



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME IX

Adriano Pereira da Silva

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

9ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

9ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Adriano Pereira da
S586E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Adriano Pereira da Silva. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2022

314 f.: il

DOI: 10.37423/2022.edcl514

ISBN: 978-65-5367-154-6

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Silva, Adriano Pereira da II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2022.edcl514>

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

EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

Dr. João Luís Ribeiro Ulhôa

Dra. Eyde Cristianne Saraiva-Bonato

MSc. Frederico Celestino Barbosa

MSc. Carlos Eduardo de Oliveira Gontijo

MSc. Plínio Ferreira Pires

Editora Conhecimento Livre

Piracanjuba-GO

2022

INTRODUÇÃO

Existem muitos tipos de engenheiros. Alguns criam pequenos objetos que só podem ser vistos com um microscópio. Outros desenvolvem produtos que usamos todos os dias, como telefones celulares e laptops. E aqueles que constroem grandes arquiteturas, como carros de design, aviões e grandes edifícios.

Os engenheiros têm a capacidade de transformar produtos imaginativos em algo novo no mundo real. À medida que o conhecimento e as necessidades humanas crescem, também crescem as demandas da engenharia. Isso significa que o futuro estará cheio de novas oportunidades para desenvolvedores. Logo, desenvolver ferramentas e tecnologias para o desenvolvimento humano é uma tarefa especial.

A engenharia e o desenvolvimento de novas tecnologias têm a ver com a resolução de problemas. Envolve o uso de conhecimento científico e matemático para projetar e implementar materiais, sistemas e processos para nos ajudar a resolver problemas ou alcançar objetivos. Esses processos geralmente envolvem o desenvolvimento de novas ciências. Embora muitas vezes associemos a palavra tecnologia a sistemas computacionais, o conceito na verdade se aplica a uma variedade de renomeações. Desde ferramentas simples (como uma vara de pescar) até a solução de problemas práticos (como adicionar flúor à água para evitar buracos), ou qualquer aperfeiçoamento que faça uma pequena transformação no mundo.

A engenharia e o desenvolvimento de novas tecnologias estão intimamente ligados à ciência. Usamos muita tecnologia em disciplinas científicas e o conhecimento científico ajuda os engenheiros a fazer seus trabalhos e construir novas perspectivas. Mas, engenharia é o mesmo que ciência? Se você está desenvolvendo a próxima geração de tocadores de música portáteis ou novo combustível de plantas de milho, você está fazendo ciência?

Em muitos casos, as sementes de novas tecnologias estão sendo desenvolvidas na comunidade científica. Às vezes, isso é como pesquisa e desenvolvimento focado em negócios. Embora a comunidade empresarial muitas vezes use um ambiente cooperativo como o da ciência. Tem uma ênfase diferente (levar produtos e serviços ao mercado ao invés de construir conhecimento) e, como resultado, adere a um conjunto de valores que diferem da comunidade empresarial. Por exemplo, a comunidade empresarial pode estar menos inclinada a compartilhar ideias livremente (por exemplo, informações sobre privacidade, como segredos comerciais) do que a comunidade científica. No entanto, é importante lembrar que muitos cientistas trabalham em comunidades empresariais e que

muitos engenheiros trabalham em comunidades científicas; portanto, não há uma linha sólida e rápida aqui entre cientistas e engenheiros a esse respeito.

Em contrapartida, o desenvolvimento de novas tecnologias é possível em diferentes comunidades e estas podem ter expectativas diferentes de seus membros. Dentro da comunidade científica, as práticas científicas são apoiadas, mas o mesmo pode não ser verdade para outros grupos. Por exemplo, espera-se que os cientistas geralmente se comuniquem livremente com os resultados dos testes, mas isso pode não ser apropriado para um engenheiro contratado para desenvolver tecnologias de mercado específicas. Na verdade, para algumas aplicações no mundo dos negócios, pode ser uma prática comum manter essas informações confidenciais para que outros não possam desenvolver tecnologias concorrentes. No entanto, é importante lembrar que essa não é uma linha forte entre engenharia e ciência e conseqüentemente, o futuro.



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	9
ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE DUCT BURNERS EM CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO UTILIZANDO A TÉCNICA DE CFD	
Marcos Lazaro Batista	
Lucilene de Oliveira Rodrigues	
Marco Antônio Rosa do Nascimento	
DOI 10.37423/220605964	
CAPÍTULO 2	30
ESTUDO DO DESEMPENHO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA TURBOALIMENTADO E COM RESTRIÇÃO DA ENTRADA DE AR	
Marcelo Fortuoso	
José Antonio Andrés Velásquez Alegre	
Gabriel Batista Alves	
Lucas Volkmann Cardoso	
Lucas de Almeida Mathias	
DOI 10.37423/220605966	
CAPÍTULO 3	46
ESTUDO DO RUÍDO MAGNÉTICO BARKHAUSEN E DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL NA RETIFICAÇÃO PLANA DO AÇO USI SAR 80T	
Sandro Pimentel Mirres	
Bruna Machado	
Lucas Benini	
Alex Pereira de Souza	
DOI 10.37423/220605984	
CAPÍTULO 4	59
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PROCESSO DE FURAÇÃO UMA REVISÃO	
Geovane Amâncio Alves	
Claudimir José Rebeyka	
Rodrigo Dias	
Dalberto Dias da Costa	
DOI 10.37423/220605997	
CAPÍTULO 5	75
TESTES DE USABILIDADE NO APP COVIDOSOS – UM APLICATIVO PARA AUXILIAR PACIENTES IDOSOS COM COVID-19	
Cecir Barbosa de Almeida Farias	
João Vitor da Silva Alves	
Alisson Clementino da Silva	
Paloma dos Santos Alves Nunes	
Pedro Paulo Mendes	
DOI 10.37423/220606004	

CAPÍTULO 6	104
ESTUDO DE VIABILIDADE PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA APROVEITANDO O CALOR REJEITADO DO AR CONDICIONADO	
Josué Moreira de Souza	
DOI 10.37423/220606014	
CAPÍTULO 7	123
A INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ TORCIONAL DO CHASSI NA DINÂMICA LATERAL DE UM VEÍCULO DO TIPO BAJA SAE	
João Lucas Moura Ferreira	
Arthur Barroso Costa	
Gabriel Cruz Resende	
João Pedro Moura Souza Possa	
Igor Antunes Ferreira	
DOI 10.37423/220606025	
CAPÍTULO 8	146
PANORAMAS E PERSPECTIVAS DAS MATRIZES CURRICULARES DA FORMAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES NO BRASIL, EM NÍVEL DE GRADUAÇÃO	
José Lázaro de Carvalho Santos	
Jorge Ubirajara Pedreira Júnior	
Marcella Sgura Viana	
DOI 10.37423/220606043	
CAPÍTULO 9	158
IMPACTOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS OCASIONADOS POR DESFLORESTAMENTO	
Laís Alencar de Aguiar	
Oscar Rocha Barbosa	
Tetyana Gurova	
Gustavo Aveiro Lins	
Tatiana Santos da Cunha	
Felipe Affonso Dantas dos Santos	
Evandro Lima	
Josimar Ribeiro de Almeida	
DOI 10.37423/220606044	
CAPÍTULO 10	168
SOFTWARE CREATION FOR ULTRA-HARD METAL ALLOY DESIGN	
Raphael Basilio Pires Nonato	
Thomaz Augusto Guisard Restivo	
DOI 10.37423/220606054	

CAPÍTULO 11	182
LABORATÓRIO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS MOTIVADOR E ENVOLVENTE: EXPERIÊNCIA DA INTRODUÇÃO DA ELABORAÇÃO DE VÍDEOS DIDÁTICOS COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	
Mateus Giesbrecht Paulo David Battaglin Gilmar Barreto DOI 10.37423/220606056	
CAPÍTULO 12	197
PROPRIEDADES E MICROESTRUTURA DO COBRE PROCESSADO EM UM NOVO SISTEMA DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA SEVERA MORNA	
Hiron Akira Yamada Magalhães Talita Gama de Souza Rodrigo Felix de Araujo Cardoso Bruno Rangel da Silva Luiz Paulo Brandao DOI 10.37423/220606059	
CAPÍTULO 13	214
APPLICATION OF GAMES THEORY IN THE BIDDING PROCESS FOR THE CONCLUSION OF ANGRA 3	
Monique Suellen de Lima e Silva Tomaz Lázara Silveira Castrillo Eduardo Henrique Diniz Fittipaldi DOI 10.37423/220606068	
CAPÍTULO 14	227
CUSTEIO DA CADEIA LOGÍSTICA: PROPOSTA DE ESTUDO DOS CUSTOS LIGADOS À UMA FÁBRICA DE PRODUTOS ELETRÔNICOS	
Adriano Pereira da Silva DOI 10.37423/220606126	
CAPÍTULO 15	241
ESTUDO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO: UM LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS APRESENTADOS NA LITERATURA	
Adriano Pereira da Silva DOI 10.37423/220606127	

CAPÍTULO 16 256

UM ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE VARIÁVEIS PETROFÍSICAS EM UM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO

UM ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE VARIÁVEIS PETROFÍSICAS

André Marques Cavalcanti

Auristela Maria da Silva

Suely de Carvalho Roma

DOI 10.37423/220606160

CAPÍTULO 17 275

SISTEMAS ATIVOS DE PREVENÇÃO, RETARDO E COMBATE A INCÊNDIO

E. C. Moraes

Julie Brenda Santos da Silva

DOI 10.37423/220606164

CAPÍTULO 18 290

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO HUMANA NA UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS DE UMA EMPRESA DE CALDEIRARIA PESADA

Hélio Augusto Goulart Diniz

Jane de Souza Ramos

Caroline Santana Zanetti

Josane Cristiano Brandão

José Dias Pena

DOI 10.37423/220706248

Capítulo 1



10.37423/220605964

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE DUCT BURNERS EM CALDEIRAS DE RECUPERAÇÃO UTILIZANDO A TÉCNICA DE CFD

Marcos Lazaro Batista

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Lucilene de Oliveira Rodrigues

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Marco Antônio Rosa do Nascimento

Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)



Resumo: *A planta de ciclo combinado é uma integração de turbina a gás e da turbina de vapor, combinando muitas das vantagens de ambos os ciclos termodinâmicos usando um único combustível. Ao recuperar a energia do calor dos gases de escape da turbina de gás e usá-lo para gerar vapor, o ciclo combinado aproveita a conversão da energia combustível a uma eficiência muito alta. A caldeira de recuperação de calor constitui a espinha dorsal das centrais de ciclo combinado, proporcionando a ligação entre a turbina a gás e da turbina a vapor. O projeto de uma HRSG historicamente em grande parte é desenvolvido usando princípios termodinâmicos relacionados ao caminho de vapor, sem considerar a inclusão de gás no sistema. O CFD (Dinâmica dos Fluidos Computacional) é utilizada para avaliar o impacto da inclusão de gás no fluxo da HRSG e verificar as mudanças que podem melhorar o seu desempenho. Para aplicar a técnica CFD nas simulações, foi utilizado o programa ANSYS CFX®, com o modelo de turbulência, k-epsilon, de combustão, Eddy Dissipation e de radiação, P1. O valor de 540 °C (813 K), foi a temperatura máxima permitida para um bom funcionamento da HRSG.*

Palavras-chave: *CFD, HRSG, CICLO COMBINADO.*

1. INTRODUÇÃO

Uma quantidade significativa de eletricidade é produzida usando usinas termelétricas com ciclos combinados usando turbina a gás e turbina a vapor ou ciclo simples de turbina a gás. A vantagem na utilização de um ciclo de turbina a gás simples é que as temperaturas de escape são elevadas. A eficiência máxima atingível a partir de um ciclo de turbina a gás simples é cerca de 35%. A eficácia do sistema de ciclo simples pode ser aumentada através da recuperação de uma parte da energia de calor dos gases de escape da turbina à gás e gerar vapor na caldeira de recuperação de calor (HRSG – *Heat Recovery Steam Generator*). Se o vapor gerado é utilizado para fins industriais, o sistema é chamado de cogeração; se usado para a execução de uma turbina a vapor, o sistema é chamado de geração de energia de ciclo combinado. Segundo Lorra e Nascimento (2004) a vantagem do ciclo combinado é que a eficiência térmica do ciclo pode chegar a um valor típico de 60%, quando operado em condições ótimas. Devido às suas vantagens, os sistemas de ciclo combinado têm sido cada vez mais usados em usinas de energia. Os sistemas de ciclo combinado têm dois ciclos termodinâmicos de operação, ou seja, o ciclo Brayton (sistema que utiliza uma turbina a gás) e o ciclo Rankine (sistema que utiliza uma turbina à vapor). Estes dois ciclos termodinâmicos são conectados por um trocador de calor ou gerador de vapor, denominado HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), que extrai o calor do gás de exaustão da turbina de gás e o usa para gerar o vapor, que é usado por sua vez para o funcionamento da turbina à vapor. O sistema HRSG é o principal elemento que possibilita o conceito de ciclo combinado. O layout de um sistema de ciclo combinado é mostrado na Figura 1.

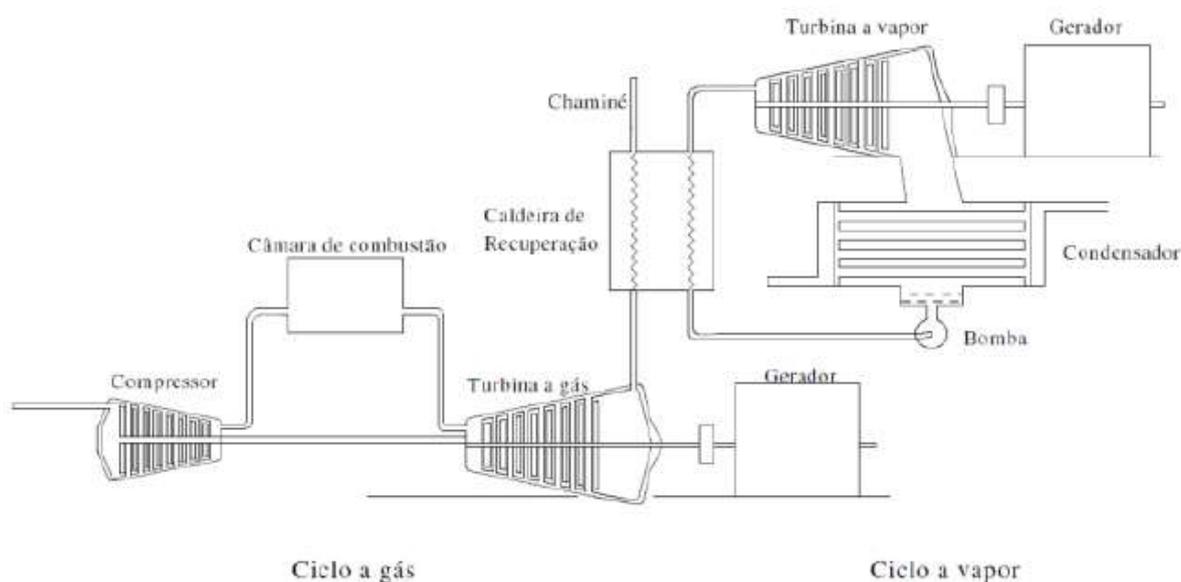


FIGURA 1. Layout do ciclo combinado. Fonte: Ferreira (2014).

Os principais componentes das centrais de ciclo combinado são: a turbina à gás, a turbina à vapor e a HRSG. A eficiência da central de ciclo combinado é influenciada pela eficiência dos sistemas independentes que formam o ciclo combinado. Em alguns casos, a perda de eficiência em um sistema tem um impacto positivo sobre o outro sistema. A eficácia do sistema de turbina a gás é reduzido aumentando a temperatura de exaustão da turbina a gás, mas isto aumenta a capacidade de geração de vapor da HRSG. A perda de eficiência da turbina a gás tem um efeito negativo sobre o desempenho de todo o sistema; é conveniente operar o sistema com a máxima eficiência da turbina a gás. A HRSG forma o coração do ciclo combinado e seu desempenho tem um impacto direto sobre a eficiência global do sistema de ciclo combinado. Os meios primários de transferência de calor na HRSGs são convecção e condução. O projeto mais comum de HRSG tem os tubos de caldeira instalados verticalmente e as passagens dos gases de exaustão da turbina à gás passam horizontalmente.

Um sistema de queima suplementar projetado e instalado corretamente pode melhorar a flexibilidade da planta produzindo uma série de benefícios, que incluem o aumento de geração elétrica durante os períodos de pico de demanda; taxas de rampa de partida e recuperação de carga mais rápida. A instalação dos queimadores auxiliares de forma errônea pode aumentar as emissões totais da planta e resultar em danos a HRSG causados pela distribuição de calor, carga térmica excessiva e o desenvolvimento de grandes gradientes térmicos, podendo causar fadiga, falha, ou fissuras nas superfícies dos trocadores de calor da HRSG.

Para otimizar o processo de combustão, o combustível dos queimadores auxiliares e os gases de escape da turbina devem ser uniformemente distribuídos. Outro aspecto importante é o correto posicionamento dos queimadores no duto de exaustão da turbina.

A Modelagem computacional de fluídos (CFD - *Computational Fluids Dynamics*) é uma ferramenta importante no processo de concepção do sistema de queimadores auxiliares para caldeiras de recuperação, pois testes físicos de aplicações são dispendiosos e a reprodução das condições de funcionamento durante estes testes é uma tarefa difícil. A técnica CFD neste cenário vem possibilitando meios para uma boa análise da transferência de calor da combustão permitindo ao projetista: localizar a melhor posição para a instalação dos queimadores, determinar se o fluxo de gases de exaustão está irregular, examinar se é necessário um difusor de redistribuição a montante e assegurar que o sistema de queimadores produz um fluxo térmico de calor de distribuição uniforme.

A técnica CFD será utilizada neste trabalho para um estudo inicial de viabilidade técnica da instalação de queimadores auxiliares como parte de uma solução para aumento de desempenho das duas

caldeiras de recuperação durante períodos de baixa carga das turbinas a gás instaladas na Usina Termelétrica do Atlântico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), Figura 2, está instalada no bairro de Santa Cruz na cidade do Rio de Janeiro possui uma moderna termoelétrica constituída de três unidades geradoras, em ciclo térmico combinado, com 490MW de capacidade instalada, representando 419.8MW médios de garantia física de energia para o complexo siderúrgico poder produzir 5 milhões de toneladas placas de aço por ano.



FIGURA 2. Foto das caldeiras de recuperação da Usina Siderúrgica do Atlântico. Fonte: Vieira (2015)

2.1 DESCRIÇÃO DA ENTRADA DA CALDEIRA

A seção a ser estudada neste trabalho é a região que engloba a saída da exaustão da turbina a gás, porém um pouco deslocada para facilitar os dados de entrada do domínio até a entrada da caldeira.

Os invólucros da HRSG e do duto de entrada são internamente isolados para manter a carcaça exterior de aço carbono fria. O sistema de isolamento interno consiste em camadas de cerâmica de isolamento de fibra ou lã mineral coberto por um revestimento de metal. O forro de metal protege o isolamento

interno da alta velocidade do fluxo de gases de escape da GT e também é desenhado para acomodar a expansão térmica necessária quando a HRSG é trazida para as suas condições operacionais de trabalho.

A Figura 3 e Figura 4 fornecem os dados de dimensões necessárias para a confecção do desenho que será discretizado e analisado via Dinâmica de Fluido Computacional. Pela seção em estudo circula um fluxo de gases produtos da combustão, provenientes do ciclo a gás, que entram na caldeira para realizar a troca de calor e aquecer a água que será utilizada no ciclo a vapor.

Como há uma variação nas propriedades do fluxo de entrada deste duto, devido à variação da composição do combustível que alimenta a câmara de combustão, a temperatura na entrada da caldeira varia, havendo assim uma variação nas condições do vapor do ciclo combinado. O ideal é que esta temperatura dos gases de exaustão permaneça o mais constante possível e em valores próximos de 556° C para o máximo desempenho da HRSG. Esse valor de 556 ° C a HRSG irá produzir vapor a temperaturas mais altas, aumentando a eficiência da turbina a vapor.

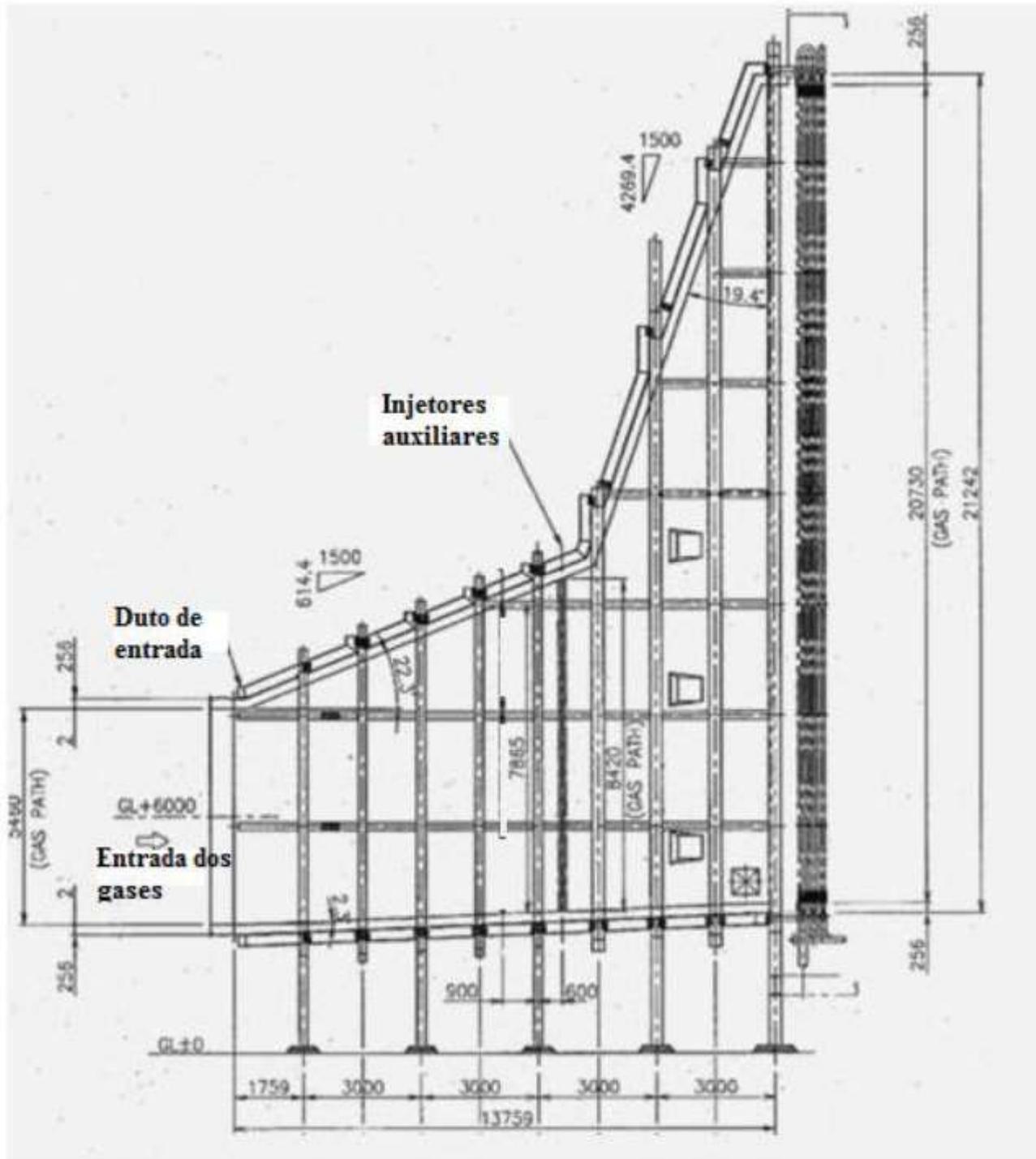


FIGURA 3. Desenho da vista lateral da seção do duto de entrada da HRSG da UTE do Atlântico. Fonte: Viera (2015).

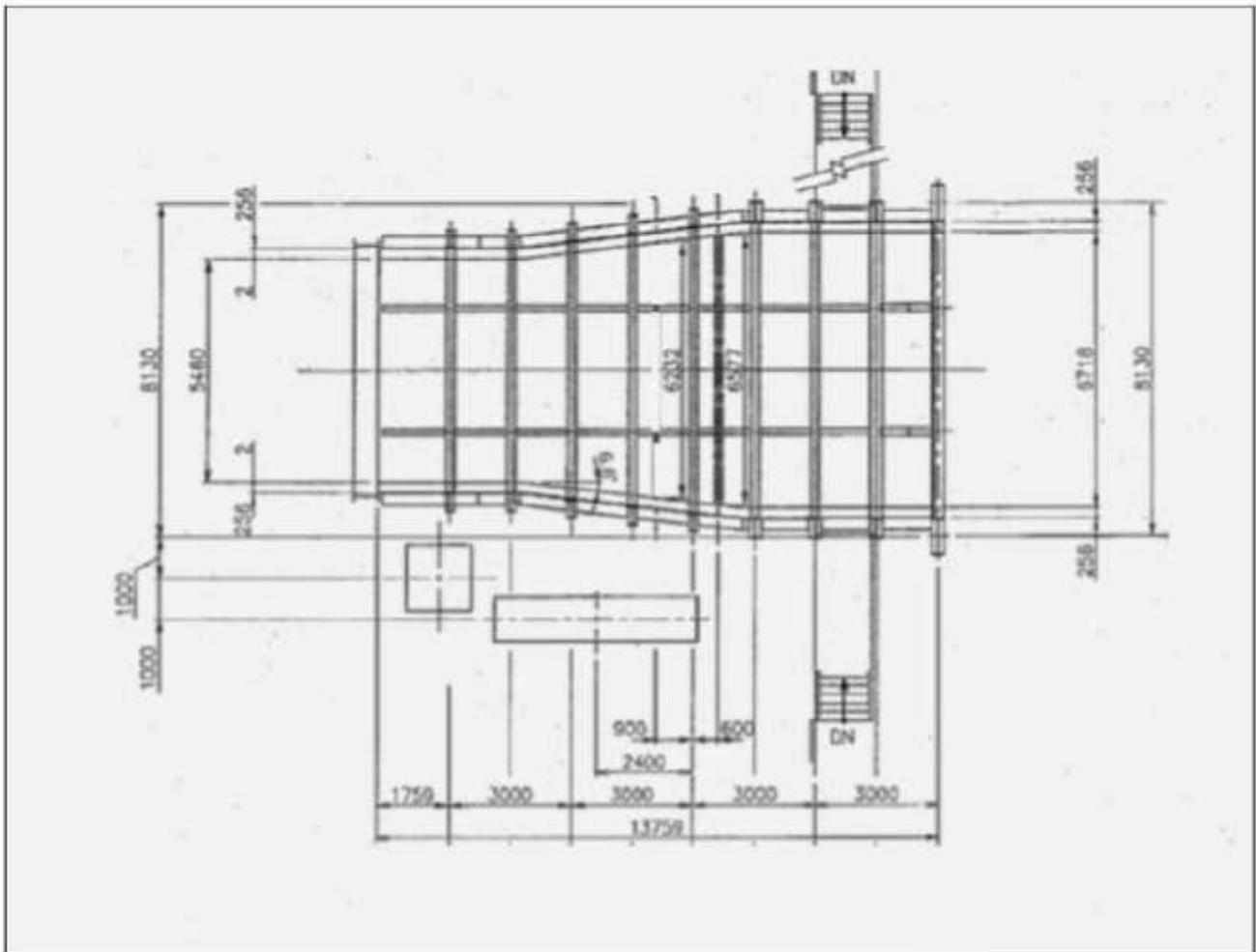


FIGURA 4. Esquema da vista superior da seção do duto de entrada caldeira de recuperação da UTE Atlântico. Fonte: Vieira (2015).

A Tabela 1 mostra os valores projetados de temperatura, fluxo de massa e calor para esta condição. A Figura 5 apresenta a média de temperatura real dos gases quentes registradas na turbina a gás no período de julho de 2011 a setembro de 2013, atingindo valores médios entre 485°C e 490°C, o mesmo padrão se manteve no ano 2014 e no primeiro quadrimestre de 2015. Assim como ponto de partida para a simulação será adotada a referência de temperatura média mínima dos gases em 488,7°C, que é prevista no *heat calculation* da HRSG.

A Tabela 2 apresenta os valores de projeto da HRSG de temperaturas, calor e fluxo de massa de vapor para as seções de tubos da HRSG para esta condição de baixa carga.

O valor máximo de temperatura dos gases após os queimadores, adotado como alvo durante as simulações será de 540°C, conforme recomendado pelo fabricante da caldeira em seus estudos para a implementação da queima auxiliar garantindo assim à integridade do material.

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos pelo fabricante da caldeira em dois prováveis cenários distintos de operação para esta HRSG com a adição da queima auxiliar, considerando como combustível um gás natural com 100% de metano, PCI em 47.116 kJ/kg e vazão de 4.400 kg/h. A pressão de alimentação, antes do *duct burner* foi estimada em 2 barg.

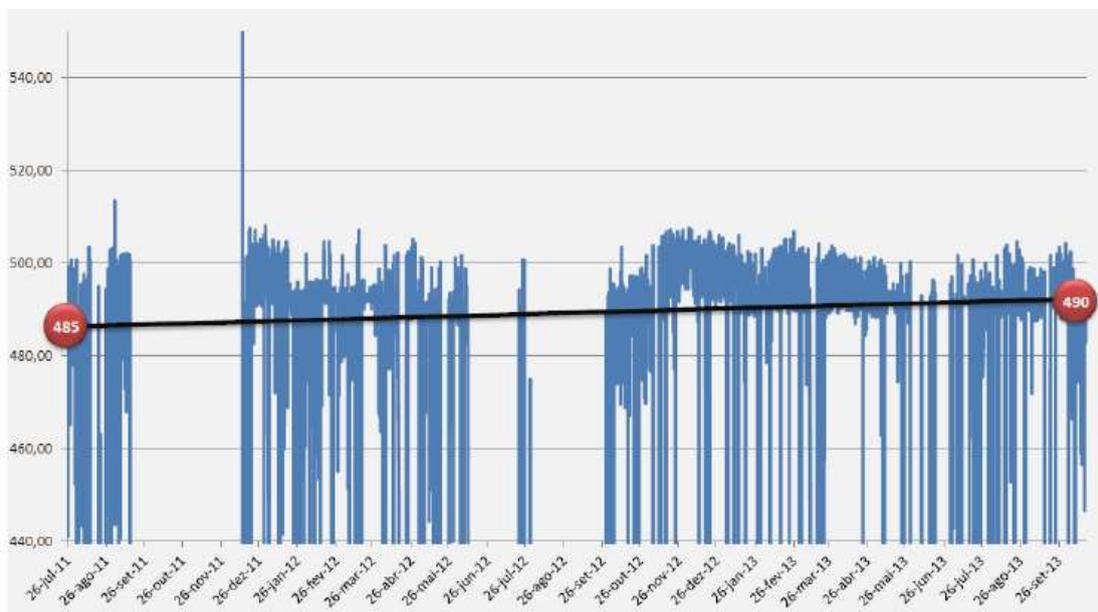


FIGURA 5. Temperatura dos Gases de Exaustão GT11. Fonte: Vieira (2015)

TABELA 1. Temperatura das seções da HRSG em relação à temperatura dos gases.

	Circuito de Água e Vapor				Circuito de Gás		
	Seção	Fluxo kg/s	Temperatura °C		Calor kJ/s	Temperatura °C	
			Entrada	Saída		Entrada	Saída
1.	HP-SH3	55,11	495,7	537,4	5.701	556,6	544,7
2.	HP-SH2	55,11	384,3	495,7	16.688	544,7	511,1
3.	HP-SH1	55,11	304,8	384,3	18.575	511,1	473,5
4.	HP-EVA	55,11	298,7	304,8	77.848	473,5	311,9
5.	HP-ECO4	56,10	257,8	298,7	12.044	311,9	286,2
6.	LP-SH	12,00	162,5	249,5	2.743	286,2	281,2
7.	HP-ECO3	56,10	162,3	257,8	24.424	281,0	228,3
8.	LP-EVA	12,00	156,8	162,5	25.311	228,3	173,0
9.	HP-ECO2	56,10	146,2	162,3	3.912	173,0	164,3
10.	LP-ECO	41,25	124,0	156,8	5.837	164,3	151,4
11.	HP-ECO1	56,10	124,0	146,2	5.324	151,4	139,6

Fonte: Vieira (2015)

Tabela 3. Resultados estimados pelo fabricante para operação da HRSG com queima suplementar.

	Unidade	Estudo de Caso 1	Estudo de Caso 2
Temperatura do gás de exaustão da GT	°C	482,0	412,0
Fluxo do gás de exaustão da GT	kg/s	311,0	370,0
Temperatura do gás após o queimador auxiliar	°C	540,0	540,0
Temperatura da água de alimentação	°C	124,0	124,0
Extração de calor para o desaerador	kJ/s	19.350	19.350
Pressão do vapor de alta	bar	88,9	88,9
Temperatura do vapor de alta	°C	522,0	522,0
Fluxo do vapor de alta por Caldeira	kg/s	39,4	45,6
Pressão do vapor de baixa	bar	6,17	6,17
Temperatura do vapor de baixa	°C	255,3	250,0
Fluxo do vapor de baixa por Caldeira	kg/s	9,1	10,9

Fonte: Vieira (2015)

2.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para as simulações com os queimadores de duto instalados, foi utilizada uma geometria simplificada deste equipamento, visto que não se tem a geometria real do mesmo. Assim, as simulações terão uma diferença dos resultados com a instalação do duct burner comercial, porém, o objetivo é analisar o comportamento do escoamento na entrada e a combustão de gás natural em seu fluxo. A geometria gerada para realizar as simulações são demonstradas na Figura 6 e Figura 7.

Um estado estável 3D, solução incompressível de Navier-Stokes com transporte de fluidos com / sem reações químicas foi realizada utilizando Ansys CFX 16. Foi utilizado modelo padrão de turbulência ($k-\epsilon$) com funções de parede para modelar o fluxo turbulento. O modelo eddy dissipation é usado para modelar a combustão.

2.3 MODELO DE COMBUSTÃO

O modelo de combustão utilizado foi o modelo Eddy Dissipation. O modelo Eddy Dissipation tem como fundamento que a reação química ocorre mais rapidamente do que o processo de transporte do escoamento. Assim, quando os reagentes se misturam a nível molecular, instantaneamente os

produtos são formados. Este modelo assume que a taxa de reação está diretamente relacionada com o tempo em que os reagentes levam para se misturarem a nível molecular. Em escoamentos turbulentos essa taxa é dominada pelas propriedades turbulentas, portanto, a taxa é proporcional a um tempo de mistura definida pela energia cinética turbulenta, k , e a sua taxa de dissipação ϵ . Este conceito de controle da reação é aplicado em diversos problemas de combustão a nível industrial onde a taxa de reação química é mais rápida do que a taxa de mistura das espécies (ABDU, 2005).

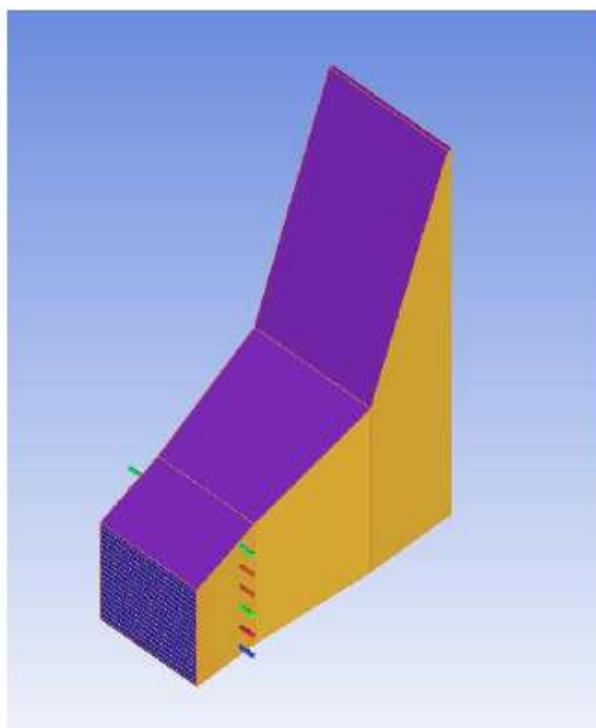


Figura 6. Desenho da geometria a ser analisada. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

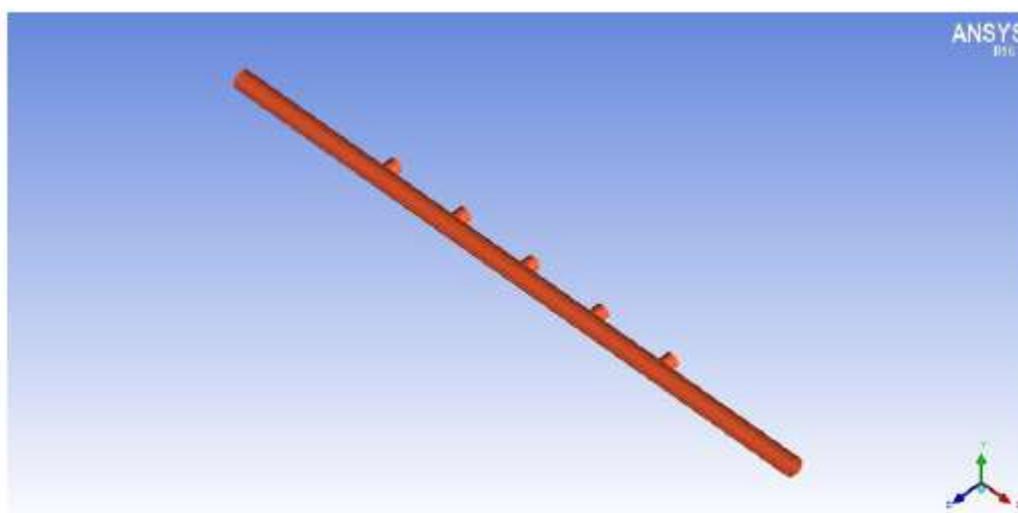


Figura 7. Ilustração do duct burner utilizado na modelagem. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Antes de qualquer análise ser realizada, vale lembrar o objetivo da inclusão do queimador auxiliar no duto na seção de entrada da caldeira, é aumentar a temperatura de 488,7 °C (761 K) para o máximo de 540 °C (813 K) sugerido pelo fabricante devido à margem de segurança para o material das tubulações da caldeira. Assim, tem-se uma temperatura máxima uniforme durante toda a operação e um maior desempenho na geração de vapor na caldeira. Na Figura 8 é demonstrado o resultado da modelagem do duto de entrada da HRSG como se encontra atualmente, sem a adição de injetores auxiliares.

