilindro do motor Diesel/GNL, onde mostra tendência decrescente na direção longitudinal ao pino do pistão e tendência crescente na direção transversal ao pino.

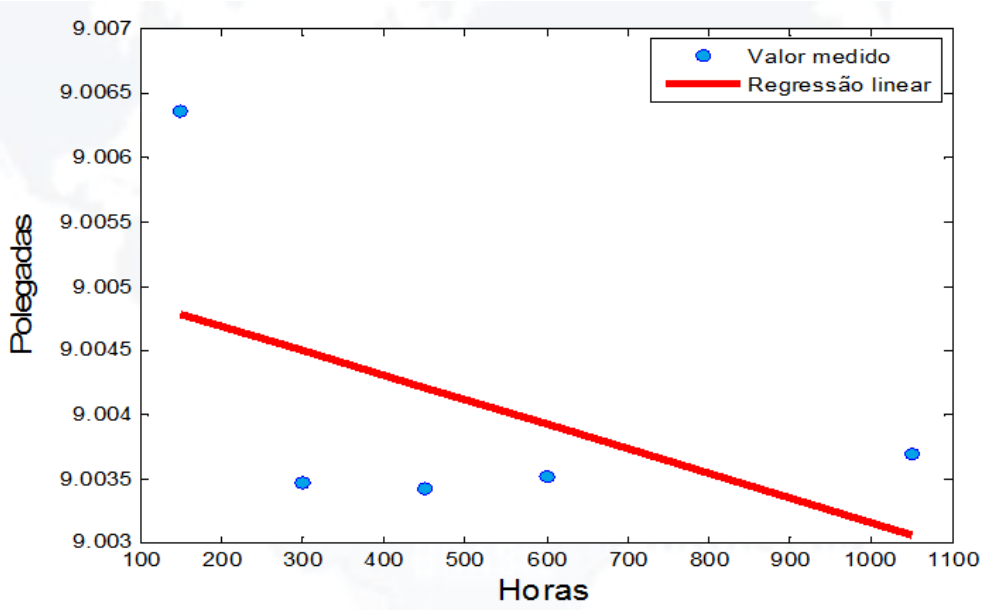


Figura 5. Análise diametral global em 0° – Diesel/GNL (Direção longitudinal ao pino do pistão)

Fonte: Marinho (2013).

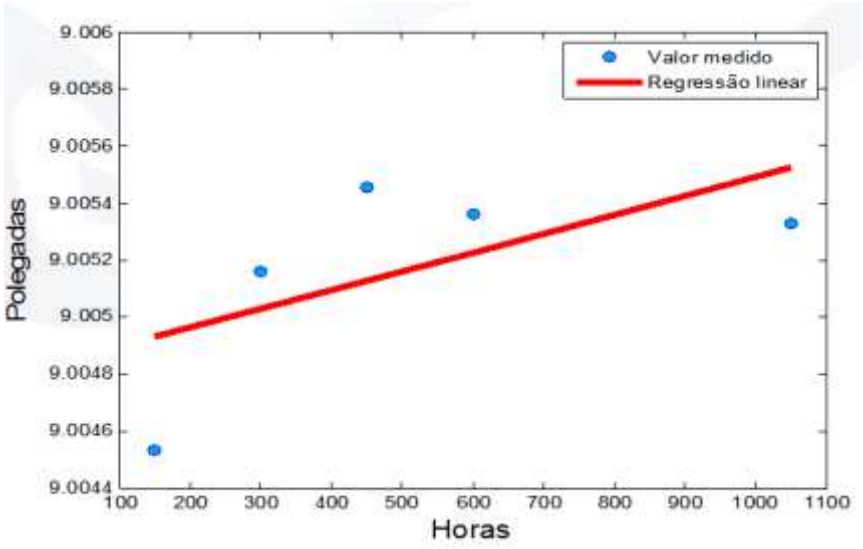


Figura 6. Análise diametral global em 90° – Diesel/GNL (Direção transversal ao pino do pistão)

Fonte: Marinho (2013).