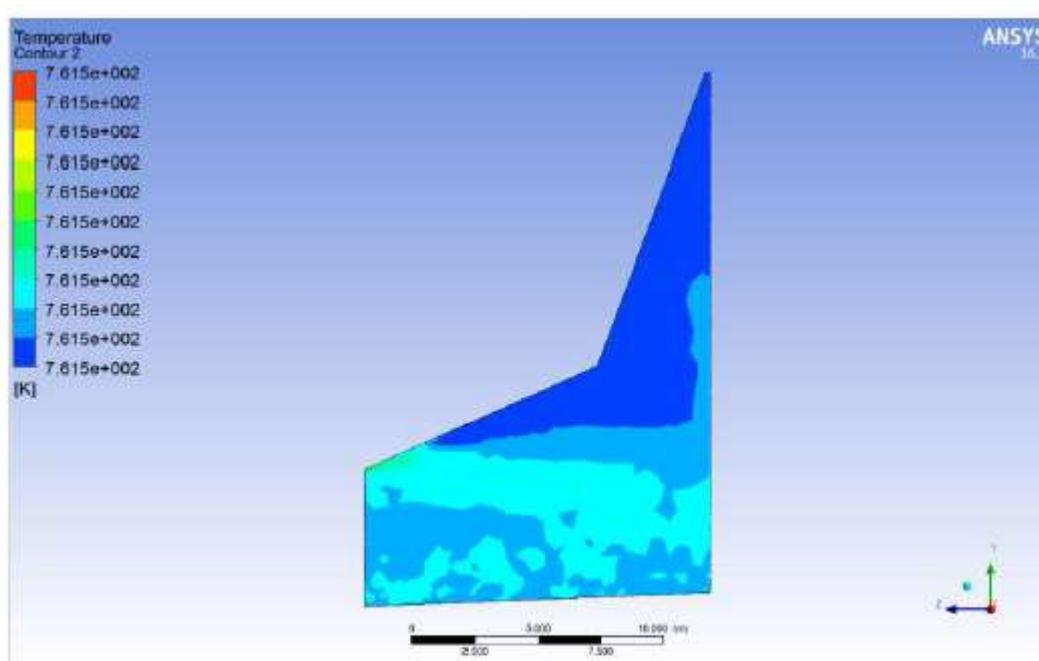


Figura 8. Resultado da modelagem do duto de entrada HRSG estudada sem a adição de injetores auxiliares. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

Baseado no Manual da Kawasaki (2007), utilizando o software ICFM CFD 16 foi gerada a geometria demonstrada na Figura 9. Foram realizadas as seguintes simulações: Foram realizadas as seguintes simulações:

- um modelo de escoamento computacional sem queima suplementar,
- um modelo de escoamento computacional com queima suplementar alterando a posição dos injetores e alterando a quantidade de injeção de gás natural e inserindo aletas direcionadoras,
- um modelo de escoamento computacional com queima suplementar e alterando a quantidade de injetores auxiliares e o posicionamento das aletas direcionadoras.

Em todos os casos, as dimensões do duto serão mantidas, as modificações serão relacionadas as aletas colocadas na entrada do duto, vazão de gás natural inserida nos injetores auxiliares, quantidade e posicionamento dos injetores auxiliares.

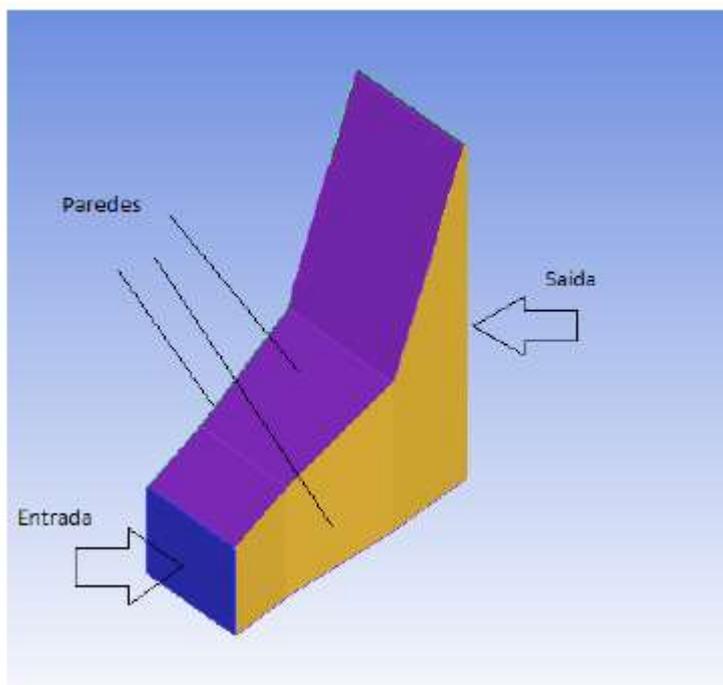


FIGURA 9. Definição da entrada e saída na geometria do duto de entrada da HRSG. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

A distribuição da velocidade do gás no duto de entrada da HRSG é importante, porque o canal de entrada dirige o fluxo do gás da exaustão da GT às superfícies do trocador de calor no HRSG. Uma distribuição uniforme da velocidade dos gases nos trocadores de calor é desejada para um desempenho térmico estável. As regiões com redemoinhos no duto de entrada devem ser limitadas. Especialmente no caso de um sistema HRSG projetado para operar do lado onde vem os gases de exaustão da GT, a entrada da velocidade do escoamento tende para um lado, o que resulta em grande área de recirculação de gases de escape no duto de admissão.

Esta HRSG é projetada para operar com os gases de escape da GT. É necessário adicionar alguns dispositivos de controle do escoamento como a grade de distribuição no duto de admissão da HRSG para fornecer uma uniformidade na distribuição de gás nos queimadores auxiliares (duct burners), que estão localizados entre admissão dos gases da GT e os trocadores de calor. Os casos analisados são explicados e detalhados adiante, todas as análises e simulações tiveram um objetivo, buscar a uniformidade da temperatura, próxima dos 540 °C (813 K), na entrada da HRSG.

Nesse trabalho serão demonstrados alguns casos que trouxeram um melhor resultado, a seguir são ilustrados e demonstrados esses.

3.1 CASO 01

No caso 01, foi gerado um duto como se encontra atualmente na HRSO da CSA, sem nenhuma modificação, para verificar e demonstrar a temperatura de saída, e com realizar algumas análises de como o duto de entrada da HRSO se encontra atualmente. Atualmente o duto de entrada da HRSO possui uma temperatura de 761 K na sua saída e na entrada da HRSO, mais esse valor pode ser aumentado para 813 K, o que é permitido, valor obtido no manual da Kawasaki, fabricante da HRSO.

Foram realizadas 1000 iterações. O número de 680.008 elementos de volume e 143.395 nós foram utilizados, pois os mesmos fornecem uma boa discretização da geometria a ser analisada, com elementos de malha regulares, ou seja, mesmo nas menores regiões, os elementos da malha se encaixaram de forma adequada à geometria.

Na Figura 10 é demonstrado o resultado da temperatura na entrada da HRSO. É demonstrado que a temperatura nesse caso não sofre nenhuma interferência e se mantém uniforme na saída, e conseqüentemente a temperatura na entrada da HRSO é uniforme.

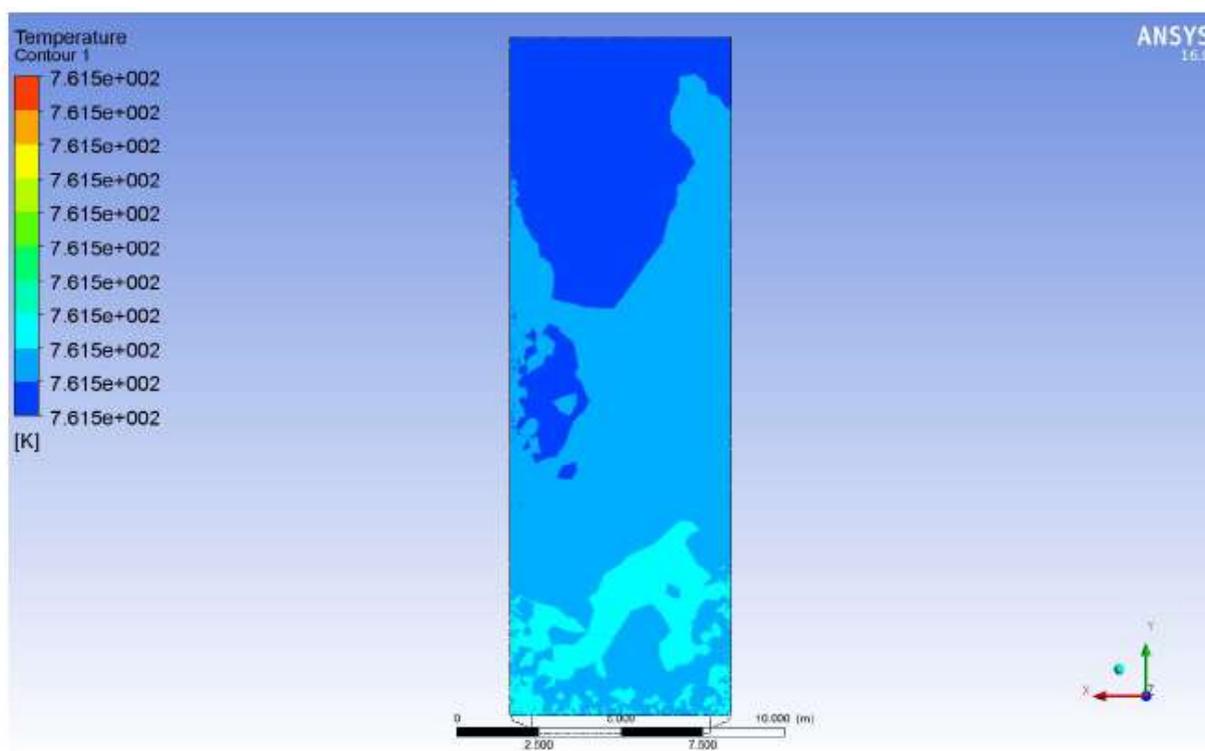


Figura 10. Resultado da temperatura na saída do duto para o caso 01. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

Na Figura 11 é apresentado o perfil de velocidade ao longo de um plano longitudinal central. Pode-se observar que existe um escoamento principal com velocidade mais elevada e uma região de baixa velocidade em consequência da geometria da seção e isso causa uma diferença no escoamento pelo fato da GT e HRSG estarem ao mesmo nível do solo.

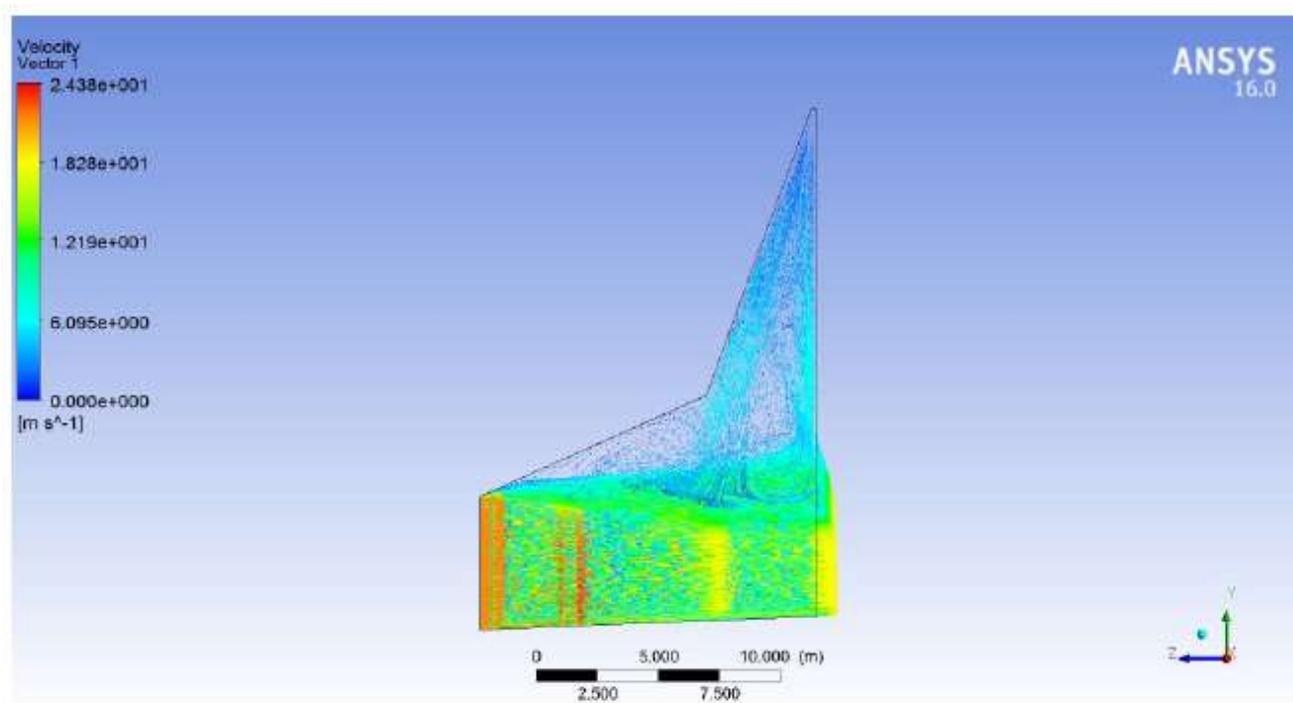


FIGURA 11. Perfil de velocidade ao longo do plano longitudinal. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

A média de velocidade na entrada da seção é de 21,55 m/s. Na saída a média de velocidade é de 8,05 m/s devido ao caminho que o escoamento é submetido. Esse valor é obtido utilizando a ferramenta calculator do CFD POST.

Na Figura 12 pode-se observar as regiões de recirculação na zona do duto de entrada da HRSG com baixa pressão e velocidade. De acordo com a literatura estas perturbações no fluxo de calor estão comumente associadas aos projetos atuais de construção e instalação das HRSGs que apresentam uma zona de transição muito curta entre a GT (Gás Turbine) e a HRSG.

Como as paredes são consideradas adiabáticas nesta simulação e devido ao perfil de velocidade analisada na Figura 12, pode-se esperar um perfil de temperatura na entrada da caldeira uniforme. É observado na Figura 13 que há uma variação mínima na temperatura entre a entrada e a saída do duto de entrada da HRSG.

No caso 01, é verificada a temperatura de 761 K na saída do duto, de acordo com o manual da Kawasaki, fabricante da HRSG, essa temperatura está dentro do limite aceitável de utilização, pois não

irá prejudicar a utilização da HRSG. Os materiais dos elementos da HRSG suportam a temperatura de 813 K, então foi buscado chegar nessa temperatura, para poder aproveitar o máximo possível a capacidade da HRSG e com isso aumentar a geração de vapor para a unidade.

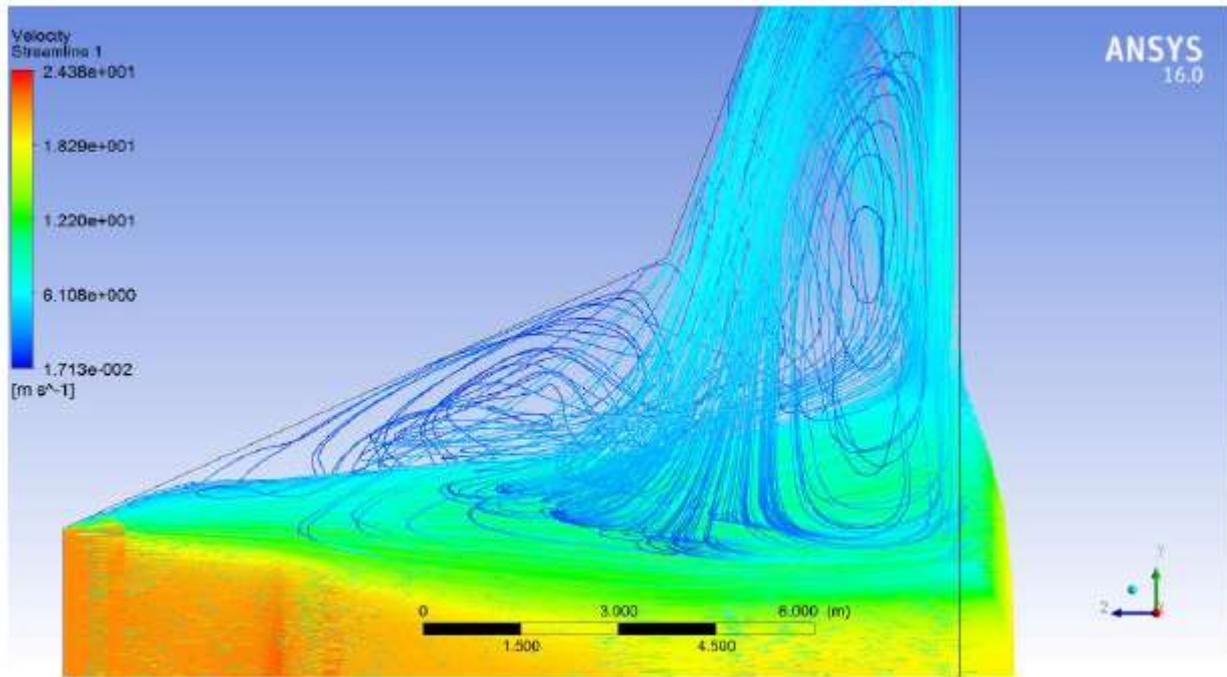


FIGURA 12. Visualização das zonas de recirculação dentro do duto de entrada da HRSG. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

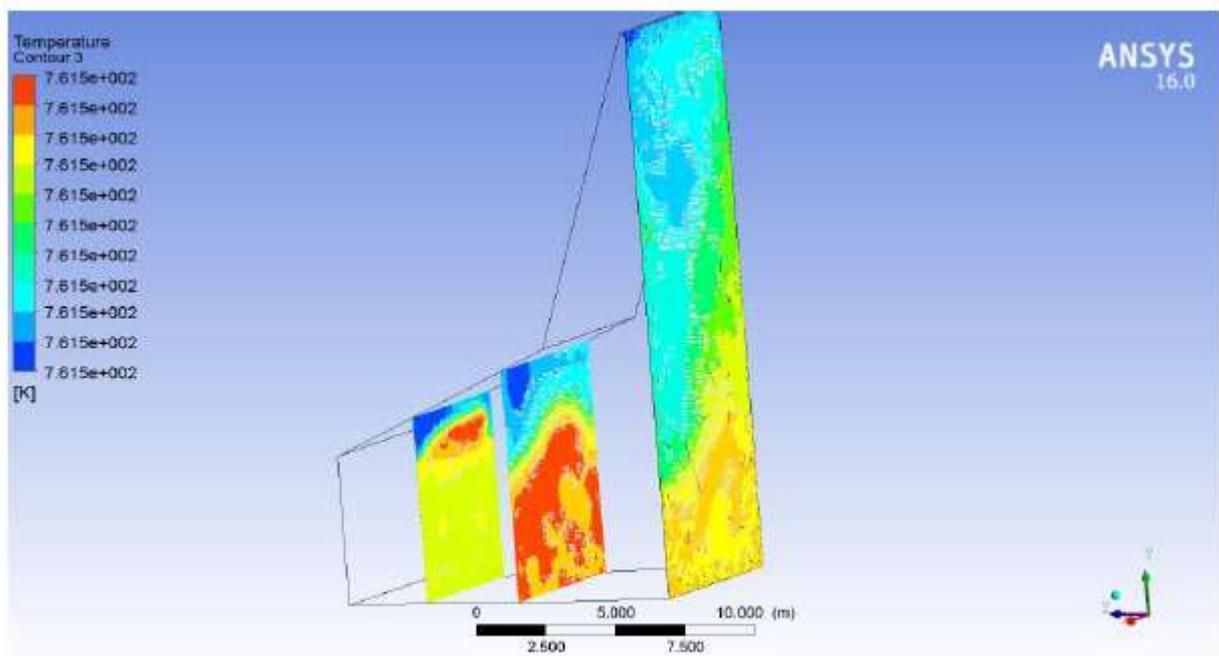


FIGURA 13. Distribuição de temperatura dentro do duto da HRSG. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

3.2 CASO 02

No caso 02, será adotado as mesmas condições para o caso anterior. Nesse caso são colocadas aletas na entrada do duto e a utilização de seis injetores auxiliares. A modificação realizada foi na injeção de gás natural nos injetores. O valor de gás natural foi de 0,4398 kg/s, sendo que 50% desse valor foi inserido no primeiro e no último injetor e os outros 50% inserido nos outros injetores, essa distribuição é visualizada na Figura 14.

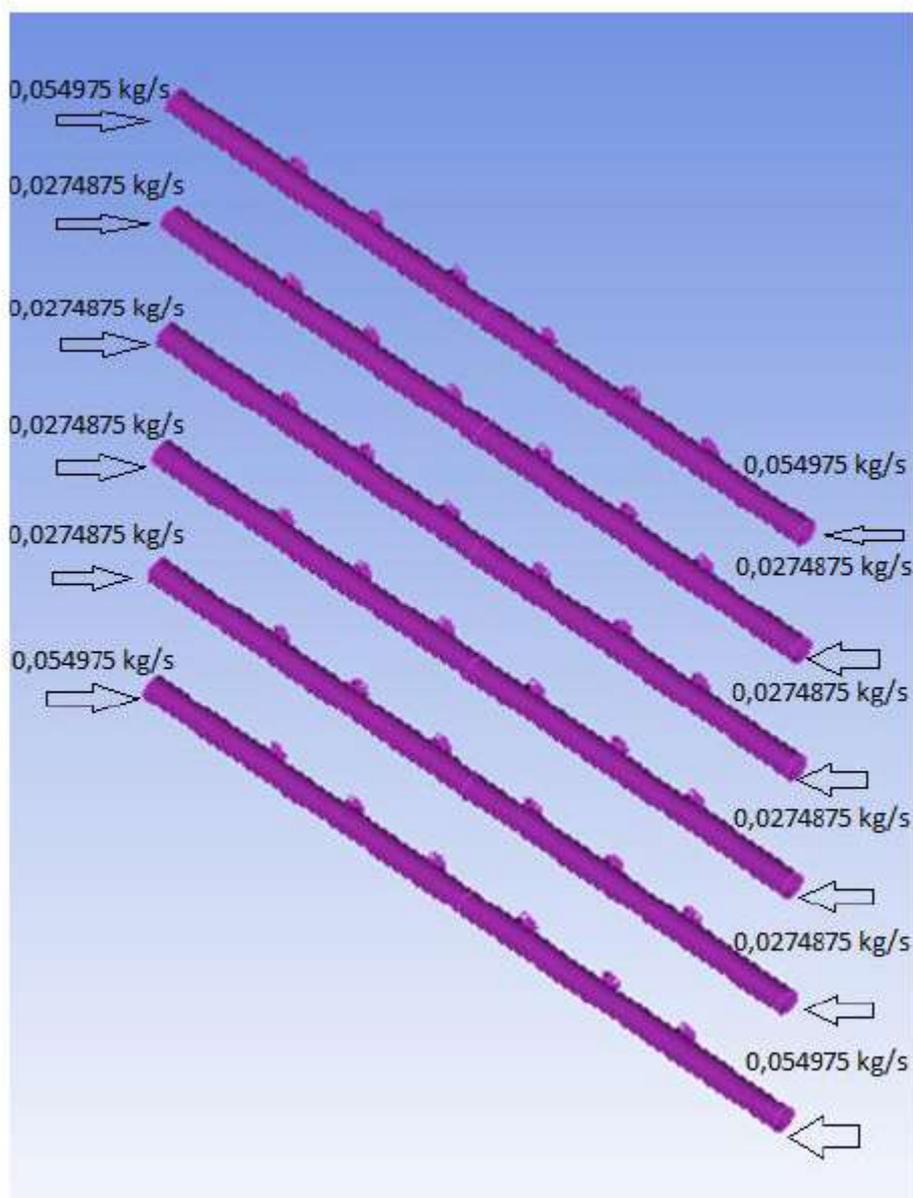


FIGURA 14. Distribuição do gás natural para o caso 02. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

Nas simulações deste item, foram realizadas 1000 iterações. O número de 4.501.179 elementos de volume e 907.341 nós foram utilizados, os mesmos forneceram uma boa discretização da geometria a ser analisada, com elementos de malha regulares, ou seja, mesmo nas menores regiões, os

elementos da malha se encaixaram de forma adequada à geometria. Pode se notar, que o número de nós e elementos são iguais ao caso anterior, isso ocorre porque, mudou apenas a condição de contorno.

Na Figura 15 é apresentado o perfil de velocidade ao longo de um plano longitudinal central. Pode-se observar que existe um escoamento principal com velocidade mais elevada e uma região de baixa velocidade em consequência da geometria da seção causando uma assimetria do fluxo. É verificado que uma zona de baixa velocidade é localizada no centro e na parte superior do duto de entrada da HRSG.

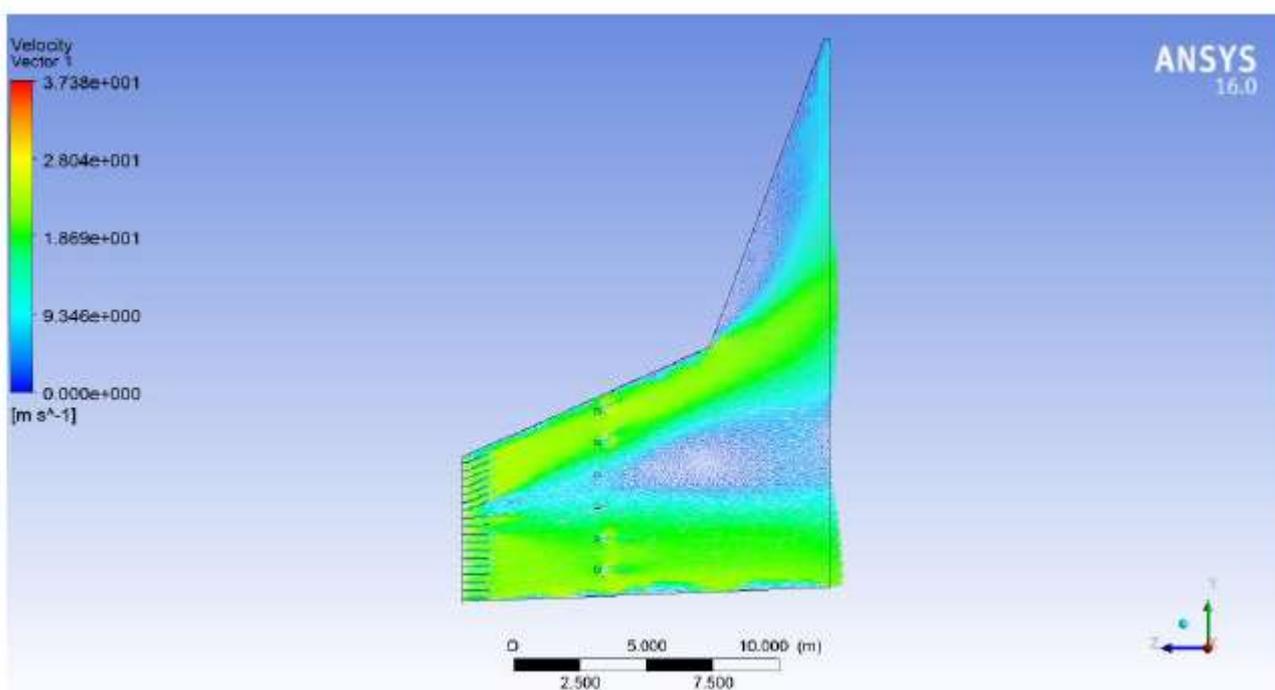


FIGURA 15. Contorno de velocidade no plano central no interior do duto para o caso 02. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

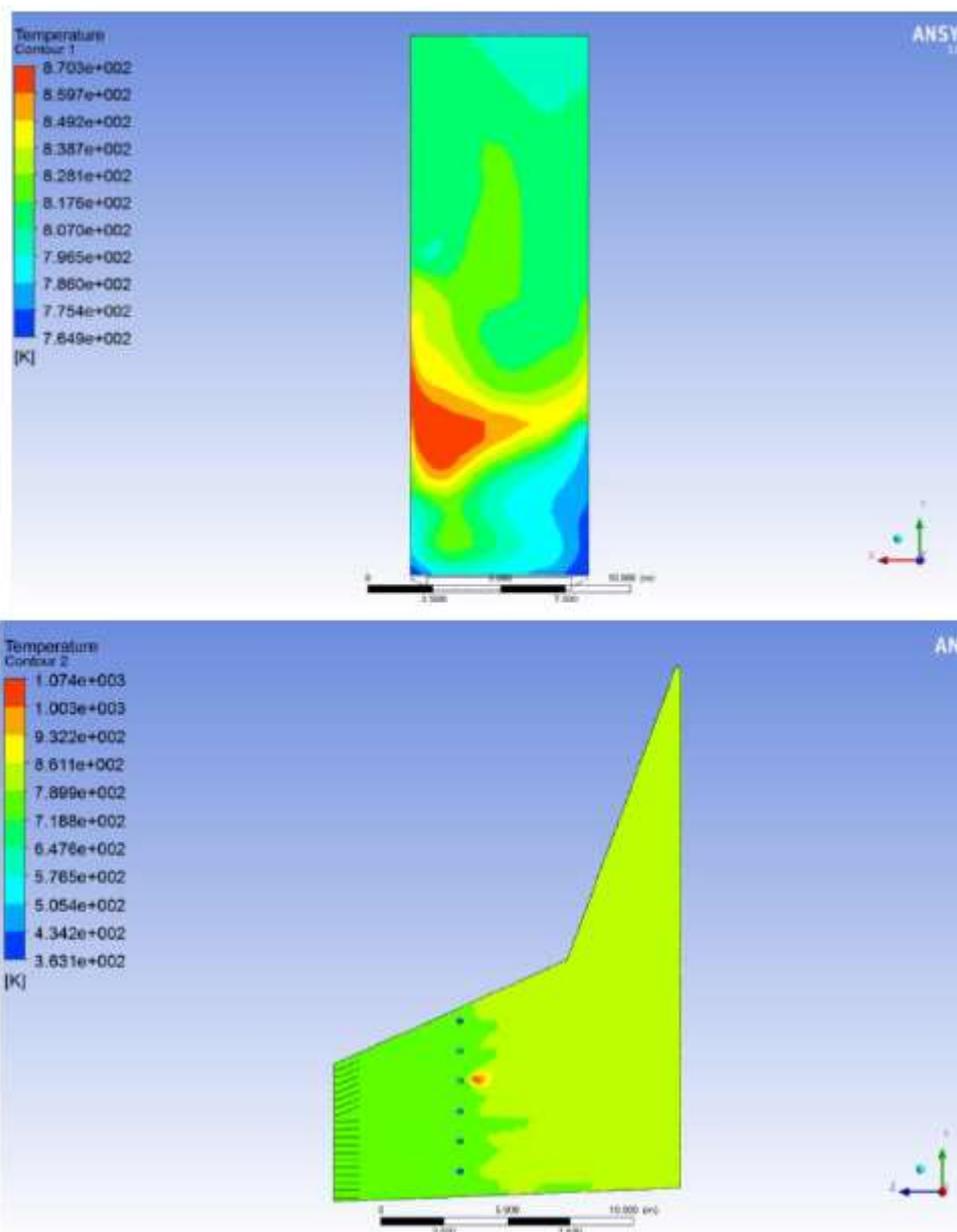


FIGURA 16. Resultado da simulação do caso 02. Fonte: Elaborado pelo autor(2017).

3.3 CONCLUSÃO

Com as duas simulações realizadas no ANSYS CFX® demonstradas anteriormente, com foco no objetivo que é um perfil na entrada da caldeira com valor máximo de 513°C (limite de resistência), a introdução de Duct Burners nas HRSB da TKCSA com base nas análises feitas neste trabalho e realizando um estudo mais detalhado dos mecanismos de distribuição das velocidades e de um projeto de posicionamento dos queimadores, principalmente pelo forte impacto que produzem no escoamento, pode-se chegar a viabilidade de sua instalação. Essas investigações incluíram, por exemplo, o estudo do escoamento a partir de diferentes ângulos das aletas e formato das mesmas.

Para finalizar o CFD se mostrou como uma ferramenta muito útil com resultados coerentes no estudo preliminar de projeto para a instalação de Duct Burners em uma HRSG, e os dados obtidos ao longo deste trabalho, poderão auxiliar o projeto preliminar de introdução de queima auxiliar na Caldeira de Recuperação estudada, facilitando a identificação das regiões em conflito e que precisam ser investigadas, reduzindo assim, o tempo total de projeto.

REFERÊNCIAS:

- A. Frassoldati, S. Firgerio, E. Colombo, F. Inzoli, and T. Faravelli, Determination of NOx Emissions from Strong Swirling Confined Flames with an Integrated CFD-based Procedure, *Chem. Eng. Sci.*, vol. 60, pp. 2851–2869, 2005.
- ABDU A.; SILVA L.F. F. DA ., “Estudo Numérico dos Modelos de Combustão Existentes no Software CFX-5.7.1” . Rio de Janeiro, 2005. 32p. Projeto de Graduação Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005.
- A. K. Tolpadi, S. K. Aggarwal, and H. C. Mongia, An Advanced Spray Model for Application to the Prediction of Gas Turbine Combustor Flow Fields, *Numer. Heat Transfer A*, vol. 38, pp. 325–340, 2000.
- FERREIRA D. J. O., SOSA ARNAO J. H., MOREIRA B. C., RANGEL L. P., PARK S. W., “Impacto da Radiação na Modelagem de uma Caldeira de Bagaço de Cana de Açúcar”, 2014.
- K. Kitagawa, N. Konishi, N. Arai and A. K. Gupta, *J. Gas. Turb. Power*, 125, 326 (2003).
- LORA, E. E. S., NASCIMENTO, M. A. R., “Geração Termelétrica- Planejamento, Projeto e Operação Volume 1”, Editora Interciência, 2004.
- MALISKA, C.R., “Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional” Segunda edição, 2004.
- Marie-Noëlle Dumont* , Georges Heyen, “Mathematical Modeling and design of an advanced once through heat recovery steam generator”, *Computers and Chemical Engineering* 28 (2004) 651-660.
- RODRIGUES, L. O., “Análise Paramétrica de Câmara de Combustão de Turbinas a Gás Utilizando CFD”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 244 p., 2009.
- S. Jo, H. Y. Kim, and S. S. Yoon, Numerical Investigation on the Effects of Inlet air Temperature on Spray Combustion in a Wall Jet Can Combustor Using the ke Turbulence Model, *Numer. Heat Transfer A*, vol. 55, pp. 1101–1120, 2008.
- VIEIRA, A. L., Estudo em CFD da Queima Suplementar em Caldeiras de Recuperação, Itajubá, 109p. Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2015.
- VYTLA, V. V. S. K., CFD Modeling of Heat Reco CFD Modeling of Heat Recovery Steam Gener y Steam Generator and its or and its Components Using Fluent. University of Kentucky, 2005.

Capítulo 2



10.37423/220605966

ESTUDO DO DESEMPENHO DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA TURBOALIMENTADO E COM RESTRIÇÃO DA ENTRADA DE AR

Marcelo Fortuoso

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Campus Curitiba*

José Antonio Andrés Velásquez Alegre

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Campus Curitiba*

Gabriel Batista Alves

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Campus Curitiba*

Lucas Volkmann Cardoso

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Campus Curitiba*

Lucas de Almeida Mathias

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
- Campus Curitiba*



Resumo: O presente trabalho descreve a melhoria de rendimento conseguida em um motor que será utilizado na competição Fórmula SAE. O motor era originalmente alimentado com gasolina, sendo que o aumento de potência e torque foi obtido pela utilização de um turbocompressor e pela substituição da gasolina pelo etanol. Isso foi feito observando-se uma limitação imposta nas regras da competição, a qual exige que o ar de admissão passe por uma garganta de 19 mm de diâmetro, restringindo assim a quantidade de ar admitido. Essas modificações foram feitas em um motor Yamaha de 320cc, o qual foi posteriormente recalibrado para melhor aproveitar as alterações. Os resultados dos ensaios realizados em um dinamômetro de chassi mostram que os ganhos de potência atingiram 69% no seu valor de pico.

Palavras-chave: Motores de combustão interna, turbocompressor, downsizing, etanol.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho foi utilizar uma tecnologia de downsizing para melhorar o desempenho de um motor de combustão interna. A tecnologia escolhida para este estudo é a sobrealimentação com turbocompressor, e foi aplicada a um motor que originalmente é de aspiração natural e é alimentado por gasolina. O combustível escolhido para se utilizar após a sobrealimentação é o etanol, devido às suas propriedades antidetonantes superiores às da gasolina.

Após a modificação, o motor foi calibrado com o auxílio de uma injeção eletrônica programável. Foram realizadas medições em um dinamômetro de chassi das versões original (a gasolina, com aspiração natural) e turboalimentada (a etanol) do motor e os resultados foram comparados para avaliar as diferenças obtidas na potência e no torque do motor.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Com o avanço da tecnologia automotiva que trouxe a popularização dos motores sobrealimentados, os motores de ciclo Otto vêm sofrendo uma grande transformação que possibilita a obtenção de um melhor rendimento e menor emissão de poluentes quando comparado com os motores naturalmente aspirados. Atualmente os fabricantes de automóveis buscam produzir motores menores com alto desempenho e baixo consumo de combustível, uma tendência conhecida como downsizing, o termo no setor automotivo representa um motor com capacidade cúbica menor, porém com desempenho e torque semelhantes a um motor de maior capacidade cúbica. Para isso são empregadas soluções tecnológicas que visam o aumento de eficiência energética (PIELECHA, 2014), reduzindo o consumo de combustível e emissão de gases poluentes. As tecnologias aplicadas pelas empresas fabricantes envolvem geralmente o uso do turbocompressor, acompanhado de injeção direta de combustível. Conforme apontado por Gouzonnat et al.(2015), a redução do tamanho mais leve, já que o propulsor físico dos motores faz com que os veículos também fiquem é um dos seus itens de maior peso, assim consegue-se um melhor comportamento dinâmico do veículo.

Segundo Patil et al. (2017), o downsizing consiste no uso de um motor menor em um veículo e que forneça a potência de um motor maior por meio do uso de tecnologias recentes, esse termo geralmente se refere a motores de combustão interna que utilizam gasolina ou Diesel. A redução do tamanho do motor é um conceito e tendência dos fabricantes de motores para fornecerem motores eficientes e potentes. Turner et al. (2016) definem o downsizing como uma abordagem comprovada

para obter uma eficiência superior. Isto é obtido convencionalmente por um motor com volume menor, geralmente com um turbocompressor acionado pelos gases de exaustão.

Isenstadt et al. (2016) fizeram um estudo sobre o downsizing e as tendências tecnológicas para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de combustível e emissão de poluentes dos motores a gasolina. Esses autores chamam a atenção para os esforços dos fabricantes de turbocompressores para reduzir o turbo lag, como por exemplo o E-boost da empresa BorgWarner, que utiliza novas tecnologias um motor elétrico acoplado ao compressor, possibilitando com isso a pressurização do ar com rotações do motor mais baixas.

2.1 MOTOR COM TURBOCOMPRESSOR

Motores de combustão interna são máquinas nas quais a energia química do combustível é convertida em energia térmica por meio da combustão e parte desta energia é, então, transformada em energia mecânica (GANESAN, 1995; HEYWOOD, 1988; BASSHUYSEN e SHAFER, 2006). Com o objetivo de aumentar a massa de ar admitida no motor, surgiram os motores sobrealimentados (BRUNETTI, 2013). Nesses motores existem dispositivos que elevam a pressão no coletor de admissão acima da pressão atmosférica. Um desses dispositivos, largamente utilizado hoje pelos fabricantes de motores, é o turbocompressor, que utiliza os gases de escapamento para gerar trabalho na turbina, o qual por sua vez é usado para acionar o compressor e assim aumentar a pressão do ar de admissão. Bell (1997) ressalta que a sobrealimentação é uma forma eficiente de aumentar a massa de ar admitida no cilindro, possibilitando que o torque e a potência sejam ampliados (Figuras 1 e 2).

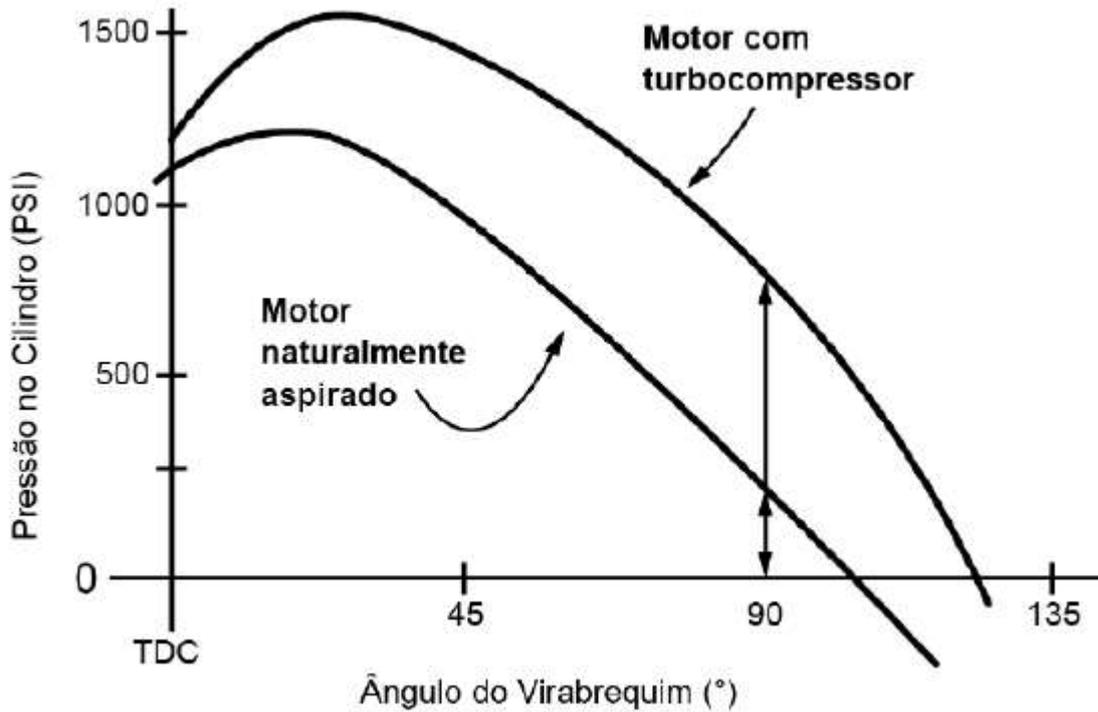


FIGURA 1 – Pressão no cilindro de um motor naturalmente aspirado e com turbocompressor. Fonte: Adaptado de Bell (1997).

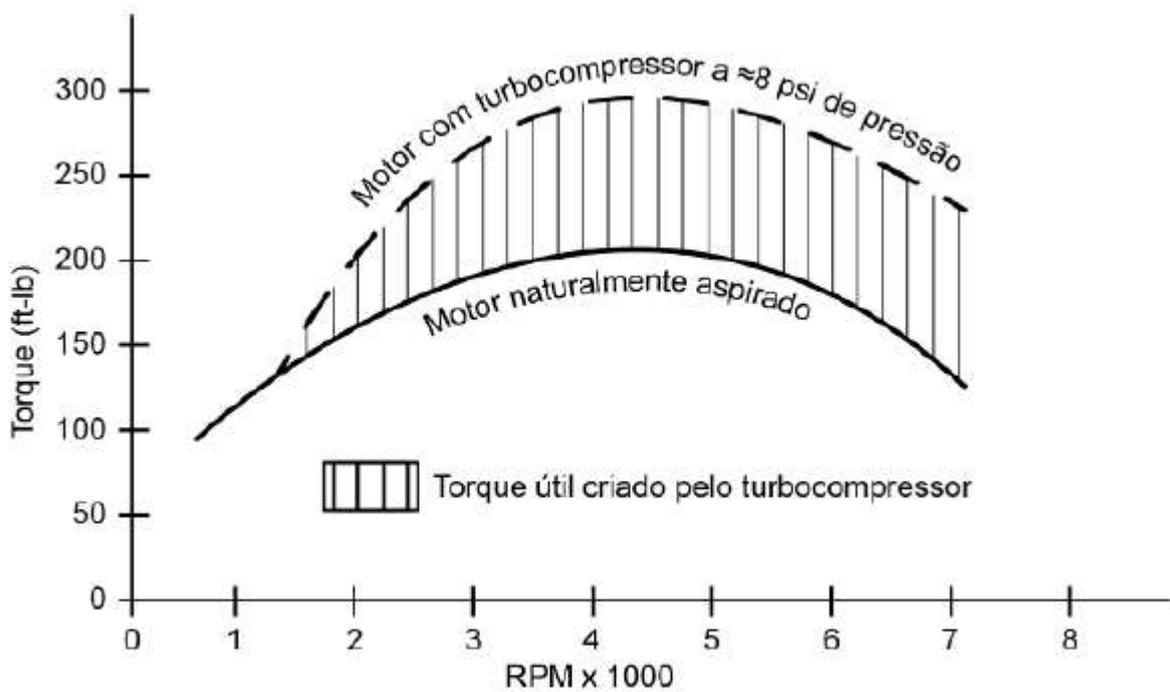


FIGURA 2 - Torque de um motor naturalmente aspirado e com turbocompressor. Fonte: Adaptado de Bell (1997).

A qualidade do combustível é fundamental para o funcionamento de motores sobrealimentados. Tanto a octanagem do combustível como a velocidade da queima são características que influenciam a ocorrência da detonação no motor (BELL, 1997).

Ricardo (1931) concluiu em seus estudos que quanto maior a compressão dinâmica proporcionada pelo turbocompressor, maior a necessidade de utilizar combustíveis de alta octanagem. Por isso, no presente trabalho optou-se pela utilização do etanol.

Os motores turboalimentados apresentam valores elevados de torque em rotações mais baixas em relação aos motores naturalmente aspirados. Como a sobrepressão do ar de admissão (em torno de 0,7 bar no motor em estudo) tende a manter-se constante ao longo de todo o domínio de rotações do motor, o acréscimo de torque também tende a ser o mesmo em todas as rotações. Essa característica torna os motores turboalimentados mais eficientes do que os motores aspirados, já que a demanda de torque pode ser satisfeita com baixas rotações do motor, enquanto que para o motor aspirado esse mesmo torque só estará disponível a rotações mais elevadas. Esse fator contribui para a redução do consumo de combustível (uma das principais metas do downsizing), uma vez que o motor pode se manter em baixas rotações com alto torque e, por consequência, consumindo menos combustível, dessa forma o motorista precisa acelerar menos, pois o torque já está disponível a baixas rotações (AHMED et al.,2018).

2.2 TURBOCOMPRESSOR

Turbocompressores são descritos por Pulkrabek (2003) como conjuntos formados por uma turbina e um compressor, este último usado para aumentar a pressão do ar admitido no motor, resultando em uma maior massa de ar e combustível nos cilindros durante cada ciclo. O ar e combustível adicionais resultam em uma maior quantidade de calor liberada durante a combustão e, conseqüentemente, em uma maior potência no eixo do motor. A energia disponível no fluxo de gases de escape é usada para movimentar a turbina que, por sua vez, movimenta o compressor aumentando a massa específica do fluido admitido antes de entrar em cada cilindro (HEYWOOD, 1988). A energia presente nos gases de escape não é aproveitada em um motor naturalmente aspirado. Por isso, o aproveitamento da energia dos gases de escape altera o balanço energético do motor, possibilitando o aumento de sua eficiência térmica (BRUNETTI, 2013).

2.3 RESTRITOR DE AR

O motor que é objeto de estudo neste trabalho destina-se a ser utilizado na competição denominada Fórmula SAE. As regras dessa competição permitem o uso de qualquer motor com volume deslocado de até 710 cm^3 , alimentado com gasolina ou com etanol. Para limitar a potência do motor, entretanto, é necessário utilizar um restritor de ar de 19 mm de diâmetro que será instalado no sistema de admissão, sendo que toda a massa de ar de admissão deve, primeiro, passar pelo restritor. O sistema pode ser visto na Figura 3, para o caso de motor turboalimentado.

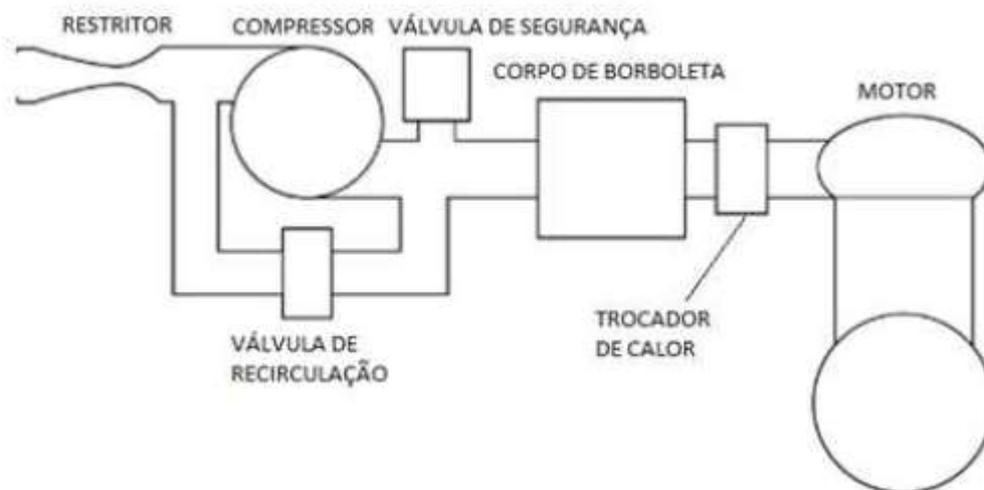


FIGURA 3 - Disposição do restritor de ar em um motor sobrealimentado. Fonte: Adaptado do regulamento da competição de Fórmula SAE.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com os dados do motor, a partir do volume deslocado pelos pistões, torque e rotações de trabalho, foi encontrado um turbocompressor que possui mapas compatíveis com tais características de funcionamento. O turbocompressor que apresentou compatibilidade foi o modelo RHB-31, da empresa japonesa IHI (Ishikawajima-Harima Heavy Industries). Este turbocompressor possui mancais de deslizamento e arrefecimento por líquido. As razões entre os quadrados dos diâmetros de entrada e saída do compressor e da turbina (trim) são de 42,8 e 55,5, respectivamente. Além disso, ele possui relação de área de passagem por raio da voluta (A/R) de 0,7m. O diâmetro do rotor do compressor é 24,3mm e o do rotor da turbina, 26,6mm. O modelo usado no motor possui válvula wastegate. Esse dispositivo é capaz de desviar os gases de escape da turbina, de forma a desacelerar o rotor do compressor e impedir que rotações muito elevadas sejam atingidas. No modelo utilizado, a sua abertura é controlada a partir de um atuador pneumático, que é acionado pela pressão na saída do compressor e pode ser regulado a partir da carga de mola em seu interior.

A partir da desaceleração do rotor do compressor em certa faixa de operação, é possível determinar a razão de pressão máxima desejada e evitar que o compressor entre em overspeed. A região de overspeed é caracterizada no mapa do compressor pelo limite de atuação na sua parte superior. Essa região é perigosa para os componentes do turbocompressor, uma vez que rotações excessivas (superiores a 180.000 rpm para este modelo específico) podem causar danos ao conjunto rotativo.

3.1 INJEÇÃO ELETRÔNICA PROGRAMÁVEL

A injeção eletrônica programável é uma unidade de gerenciamento eletrônico para motores que tem plataforma aberta, possibilitando controle total sobre os mapas de calibração e uso de periféricos. Nos dias atuais, o mercado disponibiliza diversas marcas de injeções eletrônicas programáveis com variados níveis de recursos, como por exemplo: Fueltech, Pandoo, Injepro, Protune e Megasquirt. A injeção eletrônica utilizada neste trabalho foi a Megasquirt MS2.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com o objetivo de comparar os modelos físicos (motor naturalmente aspirado vs.

turboalimentado) foi utilizado um dinamômetro de chassi modelo Servitec 2025. Com ele foram levantadas as curvas de plena carga de potência e torque, em função das rotações do motor. Para esta medição seria ideal a utilização de um dinamômetro de bancada, capaz de medir o torque no eixo do motor, todavia devido à indisponibilidade de tal equipamento utilizou-se um dinamômetro de rolos, o qual fornece o torque e potência nas rodas do veículo. Assim a medição inclui as perdas associadas à transmissão no sistema como um todo.

Para o ensaio no dinamômetro de rolos, é necessária a fixação e travamento da estrutura do veículo de forma a garantir a segurança e evitar acidentes. Os procedimentos aqui citados se repetiram tanto para os testes realizados com a motocicleta original como com o veículo-protótipo (denominado EK304). Para a fixação do veículo foram utilizadas quatro cintas em poliéster que satisfazem tanto a norma brasileira ABNT NBR 15637-1, como a europeia EN 1492-1, com coeficiente de segurança de 7:1 e com carga máxima de 2 toneladas. Essas cintas foram engastadas tanto no solo quanto na parte frontal e posterior da estrutura. Além disso, foi providenciado um ventilador capaz de simular as condições de resfriamento dos radiadores e do intercooler do motor com o veículo em movimento, já que os testes são realizados em um ambiente fechado sem fluxo de ar para resfriamento. A Figura 4 mostra o arranjo utilizado.



Figura 4 - Fixação do protótipo no dinamômetro. Fonte: Os autores.

A calibração do motor foi realizada com ensaios no dinamômetro, durante os quais foram levantadas curvas de potência e torque do motor, nas condições descritas na Tabela 1. Ao todo foram necessárias 60 ensaios com o protótipo e 9 com a moto em condições originais, sendo que 30 passagens foram necessárias para calibração de injeção e ignição do protótipo até atingir as condições de funcionamento esperadas.

TABELA 1 - Condições de testes no dinamômetro

Condições do motor	Condições de escoamento	Combustível
Condições originais (aspirado), acoplado à moto.	Sistema de admissão e exaustão originais	Gasolina E27
Naturalmente aspirado, acoplado ao protótipo EK304	Com restritor	Etanol
	Sem restritor	Etanol
Sobrealimentado, acoplado no protótipo EK	Com restritor	Etanol
304 (turbocompressor IHI RHB 31)	Sem restritor	Etanol

4. RESULTADOS

Apesar de não ter apresentado grandes efeitos na potência e no torque, os impactos da aplicação do restritor de ar no motor sobrealimentado não podem ser desprezados. A sobrealimentação aumenta significativamente a vazão mássica de ar através do motor. Com este aumento, a velocidade do escoamento e, conseqüentemente, a perda de carga aumentam. Assim, para fornecer a mesma vazão de ar ao motor faz-se necessário aumentar a razão de pressões no compressor (razão de pressão na saída por pressão na entrada), conforme pode ser visto na Figura 5, a qual compressor (fornecido pelo fabricante) com os regimes de trabalho restritor (linha sem contorno) e com restritor (linha com contorno evidencia que a linha correspondente à operação com restritor ating mostra o mapa do nas condições sem azul). Essa figura razões de pressão no compressor mais elevadas que as atingidas sem a presença deste dispositivo, o que significa que o turbocompressor deverá operar em rotações mais altas.

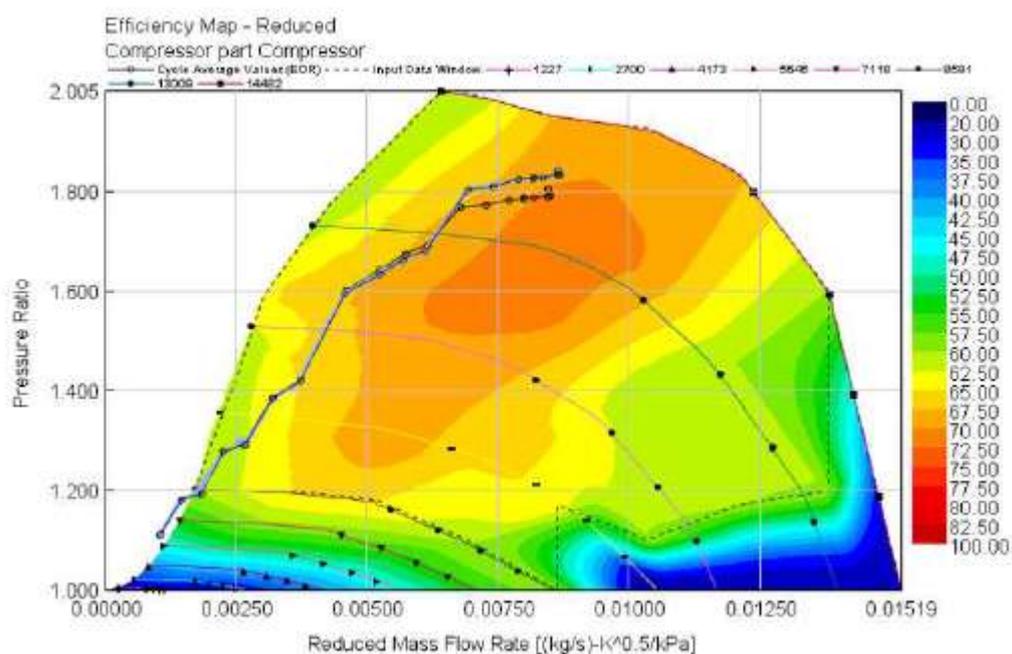


FIGURA 5 - Mapa do compressor mostrando os regimes de trabalho nas condições sem restritor (sem contorno) e com restritor (com contorno azul). Fonte: Os autores.

Já a Figura 6 mostra que para atingir 0,7 bar de pressão relativa no coletor de admissão, no caso de operação com o restritor se torna necessário limitar a abertura da válvula wastegate, o que leva à redução do diâmetro teórico de passagem desta válvula.

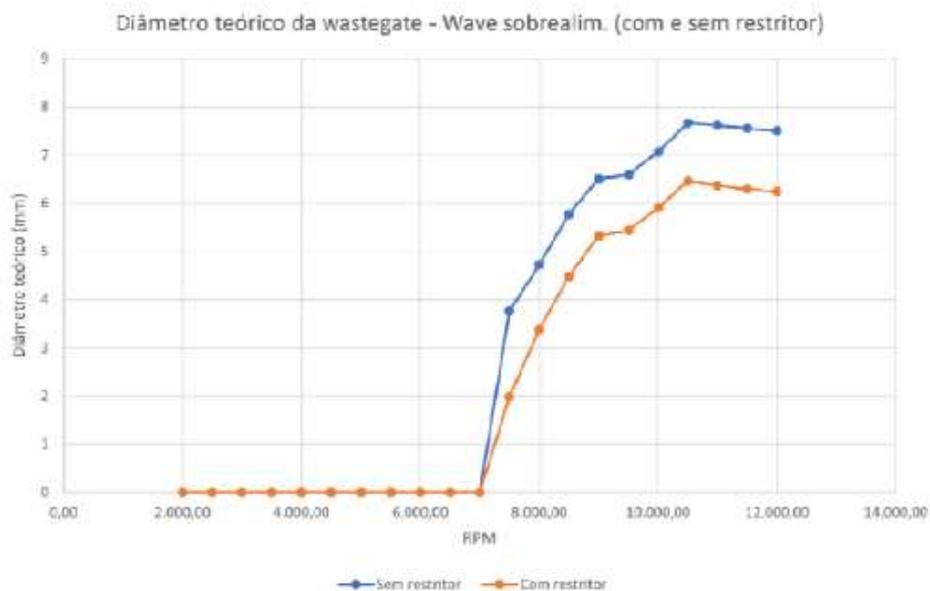


FIGURA 6 - Diâmetro teórico da válvula wastegate com restritor e sem restritor. Fonte: Os autores.

As Figuras 7 e 8 permitem comparar o desempenho do motor naturalmente aspirado com o do motor sobrealimentado. Observa-se que os ganhos após a montagem do turbocompressor foram significativos. O pico de potência foi aumentado em 69%, já o de torque, em 73%. Embora ganhos sejam perceptíveis em toda a faixa de rotação, nota-se que é a partir de aproximadamente 5000RPM que o compressor começa a gerar pressões significativas no sistema de admissão.

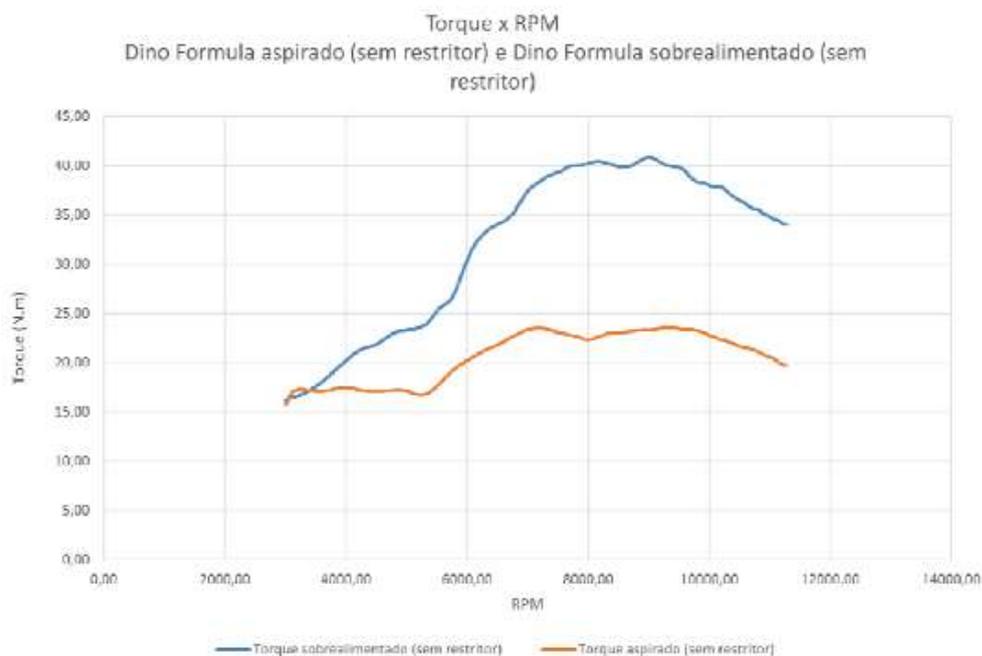


FIGURA 7 - Curvas de torque com motor sobrealimentado com turbocompressor sem restritor e motor naturalmente aspirado, aferidos em dinamômetro. Fonte: Os autores.

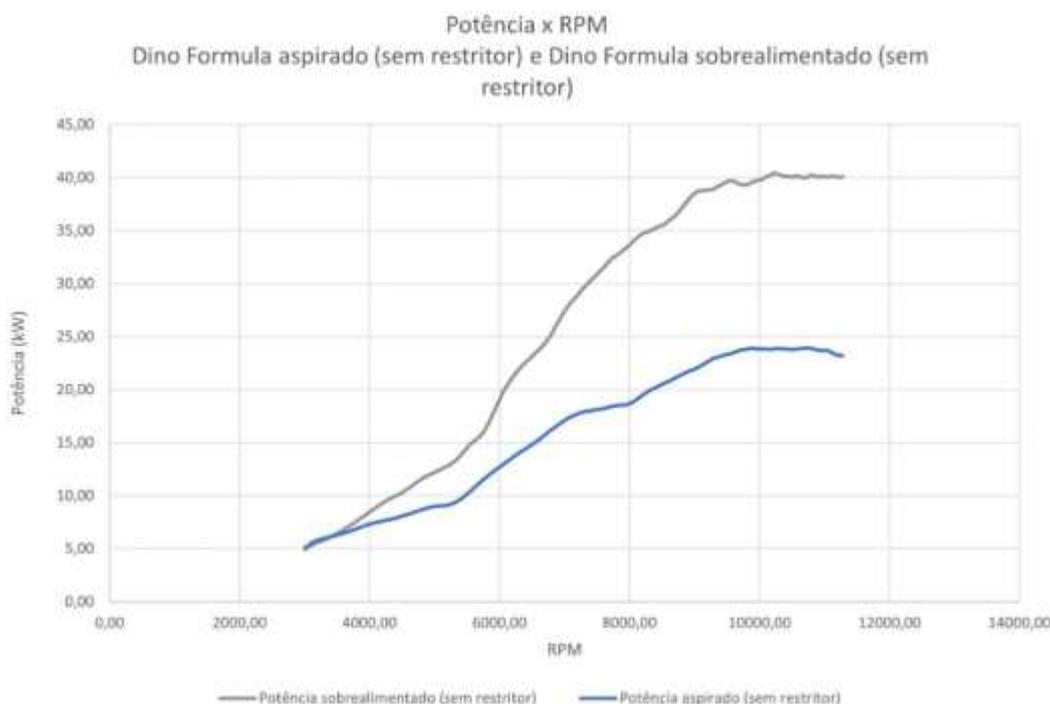


FIGURA 8 - Curvas de potência com motor sobrealimentado com turbocompressor sem restritor e motor naturalmente aspirado, aferidos em dinamômetro. Fonte: Os autores.

A partir das curvas experimentais de potência e torque da moto e do carro (Figuras 9 e 10) nota-se que o desempenho do motor no carro foi inferior ao da moto. Essa diferença pode ser explicada pelos seguintes fatores: o primeiro é o fato de que a eficiência do sistema de transmissão do carro é inferior à da moto. O sistema de transmissão do carro conta com a presença de duas rodas e pneus largos - contra uma roda na moto -, e um par de semi-árvores com juntas homocinéticas, conectados pelo conjunto diferencial e coroa, transmitindo a rotação até aos mancais da manga traseira de suspensão. O segundo fator é a mudança de alguns sistemas ligados ao motor, como a alteração do sistema de admissão e exaustão para possibilitar a adaptação do turbo (como por exemplo a modificação do coletor de escape, que para fins de empacotamento e eficiência de funcionamento da turbina tem um comprimento mais curto que o original, alterando o comportamento do motor em baixas rotações), e a calibração do sistema de ignição e injeção.

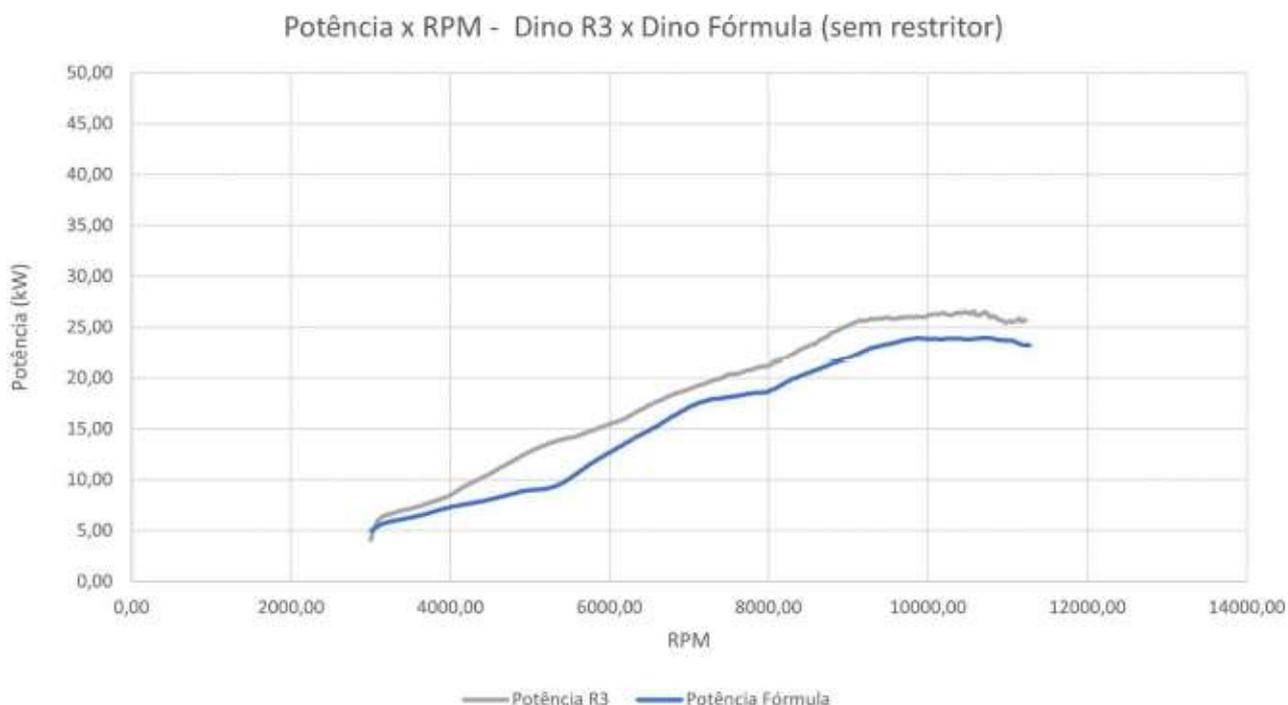


FIGURA 9 - Curvas de potência do motor naturalmente aspirado na moto (Yamaha R3 original) e no carro (sem restritor) aferidos em dinamômetro. Fonte: Os autores.

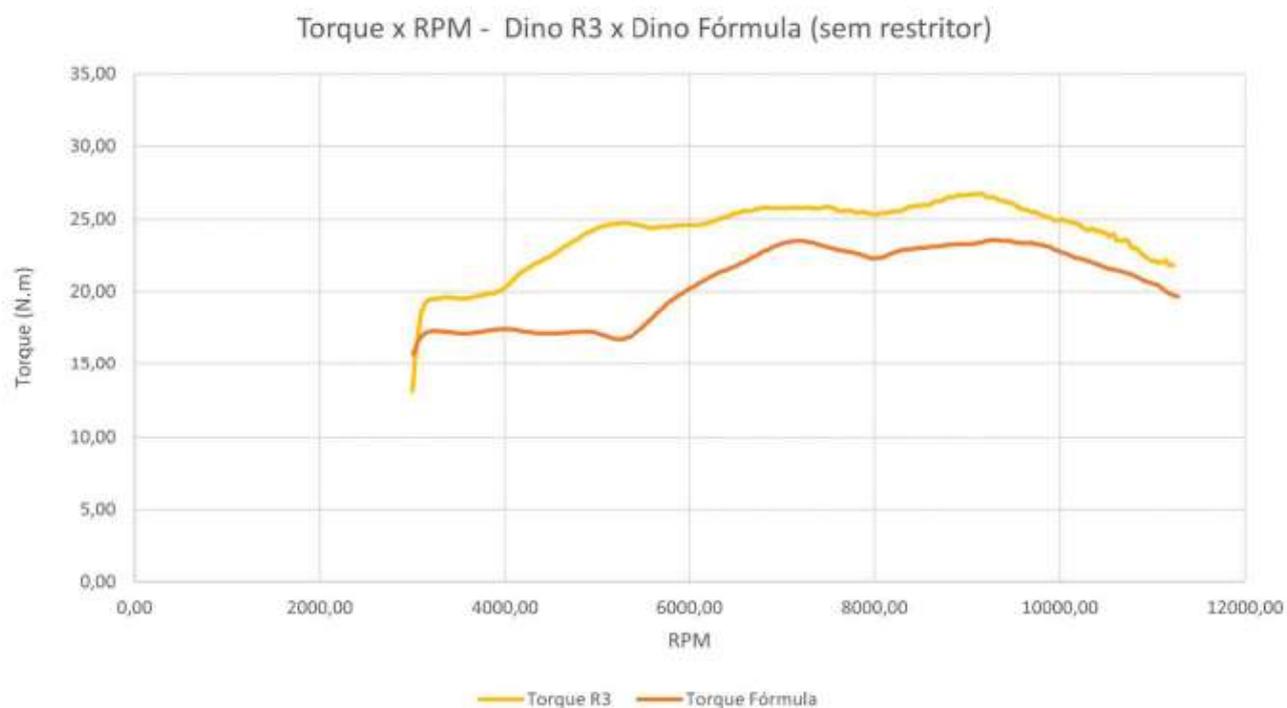


FIGURA 10 - Curvas de torque do motor naturalmente aspirado na moto (Yamaha R3 original) e no carro (sem restritor) aferidos em dinamômetro. Fonte: Os autores.