Na Tabela 7 são mostradas as taxas de desgaste em mm/h obtidas pela derivada da regressão linear dos gráficos de Análise diametral dos motores Diesel/GNL e Diesel obtidas durante 1050 horas de teste acelerado. A razão entre elas encontra-se na coluna 4.

Tabela 7. Taxas de desgaste (mm/h) da Análise diametral

Diâmetro	Taxa Diesel/GNL	Taxa Diesel	Diesel-GNL / Diesel
Direção transversal ao pino	6.6293e-007	1.1207e-006	0.5915
Direção horizontal ao pino	-2.9911e-004	-4.1766e-004	4.0103

Fonte: Marinho (2013).

Observa que na Tabela 7 a taxa de abertura diametral dos cilindros do motor Diesel/GNL em relação ao motor Diesel, na direção transversal ao pino do pistão, é aproximadamente 41% menor. Na direção longitudinal ao pino a taxa é 4 vezes maior, para o motor Diesel/GNL. Nessa direção houve um comportamento inverso, ou seja, redução do diâmetro.

A retração na dimensão do cilindro na região longitudinal ao pino do pistão pode ser atribuída à presença do mecanismo de desgaste oxidativo, que se fez mais evidente no motor Diesel/GNL.

O aumento diametral na direção longitudinal é um comportamento que pode ser atribuído ao mecanismo de desgaste abrasivo e a menor intensidade no motor Diesel/GNL é provavelmente devido a menor presença de resíduos da combustão garantindo uma menor incidência de terceiro corpo no par tribológico anel-cilindro.

4.6. ANÁLISE DE ÓLEO

A partir da matriz de correlação é possível identificar padrões de similaridade do desgaste dos elementos metálicos dos motores Diesel/GNL e Diesel, como podem ser vistos nas tabelas 8 e 9. Os elementos em destaque enfatizam as correlações, com 75% de similaridade direta.

Tabela 8. Matriz de correlação para o motor Diesel/GNL

ANÁLISE DO ÓLEO MATRIZ DE CORRELAÇÃO Diesel											
	Ag	Al	Cr	Cu	Fe	Na	Ni	Pb	Si	Sn	Zn
Ag	1	0,76	0,79	-0,25	0,79	0,69	0,86	-0,23	0,25	-0,42	0,76
Al	0,76	1	0,63	-0,07	0,85	0,45	0,68	-0,09	0,47	-0,27	0,41
Cr	0,79	0,63	1	-0,04	0,84	0,92	0,57	0,01	-0,1	-0,22	0,66
Cu	-0,3	-0,1	0	1	0,11	-0,1	-0,2	0,99	-0,2	0,889	-0,1
Fe	0,79	0,85	0,84	0,11	1	0,72	0,58	0,1	0,28	-0,04	0,4
Na	0,69	0,45	0,92	-0,11	0,72	1	0,39	-0,05	-0,1	-0,29	0,57
Ni	0,86	0,68	0,57	-0,2	0,58	0,39	1	-0,16	0,05	-0,34	0,82
Pb	-0,2	-0,1	0,01	0,99	0,1	0	-0,2	1	-0,3	0,886	-0,1
Si	0,25	0,47	-0,1	-0,19	0,28	-0,1	0,05	-0,28	1	-0,17	-0,3
Sn	-0,4	-0,3	-0,2	0,89	0	-0,3	-0,3	0,89	-0,2	1	-0,4
Zn	0,76	0,41	0,66	-0,15	0,4	0,57	0,82	-0,08	-0,3	-0,4	1

Fonte: Marinho (2013).