Ao se analisar as curvas com restritor (Figuras 11 e 12) percebe-se pouca influência da restrição de 19mm nos picos de torque e potência do motor. Isso é explicado pelo fato de que com o deslocamento

de 320cc e a rotação de trabalho não ultrapassando os 12000 RPM, a vazão mássica de ar consumida pela admissão do motor - que segundo o regulamento da competição deve passar inteiramente pelo restritor- não ultrapassa a velocidade do som nesta região. Segundo Fox et al. (2014), quando a velocidade de escoamento de um gás em um duto ultrapassa a velocidade do som, ocorre um bloqueio sônico no duto. O bloqueio sônico é um fenômeno que ocorre em dutos onde a velocidade do fluido é igual ou maior que a do som no meio, ao atingir esta velocidade o fluido atinge um ponto máximo de vazão mássica que não pode ser ultrapassada devido a um estreitamento da seção útil de passagem do fluido gerado pelo próprio gás. Como a velocidade nesta seção não atingiu Mach 1, não houve uma restrição na vazão mássica do ar de admissão.

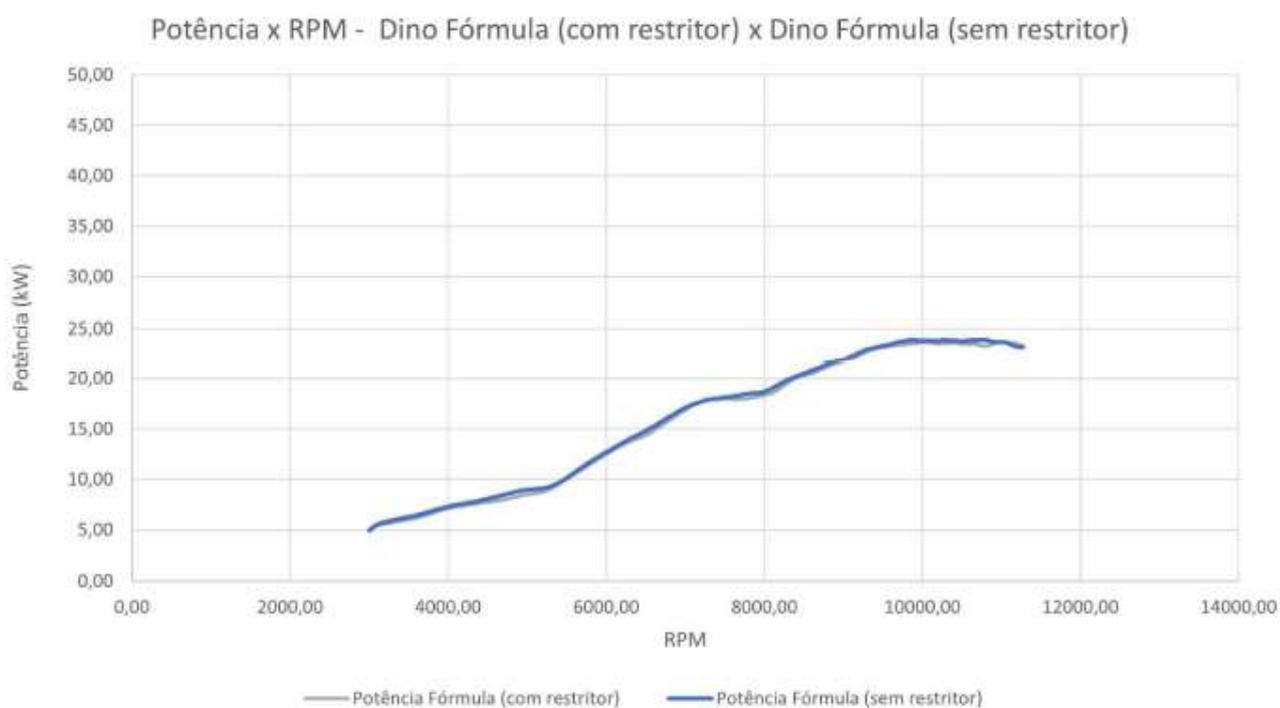


FIGURA 11 - Curvas de potência do motor naturalmente aspirado no carro (com e sem restritor) aferidos em dinamômetro. Fonte: Os autores.

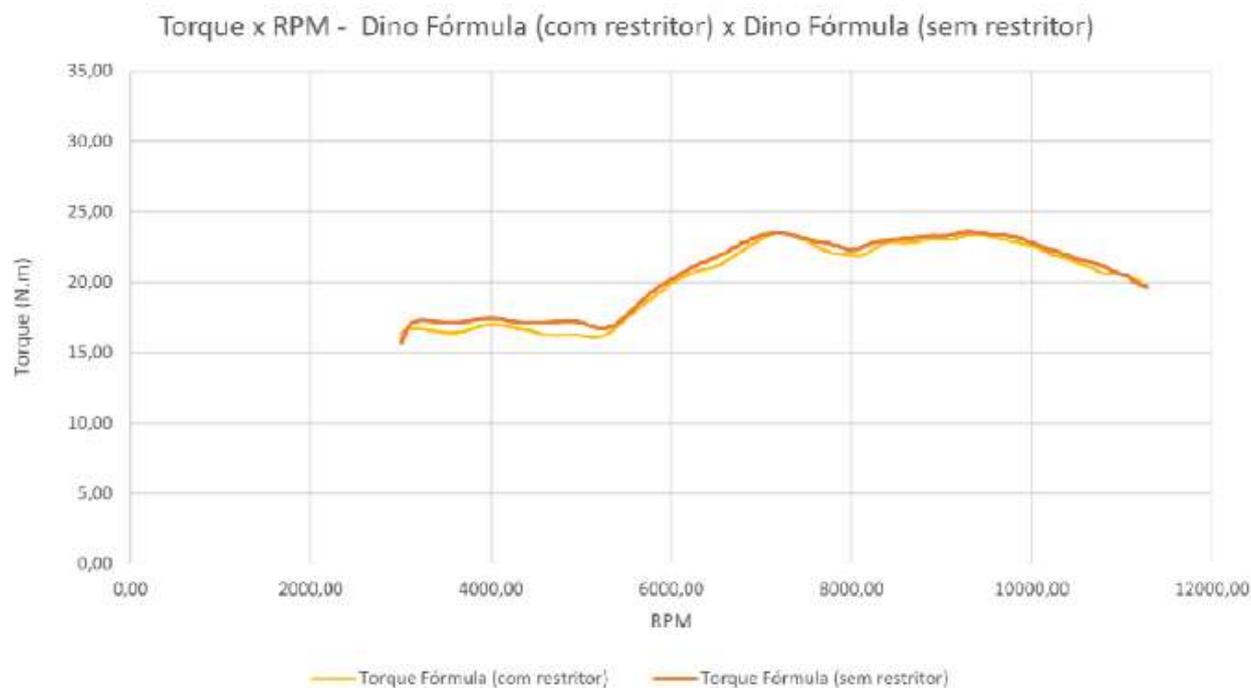


FIGURA 12 - Curvas de torque do motor naturalmente aspirado no carro (com e sem restritor) aferidos em dinamômetro. Fonte: Os autores.

5. CONCLUSÃO

A aplicação do restritor na admissão de ar do veículo - a fim de cumprir com o regulamento da competição - não resultou em perdas significativas de desempenho do veículo, seja ele na configuração naturalmente aspirada ou na sobrealimentada, principalmente pelo fato que a velocidade do ar admitido não ultrapassou a velocidade do som nesta região. Entretanto, foi possível notar um aumento na rotação de trabalho do turbocompressor, a fim de compensar as perdas de carga geradas pela restrição.

Ao se comparar com turbocompressor foi capaz o desempenho nas condições originais, a aplicação do de gerar ganhos expressivos no desempenho do motor (ganhos de 69% na potência e 73% no torque).

REFERÊNCIAS

- AHMED, A.; WAHAB, M.S.; RAUS, A.A.; KAMARUDIN, K.; BALA, A.S.; RAMLI, M.B. Mechanical and thermal issues in downsized engine: A review. *International Journal of Engineering & Technology*, 2018.
- BASSHUYSEN, V.; SCHAFFER, R.; *Modern engine technology*, SAE, 2006.
- BELL, CORKY. *Maximum boost: Designing, testing and installing turbocharger systems*. Bentley Publishers, 1997.
- BLAIR, GORDON P. *Design and simulation of four stroke engines*. SAE International, 1999.
- BRUNETTI, F. *Motores de combustão interna*, V.1, 2013.
- FOX, R.; PRITCHARD, P.; MITCHELL, J. *Introdução a mecânica dos fluidos*. 9a. ed. [s.i] LTC, 2014.
- GANESAN, V. *Internal combustion engines*, 1995.
- GOUZONNAT, F.; MERCKX, P.; CAZENAVE, R.; LE COQ, S.; DEMESSE, F. *New challenges encountered when designing highly downsized gasoline engines*. PSA Peugeot Citroen, FRANÇA, 2015.
- HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engines fundamentals*, New York, Macgraw-Hill, 1988.
- ISENSTADT, A.; GERMAN, J.; DOROBANTU, M.; BOGGS, D.; WATSON, T.; *Downsized, boosted gasoline engines*. the international council on clean transportation 2016.
- PATIL, C.; VARADE, S.; WADKAR, S. *A review of engine downsizing and its effects*. *International journal of current engineering and technology*, 2017.
- PIELECHA, I.; CIESLIK W.; BOROWSKI P.; CZAJKA J.; BUESCHKE W.; et al., *Reduction of the number of cylinders in internal combustion engines – Contemporary trends in downsizing*. *Combustion engines*. 159(4), 12-25. ISSN 2300-9896, 2014.
- PULKRABEK, W. *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*, 2^o Ed., 2003.
- REGULAMENTO Fórmula SAE Brasil 2019. [fsaonline.com](https://www.fsaonline.com). Disponível em: <<https://www.fsaonline.com/cdsweb/gen/DownloadDocument.aspx?DocumentID=64b861c2-980a-40fc-aa88-6a80c43a8540>>. Acesso em: 17 out. 2019.
- RICARDO, HARRY R. SIR. *The high-speed internal combustion engine*. Blackie & Son Limited, 1931.
- TURNER, J.W.; HU, B.; AKEHURST, S.; BRACE, C.; COPELAND, C. *Observations on and potential trends for mechanically supercharging a downsized passenger car engine: a review*. *Journal of automobile engineering*, 2016.
- VELÁSQUEZ ALEGRE, JOSÉ ANTONIO ANDRÉS. *Simulação dos processos e análise exérgica do motor de ciclo Diesel*. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica -Unicamp, 1993.

Capítulo 3



10.37423/220605984

ESTUDO DO RUÍDO MAGNÉTICO BARKHAUSEN E DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL NA RETIFICAÇÃO PLANA DO AÇO USI SAR 80T

Sandro Pimentel Mirres

Bruna Machado

Lucas Benini

Alex Pereira de Souza

*Centro Federal de Educação Tecnológica
CEFET/RJ – Unidade Itaguaí, Rod. Gov.
Mário Covas, s/n, Santa
Universidade Federal Fluminense,
PGMEC/UFF, Rua Passo da Pátria, 156,
Bloco D, Sala 415, CEP 24210-2
Universidade Federal Fluminense, UFF –
Departamento de Engenharia Mecânica,
TEM, Rua Passo da Pátria
Universidade Federal Fluminense, UFF –
Departamento de Engenharia Mecânica,
TEM, Rua Passo da Pátria*



Resumo. Os aços ARBL, de alta resistência e baixa liga, são materiais de grande importância para a indústria metal mecânica. Em particular, aço SAR 80T possui excelentes propriedades como alta resistência mecânica, elevada tenacidade e considerável resistência à fadiga e à corrosão. O processo de usinagem por retificação, sendo geralmente a última operação na fabricação de componentes usinados, tem grande importância na qualidade superficial do componente. Além disso, a rugosidade superficial também exerce papel importante na integridade superficial de uma peça, sendo um parâmetro associado às irregularidades da superfície de um componente. Essas irregularidades também podem ser associadas ao estado de deformação da superfície do componente, que, por sua vez, demonstra ser um fator prejudicial na medição de ruído Barkhausen. O objetivo deste trabalho é avaliar o ruído magnético Barkhausen e a rugosidade em amostras do aço 80T retificadas pelo processo de retificação plana tangencial. Foram preparadas amostras do aço 80T, que foram posteriormente retificadas empregando-se um rebolo de Al₂O₃, variando-se a velocidade de avanço. Após, foram medidas as rugosidades, RMB e análise metalográfica. ruído.. Os resultados revelam relações esperadas entre a velocidade de avanço na retificação e os ruídos Barkhausen, como também em relação às rugosidades.

Palavras-chave: Aço USI SAR 80T, Retificação, Rugosidade, Metalografia, Ruído magnético Barhausen.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o aumento da utilização de materiais alternativos com melhores propriedades mecânicas em produtos pela indústria está intimamente relacionado ao custo e à “eficiência/peso”. Com o emprego de materiais alternativos na fabricação de componentes, persegue-se obter resistência similar com baixa densidade ou então aumentar-se a resistência de materiais tradicionais com tratamentos térmicos e adição de elementos de liga (Benini, 2017). Neste contexto se inserem os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), que se tratam de aços carbono com uma pequena quantidade de elementos de liga (menos de 8% em peso) utilizados para obtenção de propriedades mecânicas superiores àquelas conseguidas nos aços de baixo carbono. Apesar de a composição química apresentar elementos de liga, este material não é considerado um aço baixa liga. Atualmente os aços ARBL, como o USI SAR T80, são empregados em linhas de tubulação, construção de embarcações, em aplicações *offshore*, na fabricação de vasos de pressão, em aplicações automobilísticas, tudo isso visando a redução de peso em montagens, projetos mais eficientes, com desempenho melhorado e reduções atraentes nos custos de fabricação (Viana, 2015).

No que tange a custos de fabricação, dentre os processos de usinagem, a retificação é um processo de fabricação empregado normalmente para acabamento final de componentes de precisão em uma ampla gama de indústrias, visando atingir alta qualidade de superfície usinada (Caraguay e Xavier, 2021). A retificação é empregada, via de regra, quando as tolerâncias dimensionais e geométricas da peça são reduzidas e a qualidade de superfície exigida é elevada, e o material usinado é demasiado duro para a usinagem convencional. A retificação é aplicada principalmente no acabamento de peças metálicas, podendo ser utilizada na usinagem de cerâmicas, vidros, plásticos e pedra (Benini, 2011).

O resultado de trabalho de retificação é verificado pelas características macro e micro-geométricas do componente, a influência térmica sobre o mesmo, bem como pelo consumo do rebolo e do fluido de corte (König, 1989). Há várias técnicas destrutivas e não destrutivas para avaliar os componentes usinados. Dentre as técnicas não destrutivas destaca-se o ruído magnético Barkhausen (RMB), que é baseado na magnetização de materiais ferromagnéticos.

O magnetismo é um fenômeno relacionado à atração ou repulsão entre determinados materiais. Um campo magnético também pode ser produzido em material condutor, como por exemplo, em um solenóide, que é construído enrolando-se um fio longo numa hélice de passo curto e fazendo uma corrente elétrica percorrer esse fio. Na ausência de magnetização externa ou tensões mecânicas aplicadas, os domínios estão orientados aleatoriamente e, conseqüentemente, a resultante dos

momentos é nula. Na presença de um campo magnético, há uma alteração da estrutura dos domínios magnéticos, que origina uma nova posição de equilíbrio. Ao término do processo de magnetização, o material se transforma em um domínio único, que tende a alinhar-se na direção do campo aplicado (Sorsa *et al.*, 2018).

O método do RMB tem sido bastante estudado e a principal razão para esse interesse deve-se ao fato de se basear no efeito que a presença de tensões mecânicas e/ou descontinuidades microestruturais exerce no movimento das paredes dos domínios magnéticos em materiais ferromagnéticos, durante o processo de magnetização, sem causar danos à integridade do material, demonstrando grande potencial na aplicação em campo (Yu Den *et al.*, 2018). O efeito recíproco (efeito *Vilari*) faz com que uma tensão de tração aplicada ao material, que tende a alongá-lo, facilite a sua magnetização na direção de aplicação da tensão, enquanto que uma tensão de compressão tenderá a dificultá-la, conforme apresentado na Figura 1.

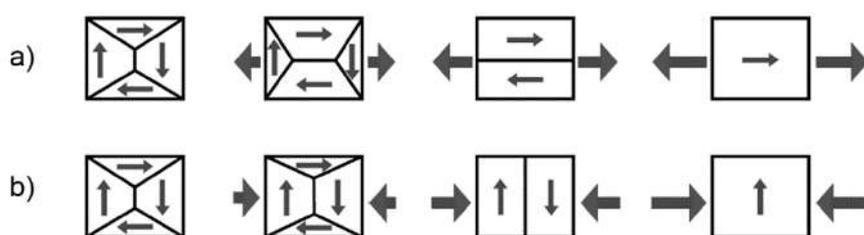


Figura 1 - Alinhamento dos domínios magnéticos devido à (a) tração e (b) compressão (Yu Den *et al.*, 2018).

No âmbito do processo de retificação, vários trabalhos já estudaram a medição do RMB em processos de retificação. Grijalba (2010) estudou a aplicação de um método de ensaio não destrutivo, baseado no RMB, na medição de falhas superficiais em aços; Thanedar (2017) usou o RMB para investigar integridade superficial, rugosidade, tensões residuais e danos térmicos por retificação; Sridharan (2017) fez um estudo de modelagem de integridade relacionado a temperaturas de retificação e usou o RMB para previsões de integridade superficial em rolamentos em aço; Machado (2018) fez um estudo comparativo das tensões residuais pelas técnicas de difração de raios-X e RMB em amostras de aço API5L X65.

Ocorre que ainda há vários estudos que podem ser efetuados considerando outros materiais ferromagnéticos empregados na indústria metal mecânica. É o caso do aço USI SAR 80T empregado para construção de caldeira e vaso de pressão, pois atende à faixa de resistência mecânica, temperatura e pressão de trabalho conforme a ASTM e as respectivas ASME e EN 10028. Esse material apresenta

versatilidade de desempenho em temperaturas que variam de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ e boa soldabilidade, considerando os processos de soldagem usualmente empregados na fabricação de caldeiras e vasos de pressão (eletrodo revestido, arco submerso e arame tubular). O USI SAR 80T pode ser fornecido tratado termicamente (normalizado ou temperado e revenido) e é produzido por laminação convencional. Trata-se de um aço liga utilizado principalmente onde se exige alta pressão e economia de peso. Ele apresenta características semelhantes ao aço ASTM 517 e utilizado principalmente nos processos de conformação mecânica e processos de soldagem, uma vez que é amplamente utilizado em aplicações estruturais. Por este motivo há poucos trabalhos repostados na literatura que abordam a usinagem do aço 80T (Usiminas, 2014).

Deve-se destacar que a rugosidade é uma das características mais importantes qualidade superficial. Este parâmetro tem efeito significativo na vida em fadiga do material e, na maioria das vezes, é o último critério de aceitação do produto fabricado. No processo de usinagem por retificação, as rugosidades decorrentes são saliências presentes na superfície usinada causadas. A rugosidade é diretamente influenciada pelas variáveis do processo e pelas características do material retificado (Ganev e Pala, 2008). Além disto, a técnica do RMB, sendo um método não destrutivo para avaliação de alterações microestruturais no componente usinado, pode ser utilizada em aplicações industriais com mais facilidade, quando comparada a técnicas de laboratório tais como a avaliação por ultrassom e por difração de raio X.

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho é avaliar o ruído magnético Barkhausen e a rugosidade superficial em amostras do aço USI SAR 80T retificadas pelo processo de retificação plana tangencial. Visa-se entender a correlação dos resultados de RMB com os resultados de qualidade de superfície usinada ao variar-se a velocidade de avanço do processo de retificação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho foi o aço USI SAR 80T, fornecido na forma de chapa de 80 mm de espessura, borda não aparada e não oleada e aparência de superfície comercial. As composições químicas e as propriedades mecânicas informadas pelo fabricante estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do aço SAR T80.

C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Nb	V	Ti
0,13	0,26	1,01	0,020	0,002	0,039	0,01	0,004	0,036	0,014
Cr	Ni	Mo	Sn	N	B	Ca	Sb	Pb	
0,66	0,01	0,54	0,001	0,0036	0,0020	0,0014	0,00	0,002	

Limite de Escoamento: 777 N/mm²; Limite de Resistência: 853 N/mm²; Alongamento: 22%

Tratamento de têmpera a 910°C com tempo aquecimento 126 minutos e tempo de enchaque de 30 minutos

Tratamento de revenimento a 600°C com tempo aquecimento 189 minutos e tempo de enchaque de 30 minutos

Tabela 2 - Preparação e dimensões das amostras de aço SAR 80T.

Fresamento	10,05 x 80,05 x 160,05 mm	10,3 x 80,3 x 160,3 mm	10,05 x 45,05 x 100,05 mm
Lapidação	10,00 x 80,00 x 160,00 mm	10,00 x 80,00 x 160,00 mm	10,00 x 45,00 x 100,00 mm

As amostras (1 e 2) foram preparadas por usinagem, conforme Tabela 2, no Laboratório de Tecnologia Mecânica (LTM/UFF), empregando o processo de retificação plana tangencial. A retificação das amostras utilizou a retificadora tangencial Benner modelo RVK-4515. A ferramenta de corte foi um rebolo de óxido de alumínio (Al₂O₃), com granulometria 46, dureza K, com ligante vitrificado, com 205 mm de diâmetro externo, furo interno de 31,8 mm e largura de 13,5 mm. Além disso, durante a operação, aplicou-se o fluido de corte óleo solúvel biodegradável HYDRIA-EP. A dressagem do rebolo foi efetuada com dressador de ponta única de diamante, realizada antes da retificação das amostras. Foi empregado um grau de recobrimento de 3,7 µm e profundidade de dressagem de 15 µm. Os parâmetros de corte são apresentados na Tabela 3.



Figura 2 – Processo de retificação plana da amostra de aço 80T.

Tabela 3 - Parâmetros de corte empregados nos ensaios.

Amostra	Profundidade de corte (a_p) [mm]	Velocidade superficial da peça (V_w) [m/min]
1	0,05	16
2	0,05	10

Para a medição da rugosidade das amostras, utilizou-se o rugosímetro Taylor Hobson Surtronic S25 na mensuração da rugosidade média (R_a). Foi empregado um comprimento de medição $L = 4,00$ mm e um comprimento de amostragem $L_c = 0,80$ mm. O apalpador possui uma ponta com raio de $5 \mu\text{m}$, oferecendo uma resolução de $0,01 \mu\text{m}$, com precisão de 2% do valor medido. As medições foram realizadas na direção longitudinal.

As análises do RMB foram realizadas no Laboratório de Ensaios Não Destrutivos (LEND/UFF), com um equipamento medidor Barktech, desenvolvido para fins acadêmicos por um grupo de professores da Universidade de São Paulo (USP). O RMB foi avaliado usando uma sonda com área de seção transversal de aproximadamente 15 mm^2 . Os ensaios foram realizados na superfície das amostras na condição como recebida e nas amostras em que foram realizados o lixamento e o polimento para metalografia. Para cada condição foi realizada 10 medições de RMB com 7000 repetições. A Tabela 4 apresenta os parâmetros utilizados na análise do RMB.

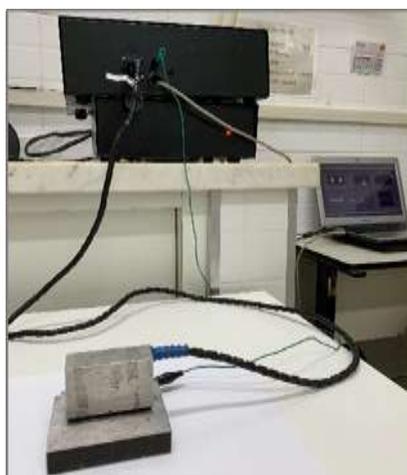


Figura 3 - Ensaio por RMB.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados na análise do RMB.

Frequência de amostragem [kHz]	350
Número de amostras na janela	7000
Frequência de excitação [Hz]	10/50
Amplitude da excitação [V]	3,5

A avaliação da microestrutura dos componentes retificados foi efetuada em amostras cortadas transversalmente à superfície retificada, lixadas e polidas e posteriormente atacadas com Nital (2%), por 2 s. As amostras foram preparadas em uma poltriz metalográfica com lixas 80, 100, 220, 320, 400, 500, 600 e 1200, seguido de polimento com pasta de diamante de 3 e 1 μm .

Os aspectos microestruturais das amostras do aço USI SAR 80Te AISI 304 foram revelados através de diferentes reagentes metalográficos, tal como apresentado na Tabela 5 e conduzidas em um microscópio óptico (MO) Zeiss, modelo Neophot 32.

Tabela 5 - Ataques metalográficos aplicados em microscópio óptico.

Liga	Reagente	Composição	Método de aplicação	Finalidade
SARS 80T	Nital	3% solução aquosa	Diretamente	Revelar a microestrutura
AISI 304	Ácido Oxálico	10% solução aquosa	Eletrolítico 3V / 50 s	

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta a microestrutura das amostras 1 e 2, de aço USI SAR 80T, no estado de como recebido que é temperado e revenido. A microestrutura é predominantemente martensítica com morfologia aparente em ripas. Essa microestrutura está de acordo com o que era esperado para um aço baixo carbono, baixa liga, como o USI SAR 80T quando temperado e revenido.

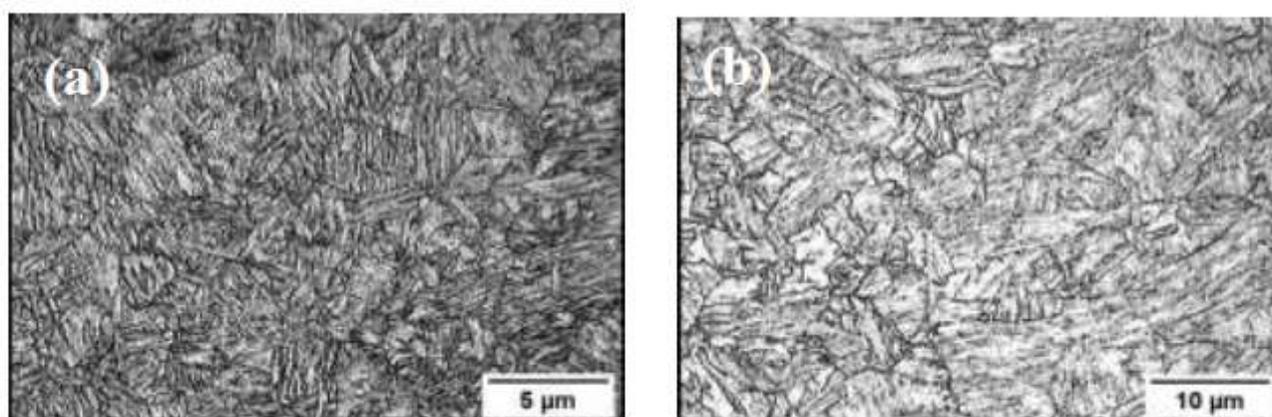


Figura 4. Microestrutura do aço USI SAR 80T como recebido com (a) 20X e (b) 40X.

Através os sinais obtidos pela medição do RMB, foi realizado um tratamento de sinal, de modo a entender os acontecimentos internos, estudando a envolvente (Figura 5). A envolvente representa o

perfil do sinal de RMB, na qual também são mostrados os parâmetros frequentemente utilizados que podem ser determinados, sendo eles: amplitude pico da envolvente e posição pico da envolvente. Estes parâmetros são sensíveis às propriedades microestruturais dos materiais pelo que seu estudo é importante.

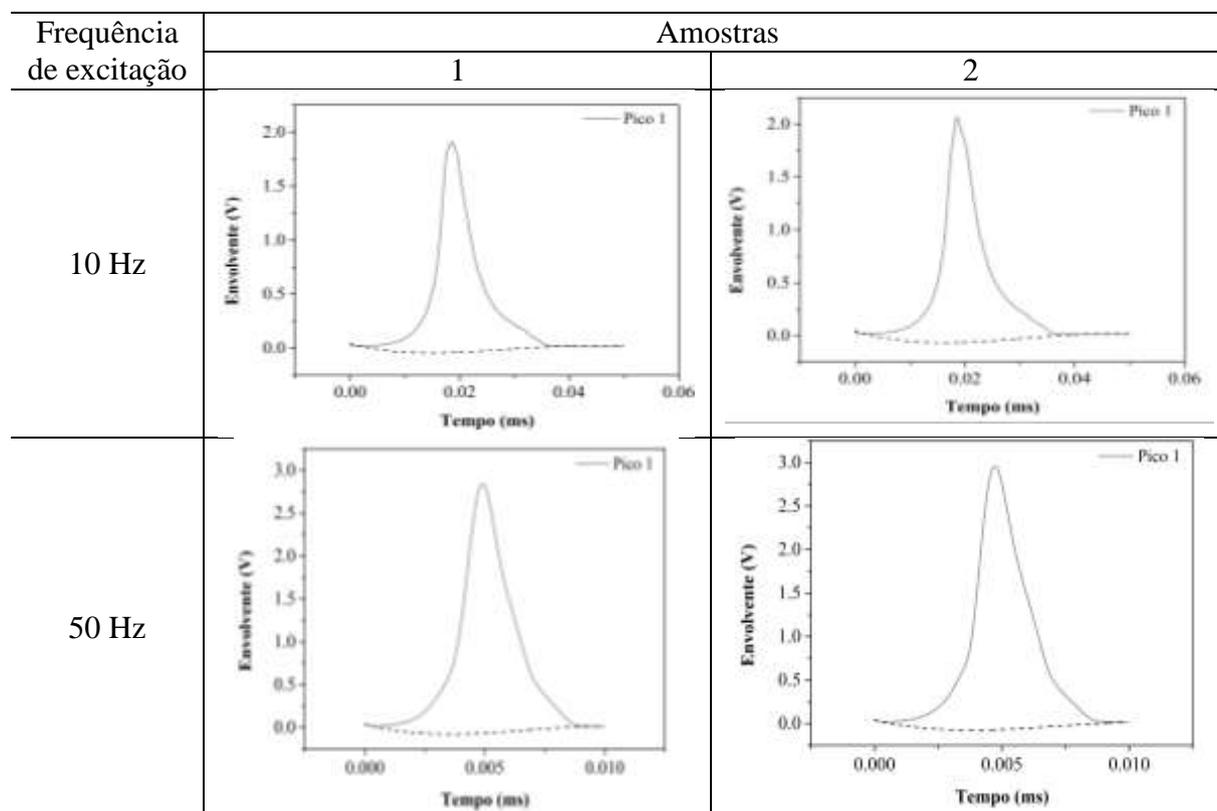


Figura 5 – Envolventes dos sinais no domínio do tempo.

Analisando a Figura 5, é possível perceber a relação que ocorre entre as envolventes das amostras e o aumento da frequência de excitação. O pico da amostra 1, que teve a maior velocidade de avanço utilizada, tem sua altura máxima (2,7V) com a maior frequência de excitação (50 Hz), possibilitando estudar as camadas mais superficiais da amostra, corroborando com resultados de Sorsa *et al.* (2018). Observando no domínio do tempo, a percepção do pico da envolvente ocorreu em maior tempo, utilizando a frequência de excitação de 10 Hz.

Já o pico da amostra 2, que teve a menor velocidade de avanço utilizada, tem sua altura máxima, ou seja, amplitude de voltagem (3V) com a maior frequência de excitação (50 Hz). Observando no domínio do tempo, a percepção do pico da envolvente ocorreu em maior tempo, utilizando a frequência de excitação de 10 Hz.

A Figura 6 os resultados de rugosidade Ra, Rz e Rt das amostras retificadas pelo processo de retificação plana tangencial. Observa-se na Figura 8 que a diminuição da velocidade de avanço exerceu influência significativa nos resultados de rugosidade Ra. Estes resultados corroboram com Marinescu *et al.*, (2007). De acordo com estes autores, na retificação plana, a diminuição da velocidade de avanço, mantendo-se as demais variáveis de entrada constantes, diminui a espessura e comprimento dos cavacos gerados no processo, diminuindo-se as forças e as temperaturas do processo (Konig, 1989). A diminuição da velocidade do avanço causa, portanto, uma diminuição da rugosidade da superfície usinada.

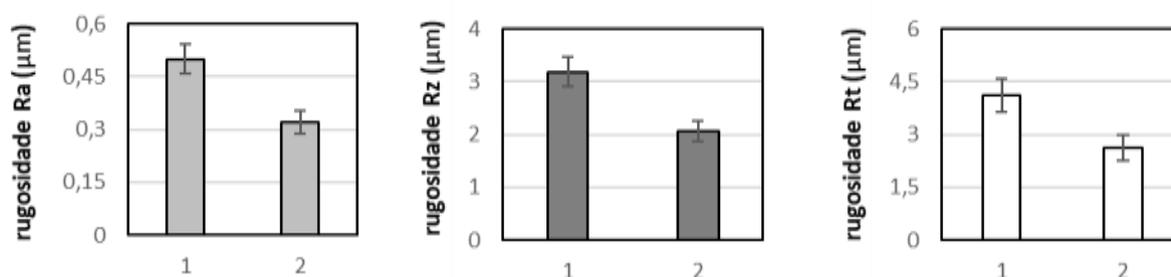


Figura 6 – Resultados dos parâmetros de rugosidade Ra, Rz e Rt.

Deve-se destacar que a rugosidade Ra representa uma média, sendo que o aparecimento de um pico ou de um vale não típico na superfície usinada pode mudar substancialmente o seu valor, não representando mais o valor médio da superfície. De acordo com Bet (1999) o parâmetro Rz é muito útil na comparação entre duas superfícies oriundas de um mesmo processo de fabricação. Observando-se a Figura 8, a velocidade de avanço teve a mesma influência nos parâmetros Rz e Rt. Além dos parâmetros Ra e Rz, Bet (1999) afirma que com o parâmetro Rt, que corresponde a distância entre o pico mais alto e o vale mais profundo dentro do percurso de medição, é possível se determinar as condições de pré-acabamento necessárias para operações de acabamento subsequentes. Isto por que o Rt mostra qual a quantidade de material que pode ser removida antes que a dimensão da peça atinja um limite particular (tolerância dimensional).

É interessante destacar que os resultados de rugosidade Ra atingidos na retificação plana tangencial do aço 80T trabalho estão no intervalo de rugosidade esperado para processos de retificação (Ra entre 0,025 e 6,3 μm) indicado por Barrios *et al.* (2011). Deste modo pode-se afirmar que o material abordado neste trabalho atende as condições de acabamento normalmente esperada em um processo de retificação.

4. CONCLUSÕES

Foram avaliados o ruído magnético Barkhausen e a rugosidade superficiais de amostras do aço 80T usinados pelo processo de retificação convencional plana tangencial. Com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que:

- A velocidade de avanço exerceu influência nos parâmetros de rugosidade superficial. Os menores valores de rugosidade foram alcançados com a menor velocidade de avanço empregada.
- Existe uma possível relação entre a velocidade de avanço e os resultados da medição de RMB. As maiores amplitudes de voltagem das envolventes dos sinais magnéticos foram percebidas utilizando a maior faixa de frequência de excitação (50 Hz).
- Os resultados de rugosidade obtidos neste trabalho pelo processo de retificação do aço USI SAR 80T estão dentro da faixa de rugosidade normalmente atingida em processos de retificação (entre 6,3 e 0,025 μm), demonstrando que este material pode atingir excelentes qualidades superficiais por meio de processos de usinagem.
- As microestruturas das amostras 1 e 2, cujo material é o aço de alta resistência, USI SAR 80T, são predominantemente martensíticas, com morfologias aparente em ripas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela agência brasileira CNPq, no âmbito do Projeto. Os autores agradecem à agência de fomento da bolsa de extensão, Colegiado de Engenharia Mecânica do CEFET/RJ – UnED Itaguaí e Departamento de Engenharia Mecânica TEM / UFF.

REFERÊNCIAS

Barrios, D. B. "Mecânica: métodos e processos industriais" - São Paulo: Fundação Padre Anchieta, Coleção Técnica Interativa. Série Mecânica, v. 5, 2011.

Benini, L. "Características das grandezas de processo e resultado de trabalho de retificação como função da composição de rebolos de Al₂O₃". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2011.

Benini, L. "Influência do teor de grãos microcristalinos de Al₂O₃ em rebolos convencionais na retificação de ADI". Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2017.

Bet, L. Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

Caraguay S. J., Xavier F. A. Influência da taxa de remoção de material específica sob os sinais monitorados de força de corte durante a retificação cilíndrica de mergulho. 11º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação 24 a 26 de maio de 2021, Curitiba, PR, Brasil.

Grijalba, f.; Armando, F. Desenvolvimento de Ensaio Não Destrutivo baseado no Ruído Magnético de Barkhausen para caracterização de tensões elásticas e deformações plásticas em aços. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2010.

König, W. Fertigungsverfahren band2: Shchleifen, Honen, Läppen. Band 2.VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf, 1980.

Machado, B. et al. 2018. "Residual stresses analysis in X65 steel by X-ray diffraction tensiometry and magnetic Barkhausen noise technique". In Proceedings of the 23st Brazilian congress on engineering and material science - CBECiMat; Foz do Iguaçu, Brazil.

Mayworm, R. C., Félix, R. P. B. C., Alvarenga, A. V; "Aspectos Metrológicos da Técnica Tempo de Voo da Onda Difrata (ToF) para Utilização em Ensaios Não Destrutivos (ENDs) por Ultrassom", Soldagem & Inspeção, Vol 21, pp. 406-416, 2016.

Sorsa A., Santa-aho, S., Wartlaunen, J., Suominen L., Vippola M., Leiviska, K., "Effect of Shot Peening Parameters to Residual Stress Profiles and Barkhausen Noise", Journal of Nondestructive Evaluation, v. 37, 2018.

Sridharan, U.; Bedekar, V.; Kolarits, F. M., 2017. "A functional approach to integrating grinding temperature modeling and Barkhausen noise analysis for prediction of surface integrity in bearing steels". CIRP Annals, Vol. 66, n. 1, p. 333-336, 2017.

Thanedar, A. et al., 2017. "Surface integrity investigation including grinding burns using barkhausen noise (BNA)". Journal of Manufacturing Processes, Vol. 30, p. 226-240.

Viana, L. A. F. C

Viana, L. A. F. C. "Influência de Diversos Ciclos de Aquecimento Subcrítico Sobre a Microestrutura e Propriedades Mecânicas Básicas de Um Aço de Alta Resistência e Baixa Liga Temperado e Revenido".

Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, UFOP – CETEC – UEMG, 2015.

Usiminas, Catálogo USIMINAS de Chapas Grossas, 2014.

Yu Deng, Zhe Li, Juan Chen, Xin Qi, “The effects of the structure characteristics on Magnetic Barkhausen noise in commercial steels”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, v. 451, PP. 276-282, 2018.

Capítulo 4



10.37423/220605997

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PROCESSO DE FURAÇÃO UMA REVISÃO

Geovane Amâncio Alves

Universidade Federal do Paraná

Claudimir José Rebeyka

Universidade Federal do Paraná

Rodrigo Dias

Universidade Tuiuti do Paraná

Dalberto Dias da Costa

Universidade Federal do Paraná



Resumo: *O Brasil é o sétimo país que mais consome energia no mundo representando 2,3% do consumo mundial, tendo o setor industrial como área de maior consumo representando 32,1%. As máquinas-ferramenta são responsáveis por uma grande parte deste consumo, pois são muito utilizadas no processo de manufatura de diversos produtos, principalmente o processo de furação que contribui com aproximadamente com 40% da transformação dos produtos, e como a furação é frequentemente aplicada ao desbaste e semiacabamento e os parâmetros de corte são grandes, o consumo de energia é enorme. Com isso a eficiência energética no processo de furação é um tema que vem sendo estudado a décadas e vem ganhando força nos últimos anos, por ser de interesse global reduzir o consumo de energia e em paralelo aumentar a produtividade, com o menor impacto ambiental. Para realização deste artigo de revisão bibliográfica buscou-se pesquisas recentes com análise qualitativa, assim criando um conjunto de documentos de diversos autores que contribuíram fortemente na área acadêmica e industrial sobre eficiência energética no processo de furação.*

Palavras-chave: Furação, Eficiência energética, Manufatura, Consumo de energia.

1. INTRODUÇÃO

Os setores industriais do mundo têm um alto consumo de energia, isso se deve à grande expansão do setor de transformação, principalmente pelas indústrias químicas, siderúrgicas, petroquímica, mineradoras e a produção de máquinas e equipamentos, BEN (2021).

Este consumo de energia terá um aumento de 40% até 2040, tal como prevista pela International Energy Agency, IEA (2021). Contudo a maior parte da energia produzida e consumida não provem de fontes renováveis causando um grande impacto ambiental. Segundo EPE (2020) o consumo mundial de energia foi de 2,4 TWh, no Gráfico 1, mostra a divisão dos 10 países com maior consumo no mundo, a China está em primeiro lugar representando 26,6 %, e o Brasil está em sétimo lugar com 2,3%.

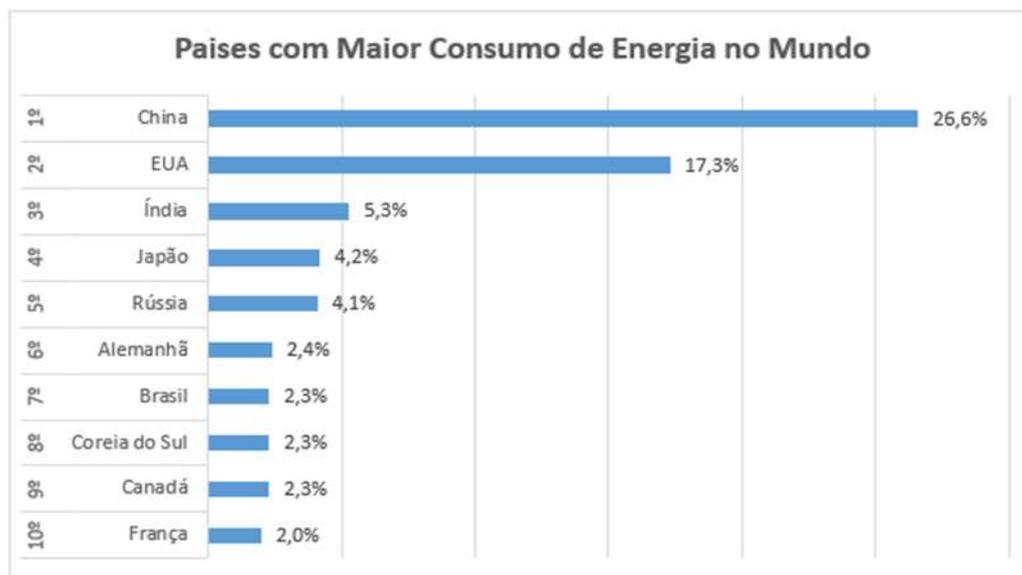


Gráfico 1: Consumo de energia elétrica no mundo. **Fonte:** Adaptado EPE (2020).

Como pode-se observar no Gráfico 2, do consumo total de energia no Brasil em 2020 o setor industrial liderou o ranking com 32,1%, (BEN, 2021). Este consumo de energia causa um grande impacto ambiental, gerando preocupação com a sustentabilidade.



Gráfico 2: Consumo no Brasil em 2020. **Fonte:** Adaptado BEN (2021).

Em diversas indústrias percebe-se que um dos principais problemas são os altos custos de fabricação, o que se torna um ponto estratégico para manufatura, (ZHU *et. al.*, 2019). O estudo da eficiência energética no processo de usinagem é um tema que vem sendo explorado pelo setor industrial buscando-se reduzir estes custos de fabricação. Segundo (SCHUDELEIT *et al.*, 2016) a melhoria da eficiência energética poupa recursos naturais e diminui os custos de produção, possibilitando a produção de bens mais baratos e competitivos, aumentando o desempenho econômico das empresas.

Ainda, segundo a Agência Internacional de Energia IEA (2021) *“a eficiência energética é a única fonte de energia que todo país do mundo tem em abundância, pois uma forte política de eficiência energética leva a resultados políticos que reduzem os gastos do estado em prol da redução da poluição e da proteção ambiental”*. Além disso, segundo SIHAG SANGWAN, (2020) o desenvolvimento sustentável, a segurança energética, o aumento do custo da energia e as compulsões políticas forçam as nações e a indústria a se empenharem pela eficiência energética.

Com isso, o estudo do monitoramento de consumo de energia em máquinas-ferramenta tem aumentado nos últimos anos, por se tratar de um tema complexo e ainda pouco explorado, pela dificuldade de se obter um método eficiente e confiável. Todavia, porém, alguns autores trazem em suas pesquisas os métodos utilizados e resultados atingidos, dando um norte para este tema e para futuros trabalhos voltados para esta área (RUIZ *et. al.*, 2020).

Além disso, inúmeras pesquisas têm mostrado que a eficiência energética dos processos de usinagem são muito baixa, geralmente inferior a 30%, (HAMEED *et. al.*, 2016). A furação faz parte do grupo de processos de fabricação por usinagem de geometria definida, sendo um dos processos mais utilizados na manufatura e uma das primeiras operações de usinagem executadas na história. Junto com o torneamento, é uma das operações mais importantes, envolvendo aproximadamente 30% de todas as operações de usinagem e é responsável por um grande consumo de energia industrial (STEPHENSON, DAVID A.; AGAPIOU, 2016).

De acordo com WANG *et. al.* (2019) os modelos de energia existentes dos processos de usinagem se concentram principalmente no torneamento ou fresamento, e existem poucos modelos de energia para a furação. Como a furação é frequentemente aplicada ao desbaste e semiacabamento e a taxa de remoção é elevada, o consumo de energia é enorme. Diante disso, torna-se premente estudar o consumo de energia durante o processo de furação.

Este artigo de revisão bibliográfica é formado pelos tópicos: metodologia de pesquisa, consumo de energia em máquinas-ferramentas, consumo de energia no processo de furação, impacto da geometria da broca e material no consumo de energia, Influência do cavaco no consumo de energia do processo de furação, fluido de corte no processo de furação e a influência da energia específica de corte no consumo de energia e conclusões.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este artigo consiste em uma revisão bibliográfica que procura discutir os diversos aspectos que envolvem a eficiência energética no processo de furação.

Para Gil (2018) as pesquisas descritivas têm como objetivo a descrição das características de determinada população ou fenômeno. Elas podem ser elaboradas também com a finalidade de identificar possíveis relações entre variáveis.

A revisão da literatura ajuda a identificar e avaliar o conhecimento existente para reconhecer as futuras áreas de pesquisa e para fomentar o interesse em tópicos específicos, (SIHAG e SANGWAN, 2020).

Para desenvolvimento deste artigo buscou-se referenciais de autores internacionais, com suas pesquisas publicadas nas bases de dados: Scopus, Science Direct, Web of Science e Google Scholar. Para tanto, utilizou-se a combinação das palavras-chave: energy consumption, drilling, manufacturing, energy efficiency e manufacturing chegando ao número de 2771 artigos, como descreve o Quadro 1.

Quadro 1: Quantidade de artigos encontrados nas bases de dados.

Base de dados da pesquisa	Número de artigos encontrados
Scopus	635
Science Direct	723
Web of Science	592
google Scholar	821

Fonte: O próprio autor.

Após a busca dos artigos nas bases de dados foi realizados os seguintes filtros:

- i. Pesquisas publicadas de 2010 a 2021;
- ii. Remoção dos artigos repetidos;
- iii. Alinhamento dos títulos em relação à pesquisa realizada; e
- iv. Leitura dos resumos.

Após toda a análise chegou-se ao número de 25 documentos. Para gerenciamento dos artigos foi utilizado o programa Mendeley Desktop. De acordo com o Quadro 2 ilustra-se que o método escolhido foi o levantamento bibliográfico.

Quadro 2: Métodos e técnicas utilizados na pesquisa.

Método	Tipo de Pesquisa	Técnica de Coleta de Dados	Técnica de Tratamento dos Dados
Levantamento bibliográfico	Qualitativo- Descritiva	Análise bibliográfica	Análise de conteúdo

Fonte: O próprio autor.

Frente ao objetivo estabelecido, esta pesquisa foi do tipo descritiva, uma vez que foram tratadas as características das variáveis estabelecidas.

Considerando o presente estudo, o método utilizado foi o qualitativo, pois o objetivo propõe a interpretação dos dados, análise do cenário, e assim obter considerações sobre o referido tema.

3. CONSUMO DE ENERGIA EM MÁQUINAS-FERRAMENTA

Na manufatura industrial, a matéria prima é transformada em produtos por meios de processos tecnológicos. Esta transformação na maioria dos casos é realizada por máquinas-ferramentas (MFs).

As MFs consistem basicamente em uma estrutura mecânica, guias e unidades de controle, (ZEIN, 2012).

Componentes elétricos em MFs são classificados em acionamentos elétricos, motor eixo-árvore, servo motores dos eixos lineares, sistema hidráulico, sistema de refrigeração e componentes auxiliares (JIA *et. al.*, 2021).

Segundo Bi e Wang (2012), os fabricantes raramente especificam o consumo de energia de uma MF, por conta da complexidade de realizar esta análise, de vários componentes elétricos e da quantidade de esforços que estes estarão expostos em trabalho. Acionamentos de máquinas, ou seja, motores elétricos, bombas e ventiladores usados em processos de fabricação, como usinagem, são responsáveis por mais da metade do uso de eletricidade da indústria de manufatura (SIHAG e SANGWAN, 2020). Dependendo da máquina, a energia real usada para a remoção do material pode variar de 15% a 70%. O restante é consumido por bombas, refrigerantes, centrífugas e outros equipamentos periféricos, tal como descrito por Schudeleit *et al.* (2016) e ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Diagrama sistemático de uma máquina ferramenta. **Fonte:** Adaptado de LI; KARA, (2011).

3.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA MÁQUINA-FERRAMENTA

De acordo com Behrendt e Zein (2012) a eficiência energética pode ser definida como sendo a redução da demanda de energia de produtos e serviços ou obter a mesma qualidade e o mesmo produto final com menos energia. A Agência Internacional de Energia, IEA (2021), considera a eficiência energética como a meta de reduzir a demanda energética de produtos e serviços, ou de obter a mesma qualidade e a mesma energia de uso final com um menor consumo. Para Wang *et. al.*, (2019), o padrão nacional chinês define a eficiência energética como a razão ou outra relação quantitativa entre a saída de produtos, energia, serviços ou desempenho e a entrada de energia.

O termo eficiência energético é universal e analisado de diferentes pontos de vista. Avaliar uma máquina-ferramenta em termo de eficiência não é um assunto bem definido, levando em consideração que há dificuldades para definir métricas confiáveis, pois as MFs têm vários componentes elétricos para realizar os movimentos desejados e para cada operação a energia consumida varia.

As características do processo de usinagem têm influência direta no consumo de energia em uma máquina-ferramenta também o correto dimensionamento do equipamento em relação aos motores tem um papel importante.

Segundo Liu (2013) a eficiência energética em MFs pode ser dividida em “eficiência energética de processo”, a qual pode ser expressa pela quantidade de peças produzidas dividida pela demanda de energia multiplicada; ou ainda em “Eficiência energética instantânea”, que descreve a relação de potência de corte e a potência de entrada nas maquinas, representada na equação 1, onde as variáveis η é a eficiência energética instantânea, P_c é a potência de corte e P_t é a potência de entrada dadas em Watts.

$$\eta(t) = \frac{P_c(t)}{P_t(t)} \quad (1)$$

Em alguns estudos utiliza-se o consumo específico de energia (SEC – Specific Energy Consumption), para realizar a avaliação do consumo de energia em máquinas ferramentas, A SEC é uma forma comum utilizada para estimar o consumo de energia e avaliar a eficiência energética cobrindo a relação de entre a potência e o volume de remoção de material, tal como proposto por Li e Kara (2011).

$$SEC = \frac{\text{Demanda de Energia}}{\text{Volume do material}} \quad (2)$$

Porém, após a criação desta equação, outros pesquisadores buscaram aprimorá-la incluindo outras componentes da máquina que dissipam energia, tais como a rotação do fuso, o sistema hidráulico e o sistema de refrigeração, tal como descrito por Sihag e Sangwan (2020).

A quantificação da eficiência energética é importante para analisar como a implementação de estratégias de economia de energia impactam o desempenho energético das máquinas-ferramenta. É evidente que apenas uma pequena porcentagem do consumo total de energia é usada para remoção de material, enquanto uma parte significativa é consumida em operações auxiliares ou desperdiçada. A eficiência energética de um processo de usinagem pode ser melhorada reduzindo o desperdício de energia e aumentando a porcentagem de energia de remoção de material (SIHAG e SANGWAN, 2020).

4. CONSUMO DE ENERGIA NO PROCESSO DE FURAÇÃO

Segundo (JIA *et. al.*, 2021) a furação é a principal tecnologia de processamento para o desbaste e semiacabamento de furos, entretanto, a sua eficiência é relativamente baixa, o que leva a enormes níveis de consumo de energia durante o processo.

De acordo com WANG *et. al.*, (2019) Um processo de usinagem completo geralmente consiste em três estados operacionais: o estado de inicialização, o estado ocioso e o estado de usinagem. A Figura 1 mostra um perfil geral de consumo de energia para um processo de furação, o qual é composto por três operações de furação com condições de corte constantes.

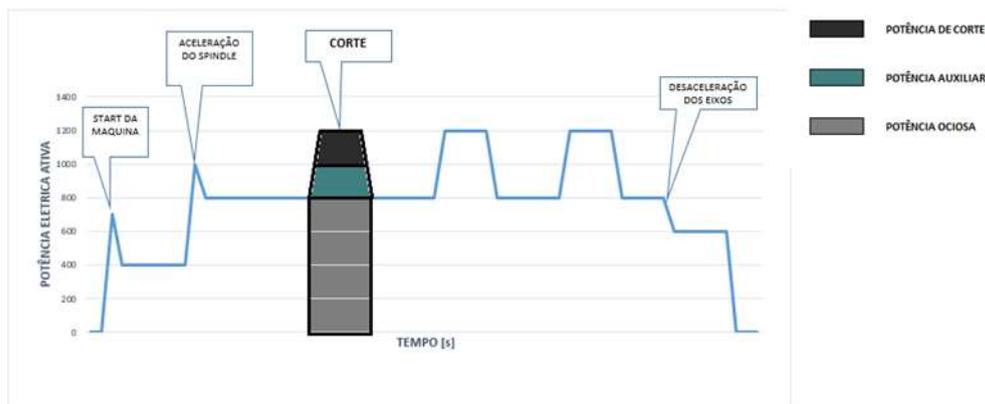


Figura 1: Perfil de energia em um processo de furação. **FONTE:** Adaptado de WANG *et. al.*, (2019).

Conforme visto nas seções anteriores, uma máquina-ferramenta possui vários componentes. Entretanto, como exemplifica a Equação 3, o consumo total de energia da máquina-ferramenta pode ser dividido em:

- Potência auxiliar ($P_{auxiliar}$), é definido pelos componentes da máquina, também envolve o desempenho da máquina e processo de usinagem.
- Potência ociosa (P_{idle}), é definida como o consumo de energia que inclui apenas a rotação do fuso.
- Potência de corte (P_{corte}), é a resultante do produto entre o momento torçor e a velocidade angular da ferramenta

$$P_{total} = P_{corte} + P_{idle} + P_{auxiliar} \quad (3)$$

O consumo de energia durante o processo de furação é causado pelo movimento relativo da ferramenta e material da peça. O acionamento rotativo e o acionamento de avanço são os principais modos desse movimento relativo. A modelagem de dois modos diferentes de movimento pode ser usada para calcular o consumo de energia de corte da broca durante a usinagem, Stephenson e Agapiou (2016)

4.1 INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA E MATERIAL DA BROCA SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA

A geometria é a parte cortante da broca e é definida de acordo com a operação desejada, material a ser usinado, bem como pela qualidade do produto a ser fabricado. Ela tem uma grande influência no consumo de energia no momento da usinagem.

Segundo BOEIRA (2010) a geometria da ferramenta de corte exerce influência na usinagem dos metais, mas especificamente na forma da zona de deformação da peça, distribuição de tensão, temperatura e esforço de corte. A Figura 2 contém uma ilustração da geometria de broca helicoidal com afiação cônica.

- O ângulo de saída influi decisivamente na força e potência necessária ao corte, no acabamento superficial, no calor gerado na saída do cavaco e conseqüentemente no consumo de energia.
- Segundo BOEIRA (2010) a variação do ângulo da ponta da broca pode diminuir ou aumentar a espessura do cavaco e conseqüentemente aumentar ou diminuir o comprimento atuante do gume principal, elevar a resistência mecânica e dissipação de calor também tem influência na direção de saída do cavaco e nas forças atuantes na broca.
- O ângulo de incidência tem a principal função evitar o atrito entre a superfície de corte e o flanco da ferramenta e permitir que gume penetre no material, realizando o corte.

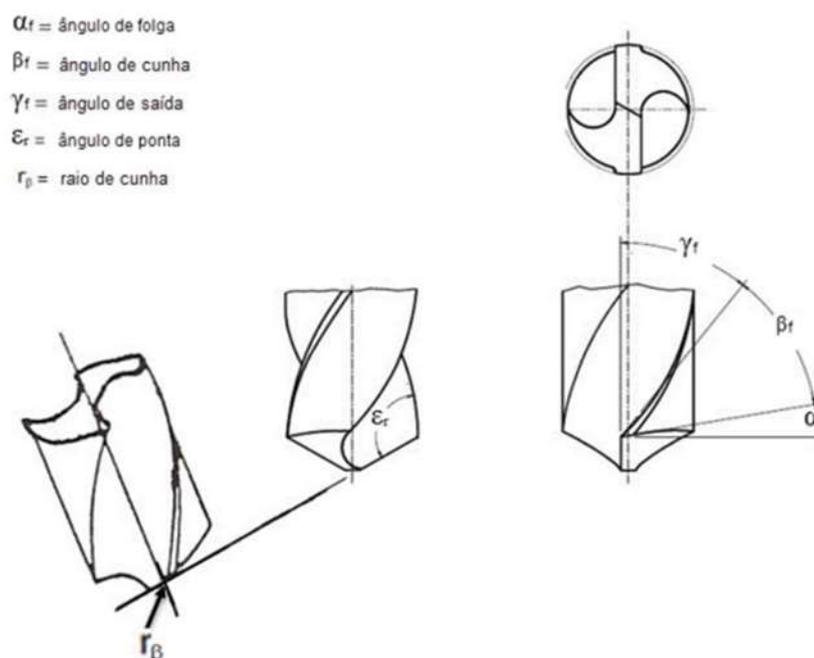


Figura 2: principais ângulo de uma broca helicoidal com afiação cônica {indicar fonte}

A geometria da broca tem relação direta com o consumo de energia, isso devido os esforços que atuam nas arestas da ferramenta, sendo que o consumo de energia é diretamente proporcional à rotação e

ao momento torçor, sendo este o produto da resultante da força de corte pelo diâmetro da broca, Stephenson e Agapiou 2016).

$$Pc = \frac{Mt \cdot n}{9,549} \quad (4)$$

A Equação 4 traz o cálculo para potência de corte **Pc** (W) no processo de furação, onde as variáveis **Mt** (Nm), representa o momento torçor e **n** (rpm) a rotação.

De um modo geral, o material da ferramenta exerce influência sobre o consumo de energia, pois para cada par ferramenta-peça existe um coeficiente de atrito. Entretanto, a seleção do material da broca raramente é guiada pela eficiência energética, mas sim pela vida da ferramenta. No caso específico de brocas uma alternativa interessante que vem sendo estudada é micro texturização de suas superfícies. Embora isso não represente uma mudança de material, as micro texturizações alteram o coeficiente de atrito, o que conduz a reduções da força axial e do torque e, por conseguinte, reduz o consumo de energia durante o corte. Em um estudo conduzido por Niketh e Samuel (2017) sobre a furação de peças da liga Ti-6Al-4V, observou-se uma redução de 10.68% na força de avanço e de 12.33% no torque.

4.2 Influência do cavaco no consumo de energia do processo de furação

O formato do cavaco tem uma influência direta na eficiência energética do processo de furação, isso devido ao atrito gerado entre a ferramenta e o material no momento da usinagem. Segundo KOKLU e COBAN, (2020) o processo será suave desde que os cavacos sejam quebrados e fragmentados em pequenos pedaços. Entretanto, à medida que o cavaco fica maior, torna-se mais difícil a sua evacuação por meio das canaletas da broca, o que resulta em um maior torque e, por conseguinte, em um maior consumo de energia. Além disso, o cavaco do tipo contínuo, e na forma de fitas, demanda a utilização de um equipamento auxiliar para promover a sua quebra com o intuito de facilitar o seu transporte e armazenagem.

4.3 FLUIDO DE CORTE NO PROCESSO DE FURAÇÃO E A SUA INFLUÊNCIA NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Fluidos de corte são largamente empregados nos processos de usinagem e têm como principais funções a lubrificação das superfícies da ferramenta e/ou o seu resfriamento. Quando a função de lubrificação

é alcançada, observa-se uma redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e peça e entre a ferramenta e o cavaco, reduzindo-se assim os esforços de corte e, por conseguinte, a energia consumida (Salles, 2001).

Na função de resfriamento não se observa uma influência direta sobre a energia consumida no corte, porém existe um efeito indireto que é o aumento da vida da ferramenta, Chinchani et al (2021). Isto conduz a um consumo menor de brocas para a produção de um determinado lote de peças, o que pode reduzir o consumo global de energia, quando se analisa toda a cadeia produtiva associada ao processo de furação.

Deve-se levar em consideração que 85% desses fluídos de corte são compostos por emulsões de óleo sintético / mineral (PEREIRA *et. al.*, 2019). Do ponto de vista econômico, sua utilização no setor automotivo implica em gastos entre 7 e 17% dos custos totais de fabricação, esses valores, no caso do setor aeronáutico, podem ser aumentados até atingir valores de 20-30% e seu tratamento de descarte supõe entre 2 e 4 vezes seu preço de compra (SHOKRANI, DHOKIA e NEWMAN, 2016).

Segundo Chinchani et al (2021) o processo de refrigeração MQL (Minimum Quantity Lubrication) observou melhor acabamento superficial, forças de corte mais baixas e, portanto, menor consumo de energia, maior vida útil da ferramenta com usinagem de nano fluido em comparação à usinagem a seco e usinagem com resfriamento por inundação.

No trabalho reportado por Khanna *et. al.*, (2021) foi realizado um estudo com o objetivo de avaliar a influência da aplicação, ou não, de fluido de corte sobre a eficiência energética e impacto ambiental no processo de furação de ligas de titânio. Os fluídos de corte analisados foram as emulsões (aplicadas por inundação) e o resfriamento por criogenia (CO₂ e N₂ líquidos). Segundo esses autores, a utilização de nitrogênio líquido teve um menor consumo de energia, menor impacto na saúde humana e uma redução do consumo de energia, Isso é atribuída à alta quebra de cavacos resultante da fragilização do material, e reduz o comprimento de contato do cavaco da ferramenta, como também relatado por Gross *et. al.* (2019).

Ainda segundo Khanna *et. al.* (2021) a refrigeração por inundação apresenta menor eficiência energética em relação aos criogênicos devido a energia consumida pelo motor da bomba de circulação do refrigerante, pois esta energia não contribui diretamente no corte.

A ausência de fluido de corte aumenta o atrito entre a interface ferramenta-cavaco na usinagem a seco, resultando em um valor mais alto de energia de corte, além disso, os cavacos mais longos observados para furação a seco resistem à evacuação devido ao atrito com superfície do furo. Isso resulta em maior torque e conseqüentemente maior consumo de energia na usinagem a seco. (PEREIRA *et. al.*, 2016).

4.3 ENERGIA ESPECÍFICA DE CORTE NO PROCESSO DE FURAÇÃO

A energia específica de corte (m_c) para furação é definida como a energia necessária para remover uma unidade de volume de material. Esta definição é fundamental para se determinar e comparar o consumo de energia em diferentes condições de corte, como também na furação de diferentes materiais, tal como reportado por Koklu e Coban (2020) e Sihag e Sangwan (2020). Ela pode ser calculada dividindo-se as forças de usinagem pela área do cavaco ou como a razão entre a potência de corte e a taxa de remoção do material, Stephenson e Agapiou (2016).

As condições de corte (velocidade e avanço), a técnica e tipo de lubrificação/resfriamento, assim como a geometria e material da broca exercem influência direta na energia específica para a furação de um dado material de peça.

Sob condições idênticas de corte, os materiais podem ser classificados em função da energia específica de corte, tal como relacionado na Tabela 1.

Tabela 1. Energia específica de corte (μ_c) para diferentes materiais.

Material	μ_c (kW/cm³/min)
Ferros fundidos	0,044-0,08
Aços (0 < R_c < 45)	0,065-0,09
Aços (50 < R_c < 60)	0,09-0,2
Aços inoxidáveis	0,055-0,09
Ligas de magnésio	0,007-0,009
Titânio	0,053-0,066
Ligas de alumínio	0,012-0,022
Ligas refratárias (a base de Ni e Co)	0,09-0,15
Latão	0,056-0,07
Ligas de cobre (R_B < 80)	0,027-0,04
Ligas de cobre (80 < R_B < 100)	0,04-0,057

Fonte: Adaptado de Stephenson e Agapiou (2016)

9. CONCLUSÃO

A furação é um processo de usinagem de extrema importância para o desbaste e semi-acabamento de furos, entretanto, a sua eficiência é relativamente baixa, o que leva a enormes níveis de consumo de energia. Com isso a eficiência energética no processo de furação é um tema que vem sendo estudado a décadas e vem ganhando força nos últimos anos, por ser de interesse global reduzir o consumo de

energia e em paralelo aumentar a produtividade, com o menor impacto ambiental.

A revisão bibliográfica apresentada neste artigo foi baseada em uma consulta às bases científicas internacionais, o que culminou em conjunto de artigos e sites especializados em eficiência energética e, mais especificamente em processos de furação de metais. Vários fatores influenciam o consumo de energia na furação, dentre eles foram destacados os seguintes: geometria e material da broca, formação do cavaco e o tipo e técnica de aplicação de fluido de corte. Foi discutido também que, sob condições de corte constantes, a energia consumida é determinada pelo tipo de material a ser processado e que eles podem ser classificados a partir da energia específica de corte.

Tendo em vista que a energia específica de corte não pode ser modificada durante o processo de furação, pois é uma propriedade do material da peça, resta à engenharia de processos escolher os parâmetros de corte que impliquem em um menor consumo de energia.

REFERÊNCIAS

- BEHRENDT, T.; ZEIN, A.; MIN, S. Development of an energy consumption monitoring procedure for machine tools. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 61, n. 1, p. 43–46, 2012.
- BEN. Balanço Energetico Nacional, 2021.
- BI, Z. M.; WANG, L. Optimization of machining processes from the perspective of energy consumption: A case study. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 31, n. 4, p. 420–428, 2012.
- BOEIRA, A. M. G. Modelagem e Simulação das Forças na Furação com Brocas Helicoidais a Partir de Dados Obtidos no Torneamento de Segmentos Cilíndricos. p. 190, 2010.
- CHINCHANIKAR, S.; KORE, S. S.; HUJARE, P. A review on nanofluids in minimum quantity lubrication machining. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 68, n. PA, p. 56–70, 2021.
- EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 - Ano base 2019. Empresa de Pesquisa Energética, p. 256, 2020.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2018.
- GROSS, D. et al. Investigation of the influence of lubricating oils on the turning of metallic materials with cryogenic minimum quantity lubrication. *Procedia CIRP*, v. 80, p. 95–100, 2019.
- GROOVER, M. P. *Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes and Systems*. 2016.
- GUO, Y.; LOENDERS, J.; DUFLOU, J.; LAUWERS, B; Optimization of energy consumption and surface quality in finish turning. *Procedia CIRP*, v. 1, n. 1, p. 512–517, 2012.
- HAMEED, S. et al. Electroplastic cutting influence on power consumption during drilling process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 87, n. 5–8, p. 1835–1841, 2016.
- IEA. *Key World Energy Statistics 2021*.
- JIA, S. et al. Energy modeling and visualization analysis method of drilling processes in the manufacturing industry. *Energy*, v. 228, p. 120567, 2021.
- KHANNA, N. et al. Energy Consumption and Lifecycle Assessment Comparison of Cutting Fluids for Drilling Titanium Alloy. *Procedia CIRP*, v. 98, p. 175–180, 2021.
- KOKLU, U.; COBAN, H. Effect of dipped cryogenic approach on thrust force, temperature, tool wear and chip formation in drilling of AZ31 magnesium alloy. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 9, n. 3, p. 2870–2880, 2020.
- LI, W.; KARA, S. An empirical model for predicting energy consumption of manufacturing processes: A case of turning process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. Anais. set. 2011.
- LI, W.; ZEIN, A.; KARA, S.; HERRMANN, C. An investigation into fixed energy consumption of machine tools. *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing - Proceedings of the 18th CIRP*

- International Conference on Life Cycle Engineering. Anais 2011.
- LIU, F. Content Architecture and Future Trends of Energy Efficiency Research on Machining Systems. *Journal of Mechanical Engineering*, v. 49, n. 19, p. 87, 2013.
- PEREIRA, O. et al. Cryogenic and minimum quantity lubrication for an eco-efficiency turning of AISI 304. *Journal of Cleaner Production*, v. 139, p. 440–449, 2016.
- PEREIRA, O. et al. Process performance and life cycle assessment of friction drilling on dual-phase steel. *Journal of Cleaner Production*, v. 213, p. 1147–1156, 2019.
- RUIZ, L. G. B. et al. A case study on understanding energy consumption through prediction and visualization (VIMOEN). *Journal of Building Engineering*, v. 30, n. August 2019, p. 101315, 2020.
- SCHUDELEIT, T. et al. The Total Energy Efficiency Index for machine tools. *Energy*, v. 102, p. 682–693, 2016.
- SHOKRANI, A.; DHOKIA, V.; NEWMAN, S. T. Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 21, p. 172–179, 2016.
- SIHAG, N.; SANGWAN, K. S. A systematic literature review on machine tool energy consumption. *Journal of Cleaner Production*, v. 275, p. 123125, 1 dez. 2020.
- STEPHENSON, DAVID A.; AGAPIOU, J. S. *Metal Cutting Theory and Practise*, 2016.
- WANG, Q. et al. Energy consumption model for drilling processes based on cutting force. *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 9, n. 22, 2019.
- S. Niketh, G. L. Samuel Surface texturing for tribology enhancement and its application on drill tool for the sustainable machining of titanium alloy *J Clean Prod*, 167 (2018), pp. 253-270, 10.1016/j.jclepro.2017.08.178.
- WANG, Q.; LIU, F.; LI, C. An integrated method for assessing the energy efficiency of machining workshop. *Journal of Cleaner Production*, v. 52, n. September 2009, p. 122–133, 2013.
- W. F. Sales, A.E. Diniz, A. R. Machado Application of cutting fluids in machining processes *J. Braz. Soc. Mech. Sci.*, 23 (2) (2001), 10.1590/s0100-73862001000200009.

Capítulo 5



10.37423/220606004

TESTES DE USABILIDADE NO APP COVIDOSOS – UM APLICATIVO PARA AUXILIAR PACIENTES IDOSOS COM COVID-19

Cecir Barbosa de Almeida Farias

Universidade Federal de Campina Grande

João Vitor da Silva Alves

Universidade Federal de Campina Grande

Alisson Clementino da Silva

Universidade Federal de Campina Grande

Paloma dos Santos Alves Nunes

Universidade Federal de Campina Grande

Pedro Paulo Mendes

Universidade Federal de Campina Grande



Resumo: As incessantes mudanças na sociedade e a entrada de doenças cada vez mais inusitadas têm trazido consigo desafios que demandam novas abordagens para serem solucionados. Em tempos de pandemia com Covid-19, os idosos foram os mais afetados. Eles correm mais risco, especialmente pessoas acima de 70 anos com condições médicas subjacentes, como doenças cardíacas, diabetes ou doenças pulmonares. Surgiu então, a necessidade da busca por novos enfoques tecnológicos que auxiliem aos pacientes idosos, familiares e cuidadores, durante o tratamento da doença. Foi observado que uma possibilidade é a utilização de celulares *smartphones* e *tablets* que permitem aos pacientes a utilização dos equipamentos em seus tratamentos e também para se comunicar com médicos e enfermeiros que estão distantes, sem precisar de deslocamento. A tecnologia pode tornar-se uma aliada neste momento difícil, possibilitando uma assistência e análise, podendo também observar a evolução do quadro clínico. Por isso, foi criado o aplicativo CovIdosos, através da ferramenta *Kodular* que visa auxiliar aos profissionais de saúde e pacientes de um hospital de um pequeno município do interior do estado, facilitando cadastros de usuários, permitindo atualizações de sintomas da doença, vacinas e fornecendo informações, tais como: plano terapêutico, notificações, alarmes para horários de medicações, chamadas de emergência, agendamento de visitas a domicílio e boletim de casos de Covid-19. Foi realizado um estudo através de Testes de Usabilidade no aplicativo criado, com conhecimentos oriundos da interação homem-computador, design e da avaliação da usabilidade. O aplicativo foi utilizado por usuários voluntários, seguindo uma metodologia específica, foram realizadas análises e totalizações das seções de testes, resultando em diretrizes específicas para aperfeiçoamento deste aplicativo.

Palavras Chaves: Aplicativos móveis, Usabilidade, Covid-19.