Tabela 9. Matriz de correlação para o motor Diesel

ANÁLISE DO ÓLEO MATRIZ DE CORRELAÇÃO Diesel/GNL											
	Ag	Al	Cr	Cu	Fe	Na	Ni	Pb	Si	Sn	Zn
Ag	1	0,03	-0,5	0,72	-0,3	-0,3	-0,1	-0,19	-0,5	-0,25	-0,2
Al	0,03	1	0,71	0,52	0,88	0,21	-0,4	-0,04	0,71	0,457	0,53
Cr	-0,5	0,71	1	-0,03	0,93	0,39	-0,4	0,35	0,9	0,342	0,34
Cu	0,72	0,52	0	1	0,25	-0,2	-0,4	-0,06	0	-0,01	0,41
Fe	-0,3	0,88	0,93	0,25	1	0,4	-0,5	0,12	0,86	0,393	0,51
Na	-0,3	0,21	0,39	-0,18	0,4	1	-0,3	-0,36	0,32	-0,31	0,34
Ni	-0,1	-0,4	-0,4	-0,41	-0,5	-0,3	1	-0,09	-0,4	0,258	-0,4
Pb	-0,2	0	0,35	-0,06	0,12	-0,4	-0,1	1	0,3	-0,07	0
Si	-0,5	0,71	0,9	-0,02	0,86	0,32	-0,4	0,3	1	0,378	0,57
Sn	-0,2	0,46	0,34	-0,01	0,39	-0,3	0,26	-0,07	0,38	1	0
Zn	-0,2	0,53	0,34	0,41	0,51	0,34	-0,4	-0,01	0,57	-0,02	1

Fonte: Marinho (2013).

A partir do estudo da relação média dos elementos das análises do óleo, referente aos motores Diesel/GNL e Diesel, foi possível evidenciar concentrações dos elementos Níquel, Ferro, Silício, Cobre e Chumbo para o motor Diesel/GNL, ver tabela 10. Isso demonstra que houve maior desgaste nas

válvulas possivelmente devido a presença de Níquel, assim como o maior desgaste no cilindro, possivelmente pela presença de Fe-Si e maior desgaste nos mancais fixos e móveis, devido a presença de Cu-Pb. Além disso, foi observado que o valor de Cromo foi maior para o motor Diesel, ocasionado por um maior desgaste na abertura do anel.

Tabela 10. Relação entre médias de elementos do motor Diesel/GNL (Diesel/GNL) em função do motor Diesel (Diesel)

Diesel-GNL/Diesel	Relação
Ag Diesel-GNL =	1.51 x Ag Diesel
Al Diesel-GNL =	0.97x Al Diesel
Cr Diesel-GNL =	0.79x Cr Diesel
Cu Diesel-GNL =	1.1x Cu Diesel
Fe Diesel-GNL =	1.1x Fe Diesel
Na Diesel-GNL =	0.97x Na Diesel
Ni Diesel-GNL =	1.05x Ni Diesel
Pb Diesel-GNL =	2.06x Pb Diesel
Si Diesel-GNL =	1.1x Si Diesel
Sn Diesel-GNL =	1x Sn Diesel
Zn Diesel-GNL =	1.05x Zn Diesel

Fonte: Marinho (2013).

Durante a realização dos testes acelerados foram constatados valores de número de basicidade total (TBN) superiores para o motor Diesel/GNL indicando uma média de 7,28 e 8,35 para o motor Diesel.

O TBN demonstra a eficácia no controle dos ácidos e na eliminação de contaminantes no processo de combustão. Por isso quanto maior o TBN maior a eficácia de eliminar contaminantes, reduzir a oxidação e agentes ácidos, caracterizando um óleo com menor presença de oxidação e com nível maior no seu grau de acidez.

O TBN do motor Diesel/GNL demonstra valores 14% inferior ao TBN do motor Diesel, evidenciando um óleo lubrificante com maior presença de contaminantes e de caráter mais ácido. A acidez no óleo lubrificante do motor Diesel/GNL é decorrente da maior incidência da oxidação nas válvulas e nas paredes internas dos cilindros.

O baixo TBN no motor Diesel/GNL também evidencia um maior esgotamento da capacidade detergente e dispersante dos aditivos presentes no óleo lubrificante (Brunetti, 2012).

Utilizando a ferramenta de clusterização, dendograma, a partir dos dados da análise de óleo com o método Ward e a distância euclidiana foi possível identificar semelhanças no comportamento dos elementos químicos, Figura 7. Utilizando os dados da locomotiva Diesel/GNL, identificaram-se os grupos que caracterizam pares tribológicos.