1. INTRODUÇÃO

Diante o atual cenário pandêmico, a sociedade teve que se adaptar rapidamente às novas restrições acarretadas pela Covid-19, levando em consideração o distanciamento social que foi determinado para minimizar a disseminação do vírus. Com isso, a tecnologia tornou-se uma ferramenta essencial em todos os âmbitos, principalmente para manter as pessoas informadas, além de contribuir efetivamente na área da saúde, visto que, os avanços relacionados ao tratamento contra o coronavírus se deram através desse meio.

O grupo dos idosos foi o mais afetado pela pandemia, o qual frequentava cada vez menos ambientes considerados essenciais para sua sobrevivência, sendo necessário então, apresentar novas possibilidades que suprissem as necessidades presentes. Segundo Fiore (2021) “quando se fala de saúde e bem-estar, as pessoas vêm buscando alternativas para cuidar da saúde. Uma vez que se faz necessário minimizar as saídas de casa, a população tem buscado alternativas online para cuidar da saúde física e mental”.

Baseando-se nisso, é perceptível o aumento do número de *softwares* voltados especificamente para o atendimento médico à distância e orientações para tratamentos em pacientes infectados, bem como outros fatores que corroboram diretamente com a prevenção contra a Covid-19. De acordo com uma pesquisa realizada através da pesquisa de Fiore (2021), denominada *App Annie Inteligente*, a pandemia propiciou a maximização do número de buscas por aplicativos na área da saúde em torno de 75%, além disso, a exigência dos usuários com relação aos *softwares* cresceu juntamente com a possibilidade de utilizar aplicativos com interface amigável.

Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo, a realização e análise de testes de usabilidade para o aplicativo CovIdosos, a fim de identificar possíveis melhorias que contribuirão com o desenvolvimento desse *software* voltado para o tratamento médico de pacientes idosos e por profissionais da área de saúde.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os indivíduos em sua interação social cotidiana são diariamente desafiados a resolver problemas, exigindo habilidade de correlacionar conceitos e categorias de diferentes naturezas. Dessa forma, as universidades e centros de pesquisa, enquanto espaço de disseminação de conhecimento têm procurado se posicionar perante essa realidade e prover ações mais pertinentes às exigências sociais da contemporaneidade.

Na época de epidemia em que estamos vivendo com a Covid-19, a tecnologia proporciona uma abordagem verbal, estímulos sensoriais visuais ou auditivos maximizando a experiência de lembrete e alarme, que podem ser úteis em diversos momentos.

O crescente desenvolvimento tecnológico aliado à difusão de conhecimento para uso na área de saúde é uma contribuição frente ao cenário atual (CHAVES, 2018) para suprir problemas cotidianos a partir de dispositivos técnicos. Importância relacionada ao crescente índice de uso de dispositivos móveis que em 2018 tendeu a aumentar em 20% (IDC, 2017 apud CHAVES, 2018), agregando opções importantes aos usuários, em diversas áreas, assim como na área de saúde, auxiliando tratamentos médicos de indivíduos acerca de ações benéficas e necessárias, tais como: agendamento de consultas e realização de exames rotineiros: medição de glicose, batimentos cardíacos e pressão arterial, por exemplo.

A tecnologia pode auxiliar ao doente, seus familiares ou cuidadores no tratamento do coronavírus. Em pequenos municípios por exemplo, que dispõem de poucos médicos e leitos, os cidadãos que apresentam os sintomas da doença, são atendidos pela equipe médica do Hospital (ou do posto de unidade de saúde do município), fazem os exames de temperatura, de pressão e de respiração, recebem as prescrições de medicamentos para os sintomas da doença e são orientados a voltar para as suas residências e ficarem isolados, até o 10º dia do retorno ao hospital para realização do teste de Covid-19. Em 2021 houve um aumento no número de portadores da doença, e os idosos apesar de já terem se vacinado, podem ainda contrair a doença.

Para auxiliar nos tratamentos, foi desenvolvido o aplicativo de celular denominado Covidosos para auxiliar idosos e equipe de saúde no tratamento de Covid-19, indicando e alertando sobre os horários das diversas medicações prescritas pelos médicos, além dos horários das medicações rotineiras para as comorbidades que o paciente idoso já possui. O aplicativo disponibiliza cadastro de usuários, planos terapêuticos, prescrições das medicações e horários (medicações para sintomas do coronavírus e também para comorbidades pré-existentes) e cadastra tudo que foi utilizado, em cada dia e na(s) semana(s), o qual pode ser lido pelo doente, pelos familiares ou cuidadores, e enviado para os médicos e enfermeiros do Hospital para controle e acompanhamento do paciente. O aplicativo também permite contato direto para hospital ou equipe de saúde em caso de agendamento de visitas a domicílio ou chamada de emergência e boletins de situação da doença.

Foi utilizada a ferramenta *MIT Kodular* (2012) como plataforma de desenvolvimento do aplicativo que utiliza linguagem de programação de blocos lógicos e itens de som e imagem, para ser possível desenvolver as interfaces e layouts do aplicativo em questão (CovIdosos).

Foram realizados Testes de Usabilidade com usuários voluntários e perfil semelhante aos dos usuários reais do aplicativo. A usabilidade é reconhecida como uma questão importante de qualidade de software, da mesma forma que outros aspectos tais como funcionalidade, confiabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade. Nesse contexto, um produto de software não está limitado a possuir apenas funcionalidade, mas também a possibilitar a utilização efetiva de todos os recursos dos quais dispõe.

Dumas e Redish (Duma, 1999) acreditam que a usabilidade pode apenas ser definida em termos de condições operacionais que um produto oferece. Para isto, eles consideram os seguintes aspectos: · i) Foco nos usuários, pois deve-se conhecer, entender e trabalhar com pessoas que representam os usuários reais e potenciais daqueles produtos; ninguém pode substituí-los. · ii) Para quais tarefas o produto será usado - se as funções do sistema não se adequarem às metas dos usuários em seus ambientes de trabalho, então o produto não será usado corretamente. As condições dos usuários para realizar suas tarefas - as pessoas consideram um produto “fácil de usar e de aprender a usar” baseadas no tempo que elas levam para fazer o que querem, do número de passos exigidos para realização da tarefa e do sucesso que elas têm em prever a ação correta a tomar.

Os usuários decidirão se o produto é fácil de usar - a decisão sobre a usabilidade do produto é determinada por usuários, e não por desenvolvedores. Para avaliar a usabilidade de um sistema, é necessário questionar previamente o que está sendo usado e por quem. A partir deste questionamento, verifica-se que a usabilidade de qualquer sistema deverá ser expressa em função de grupos específicos de usuários executando tarefas específicas.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa utiliza Testes de Usabilidade para apontar algumas possíveis mudanças para melhoria da usabilidade e apoiar o desenvolvimento do app COVIDOSOS, que se trata de um *software* desenvolvido por uma equipe composta por quatro estudantes universitários e uma professora da UFCG – Universidade Federal de Campina Grande, campus CDSA – Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido. Além desses integrantes, foi de grande ajuda a participação de membros

da área da saúde (médicos e enfermeiros) que atuam na cidade de Sumé-PB, durante o projeto de extensão vinculado ao PROPEX- Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão.

Através dos Teste de Usabilidade, buscou-se identificar problemas reais que os participantes enfrentaram, e não apenas problemas potenciais previstos pelo avaliador como em uma avaliação por inspeção. Para o desenvolvimento dos testes, foram criados diversos instrumentos de avaliação a partir da metodologia de avaliação do Grupo de Interfaces Homem-Máquina da UFCG (Queiroz, 2001): fichas para cadastro para usuários voluntários, declaração de participante, questionários pré-teste e pós-teste, roteiro de tarefas e ficha de eventos com indicadores de “pedidos de ajuda”, “escolhas incorretas”, “erros cometidos” e “tempo de realização de cada tarefa”. Os formulários foram criados no *Google Forms* e disponibilizados para os participantes.

A equipe definiu que os participantes dos testes deveriam ser o público de maior de idade com uma ênfase para os idosos. Ao todo foram criadas nove tarefas para os voluntários e por fim, foram realizados os testes de usabilidade, com 26 usuários e duração média de 19,54 minutos em cada seção.

Após a coleta de dados dos testes, os mesmos foram analisados, interpretados, consolidados e relatados. O relato dos resultados apresenta problemas reais que os participantes enfrentaram na utilização do aplicativo.

Devido ao momento pandêmico de Covid-19 os testes foram aplicados separadamente com cada participante, e eles realizaram as nove tarefas do roteiro de teste, além de responder aos questionários pré-teste e pós-teste com intuito de registrar a sua opinião no uso do app Covldosos. Por fim, foi proposto que esses voluntários respondessem na ficha de eventos as sugestões de mudanças no aplicativo.

Os Testes de Usabilidade foram um método acessível para realizar a avaliação da usabilidade do aplicativo perante os usuários. A aplicação dos questionários, juntamente com a observação dos avaliadores que possuíam uma experiência com essa ferramenta, permitiram avaliar a usabilidade do aplicativo em questão, além de verificar o quanto este aplicativo pode tornar-se mais fácil e prático para a distribuição no público alvo (pacientes, médicos, enfermeiros e agentes de saúde dos postos.

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DA PESQUISA

4.1.1 USABILIDADE PARA O COVIDOSOS

Os testes de usabilidade foram realizados com o objetivo de detectar dificuldades de usabilidade e comprovar problemas existentes entre os usuários e a interface do COVIDOSOS.

Desse modo, este artigo tem o objetivo de apresentar os resultados obtidos durante e após a realização dos testes com o aplicativo.

Os resultados referem-se à: a descrição do perfil dos participantes, a análise e interpretação dos resultados, o levantamento da opinião dos usuários, os comentários dos participantes registrados durante os ensaios e os dados coletados com a observação direta.

As diretrizes foram traçadas baseadas na opinião dos usuários, em critérios ergonômicos, design, geomática, e em métricas de usabilidade. Estas diretrizes estão sendo utilizadas a fim de melhorar a usabilidade do aplicativo.

4.2. DELINEAMENTO DO PERFIL DOS PARTICIPANTES

4.2.1. DESCRIÇÃO DO PERFIL

Os participantes são as pessoas que fizeram uso do aplicativo analisado ao longo dos testes de usabilidade. Para conhecer as características do grupo que se inter relacionam com o aplicativo, é de suma importância identificar primeiramente, as características individuais dos voluntários de forma mais detalhada.

Com base nisso, torna-se imprescindível o levantamento do perfil dos participantes, tendo-se então obtidos dados acerca de:

1. Profissão

2. Faixa etária

3. Sexo

4. Experiência prévia com internet

5. Experiência prévia com aplicativo

6. Frequência de utilização do celular

7. Utilização do celular para consultas

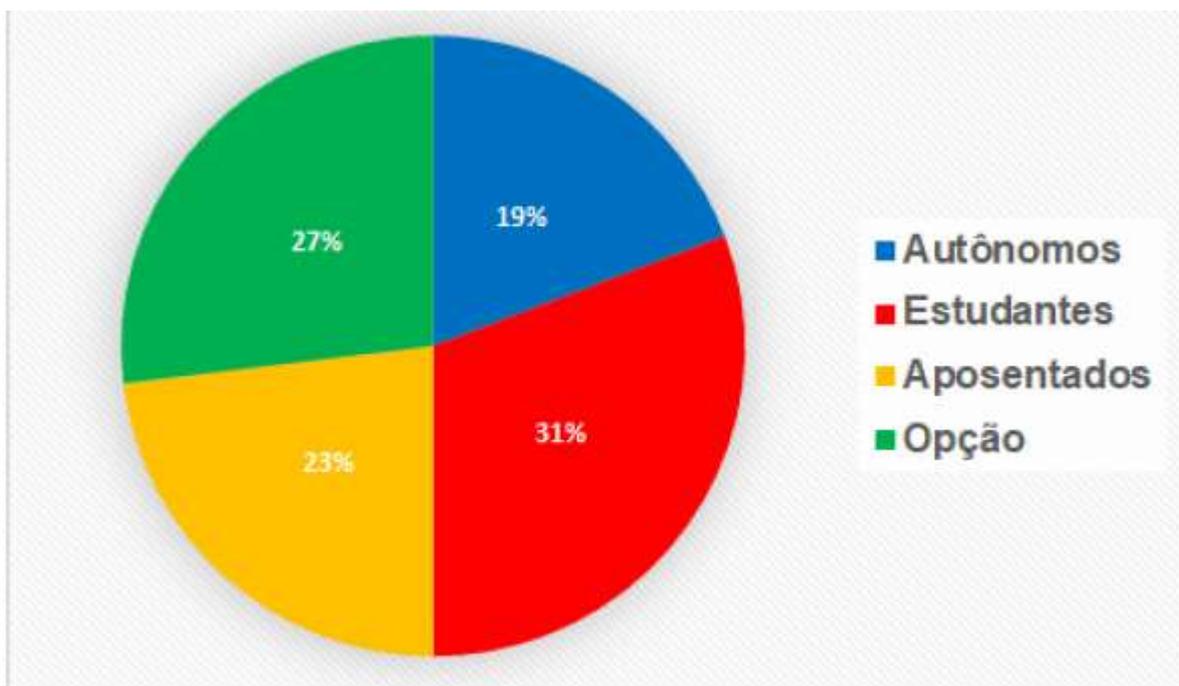
8. Tratamento médico a distância

9. Experiência prévia com aplicativo na área da saúde

Para a representação dos resultados, foram criados diversos gráficos acerca das características dos usuários de teste. Estas características são graficamente apresentadas nas figuras 1 a 17 e analisadas

1. Profissão: Os participantes voluntários estão classificados nas seguintes áreas de atuação: autônomos, estudantes, aposentados e outras profissões. 19% são autônomos (5 de 26), 31% são estudantes (8 de 26), 23% são aposentados (6 de 26) e 27% possuem outras profissões (7 de 26), conforme representado na Figura 01 a seguir:

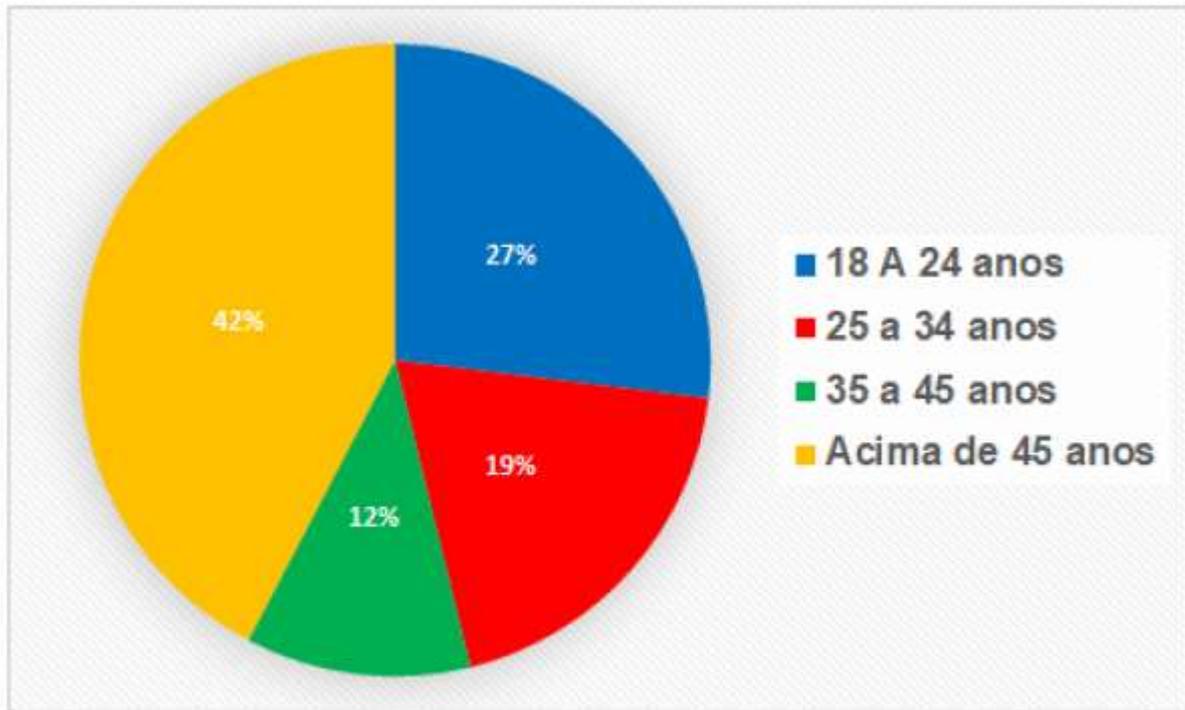
Figura 01 - Classificação da profissão da amostra de usuários.



Fonte: autoria própria (2021).

2. Faixa etária: 27% dos usuários (7 de 26) encontram-se na faixa etária compreendida entre 18 a 24 anos. 19% dos usuários (5 de 26) estão entre 25 a 34 anos de idade. 12% dos usuários (3 de 26), constituem a faixa etária de 35 a 45 anos e os demais 42% (11 de 26) encontram-se na faixa acima de 45 anos, conforme representado na Figura 02 a seguir:

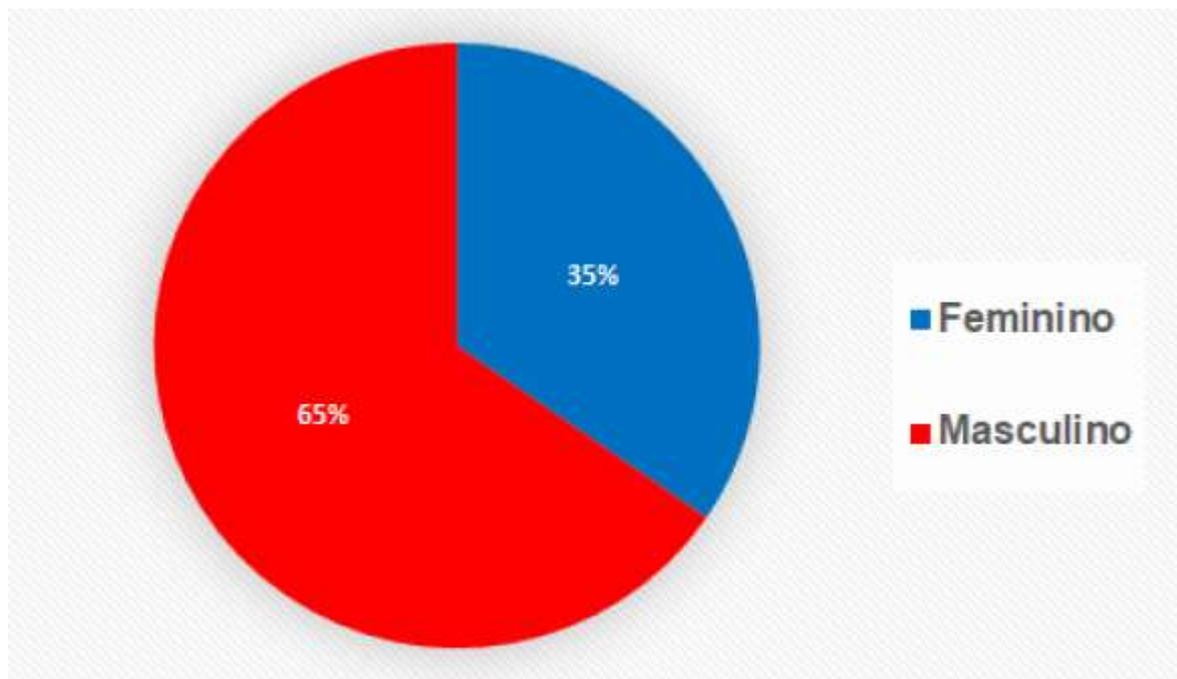
Figura 02 - Classificação da faixa etária da amostra de usuários.



Fonte: autoria própria (2021).

3. Sexo: A maioria dos participantes (17 de 26) ou 65% é do sexo masculino e 35% (9 de 26) são do sexo feminino, conforme representado na Figura 03 a seguir.

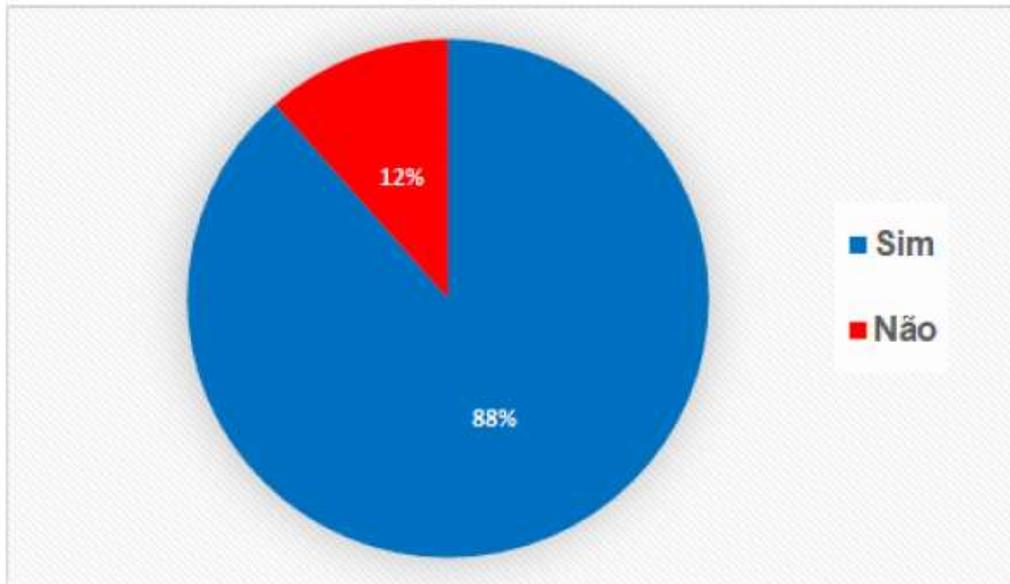
Figura 03 - Classificação do sexo da amostra de usuários.



Fonte: autoria própria (2021).

4. Experiência prévia com internet: 88% dos usuários (23 de 26) possuem experiência prévia com internet, os demais 12% (3 de 26) não possuem experiência, conforme demonstrado na Figura 04.

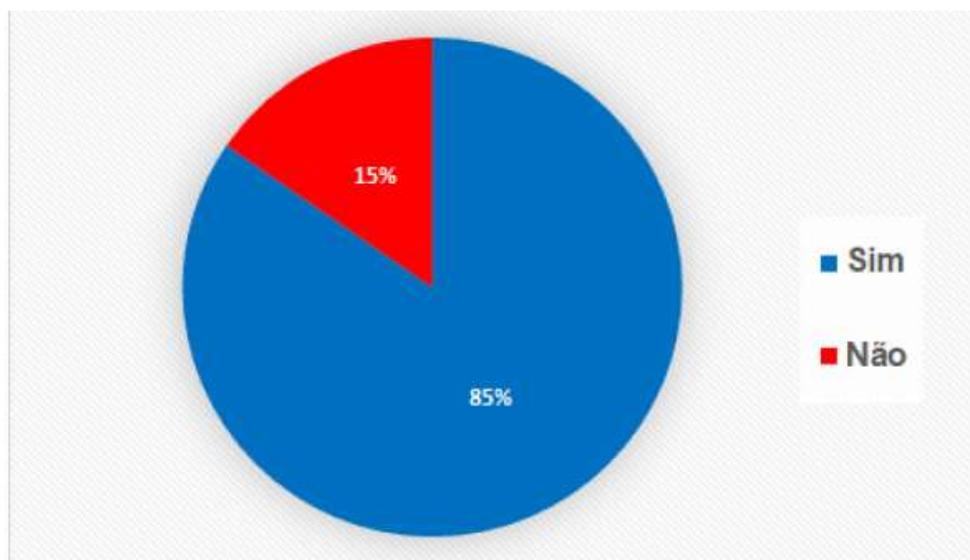
Figura 04 - Classificação da experiência prévia com internet da amostra de usuários.



Fonte: autoria própria (2021).

5. Experiência prévia com aplicativo: 85% dos usuários (22 de 26) possuem experiência prévia com aplicativo, os demais 15% (4 de 26) não possuem experiência, conforme a Figura 05.

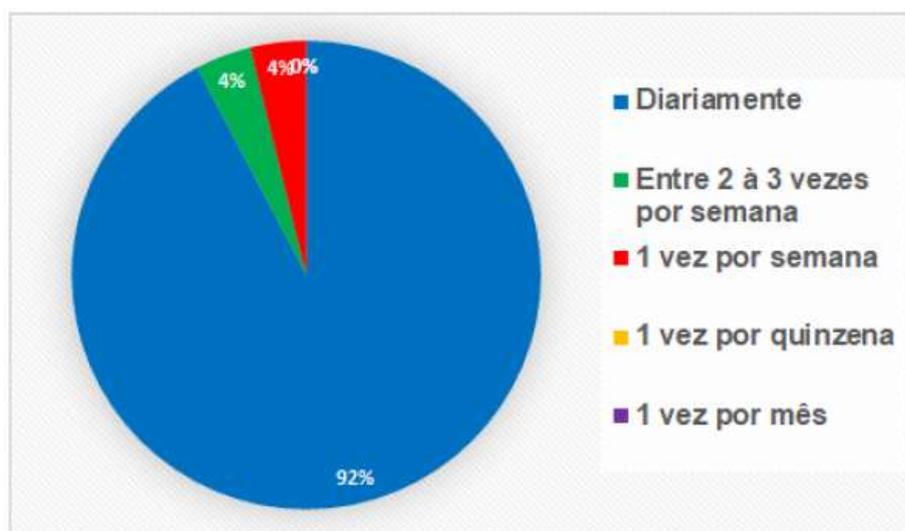
Figura 05 - Classificação da experiência prévia com aplicativo da amostra de usuários



Fonte: autoria própria (2021).

6. Frequência de utilização do celular: Cerca de 92% dos voluntários (24 de 26) utilizam o celular diariamente. 4% dos usuários (1 de 26) usam o celular entre 2 à 3 vezes por semana, assim como 4% (1 de 26) utilizam apenas uma vez por semana. Nenhum usuário utiliza o celular apenas uma vez na quinzena ou uma vez no mês, conforme apresentado na Figura 06.

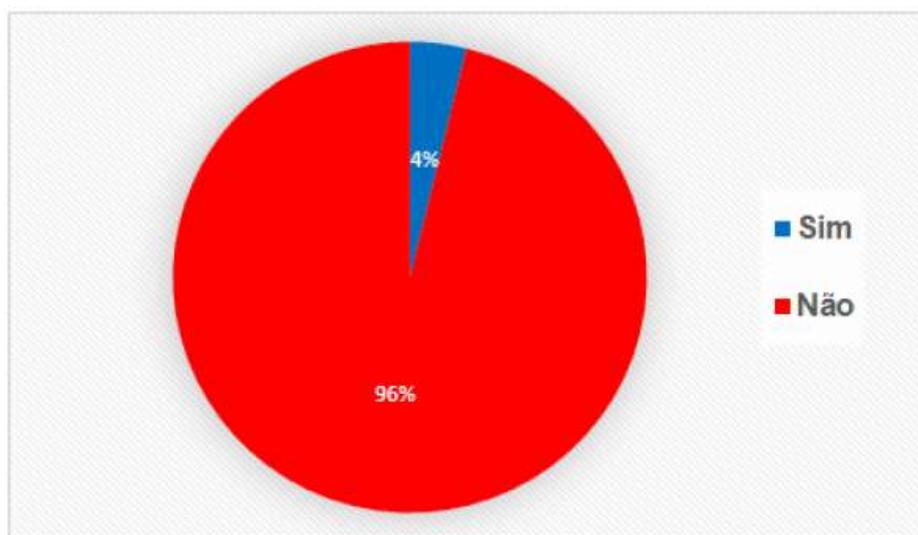
Figura 06 - Classificação da frequência de utilização do celular da amostra de usuários.



Fonte: autoria própria (2021).

7. Utilização do celular para consultas: Os usuários que nunca fizeram consultas pelo celular compreendem cerca de 96% (25 de 26), porém 4% dos voluntários (1 de 26) participaram de consultas médicas pelo celular, conforme mostra a Figura 07.

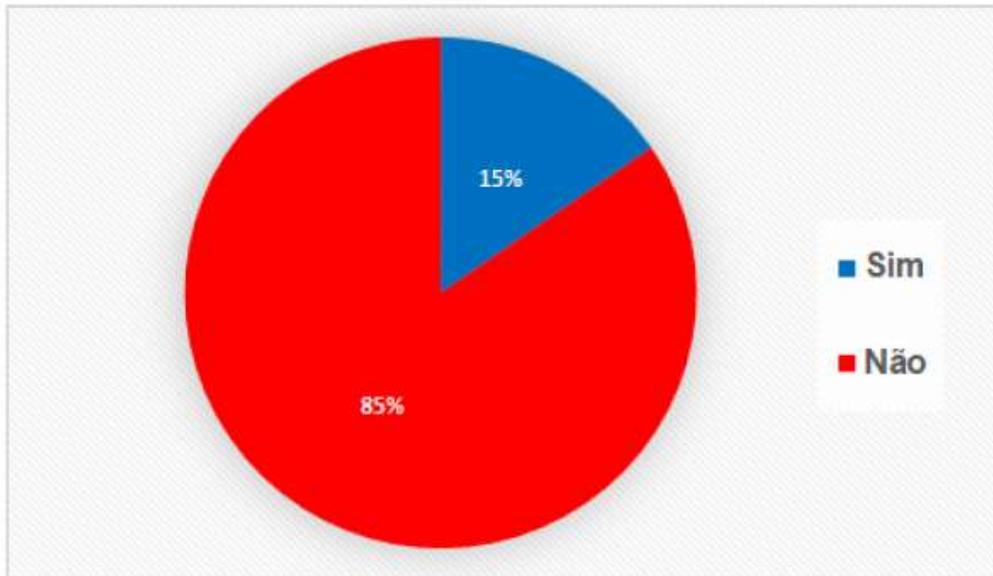
Figura 07 - Classificação da utilização do celular para consultas da amostra de usuários.



Fonte: autoria própria (2021).

8. Tratamento médico a distância: 85% dos voluntários (22 de 26) nunca participaram de tratamento médico a distância, apenas 15% (4 de 26) já tiveram esse tipo de tratamento, conforme demonstrado na Figura 08.

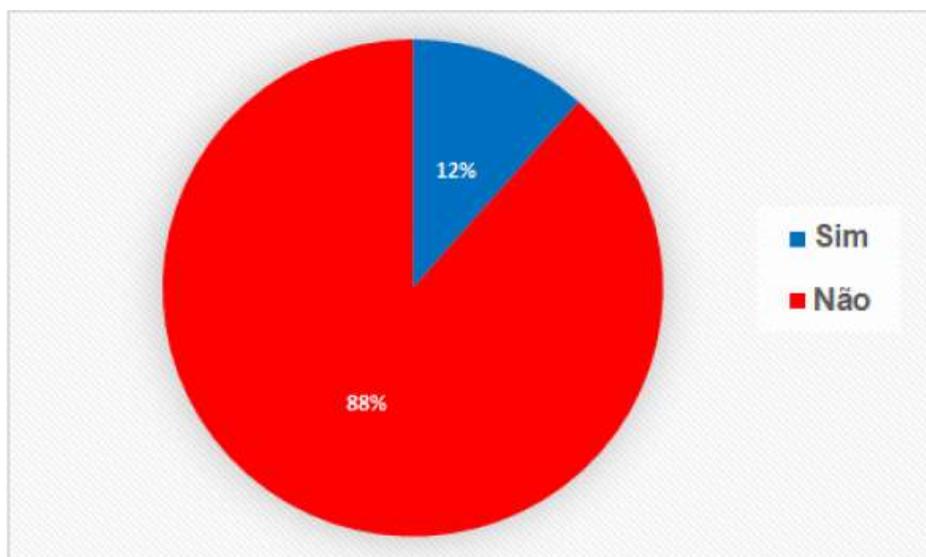
Figura 08 - Classificação da frequência de tratamento médico a distância da amostra de usuários.



Fonte: autoria própria (2021).

9. Experiência prévia com aplicativo na área da saúde: 88% dos usuários (23 de 26) não possuem experiência com aplicativos inseridos no contexto da área da saúde, somente 12% dos voluntários (3 de 26) apresentam essa experiência, conforme apresentado na Figura 09.

Figura 09 - Classificação da experiência prévia com aplicativo na área da saúde.



Fonte: autoria própria (2021).

A Tabela 01 a seguir, apresenta uma estrutura similar a do questionário pré-teste DePerUSI, aplicado ao universo amostral, com propósito de delineamento do perfil característico dos usuários voluntários deste universo.

Tabela 01 - (Resultado dos questionários pré-testes aplicados com participantes dos testes de usabilidade.)

Dados Pessoais					
ITEM		OPÇÕES			
1	Você é	Autônomo (a) 5	Estudante 8	Aposentado (a) 6	Outros 7
2	Você é do sexo	Feminino 9		Masculino 17	
3	Faixa etária de	18 a 24 anos 7	25 a 34 anos 5	35 a 45 anos 3	Acima de 45 anos 11
DADOS PESSOAIS					
4	Você tem experiência prévia com aplicativos?	Sim 22		Não 4	
5	Você tem experiência prévia com internet?	Sim 23		Não 3	
6	Você já fez tratamento médico à distância?	Sim 4		Não 22	
7	Com que frequência você utiliza o celular?	Diariamente 24	De 2 à 3 vezes por semana 1	1 vez por semana 1	1 vez por quinzena ou mês 0
8	Você já fez consulta médica via celular?	Sim 1		Não 25	

DADOS COMPARATIVOS COM OUTROS PRODUTOS			
9	Você já teve alguma experiência com um aplicativo da área da saúde?	Sim 3	Não 23

Fonte: autoria própria (2021).

4.2.3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.

Esta seção compreende os resultados adquiridos por meio da coleta de dados durante a realização dos Testes de Usabilidade, do questionário pré-teste, questionário pós-teste e verbalização de procedimentos, com o intuito de compreender melhor as características dos 26 participantes dos ensaios de usabilidade e traçar detalhadamente o perfil destes, a partir dos seguintes aspectos:

- a. Características gerais
- b. Conhecimento semântico
- c. Conhecimento sintático
- d. Estilo cognitivo
- e. Habilidades necessárias para execução da tarefa

a. Características gerais

Objetivos: A partir do aplicativo Covldosos os usuários podem obter informações médicas, atualizações sobre boletins de casos da Covid-19, realizar ligações de emergência, entre outros.

Motivações: Consultar informações importantes do banco de dados do aplicativo e, através da interface, obter informações precisas.

Personalidade: A maioria dos usuários (24 de 26) ou 92,3% ao realizar as tarefas não desiste facilmente.

Aptidões: Possuem experiência em determinadas áreas de atuação, onde 19% são autônomos (5 de 26), 31% são estudantes (8 de 26), 23% são aposentados (6 de 26) e 27% possuem outras profissões (7 de 26).

Função desempenhada nas Instituições: Estudantes de graduação e outros cargos de trabalho relacionados às suas áreas.

Tarefas desenvolvidas na Função: Coletam informações através de leitura de livros e consultas à Internet.

Frequência de execução das Tarefas: Diariamente.

b. Conhecimento semântico

Função: O *software* está disponível na plataforma *Kodular* e posteriormente estará inserido na *Play Store* para consulta por diversos tipos de usuários, de diferentes funções dentro de suas organizações.

Tarefas: Pesquisas e consultas textuais de informações médicas, de pacientes, de boletins de casos da Covid-19, configuração de alarme, realização de cadastro e ligações de emergência e solicitação de visitas médicas.

Celulares: 85% dos usuários (22 de 26) possuem experiência prévia com aplicativos de celular, os demais 15% (4 de 26) não possuem experiência. Com relação aos voluntários que participaram do ensaio de usabilidade, 88% (23 de 26) possuem experiência prévia com internet, os demais 12% (3 de 26) não possuem.

Ferramentas similares: 88% dos usuários (23 de 26) não possuem experiência com aplicativos inseridos no contexto da área da saúde, somente 12% dos voluntários (3 de 26) apresentam essa experiência. Os usuários que nunca fizeram consultas pelo celular compreendem cerca de 96% (25 de 26), porém 4% dos voluntários (1 de 26) participaram de consultas médicas pelo celular.

c. Conhecimento sintático

Os usuários utilizaram celulares que possuem a função de *touch screen*, para executar as tarefas, que foi o principal meio de interação para manipular informações disponibilizadas nas telas.

d. Estilo cognitivo

Aprendizado:

Dentre os usuários que participaram do ensaio de usabilidade, 77% (20 de 26) concordam completamente que, as informações presentes no aplicativo são suficientes para tirar as dúvidas que surgiram. Já 19% (5 de 26) concordam parcialmente com essa afirmação e os demais usuários 4% (1 de 26) discordam que as informações existentes são eficazes.

58% dos voluntários (15 de 26) conseguiram navegar facilmente pelo aplicativo e afirmaram que não é necessário existir ajuda *online*. Já 31% (8 de 26) concordam parcialmente com a praticidade da navegação do aplicativo e 11% (3 de 26) discordam completamente dessa afirmativa.