No par tribológico anel-cilindro, encontra-se presente os elementos Fe e Si (elementos do ferro fundido) inicialmente mais próximos do Cr. Identificou-se também a similaridade dos elementos Sn e Zn que são elementos de liga existentes na saia do pistão, assim como, os elementos Na e Al, correspondente a liga do pistão. Esses dois grupos estão inter-relacionados caracterizando os sistemas tribológico anel, pistão e cilindro.

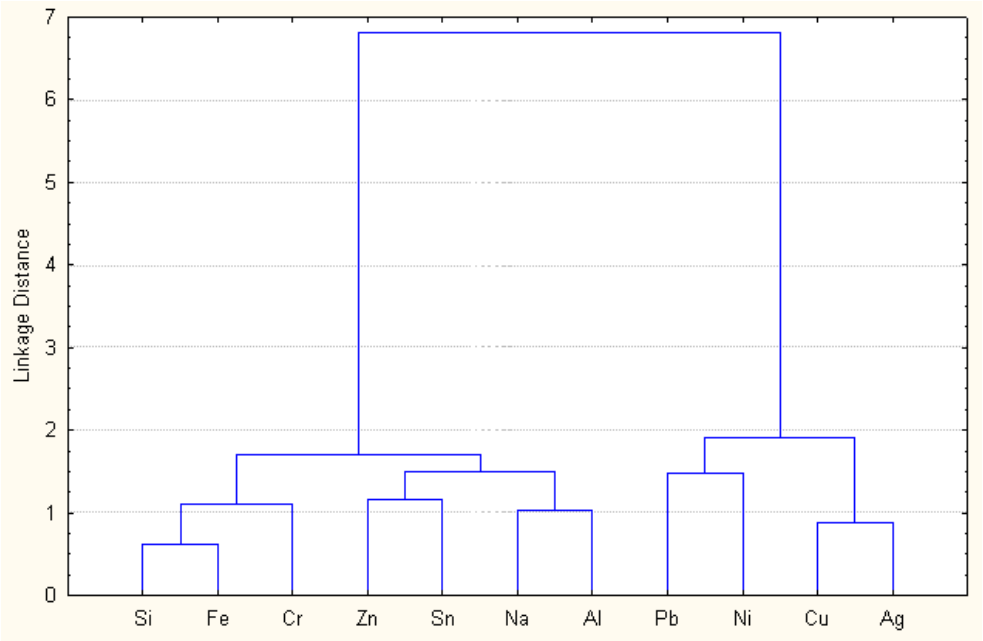


Figura 7. Dendograma dos elementos presentes na análise de óleo da locomotiva Diesel/GNL

Fonte: Marinho (2013).

Os elementos Estanho e Zinco são utilizados no tratamento superficial do Alumínio, a fim de evitar a aderência do pistão na parede do cilindro. Enquanto o Sódio é utilizado como elemento de liga no Alumínio, garantindo melhores propriedades mecânicas, porém dado os valores de Sódio e Alumínio estarem na mesma ordem de grandeza, é possível que o Sódio esteja relacionado com algum vazamento do líquido de arrefecimento para o lubrificante.

Os valores de Silício também estão na mesma ordem de grandeza, quando comparados com o Ferro, justificando essa relação direta como possível falha dos filtros de óleo e/ou contaminação por

partículas externas (Sílica), durante as desmontagens dos cilindros. Embora também exista Silício como elemento de liga nos cilindros, fator este que foi evidenciado no estudo da mineração de dados.

Na outra extremidade da árvore do dendograma é possível observar similaridade no comportamento entre os elementos Pb, Ni e Cu que correspondem aos mancais fixos e móveis do eixo de manivelas do motor. O elemento Ag e Cu são constituintes dos mancais dos pinos dos pistões.

De acordo com Schafer (2004), as válvulas apresentam o elemento Níquel em sua composição. A presença do elemento Níquel em componentes de máquinas se faz útil para condições de trabalho em altas temperaturas. Porém a maior evidência do desgaste nas válvulas se retrata através da análise dimensional da sua respectiva altura, discutido nas seções anteriores.

O grupo constituído pelo Sílicio, Ferro e Cromo no gráfico de dendograma está associado ao par tribológico anel de segmento – cilindro, pois o cilindro é feito de Fe-Si e o anel de segmento é revestido de Cromo.

O estudo utilizando métodos de mineração de dados em elementos químicos presentes no óleo lubrificante foi baseado nos estudos publicados de Marinho et al. (2012) em que utilizaram o método de clusterização por dendograma para determinação dos elementos de máquinas que estavam se desgastando em um motor Diesel.

Os resultados da análise de insolúveis demonstraram maiores teores para o motor Diesel equiparado ao motor Diesel/GNL, com os valores de 2.40 e 1.19, respectivamente, valor atribuído a maior presença compostos orgânicos no óleo lubrificante.

Se tratando da correlação entre as análises dimensionais com os dados da análise de óleo, , a constatação de maiores folgas e taxas de perdas da espessura dos anéis de segmento, no motor Diesel/GNL, contribui para a diminuição do índice do número de basicidade total, fator este causado pela maior passagem de gases de combustão para o Carter, tornando o óleo lubrificante com caráter mais ácido.

A menor folga dos anéis de segmento no motor Diesel está relacionado com a maior deposição de resíduos nas canaletas, sendo evidenciado através da análise de insolúveis.

O fato de existir uma maior abertura do anel de segmento no motor Diesel pode ser constatado a partir da maior presença de Cromo em sua análise de óleo, quando comparado ao motor Diesel/GNL.

Em relação aos cilindros, o maior desgaste abrasivo dos cilindros na região transversal ao pino, está relacionado à formação de terceiro corpo no contato, proveniente da maior deposição de resíduos da combustão nas canaletas dos pistões, fator constatado na análise de insolúveis.

O maior desgaste oxidativo dos cilindros na região longitudinal ao pino, está relacionado a maior formação de óxidos devido a temperatura do sistema, fator constatado na análise de temperatura e do número de basicidade total do óleo lubrificante.

A análise dimensional das válvulas constatou um maior desgaste oxidativo no motor Diesel/GNL, fator este que pode ser averiguado na análise do número de basicidade total do óleo lubrificante.

O fato do maior desgaste das válvulas no motor Diesel/GNL pode ser atribuído aos maiores teores de níquel no óleo lubrificante. Segundo Bhusha (1949) e Schafer (2004), os materiais de válvulas utilizados em motores Diesel possuem altos teores de níquel em sua estrutura.

Em todas as válvulas foram notórias a maior faixa de altura de válvulas para o motor Diesel/GNL, fenômeno esse que pode ser atribuído a fluência, a temperatura do sistema e a formação de óxidos.

Em relação ao óleo lubrificante, no âmbito do motor Diesel/GNL, este apresentou maior acidez devido ao desgaste oxidativo, proveniente dos cilindros e válvulas, constatado no TBN. Já para o motor Diesel foi detectado uma maior quantidade de insolúveis em detrimento da deposição dos resíduos de combustão.

A presença da maior proporção da Prata para o motor Diesel/GNL evidencia um maior desgaste no mancal do pino do pistão (Carreteiro, 2006). Esta hipótese tem uma relação direta com os níveis de ruído apresentados durante os ensaios.

Os maiores teores de cromo no motor Diesel, constata um maior desgaste nos anéis de segmento e os maiores teores de Níquel, no motor Diesel/GNL evidenciam desgaste nas válvulas do motor Diesel/GNL.

5. CONCLUSÕES

Ao término da pesquisa experimental em motores de locomotivas DASH 9 7FDL16-EFI funcionando com diesel ou com Diesel/GNL nas proporções de 70%/30%, pode-se concluir que:

1. Em testes acelerados de 1050 horas, o motor DASH 9 7FDL16-EFI funcionando com diesel/GNL na proporção 70/30 em massa apresentou desempenho tribológico e de performance satisfatório.