Capacidade de solucionar problemas:

De acordo com as informações obtidas no ensaio, 88% dos usuários (23 de 26) não possuem experiência com aplicativos inseridos no contexto da área da saúde, porém foi perceptível através do questionário pós-teste que houve uma fácil superação de dúvidas e problemas encontrados por parte dos voluntários. Com isso, pode-se afirmar que o aplicativo é de fácil usabilidade.

Persistência:

A maioria dos usuários 61% (16 de 26) são persistentes e ao realizar uma determinada tarefa que não estava dando certo, continuaram tentando. 31% dos voluntários (8 de 26) concordam parcialmente com essa afirmativa. Já 8% (2 de 26) não continuaram tentando realizar a atividade que não estava dando certo.

e. Habilidades necessárias para execução da tarefa

Velocidade de execução da tarefa: A maioria dos usuários 73% (19 de 26) não demoraram para realizar as tarefas, já 27% destes (7 de 26) demoraram mais que o esperado.

Precisão: Quanto à navegação através das diferentes opções do menu do aplicativo, 80,7 % (21 de 26) responderam no questionário pós-teste que acharam fácil a navegação, 15,4% (4 de 26) concordaram parcialmente com essa afirmação e 3,9% (1 de 26) discordaram. Através da observação direta foi visto que os usuários que acharam fácil a navegação são os experientes com celulares e aplicativos 92% (24 de 26).

Com relação a localização dos itens do menu associados às tarefas, 73% dos usuários (19 de 26) concordam que são de fácil visualização, já 23% (3 de 26) concordam apenas parcialmente e os demais 4% (1 de 26) discordam dessa afirmativa.

Níveis de percepção: A maioria dos usuários 65,4% (17 de 26) possuem uma boa percepção e afirmam que a aparência do aplicativo é bastante atraente, o que estimula o seu uso e facilita seu rápido aprendizado. 30,8% (8 de 26) concordam parcialmente com esse quesito e o restante 3,8% (1 de 26) discordam que o aplicativo possua uma boa aparência.

4.2.4. LEVANTAMENTO DA OPINIÃO DOS USUÁRIOS

Para captação das opiniões dos usuários foi utilizado um questionário trazendo questões acerca da satisfação do usuário com base na usabilidade do aplicativo. O questionário denominado “Questionário pós-teste (Opus)” continha dezessete divididas em três seções:

Introdução

a. Documentação online e você

b. Você e o aplicativo

Com as seguintes opções:

1. Fácil

2. Nem fácil, nem difícil

3. Difícil

A Tabela 02 demonstra as questões e o resultado obtido com a aplicação do questionário pós-testes aplicado com a finalidade de captar o *feedback* dos usuários com relação a usabilidade do aplicativo.

Tabela 02 - Resultado dos questionários pós-testes (Opus) aplicados com participantes dos testes de usabilidade

Questões	Fácil	Nem fácil, nem difícil	Difícil
Uso do aplicativo para realização das tarefas de interesse.	19	6	1
Localização dos itens de menu associados às tarefas.	19	6	1
Navegação através das diferentes opções de menu.	20	5	1
Uso das funcionalidades mais comuns encontradas no aplicativo.	18	8	0
Visualização à primeira vista das sequência de ações necessárias para completar as tarefas de interesse.	18	5	3
As informações deste aplicativo são suficientes para tirar minhas dúvidas.	17	8	1
Consegui navegar pelo aplicativo facilmente, sem ajuda da ajuda online.	13	10	3
Ao consultar o aplicativo sempre consigo encontrar facilmente as opções de interesse.	19	5	2
Os ícones existentes na tela do paciente facilitam a navegação pelo aplicativo.	23	1	2

Houve uma fácil superação de dúvidas e problemas encontrados durante as sessões de uso do aplicativo a partir das instruções online.	15	9	2
A aparência do aplicativo é bastante atraente, o que estimula o seu uso e facilita seu rápido aprendizado.	17	6	2
O aplicativo executa as opções escolhidas rapidamente.	22	2	2
O tamanho do texto é apropriado para enxergar o que está escrito.	14	9	2
A visualização à primeira vista da estruturação do menu é muito boa.	21	4	1
O aplicativo atende plenamente às minhas necessidades.	20	4	2
Ao realizar uma tarefa que não estava dando certo, continuei tentando.	17	7	2
O menu está muito bom e não é necessário adicionar novas funções a ele.	16	9	1

Fonte: Autoria própria (2020)

COMENTÁRIOS DOS PARTICIPANTES REGISTRADOS DURANTE OS ENSAIOS

Surgiram alguns comentários dos usuários com relação ao aplicativo durante a realização dos ensaios, que encontram-se representados na Tabela 03. A obtenção desses comentários se deu pelo questionário pós-teste, onde os usuários preenchiam opções correspondentes a usabilidade do aplicativo, além disso, foi utilizado o procedimento (*Thinking Aloud*), no qual ao decorrer da realização das atividades propostas, os participantes pensavam em voz alta, proporcionado então a coleta de dados.

Tabela 03 - Comentários registrados durante os ensaios do app CovIdosos.

Comentários	Nº de usuários
Ao voltar para a tela de <i>login</i> , poderíamos sair do aplicativo apertando apenas o botão de “voltar” do celular.	5
As letras estão pequenas, um pouco ruim de enxergar	8
A contraste do aplicativo poderia ser menos chamativa	2
Não estou conseguindo cadastrar o usuário para solicitar visita, está aparecendo USUÁRIO NÃO CADASTRADO	4

Não consegui fazer login no aplicativo, tive que cadastrar o usuário novamente	1
As caixas de texto estão difíceis de visualizar	18
O botão de entrar, na tela de <i>login</i> , é confuso, necessitando de uma legenda junto ao ícone	3
Muitos dados extensos para digitar	8
Poderia ter a opção de visualizar os caracteres da senha	1
Os ícones estão desconformes	3
Seria interessante ter uma ferramenta para ajudar a inserir o cep	1
Deveria ter um aviso quando os dados fossem salvos	5
No boletim de casos, é necessário aparecer qual a cidade que possui esses casos, além da fonte utilizada para adquirir esses dados	3
Os exemplos nas caixas de textos, deveriam ter uma cor mais clara	9
Na configuração do alarme, as horas em cima e os minutos embaixo, me deixaram confuso	8
Não é necessário colocar o número do cartão do SUS várias vezes	3
Notificação para editar número continua na tela mesmo após a alteração deste	1
Não consegui realizar a ligação de emergência	24
Deveria ter um exemplo do formato da data, na tela	3
O nome da vacina, substituiu o nome do paciente	1

Fonte: autoria própria (2021).

4.2.6. DADOS COLETADOS JUNTO AO PROCESSO DE OBSERVAÇÃO DIRETA

A Tabela 04 apresenta os indicadores objetivos coletados através do processo de observação direta e adotados conjuntamente à aplicação do questionário pós-teste e roteiro de tarefas.

Nela são encontrados o número da sessão, o número do usuário, a data do ensaio, o horário e a duração das tarefas. Nas demais linhas encontram-se para cada número de usuário:

- Nº de escolhas incorretas - EI
- Número de pedidos de ajuda - PA

- Número de erros cometidos - E
- Tempo de execução da tarefa - T

Tabela 04 -Dados relativos ao processo de observação direta- App CovIdosos.

Nº da sessão	Usuário	Data do teste	Hor do teste	Duração do teste	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4	Tarefa 5	Tarefa 6	Tarefa 7	Tarefa 8	Tarefa 9	Indicador
1	1	19/10	09:30	03:38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	PA
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	E
					0:40.0	0:08.0	1:19.0	0:08.0	0:50.0	0:12.0	0:12.0	0:33.0	0:56.0	T
2	2	19/10	10:15	07:41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	PA
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	E
					1:03.0	0:26.0	2:14.0	0:08.0	1:08.0	0:05.0	0:38.0	0:29.0	2:14.0	T
3	3	20/10	11:00	01:14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					0	0	2	0	1	0	1	1	1	PA
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	E
					2:39.0	0:10.0	4:06.0	0:05.0	1:48.0	0:06.0	0:41.0	2:23.0	3:16.0	T
4	4	22/10	15:10	48:00	3	0	0	0	0	0	0	0	4	EI
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	PA
					1	0	0	0	3	0	0	0	0	E
					1:29.0	0	0	0	1:12.0	0	0:36.0	0	1:50.0	T
5	5	23/10	16:00	12:05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	PA
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	E
					0:48.0	0:08.0	1:30.0	0:10.0	0:55.0	0:55.0	0:45.0	0:33.0	1:20.0	T
6	6	28/10	14:00	25:00	0	0	2	0	0	1	0	0	2	EI
					0	0	3	0	1	2	2	1	3	PA
					0	0	1	0	0	1	0	0	2	E

					3:28. 1	0:12. 8	6:19. 7	0:21. 6	2:32. 24	1:46. 3	2:10. 4	0:45. 2	5:16. 9	T
7	7	28/1 0	21:0 0	30:00	0	0	2	0	1	1	0	1	1	EI
					1	0	3	0	2	1	0	2	4	PA
					0	0	2	0	1	0	0	1	1	E
					3:49. 3	0:20. 2	7:05. 4	0:42. 2	2:40. 47	1:55. 0	2:29. 1	1:02. 3	5:38. 2	T
8	8	30/1 0	22:0 0	15:00	1	0	0	1	1	0	0	0	0	EI
					1	0	0	1	1	0	0	0	0	PA
					1	0	0	1	1	0	0	0	0	E
					1:51. 2	0:17. 8	1:49. 5	0:32. 9	1:01. 44	0:36. 8	0:51. 5	0:51. 5	1:30. 3	T
9	9	11/0 4	23:0 7	33:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					1	0	0	0	0	0	1	0	1	PA
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	E
					2:00. 0	3:18. 0	1:01. 9	2:13. 0	1:06. 16	2:83. 0	1:26. 6	0:29. 5	2:22. 9	T
10	10	11/0 5	14:4 3	37:00	1	0	1	0	0	0	0	0	0	EI
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	PA
					1	0	1	0	0	0	0	0	0	E
					0:52. 2	0:07. 2	3:33. 2	0:25. 5	1:03. 22	0:07. 3	0:14. 4	0:21. 5	1:31. 3	T
11	11	11/0 5	21:1 7	19:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					1	0	0	0	0	0	0	0	0	PA
					1	0	0	0	0	0	0	0	1	E
					10:4 2	0:05. 6	0:55. 2	0:15. 3	0:31. 28	0:05. 1	0:14. 4	0:22. 1	1:02. 0	T
12	12	07/1 1	19:4 5	40:00	0	0	1	0	0	0	0	1	0	EI
					1	1	1	0	0	0	0	2	0	PA
					0	0	1	0	0	0	0	1	0	E
					1:59. 1	0:25. 4	1:53. 0	0:25. 5	1:10. 38	0:32. 2	0:53. 2	0:48. 0	1:43. 3	T
13	13	08/1 1	11:0 0	49:00	3	1	4	1	3	1	2	2	3	EI
					4	2	6	2	5	1	4	5	7	PA
					5	2	4	2	2	0	2	3	2	E

					4:25. 0	3:55. 0	8:27. 0	4:03. 0	5:47. 0	1:30. 0	7:15. 0	3:35. 0	9:55. 0	T
14	14	09/1 1	08:5 0	17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					1	0	0	0	0	1	0	1	2	PA
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	E
					1:42. 5	0:26. 1	1:48. 3	0:20. 5	1:05. 35	0:28. 4	0:50. 4	0:43. 2	1:39. 5	T
15	15	07/1 1	03:0 0	09:23	1	0	0	0	1	0	0	0	0	EI
					0	0	0	0	1	0	0	0	0	PA
					1	1	0	0	2	0	0	0	2	E
					0:50. 4	4:27. 0	4:17. 2	0:23. 2	0:26. 47	3.12	49.9 6	0	2:29. 4	T
16	16	08/1 1	08:0 0	05:20	0	0	0	0	0	0	1	0	2	EI
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	PA
					0	0	0	0	0	0	1	0	2	E
					1:11. 6	1.25	0	0:24. 6	1:35. 25	1.38	0:33. 5	0	2:13. 3	T
17	17	08/1 1	08:1 5	02:34	0	0	0	0	0	0	0	0	1	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	0	PA
					0	0	0	0	0	0	1	0	1	E
					0:47. 1	1.00	0:23. 9	0	01.0 7	4.97	0:27. 5	0	1:28. 5	T
18	18	08/1 1	03:0 0	09:18	1	0	0	0	1	0	0	0	3	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	2	PA
					1	0	0	0	1	0	0	0	5	E
					1:45. 2	11.9 6	0	24.2 2	2:09. 09	3.99	1:08. 6	0	4:15. 7	T
19	19	09/1 1	08:3 3	09:09	1	0	0	0	1	0	0	0	1	EI
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	PA
					1	0	0	0	2	0	0	0	2	E
					2:31. 5	5.11	0	39.4 3	2:33. 28	1.97	01:2 1	0	3:56. 6	T
20	20	08/1 1	03:0 0	04:05	0	0	0	0	1	0	0	0	1	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	1	PA
					0	0	0	0	1	0	0	0	1	E

					1:00. 4	4.62	26.3 2	0	1:25. 12	1.16	20.8 4	0	1:26. 7	T
21	21	11/0 9	01:4 0	25:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	PA	
					0	0	0	0	0	0	0	0	E	
					0:58. 1	0:06. 5	1:27. 1	0:25. 1	0:34. 48	0:09. 2	0:09. 3	0:17. 1	0:01. 3	T
22	22	08/1 1	04:0 0	15:00	2	0	0	0	0	0	0	0	1	EI
					1	0	0	0	0	0	0	0	PA	
					2	0	0	0	0	0	1	0	1	E
					1:18. 4	1.84	0	40.0	1:55. 25	02.3 7	57.8 3	0	2:30. 8	T
23	23	11/0 9	02:1 0	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	PA	
					1	0	0	0	0	0	0	0	E	
					0:01. 5	0:06. 0	0:01. 4	0:29. 5	1:23. 48	0:06. 3	0:13. 0	0	0:54. 3	T
24	24	10/1 1	04:0 0	18:00	0	1	0	0	1	1	0	1	0	EI
					3	2	1	1	1	1	1	1	PA	
					2	1	0	0	1	1	0	1	E	
					2:00. 0	2:00. 0	2:00. 0	1:00. 0	1:00. 0	2:00. 0	2:00. 0	2:00. 0	2:00. 0	T
25	25	10/1 1	05:1 4	46:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	EI
					2	1	1	1	0	1	0	4	1	PA
					0	0	0	0	0	0	0	0	E	
					11	1:00. 0	2:00. 0	1:00. 0	2:00. 0	1:00. 0	1:00. 0	1:00. 0	5:00. 0	T
26	26	07/ 11	11: 50	18:0 0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	EI
					0	0	0	0	0	0	0	0	1	PA
					1	0	0	0	0	0	1	0	2	E
					1:24. 2	03.4	0	35.8	2:01. 35	02.5	56.1 2	0	1:49. 1	T

Fonte: autoria própria (2021).

4.2.7. Relatório Sintetizado da Avaliação

Nesta seção mostra-se uma síntese dos resultados dos testes de usabilidade no aplicativo CovIdosos nos meses de outubro e novembro. Conforme os pontos levantados na etapa de planejamento e ensaio, as estratégias adotadas na pesquisa (observação direta e uso de questionários) foram identificadas as falhas e ajustes e comparados com os pontos pré-definidos, apresentando os resultados e comparações de dados obtidos a partir das técnicas.

Problema 1: Dificil visualização das caixas de texto presentes nas telas de que necessitam de preenchimento de dados.

Descrição: Durante a execução das tarefas do ensaio, os participantes tiveram dificuldades para visualizar as caixas de texto, atrapalhando o entendimento da própria execução. Ao longo das 09 tarefas do app CovIdosos, houve de 1 a 4 escolhas incorretas por usuário.

As sinalizações das caixas de texto nas telas do aplicativo ficam quase que imperceptíveis quanto a cor de seu *background* além de ser bastante pequena, o que dificultou o preenchimento dos dados. Apesar de 68,2% dos participantes terem respondido o questionário pós-teste com as opções fácil para a questão “visualização à primeira vista das sequências de ações necessárias para completar as tarefas de interesse” 22,7% nem fácil nem difícil e 9,1% difícil, na Tabela 03 pode ser o problema de visualização das caixas de texto foi bastante recorrente (18 vezes) ao longo de todas as tarefas que necessitavam de preenchimento de dados.

Problema 2: As letras são pequenas e é difícil visualizar as informações.

Descrição: Ao longo da navegação no aplicativo os usuários sentiram dificuldades de visualização da fonte usada exigindo assim maior esforço visual e aumentando o tempo normal de execução das tarefas. A escolha do tamanho da fonte dificultou a visualização dos usuários perceptivelmente ainda que no questionário pós-teste onde 36,4% responderam à questão “O tamanho do texto é apropriado para enxergar o que está escrito?” com a opção nem fácil, nem difícil, sendo a mesma quantidade de pessoas (8 pessoas de 24, 30%) que relataram o problema como demonstrado na Tabela 03 e, 63,6% responderam à questão como fácil.

Problema 3: Na configuração do alarme, as horas em cima e os minutos embaixo, me deixaram confuso.

Descrição: Durante a execução da tarefa 05 “Adicionar um alarme” os usuários estranharam o *layout* utilizado na tela do aplicativo com o preenchimento do horário na caixa de texto a cima da caixa de

texto dos minutos (e não ao lado como já são habituados), havendo de 1 a 3 erros e escolhas incorretas nesta tela. Embora a resposta da questão “Visualização à primeira vista das sequências de ações necessárias para completar as tarefas de interesse” tenha 87,5% (21 pessoas de 24) das respostas como fácil pode-se notar uma situação diferente quando relacionado aos comentários dos usuários onde é apresentado na Tabela 03 mostraram-se 8 ocorrências (8 pessoas de 24, 30%), sendo este um número maior do que a soma dos usuários que responderam à questão com as opções nem fácil, nem difícil (3 pessoas de 24, 12,5%) e difícil (2 pessoas de 24, 8,3%) totalizando 5 pessoas de 24 (20,8%).

Problema 4: Muitos dados extensos para digitar.

Descrição: Para a execução de algumas tarefas dentro do aplicativo é necessário que o usuário digite dados como número do cartão do SUS em cada tarefa, o que incomodou 8 usuários como mostra a Tabela 03. Notou-se que nas tarefas que necessitavam de preenchimento desses dados houve um aumento significativo no tempo de execução, havendo 8 pessoas de 24 (30%) com 1 a 3 escolhas incorretas e 10 pessoas de 24 (41,7%) com 1 a 5 erros. Tal fato pode-se decorrer da dificuldade de os usuários digitarem o dado, sendo ele considerado bastante extenso e muitas vezes necessitando conferir em seus documentos o que desvia o olhar da tela do aplicativo para onde está o dado.

Problema 5: Os exemplos nas caixas de textos, deveriam ter uma cor mais clara.

Descrição: Nas caixas de texto presentes no aplicativo existem exemplos dos dados a serem preenchidos para melhor usabilidade, contudo 9 pessoas de 24 (37,5%) relataram que o texto estava difícil de enxergar como mostrado na Tabela 03. Mesmo com a dificuldade, o número de pessoas que insistiram mesmo sem bem visualizar foi notável (15 pessoas de 24, 62,5%) mostrando minimamente eficaz esses exemplos nas caixas de textos.

Estes resultados vieram a comprovar os objetivos iniciais dos testes para verificar se existia facilidade de consulta e visualização das informações em textos, cartões e nos ícones do aplicativo, o que mostrou boa usabilidade dos usuários através dos testes.

Conclusão: Os principais interesses desta avaliação, foram, com maior ênfase, verificar: a facilidade de uso e navegação do aplicativo, sendo, facilidade de execução e tempo de conclusão de tarefas, facilidade de localização de informações, facilidade de visualização e entendimento dos ícones, número de escolhas incorretas, número de erros cometidos e de pedidos de ajuda dos parâmetros utilizados. Os cinco tipos de problemas citados nesta seção estão relacionados principalmente com a

acessibilidade do aplicativo conforme mostram os resultados do ensaio, sendo necessários ajustes simples que terão grande impacto na usabilidade do dia a dia dos usuários reais. Os focos destes problemas estão nas interfaces, nos tamanhos das fontes utilizadas, no *layout* e na redundância de solicitação de alguns dados.

Dessa forma, conclui-se que, a usabilidade do aplicativo Covldosos se mostrou minimamente eficiente e intuitiva para os usuários de diferentes tipos. Segundo a pesquisa dos questionários pós-teste aplicados, 19 dos 24 (79,2%) usuários de teste mostraram-se interessados no uso real do aplicativo em seu dia a dia, o que maximiza e motiva os desenvolvedores a realizarem os ajustes baseados nos problemas levantados e disponibilizar a aplicação para a sociedade, por esta razão, os resultados desta pesquisa estão sendo levados em conta pela professora orientadora e por toda a equipe de desenvolvimento do aplicativo Covldosos, a fim de que as funcionalidades sejam refeitas, e colocadas em prática.

4.2.8 DIRETRIZES

Através da conjunção dos resultados alcançados por meio do teste de usabilidade que foi realizado com o auxílio do Roteiro de atividades no qual constava 9 tarefas a serem realizadas, da observação direta, da interação homem-celular e dos comentários dos usuários, propõe-se diretrizes de projetos. É notório, portanto, que essas diretrizes básicas permitirão que os desenvolvedores do Covldosos possam aprimorar a usabilidade e interfaces para os usuários finais. Com tudo essas diretrizes têm como foco principal nortear o projeto e principalmente as informações contidas em suas telas de dados. Temos então que as recomendações são interpretações fundamentadas em estudos dos próprios autores e/ou desenvolvedores da pesquisa e dos resultados dos testes de usabilidade.

A seguir é descrito o conjunto de diretrizes em forma de itens:

Diretrizes para o Covldosos:

1. Foram encontradas combinações de cores que são incompatíveis com a leitura fazendo com que elementos tais como as caixas de textos tornem-se despercebidas nas telas, isso acabou causando incômodo e dificuldade de visualização e digitação, portanto, é preciso utilizar cores legíveis e que não interfiram na leitura.
2. No sentido de haver uma melhor localização das informações nas telas do aplicativo, sugere-se colocar no canto inferior direito um pequeno ícone de seta indicando que existem mais dados abaixo,

para incentivar os usuários a fazerem uso da rolagem de tela, podendo assim visualizar todas as funcionalidades e informações que o *software* oferece.

3. Para facilitar a saída do usuário no aplicativo, recomenda-se inserir uma função, a qual após o usuário clicar em “sair” da sua tela e voltar diretamente para tela do *login*, seja necessário apenas, acionar o botão de “voltar” do celular (para sair totalmente do aplicativo). Com isso, menos tempo será gasto para sair do *software*, além de proporcionar menos ações para o usuário realizar durante esse processo de saída.

4. Para afirmar a veracidade de alguns dados utilizados no aplicativo na tela de “Boletim”, recomenda-se a criação de um espaço para apresentar a “fonte” de onde os dados foram retirados e, em alguns casos, apresentar também o nome do profissional que fez a última atualização.

5. Com o intuito de solucionar os problemas relacionados à visualização de legendas e caixas de textos, sugere-se que ocorra uma mudança em todas as cores das legendas para letras brancas e fundo na cor cinza azulado, com o intuito de diferenciar o papel de parede do aplicativo das caixas de texto que são totalmente brancas.

6. Para que seja mais simples e costumeira a função “alarme” foi sugerido alocar em uma mesma linha as lacunas a serem preenchidas com a hora e minuto.

7. Para auxiliar os usuários na digitação dos dados, foram adicionados exemplos desses dados de forma bastante visível nas caixas de texto, para que o usuário tenha uma melhor orientação quando for necessário preenchê-la.

5. CONCLUSÃO

Para contornar as dificuldades acarretadas pela pandemia da Covid-19, fez-se necessário usufruir de novas tecnologias, que corroboram para a sociedade dar continuidade a sua rotina, mesmo que seja realizada de uma maneira distinta da anterior. Com base nisso, este trabalho apresenta todo o processo de análise de usabilidade com usuários voluntários e com perfil semelhante aos usuários finais do aplicativo CovIdosos, a fim de identificar possíveis problemas de usabilidade do aplicativo, o qual irá cooperar diretamente com o tratamento de pacientes idosos portadores de Covid-19.

A partir disso, pode-se também contribuir para estudos posteriores, servindo de referência bibliográfica, além de detalhar como se dá a realização de Testes de Usabilidade e sua importância,

visto que, ao realizar esse ensaio com os usuários voluntários, foi possível identificar pontos que precisavam ser alterados para um bom desempenho do aplicativo.

Conforme foi apresentado, essas melhorias incluem desde o *design* das telas e campos, até o incremento de novas funcionalidades. Esses detalhes, por mais que sejam mínimos, interferem diretamente durante o momento de utilização do aplicativo por meio dos usuários, tornando-se então, de extrema importância a realização destes ensaios, antes de disponibilizar o aplicativo CovIdosos para o público em geral.

Finalmente, acredita-se que a principal contribuição deste trabalho foi realizar um estudo de avaliação em um aplicativo de *software* voltado para a área da saúde, com conhecimentos oriundos da interação homem-computador, *design* e da avaliação da usabilidade, resultando em diretrizes específicas para aperfeiçoamento desse aplicativo e enfatizando sempre a opinião dos usuários de teste.

REFERÊNCIAS:

CHAVES, A. S. C.; OLIVEIRA, G. M.; de JESUS, L. M. De S.; MARTINS, J. L.; da SILVA, V. C. Uso de aplicativos para dispositivos móveis no processo de educação em saúde: reflexos da contemporaneidade. Revista Humanidades e Inovação, v. 5, n. 6, p. 35 - 42, jul.- ago. 2018.

Dumas, J. S., Redsihn, J. A Practical Guide to Usability Testing Revised, Subsequent Edition. Intellect Ltd; Revised, Subsequent edition. January 1, 1999.

FIORE, Matheus. Pandemia aumenta em 75% a procura de aplicativos de saúde. Tech, 2021. Disponível em: <<https://www.b9.com.br/145331/pandemia-aumenta-em-75-a-procura-de-aplicativos-de-saude/>>. Acesso em: 29 de nov, 2021.

IDC '17- Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children, Stanford, EUA, 2017.

Kodular, Much more than a modern app creator without coding. 2012. Disponível em: <<https://www.kodular.io/>> Acesso em: 15 de maio, 2021.

QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de. Abordagem híbrida para a avaliação da usabilidade de interfaces com o usuário. 2001. 432f. (Tese) Doutorado em Engenharia Elétrica, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Universidade Federal da Paraíba – Campus II - Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2001.

Capítulo 6



10.37423/220606014

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA APROVEITANDO O CALOR REJEITADO DO AR CONDICIONADO

Josué Moreira de Souza

Universidade Cândido Mendes



Resumo: *Os equipamentos de ar condicionado são cada vez mais utilizados, pois o conforto que os mesmos proporcionam aos ambientes é de extrema necessidade atualmente. Quando em funcionamento esses equipamentos além de climatizar os locais também liberam um calor extra, o qual é dissipado sem utilização, com isso o trabalho busca encontrar uma forma de aproveitar este calor. Para isso foi realizada a partir de um ambiente pré-estabelecido, o cálculo da carga térmica, posteriormente a escolha de um aparelho de ar condicionado que cumpra a necessidade do local, com informações do aparelho e do fluido refrigerante utilizado pelo mesmo calculou-se a quantidade de calor dissipado. Com esse resultado buscou-se estabelecer se a quantidade seria suficiente para usar no aquecimento de água para o chuveiro da residência para a utilização dos três moradores do local por dez minutos de banho cada. Com a quantidade de calor rejeitado calculada viu-se que não seria o suficiente para aquecer a água necessária.*

Palavras-chave: *Ar condicionado. Carga térmica. Calor. Aquecimento. Aproveitamento.*

1.INTRODUÇÃO

Conforme a pesquisa feita pelo Ministério de Minas e Energia, em dezembro de 2018, o consumo de energia elétrica para condicionamento de ar nas residências brasileiras mais que triplicou nos últimos 12 anos. Segundo o relatório do documento, houve um aumento considerável de posse de equipamentos nas residências brasileiras, bem como de 9,0% ao ano, no período de 2005 e 2017. Isso revela que cada vez mais o aparelho de ar condicionado está presente nos lares dos brasileiros (MME, 2018).

Em contrapartida, vale se atentar que embora o Brasil, por sua vez, seja um país tropical, é comum a maioria dos brasileiros recorrer ao chuveiro elétrico para aquecimento da água, gerando um alto consumo de energia somando ao uso do sistema de refrigeração. Para o consumidor, o impacto mais óbvio da utilização do chuveiro elétrico é o aumento na conta de energia, pois o mesmo corresponde a mais de 20% de todo o consumo residencial do país (TOMÉ, 2014).

Em face a essa realidade, considerando a notória redução dos recursos existentes no cotiando, torna-se indispensável à procura de ideias inovadoras que propiciem economia dos mesmos, proporcionando, desta forma, a sustentabilidade. Levantar questões referentes a produção de equipamentos com maior rendimento, também maneiras de que a população utilize da melhor forma possível as novas tecnologias e com preocupação ambiental (SAIDEL ET AL, 2000).

Diante da necessidade de preservação ambiental a partir da diminuição do consumo de energia elétrica, este trabalho acadêmico se propõe discutir, a possibilidade de aproveitamento do calor dissipado pelo aparelho de ar condicionado para o aquecimento de água de chuveiro, o que pode gerar menor gasto com energia elétrica. Contudo, espera-se que com a criação de uma alternativa do uso do calor para aquecer a água melhore a eficiência energética.

1.1. OBJETIVOS

Demonstrar a possibilidade de aproveitamento do calor gerado nos sistemas de refrigeração para o aquecimento da água do chuveiro, deste modo avaliar a melhoria da eficiência energética. Realizar o cálculo da carga térmica de um ambiente a ser estudado. Escolher o equipamento ideal para o ambiente. Apresentar uma proposta de aquecimento da água a partir do calor rejeitado pelo ar condicionado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. AMBIENTE ESTUDADO

O ambiente a ser estudado é um dormitório suíte que faz parte de uma residência unifamiliar localizada na cidade de São Francisco de Itaboana, Rio de Janeiro. As medidas e posição solar são apresentadas na Figura 1.

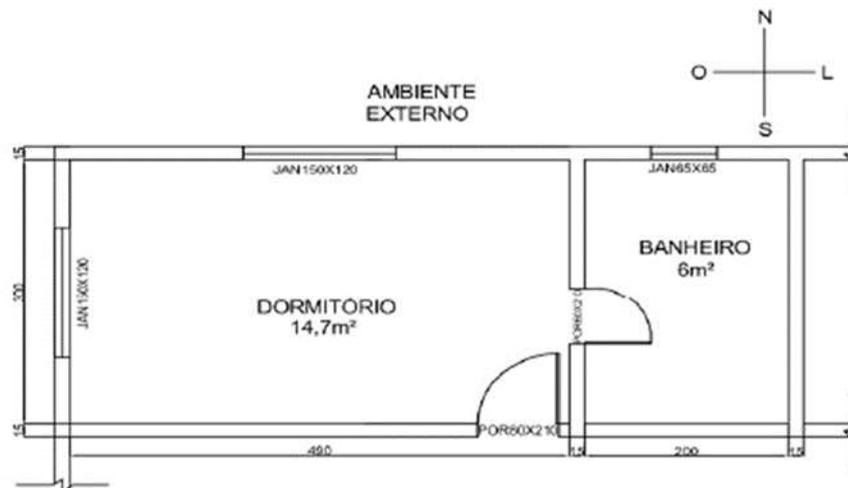


FIGURA 1. Ambiente estudado. Fonte: o autor (2019).

2.2. CÁLCULO DA CARGA TÉRMICA

Para o cálculo da carga térmica foram utilizados os critérios da NB-158 da ABNT, que possui uma forma simplificada com valores a se considerar já definidos.

1º Critério

Para uma primeira apresentação do ambiente a ser climatizado, foi elaborado um croqui, visto na Figura 1, além do croqui o ambiente possui as seguintes informações:

- 120 W de potência dos aparelhos presentes (1 televisão, 2 lâmpadas);
- Pé-direito: 2,7m;
- 1 pessoa (dormitório);
- Primeiro andar;
- 2 janelas com proteção externa (auxilia na proteção ao calor externo); e 1 janela sem proteção.
- Parede: construção pesada (externas e internas).

Neste critério deve-se somar a área das janelas de acordo com a orientação de cada parede em metros quadrados (m²).

3º Critério

Neste passo deve ser feita a multiplicação das áreas das janelas pelos fatores já definidos, analisando se as janelas do ambiente possuem proteção externa, proteção interna ou se não possuem proteção. No caso do ambiente estudado as janelas apresentam proteção externa.

4º Critério

Já neste momento soma-se os valores obtidos em (área x fator) como kCal/h (quantidade x fator). Como o ambiente estudado é um dormitório não será considerada a insolação.

5º Critério

Critério para as janelas de transmissão, nele calcula-se as áreas das janelas e multiplica-se pelo seu fator, dando o resultado em kCal/h (quantidade x fator).

6º Critério

Nesta etapa deve-se obter o resultado das áreas das paredes. A parede que fica na orientação sul precisa ser determinada. Como a porta existente no ambiente possui largura inferior a 1,5 m será considerada como parte da parede.

7º Critério

A multiplicação das áreas com os fatores é feita e o resultado incluído na coluna kCal/h (Quantidade x fator).

8º Critério

Este critério trata do teto do ambiente, deve ser calculada a área do mesmo, após multiplicada pelo fator correspondente e obter o resultado em kCal/h (Quantidade x fator).

9º Critério

Para este critério deve-se calcular a área do piso do ambiente, multiplicar pelo fator determinado e único 13, obtendo o resultado em kCal/h (Quantidade x fator).

10º Critério

Deve-se ter a quantidade de pessoas que frequentam o ambiente, esta quantidade multiplica-se pelo fator 150 para obter o resultado.

11º Critério

A presença de lâmpadas e outros aparelhos elétricos no ambiente influenciam também, deve-se determinar a potência destes equipamentos, multiplicar a potência encontrada pelo fator 1,0 e obter o resultado em kCal/h (Quantidade x fator).

12º Critério

Neste critério deve-se observar se o ambiente conta com portas ou vãos que permanecem constantemente abertos. No caso do ambiente estudado não há esta característica.

13º Critério

Nesta etapa soma-se todos os valores obtidos em kCal/h (Quantidade x fator).

14º Critério

O valor obtido na soma posteriormente é multiplicado pelo fator de correção dependendo da região do mapa, apresentado na Figura 2.



Figura 2. Mapa de fator de correção. Fonte: NB 158 ABNT.

15º Critério

Após ser aplicado o fator de correção, multiplica-se pelo fator 3,968 para fazer a conversão para BTU, unidade utilizada pelo mercado.

2.3. VOLUME DE ÁGUA PARA AQUECIMENTO

A partir de estudos com diversos modelos de chuveiros no mercado, chegou-se a média de consumo de água de 0,1 L/s. Com isso foi determinada a seguinte Equação 1 para obter o volume de água a ser aquecido.

$$V = 0,1 \times Np \times Tbanho \quad (1)$$

Onde:

V: volume a ser aquecido (L);

Np: número de moradores na residência; Tbanho: tempo de banho (s).

2.4. VAZÃO MÁSSICA

Para o cálculo da vazão mássica será utilizada a Equação 2.

$$m = \frac{Q_0}{(h_1 - h_4)} \quad (2)$$

Onde:

m: vazão mássica do ar (kg);

Q0: Capacidade de refrigeração (kW);

h1 e h4: entalpia nos pontos 1 e 4 (kJ/kg).

2.5 CALOR REJEITADO (QH)

Para o cálculo do calor rejeitado pelo equipamento será utilizada a Equação 3.

$$Qh = m \times (h_3 - h_2) \quad (3)$$

Onde:

Qh: calor rejeitado (kJ);

m: vazão mássica do ar (kg);

h2 e h3: entalpias nos pontos (kJ/kg).

2.6 AQUECIMENTO DA ÁGUA

Para o cálculo do calor necessário para o aquecimento de determinado volume de água será utilizada a Equação 4.

$$Q = m \times c \times (\Delta T) \quad (4)$$

Onde:

Q: calor para o aquecimento (cal); m: massa de água (g);

c: calor específico (cal/g°C);

ΔT : variação de temperatura (°C).

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com o ambiente climatizado mostrado na Figura 3, os cálculos foram realizados.

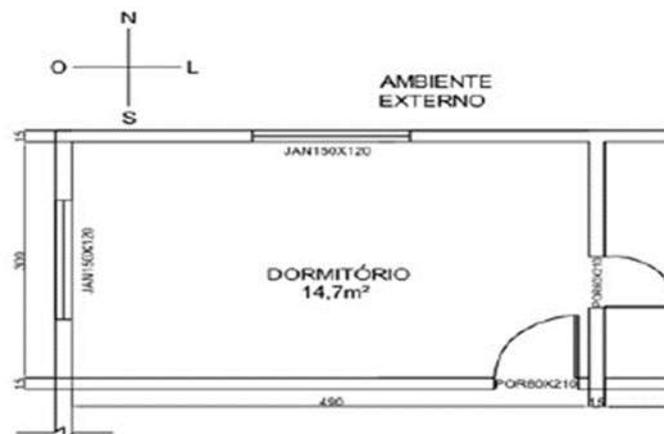


Figura 3. Ambiente climatizado. Fonte: o autor (2019).

A partir da utilização do método simplificado foi realizado o cálculo utilizando os quinze critérios estabelecidos pela norma.

3.1. JANELAS

Para o cálculo das janelas, primeiramente foi obtida as áreas das mesmas, referentes a cada posição:

- Janelas norte com proteção externa (veneziana em madeira) de 1,5x1,2 m.

$$\text{Área janela com proteção} = 1,5 \times 1,2 = 1,8 \text{ m}^2$$

- Janela oeste, de 1,5x1,2 m com proteção externa (veneziana em madeira).

$$\text{Área janela com proteção} = 1,5 \times 1,2 = 1,8 \text{ m}^2$$

Após os cálculos das áreas, foi multiplicado a soma das mesmas pelos fatores correspondentes de acordo com NB 158, 70 para a janela com proteção da fachada norte e 150 para a janela com proteção da fachada oeste.

- Norte

$$(\text{área} \times \text{fator}) = 1,8 \times 70 = 126 \text{ kcal/h}$$

- Oeste

$$(\text{área} \times \text{fator}) = 1,8 \times 150 = 270 \text{ kcal/h}$$

3.2. INSOLAÇÃO

A insolação é dada pela transmissão de calor através das superfícies transparentes, no caso das janelas foi calculada a área das mesmas.

$$\text{Área janela norte} = 1,5 \times 1,2 = 1,8 \text{ m}^2 \quad \text{Área janela oeste} = 1,5 \times 1,2 = 1,8 \text{ m}^2$$

Considerando a proteção externa (veneziana em madeira) existentes nas duas janelas e as direções das mesmas (norte e oeste) a partir de Almeida e Rocha (2010), são mostrados na Figura 4, encontrou-se os fatores de 114 para a janela norte e 448 para a oeste, utiliza-se os maiores fatores visando obter a carga térmica para a situação mais crítica.

		FATOR SOLAR DE ÁREAS DE VIDROS [Kcalh·m ⁻²]												
Verão		SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR
Hora Local		SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR	SELECIONAR
Dia Do Ano	Face do Prédio	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2 3 O 2 U 0 T U F E R V O	S	16	24	30	35	38	38	38	38	38	35	35	24	16
	SE	141	342	307	214	103	43	38	38	38	35	35	22	5
	E	168	415	488	440	285	138	38	38	38	35	35	22	5
	NE	92	209	342	334	304	187	79	41	38	35	35	22	5
	N	5	22	33	52	84	106	114	106	84	52	38	22	5
	NO	5	22	30	35	38	41	79	187	304	334	331	209	92
	O	5	22	30	35	38	38	38	152	285	440	448	415	168
	SO	5	22	30	35	38	38	38	43	103	214	209	342	168
	CLARABÓIA	16	138	320	472	597	662	692	662	597	472	372	138	16

Figura 4. Fator solar de áreas de vidros. Fonte: Almeida Rocha (2010).

$$(\text{área} \times \text{fator}) \text{ norte} = 1,8 \times 114 = 205,2 \text{ kcal/h}$$

$$(\text{área} \times \text{fator}) \text{ oeste} = 1,8 \times 448 = 806,4 \text{ kcal/h}$$

3.3. PAREDES

As paredes do ambiente, tanto externas quanto internas, são de construção leve. As áreas das mesmas foram calculadas. As paredes externas estão presentes somente em orientações norte e oeste.

- Paredes externas (norte e oeste)

$A \text{ parede} = \text{comprimento} \times \text{pé} - \text{direito}$

$$A \text{ parede} = (4,90 + 3,00) \times 2,7 = 21,33 \text{ m}^2$$

- Paredes internas

$A \text{ parede} = \text{comprimento} \times \text{pé} - \text{direito}$

$$A \text{ parede} = (4,90 + 3,00) \times 2,7 = 21,33 \text{ m}^2$$

Com o cálculo das áreas das paredes feito, multiplicou-se os valores pelos fatores correspondentes de acordo com a NB 158, 20 para paredes externas e 8 para as internas, obtendo o resultado em kcal/h.

- Paredes externas (norte e oeste)

$$(\text{área} \times \text{fator}) = 21,33 \times 20 = 426,60 \text{ kcal/h}$$

- Paredes internas

$$(\text{área} \times \text{fator}) = 21,33 \times 8 = 170,64 \text{ kcal/h}$$

3.4. TETO

O teto do ambiente estudado é tipo laje, não apresentando telhado e revestimento

$$\text{Área teto} = 4,90 \times 3,00 = 14,7 \text{ m}^2$$

Após o cálculo da área correspondente ao teto, multiplicou-se pelo fator do teto em laje, ($\text{área} \times \text{fator}$) = $14,7 \times 75 = 1102,50 \text{ kcal/h}$

3.5. PISO

Como o piso está diretamente ao solo, o valor é nulo para a contribuição térmica.

3.6. QUANTIDADE DE PESSOAS

Nessa etapa do cálculo, determinou-se a quantidade de pessoas que frequentam o ambiente, 1 pessoa, por se tratar de um quarto de solteiro com uma cama.

Após multiplicou-se pelo fator 150, de acordo com a NB 158, que corresponde às pessoas no ambiente

$$(\text{área} \times \text{fator}) = 1 \times 150 = 150 \text{ kcal/h}$$

3.7. ILUMINAÇÃO

Com a utilização de 2 lâmpadas de 10 W cada, uma televisão de 100 W, uma luminária de LED de 4 W e um notebook de 45 W.

Com a potência dos aparelhos determinada foi feita a multiplicação pelo fator 1, segundo a NB 158. total.

$$(\text{área} \times \text{fator}) = (100 + 10 + 10 + 4 + 45) \times 1 = 169 \text{ kcal/h}$$

3.8. PORTAS E VÃOS CONSTANTEMENTE ABERTOS

O ambiente estudado não apresenta a característica.

3.9. TOTAL

Após concluídos os cálculos, somou-se as cargas térmicas obtidas para a obtenção do valor

$$TOTAL = 126 + 270 + 205,2 + 806,4 + 426,6 + 170,64 + 1102,5 + 150 + 169 = 3426,34 \text{ kcal/h}$$

3.10. FATOR DE CORREÇÃO

Pelo fato do ambiente estudado estar localizado no estado do Rio de Janeiro, o fator de correção adotado é 1,0.

$$Total \text{ corrigido} = 3426,34 \times 1,0 = 3426,34 \text{ kcal/h}$$

Conversão para BTU

Com o valor em kcal/h calculado, converteu-se para BTU multiplicando pelo fator 3,968.

$$Total \text{ em BTU} = 3426,34 \times 3,968 = 13595,72 \text{ BTU}$$

Com o acréscimo de 10% para coeficiente de segurança fica:

$$Total \text{ em BTU} = 13595,72 \times 1,1 = \mathbf{14955,3 \text{ BTU}}$$

3.11. ESCOLHA DO EQUIPAMENTO

Tendo em vista a necessidade de um aparelho que cumpra a exigência de 14955,30 BTU, o equipamento escolhido foi um de 18000 BTU, afim de ultrapassar o mínimo exigido. Utilizando catálogo do fabricante foi escolhido o seguinte equipamento, mostrado na Figura 5.



Figura 5. Equipamento escolhido. Fonte: Electrolux (2020).

As características técnicas para o equipamento estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações técnicas do equipamento escolhido.

CARACTERÍSTICA	VALOR
MODELO	TI18F
Capacidade (BTU/h)	18000 BTUs
Classificação Energética	A
Consumo mensal (Kwh/mês)	34,2
Gás Refrigerante	R-410A
Ideal até (m ²)	24 m ²
Sistema de fase	Monofásico

Fonte: Electrolux (2020).

O gás refrigerante utilizado pelo equipamento é o R410A, as informações do mesmo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características técnicas do gás refrigerante R-410A.

PROPRIEDADES	Unidade	R-410A
Peso molecular	(g/mol)	72,6
Temperatura ebulição (a 1,013 bar)	(°C)	-51,58
Deslizamento temperatura de ebulição (a 1,013 bar)	(K)	0,1
Temperatura crítica	(°C)	72,13
Pressão crítica	(bar abs)	49,26
Densidade crítica	(kg/m ³)	488,9
Densidade do líquido (25°C)	(kg/m ³)	1062
Densidade do líquido (-25°C)	(kg/m ³)	1273
Densidade do vapor saturado (25°C)	(kg/m ³)	4,12
Vazão	(m ³ /h)	600
Pressão do vapor (25°C)	(bar abs)	16,5
Pressão do vapor (-25°C)	(bar abs)	3,3
Calor de vaporização a ponto de ebulição	(KJ/kg)	276
Calor específico do líquido (25°C)	(KJ/kg.K)	1,84
Calor específico do vapor (25°C) (1 atm)	(KJ/kg.K)	0,83
Condutibilidade térmica do líquido (25°C)	(W/mK)	0,088
Condutibilidade térmica do vapor (25°C) (1 atm)	(W/mK)	0,013
Solubilidade com água (25°C)	ppm	depreciável
Limite de inflamabilidade	(% vol.)	nenhum

Fonte: adaptado Gasservei (2020).

Na Tabela 3 mostra-se a relação entre temperatura e pressão.

Tabela 3. Características técnicas do gás refrigerante R-410A (temperatura/pressão).

T (°C)	R-140A (bar)	T (°C)	R-410A (bar)
-60	0,6	10	10,81
-50	1,12	20	14,31
-40	1,79	30	18,6
-30	2,74	40	23,76
-20	4,04	50	29,9
-10	5,76	60	37,44
0	7,98		

Fonte: adaptado Gasservei (2020).

3.12. ENTALPIA

Para as entalpias nas pressões de trabalho nas linhas de alta e de baixa foi observado a tabela para o gás R410A de Olender (2014), que estão no Anexo B e C.

A Figura 6 mostra as pressões de alta e de baixa para o equipamento escolhido e os pontos onde a entalpias será encontrada.

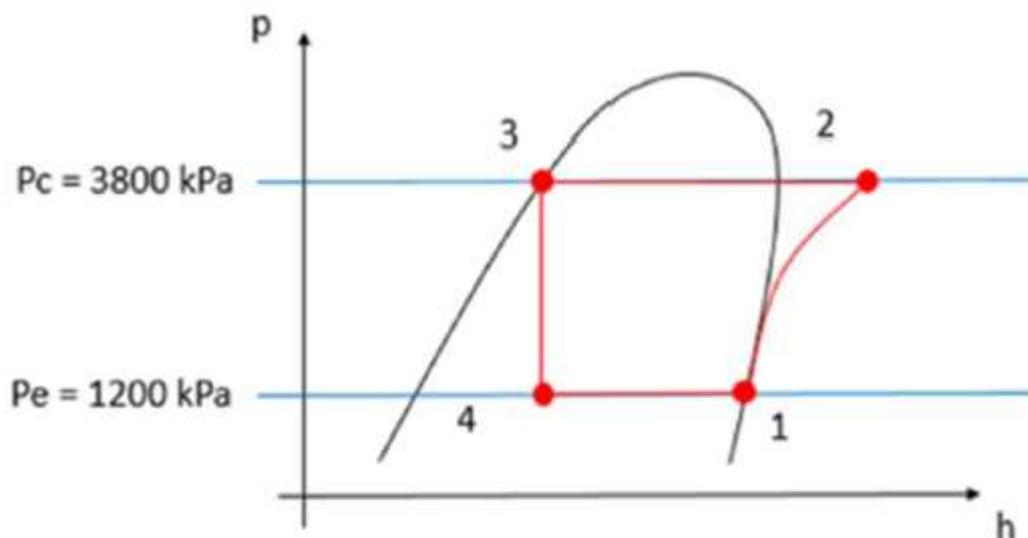


Figura 6. Gráfico pxh para o equipamento. Fonte: o autor (2020).

Fazendo uso da fórmula de interpolação apresentada na Equação 5, os valores de entalpia foram calculados, pois nas Figuras 7 não apresentava o valor para o fluido na pressão necessária.

$$y = y_1 + \left[\left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right) (y_2 - y_1) \right] \quad (5)$$

R-410A saturado													
Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m³/kg)			Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
		Líquido saturado v_f	Evap. v_g	Vapor saturado v_g	Líquido saturado u_f	Evap. u_g	Vapor saturado u_g	Líquido saturado h_f	Evap. h_g	Vapor saturado h_g	Líquido saturado s_f	Evap. s_g	Vapor saturado s_g
10	1085,7	0,000886	0,02295	0,02383	72,24	183,06	255,90	73,21	208,57	281,78	0,2810	0,7206	1,0176
15	1255,4	0,000904	0,01955	0,02045	80,02	177,10	257,12	81,15	201,64	282,79	0,3083	0,6998	1,0081
20	1444,2	0,000923	0,01666	0,01758	87,94	170,21	258,16	89,27	194,28	283,55	0,3357	0,6827	0,9984
25	1653,6	0,000944	0,01420	0,01514	96,03	162,95	259,08	97,59	186,43	284,02	0,3631	0,6653	0,9884
30	1885,1	0,000968	0,01208	0,01305	104,32	155,24	259,86	106,14	178,02	284,16	0,3908	0,6472	0,9781
35	2140,2	0,000995	0,01025	0,01124	112,83	147,00	260,53	114,95	168,94	283,89	0,4189	0,6282	0,9671
40	2420,7	0,001025	0,00865	0,00967	121,61	138,11	261,02	124,09	159,04	283,13	0,4473	0,6079	0,9552
45	2728,3	0,001060	0,00723	0,00829	130,72	128,41	261,13	133,61	148,14	281,76	0,4765	0,5856	0,9421
50	3065,2	0,001103	0,00597	0,00707	140,27	117,83	260,90	143,65	135,93	279,58	0,5067	0,5606	0,9273
55	3433,7	0,001156	0,00482	0,00598	150,44	106,34	260,38	154,41	121,89	276,30	0,5384	0,5315	0,9109
60	3836,9	0,001227	0,00374	0,00497	161,57	94,70	259,27	166,28	105,04	271,33	0,5729	0,5153	0,8882

Tabela B.4.2 (continuação) R-410A superaquecido								
T °C	v (m³/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)	v (m³/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg K)
3000 kPa (49,07°C)				4000 kPa (61,90°C)				
Sat	0,00729	258,19	280,06	0,9303	0,00660	250,37	268,76	0,8792
60	0,00858	274,96	300,70	0,9933	-	-	-	-
80	0,01025	298,38	329,12	1,0762	0,00861	285,02	311,48	1,0028
100	0,01159	319,07	353,84	1,1443	0,00792	309,62	341,29	1,0850
120	0,01277	338,84	377,16	1,2052	0,00897	331,39	367,29	1,1529
140	0,01387	358,32	399,92	1,2617	0,00990	352,14	391,75	1,2136
160	0,01489	377,80	422,49	1,3150	0,01076	372,51	415,53	1,2698
180	0,01586	397,46	445,09	1,3661	0,01156	392,62	439,05	1,3229
200	0,01683	417,37	467,85	1,4152	0,01232	413,25	462,52	1,3736
220	0,01775	437,60	490,84	1,4628	0,01305	433,88	486,10	1,4224
240	0,01865	458,16	514,11	1,5091	0,01377	454,79	509,85	1,4696
260	0,01954	479,08	537,69	1,5541	0,01446	475,99	533,83	1,5155
280	0,02041	500,37	561,59	1,5981	0,01514	497,51	558,08	1,5601
300	0,02127	522,01	585,81	1,6411	0,01581	519,37	582,60	1,6037
320	0,02212	544,02	610,37	1,6833	0,01647	541,55	607,42	1,6462
340	0,02296	566,37	635,25	1,7245	0,01712	564,06	632,54	1,6879
360	0,02379	589,07	660,45	1,7650	0,01776	586,90	657,95	1,7286

Figura 7. Características físicas gás R-410A. Fonte: Olender (2014).

Ponto 1

Para o ponto 1 sabemos que o vapor é saturado e que a pressão é de 1200 kPa, com isso utilizando a tabela fazemos a interpolação.

$$h = 281,78 + \left[\left(\frac{1200 - 1085,7}{1255,4 - 1085,7} \right) (282,79 - 281,78) \right] = 282,46 \text{ kJ/kg}$$

Além disso o ponto 1 possui uma entropia importante de ser calculada para auxiliar na obtenção da entalpia do ponto 2.

$$s = 1,0176 + \left[\left(\frac{1200 - 1085,7}{1255,4 - 1085,7} \right) (1,0081 - 1,0176) \right] = 1,01112 \text{ kJ/kgK}$$

Ponto 2

Para o ponto 2, partindo do princípio que entropia no ponto 2 é igual a do ponto 1, sendo assim 1,0112 kJ/kg.K, e que se trata de vapor superaquecido na pressão de 3800 kPa. Com o auxílio da tabela encontra-se a entropia correspondente ao valor acima, encontrando também a entalpia para as pressões de 3000 kPa e 4000 kPa, necessitando assim de interpolação para encontrar o valor correspondente em 3800 kPa.

$$h = 300,70 + \left[\left(\frac{3800 - 3000}{4000 - 3000} \right) (311,48 - 300,70) \right] = 309,32 \text{ kJ/kg}$$

Ponto 3

Nesse ponto sabe-se que é líquido saturado e que está na pressão de 3800 kPa, interpolando com as pressões existentes na tabela em anexo,

$$h = 154,41 + \left[\left(\frac{3800 - 3433,7}{3836,9 - 3433,7} \right) (166,28 - 154,41) \right] = 165,19 \text{ kJ/kg}$$

Ponto 4

O ponto 4 apresenta a mesma entalpia do ponto 3, 165,19 kJ/kg. A Tabela 4 apresenta as entalpias para os pontos do ciclo.

Tabela 4. Entalpia nos pontos do ciclo.

PONTOS	ENTALPIA (kJ/kg)
1	282,46
2	309,32
3	165,19
4	165,19

Fonte: o autor (2020).

3.13. VAZÃO MÁSSICA

Utilizando a equação 2 apresentada anteriormente, a potência de refrigeração do equipamento de 1,754 kW e as entalpias encontradas para o ponto 1 e 4 temos:

$$m = \frac{Q_0}{(h_1 - h_4)}$$

$$m = \frac{1,754}{(282,46 - 165,19)} = 0,015 \text{ kg/s}$$

3.14. CÁLCULO DO CALOR REJEITADO (QH)

A partir dos cálculos mostrados anteriormente e com o auxílio dos quadros, foi obtido o valor para o calor rejeitado, equação 3, onde obteve-se o calor rejeitado (Qh) por meio da multiplicação da vazão mássica (m) pela subtração das entalpias do segundo e terceiro ponto (h2-h3), para entendimento o ciclo do calor rejeitado é mostrado na Figura 9: 2,162

$$Q_h = m \times (h_2 - h_3)$$

$$Q_h = 0,015 \times (309,32 - 165,19) = 2,162 \text{ kJ/s}$$

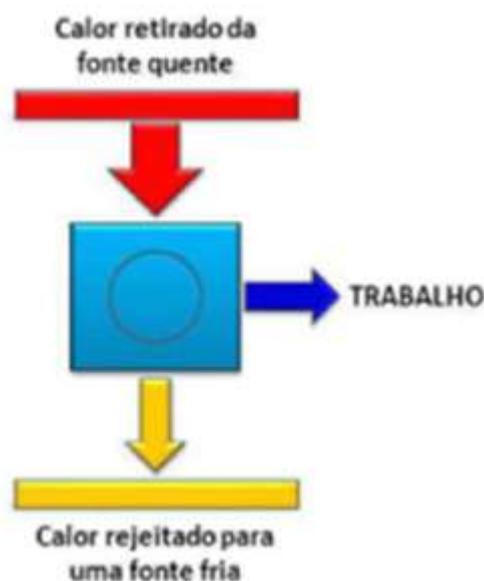


Figura 9. Diagrama do ciclo. Fonte: Incropera e Dewitt (2008).

3.15. AQUECIMENTO DA ÁGUA

Para o aquecimento ideal para a água do banho, foi considerada a temperatura de 35 °C, além de assumirmos a temperatura ambiente de 22 °C em média no inverno da cidade onde o ambiente está localizado. Também para o cálculo foi feita a conversão de kJ para kcal.

$$2,162 \text{ kJ} = 0,5172 \text{ kcal}$$

Com a Equação 4 apresentada anteriormente podemos calcular o volume necessário para o banho dos três moradores, com média de 10 minutos cada.

$$\begin{aligned} V &= 0,1 \times N_p \times T_{\text{banho}} \\ V &= 0,1 \times 3 \times 600 = 180 \text{ l} \\ m &= 180 \text{ kg} \end{aligned}$$

Com o calor rejeitado de 1860,18 kcal, a variação de temperatura de 13 °C (35 - 22) e o calor específico da água de 1 cal/g°C foi calculado a massa que essa quantidade de calor seria capaz de aquecer.

$$\begin{aligned} Q &= m \times c \times (\Delta T) \\ 517,213 &= m \times 1 \times (35 - 22) \\ m &= \frac{517,213}{13 \times 1} = 39,8 \text{ g} = 39,8 \text{ ml em 1 segundo} \end{aligned}$$

3.16. CONCLUSÕES

Este trabalho foi elaborado perante um problema de grande importância, o aproveitando do calor rejeitado por um equipamento de ar condicionado, a forma de aproveitando que foi proposta foi a da utilização para aquecimento da água para o banho. Para isso diversos pontos foram levantados de acordo com a situação do local estudado principalmente, carga térmica de acordo com o método simplificado foi o fator principal para a determinação de qual equipamento supriria a necessidade do ambiente.

A escolha do equipamento foi percebida como fundamental, já que a partir dele, o fluido refrigerante é conhecido, o que interfere diretamente em critérios calculados, como entalpia.

Fatores próprios do local onde o ambiente se encontra é de extrema importância, já que dependendo da região do país e até mesmo das direções das aberturas que o ambiente apresenta gera diferenças significativas nos resultados obtidos, podendo contribuir positivamente ou negativamente para a solução proposta dar certo.

Com o resultado obtido de 2,162 kcal de calor rejeitado pelo sistema chegou-se a quantidade de 39,8 ml de água por segundo que esse sistema pode aquecer dentro das características propostas. Sendo assim não torna-se viável a utilização do calor rejeitado para o aquecimento da água para o banho.

Possíveis formas para transformar o sistema viável em um estudo futuro podem ser adotadas, como a escolha de um equipamento com um fluido refrigerante diferente, o que pode gerar maior entalpia, gerando maior calor dissipado ou a união de mais um equipamento de ar condicionado para o mesmo fim. A utilização deste procedimento em outras regiões do país ou em outras residências e ambientes da mesma região, pode apresentar resultado viável, dependendo de aspectos diversos como características construtivas do ambiente, quantidade de pessoas frequentadores do local, área e aparelhos elétricos utilizados no ambiente além de quesitos como clima, que interfere na variação de temperatura do cálculo, causando mudanças significativas nos resultados alcançados. A adoção do método detalhado é um fator que pode gerar resultados distintos se for utilizado como forma de cálculo da carga térmica.

O presente trabalho como os resultados alcançados com ele contribui diretamente com possíveis próximos estudos relacionados, além de promover um pensamento ecológico, o qual pode ser adotado em outros locais tornando viável o sistema, gerando economia de energia entre outros benefícios.

REFERÊNCIAS

GASSERVEI. Dados técnicos R-410A. Especialistas em gases refrigerantes y productos para a/a y refrigeración.

MME – Ministério de Minas e Energia. Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Brasília: MME, 2018.

OLENDER, A.; Tabelas termodinâmicas. USP, São Paulo, 2014.

SAIDEL, M. A.; KANAYAMA, P. H.; CARVALHO, C. E.; ALVAREZ, A. L. M.; UDAETA, M. E. M. A

conservação de energia. In: REIS, L. B.; SILVEIRA, S. Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável: introdução de uma visão multidisciplinar. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo: 2000.

TOMÉ, M. C. Análise do impacto do chuveiro elétrico em redes de distribuição no contexto da tarifa horossazonal. Dissertação (mestrado) - universidade estadual de campinas, faculdade de engenharia elétrica e de computação, campinas, 2014.

Capítulo 7



10.37423/220606025

A INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ TORCIONAL DO CHASSI NA DINÂMICA LATERAL DE UM VEÍCULO DO TIPO BAJA SAE

João Lucas Moura Ferreira

Universidade Federal de São João Del Rei

Arthur Barroso Costa

Universidade Federal de São João Del Rei

Gabriel Cruz Resende

Universidade Federal de São João Del Rei

João Pedro Moura Souza Possa

Universidade Federal de São João Del Rei

Igor Antunes Ferreira

Universidade Federal de São João Del Rei



Resumo: *Utilizando de um protótipo Baja SAE da Equipe Kokimeto Baja UFSJ, foi desenvolvido no presente trabalho a análise e influência da rigidez torcional do chassi no comportamento dinâmico do veículo. Assim sendo, o estudo feito foi inteiramente baseado nos conceitos de transferência de carga lateral e gradiente subesterço. Foram realizadas simulações do protótipo, em questão, nos softwares Altair Hyperworks® e, foram criados modelos matemáticos no programa MATLAB®, a fim de calcular a transferência de carga lateral e o gradiente subesterço. Para a simulação do protótipo, foi utilizada uma malha 2D e, os componentes de Suspensão e Direção, como pivôs e amortecedores, foram considerados como rígidos, tendo como resultado a rigidez torcional do chassi para os eixos traseiro e dianteiro. Para cálculos matemáticos, considerações importantes foram feitas para correlacionar os dados de transferência de carga lateral e gradiente de subesterço, com a rigidez torcional do chassi. Finalizado o estudo, foi possível concluir que o veículo analisado possui um comportamento sobresterçante e, a rigidez torcional do seu chassi não afeta, significativamente, sua dinâmica lateral.*

Palavras-chave: *Chassi, Rigidez Torcional, Baja, Dinâmica.*

1. INTRODUÇÃO

A *Society of Automotive Engineering* (SAE) propõe, aos estudantes de engenharia, e outros cursos envolvidos, a chance de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, visando incrementar sua preparação para o mercado de trabalho. Os alunos que participam da Competição Baja SAE BRASIL são desafiados a projetar, construir e operar um protótipo *off road* de estrutura veicular tipo *spaceframe*, atendendo as normas do Regulamento Administrativo Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB - Ementa 3). O veículo projetado deve ser capaz de transpor as adversidades e obstáculos das pistas, além de apresentar um desempenho eficiente em aspectos dinâmicos veiculares dentro das competições (SAE, 2020).

Como relatado por Milliken e Milliken (1995), o chassi é o componente básico de todo automóvel. Ele consiste em uma estrutura interna que recebe todas as outras partes do veículo e deve suportar todas as cargas mecânicas, de forma a garantir segurança aos ocupantes e a interação dos subsistemas, como Direção e Suspensão. Comumente aplicado na fase de planejamento, o método de elementos finitos (MEF) foi empregado no estudo, com a utilização do *software Hypermesh*[®], para fins de análises estruturais do projeto do chassi.

Um chassi que tenha certa carência de rigidez torcional pode afetar toda a distribuição de transferência de carga lateral, além de causar deslocamentos dos pontos de fixação da suspensão (*hard points*), que modificam sua cinemática, podendo provocar repercussões dinâmicas indesejadas, como ocorrências de vibrações ou ressonância (SAMPO, 2011). “De fato, sabe-se que para obter bons desempenhos de manuseio, a rigidez, junto com a leveza e a distribuição do peso, é uma das propriedades mais importantes de um chassi” (SAMPO, 2010).

Veículos de competição do tipo Baja, são predispostos a possuir um comportamento sobresterçante (*oversteer*), nessa situação, a aceleração lateral no centro de gravidade (CG) faz com que o ângulo de deslizamento nas rodas traseiras seja superior ao da dianteira (GILLESPIE, 1992). Além disso, outros fatores como a transferência de carga, a velocidade e o tipo de geometria da direção, fazem com que o raio de curvatura seja menor e a curva é realizada em menos tempo. Para o projeto dinâmico do subsistema de suspensão, é fundamental o estudo da transferência de carga lateral. De acordo com Nicolazzi (2008), esse fenômeno ocorre quando há o deslocamento de carga da roda interna para a roda externa da curva e é proveniente de certas influências distintas.

No caso de subesterço, a aceleração lateral no CG faz com que as rodas dianteiras deslizem lateralmente mais do que nas rodas traseiras. Uma forma de correlacionar a aceleração lateral e o comportamento subesterçante é através do gradiente subesterço. Gillespie (1992) define esse gradiente como sendo uma medida de desempenho em condições de estado estacionário. Embora a medida possa ser usada para inferir propriedades de desempenho em condições que não são totalmente de modo estável, o presente trabalho considera esse conceito apenas de forma estacionária.

Este artigo tem como objetivo, relacionar a rigidez torcional do chassi do veículo com sua dinâmica lateral. Com isso, conceitos como o gradiente subesterço e transferência de carga lateral foram aplicados no presente estudo.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é obter uma estimativa da influência da rigidez torcional do chassi no comportamento do veículo. A correlação entre rigidez torcional, transferência de carga lateral e gradiente de subesterço, é analisada por meio de modelos analíticos. Ainda, realiza-se uma simulação virtual para a obtenção dos valores da rigidez existente no chassi do protótipo KB08 da Equipe Komiketo Baja UFSJ. Por fim, observa-se o impacto da conformidade do chassi no comportamento do veículo, por meio dos modelos propostos e resultados encontrados no trabalho.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o objetivo de estudar e compreender melhor as forças atuantes em um veículo durante a realização de uma curva, é importante analisá-lo baseado no sistema de eixos. Embasado pelo padrão de determinação SAE e coordenadas fixas para o CG, Dixon (1996) analisa o comportamento dinâmico do veículo em três eixos, interpretando componentes angulares e de velocidade.

Assim, o desempenho veicular será com base nos eixos X, Y e Z, que apresentam características genéricas para cada um. Tais características são descritas a seguir e válidas para os eixos de coordenadas independentemente dos tipos de suspensão e direção utilizados.

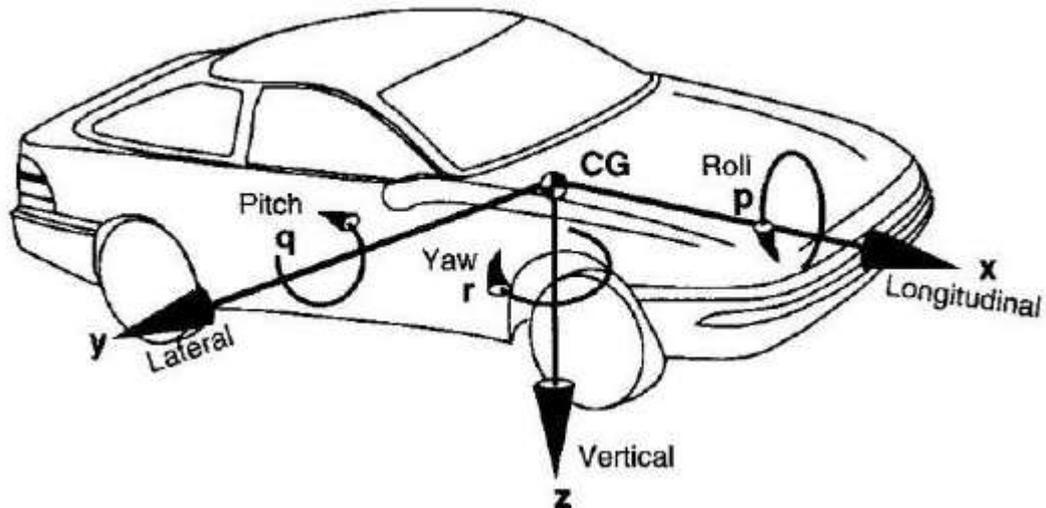


FIGURA 1. Sistemas de coordenadas do veículo. Fonte: GILLESPIE (1992).

Para Dixon (1996), os eixos podem ser determinados como:

- Eixo X: determinado longitudinalmente para frente com base no plano horizontal, possui uma velocidade longitudinal e um movimento de tombamento em relação ao eixo, o que caracteriza o movimento de rolagem conhecido pela expressão inglesa de *roll*;
- Eixo Y: delimitado por uma relação de 90° em relação a X em uma perspectiva horizontal, contando com uma velocidade lateral de arfagem e uma movimentação de giro em relação ao eixo, caracterizado pela palavra *pitch*;
- Eixo Z: orientado verticalmente para baixo formando assim o sistema de coordenadas traz uma componente de velocidade normal ao longo do eixo, com um movimento de guinada conhecido como *yaw*.

3.1 STEADY-STATE

Gillespie (1992) define a relação motorista/automóvel como um ciclo fechado, em que os comandos do piloto são as entradas (*inputs*) e a trajetória do veículo é a saída (*output*). Por exemplo, ao se aproximar de uma curva, o condutor analisa o caminho a ser percorrido e executa o comando (*input*) de esterçamento para que o mesmo faça a curva corretamente (*output*).

No entanto, quando o objetivo é analisar somente o comportamento do veículo, define-se um ângulo de esterçamento e uma velocidade longitudinal fixos. Sendo assim, o que antes era um ciclo fechado entre o condutor e o automóvel, torna-se um ciclo aberto, onde os *inputs* são constantes e os *outputs* dependem somente da resposta dinâmica do veículo.

Partindo deste pressuposto, Dixon (1996) estabelece a análise do ciclo aberto como um estado quase estático (*steady-state*), que formalmente é definido pela SAE como: “uma condição em que se utilizam *inputs* constantes como ponto de referência para se analisar a dinâmica, estabilidade e controle veicular”.

3.2 DIRIGIBILIDADE

Com o intuito de efetuar uma fiel análise do comportamento lateral do veículo, é importante considerar o movimento das rodas durante a realização de uma curva, observando sua variação angular e as forças que nela atuam. Nessa perspectiva, é introduzido o conceito de dirigibilidade, que relaciona a capacidade de resposta de componentes veiculares aos comandos realizados pelo motorista durante o funcionamento do veículo (GILLESPIE, 1992).

Em uma situação de mudança de direção, de acordo com a Segunda Lei de Newton, a força lateral necessária para que o veículo cumpra a curva é gerada pelos pneus, e tem seu valor dado por: $(W/g) \cdot (V^2/R) = m \cdot a$. Na qual, (W/g) é a força peso e (V^2/R) é a aceleração centrípeta. Para que o equilíbrio seja verdadeiro, é necessária uma força de mesma intensidade e sentido oposto à força exercida pelos pneus. Essa força $(-ma)$ é chamada de força centrífuga (F_c).

Segundo Dixon (1996) a variação de trajetória, proveniente da atuação da força centrífuga, influenciará diretamente no gradiente de direção veicular. Assim, o automóvel pode apresentar três tipos de comportamento ao realizar o movimento de uma curva:

- Comportamento Neutro (*Neutral Steer*)

Uma vez definidas as condições de *steady-state*, o trajeto percorrido pelo veículo dependerá da geometria da direção, ângulo de esterçamento das rodas e, também, da força lateral exercida pelos pneus dianteiros e traseiros, ou força centrípeta. Vale ressaltar que, os pneus dianteiros e traseiros irão deslizar, se suas capacidades de tração forem superadas pela força centrífuga. Ou seja, se a força centrífuga for maior que a força lateral exercida pelos pneus, estes irão destracionar.

Considerando um veículo com um comportamento neutro, a trajetória do mesmo será igual àquela imposta pela geometria de direção e ângulo de esterçamento, não havendo deslizamento dos pneus. Em termos físicos, é plausível dizer que foi produzido um momento de equilíbrio das forças laterais, sem a presença de variação direcional (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

- Comportamento Subesterçante (*Understeer*)

Considerando as mesmas circunstâncias da seção anterior, a modelagem *steady-state*, ao atuar sobre um veículo com característica subesterçante, a força centrífuga supera a força centrípeta dos pneus dianteiros, ocasionando o deslizamento dos mesmos. Pode-se afirmar que, neste caso, há um desequilíbrio entre as forças laterais.

Consequentemente, a trajetória do automóvel será um arco de circunferência com raio superior ao imposto pela geometria de direção. Ou seja, o ângulo de esterçamento se torna insuficiente para a realização da manobra (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

- Comportamento sobresterçante (*Oversteer*)

Mantendo as condições de contorno previamente definidas, de maneira semelhante ao subesterço, no comportamento sobresterçante as forças laterais não estão em equilíbrio. Porém, neste caso, a força centrífuga gerada pela velocidade angular sobrepõe a força centrípeta exercida pelos pneus traseiros do veículo, resultando na perda de tração dos mesmos.

Sendo assim, o caminho percorrido pelo automóvel é uma curva com raio inferior ao estabelecido pela geometria da direção. Logo, o ângulo de esterçamento é demasiadamente superior ao necessário para realizar a manobra (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

Em resumo, ao se tomar como referência o comportamento neutro