2. Maior nível de oxidação do óleo lubrificante foi observado nos testes do motor funcionando com diesel/GNL comparativamente à operação com o combustível diesel;
3. A taxa de desgaste do motor com Diesel/GNL foi de 0.57 até 1.59 vezes a taxa de desgaste do motor funcionando com diesel, sendo o menor valor relativo à abertura do anel de compressão 02 e o maior relativo à espessura do anel raspador de óleo, sendo estes valores menores do que aqueles encontrados na literatura especializada;
4. A análise do óleo lubrificante revelou seu aspecto muito mais ácido após os testes acelerados de 1050 do motor funcionando com diesel/GNL comparativamente à operação com o combustível original (diesel).

REFERÊNCIAS

BHUSHA,B; GUPTA, K. Handbook of Tribology. McGraw-Hill, 1991, p 10-16.

BRUNETTI, FRANCO. Motores de Combustão Interna. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1992. v.1.e v.2.

BHUSHA,B; GUPTA, K. Handbook of Tribology. McGraw-Hill, 1991, p 10-16.

COLLINS, JACK A. Projeto mecânico de elementos de máquinas. Tradução de Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco. Rio de Janeiro: Ltc, 2006.

CARRETEIRO, RONALD P; BELMIRO, PEDRO NELSON A. Lubrificantes & Lubrificação Industrial. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2006. 504 p.

FILHO, PAULO PENIDO. Os motores a Combustão Interna. São Paulo: Ed. Lemi S.A, 1949.

HEYWOOD, J. B. Internal combustion engine fundamentals. New York, USA: McGraw-Hill, 1988. 930p.

LIMA, L.G.D.B.S.; NUNES, L.C.S.; SOUZA, R.M.; FUKUMASU, N.K; FERRARESE, A. Numerical analysis of the influence of film thickness and properties on the stress state of thin film-coated piston rings under contact loads. Surface & Coatings Technology, São Paulo, p. 327-333, 2012.

MARINHO, E.S.J. Estudo e monitoração de parâmetros tribológicos e de desempenho em motores diesel bicombustível. 2013. 362 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

MARINHO, E.S.J; PANTALEON,E. . Monitoração Tribológica em Motores a Combustão interna. Triblook: um livro da tribologia e integridade estrutura. 1ed.Natal: EDUFRN, 2015, v. 3, p. 195-219.

MARINHO, E. S. J; PANTALEON,E.; MEDEIROS, J. S.; SILVA NETO, R. D. A.; ASSIS, L. Study of Chemical Analysis Of Oil Applying Data Mining Techniques. SAE Technical Paper Series, 2012.

NÓBREGA, JOÃO TELÉSFORO DE. Fadiga de contato de discos metálicos não-conformes submetidos a ensaios a seco de rolamento cíclico. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia mecânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

NAELE, J. M. The tribology handbook. 2. ed. Boston: Butterworth Heinemann, 1973.

OLIVEIRA FILHO, MANOEL FERNANDES DE. Análise da sensibilidade do biodiesel B5 em frotas de transporte coletivo com motorização Diesel. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

PANTALEON, EFRAIN MATAMOROS. Modelo de desgaste oxidativo baseado em parâmetros termodinâmicos. 2004. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PINTO, DIEGO PERINI. Estudo da eficiência de um motor diesel utilizando biocombustivel. Revista Ferroviária, Cariacica, p.01-12, 21 ago. 2009. Disponível em: <http://www.revistaferroviaria.com.br/nt2009/trabalhos/maxion/07.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2014.

SCHAFER, VAN BASSHUYSEN. Internal Combustion Engine Handbook - SAE International, 2004.

SOUZA, ZULCY DE. Elementos de máquinas térmicas. Rio de Janeiro: Campus Escola Federal, 1933.

ENGENHARIA:
A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XVI



conhecimentolivre.org/home
contato@conhecimentolivre.org
editoraconhecimentolivre

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE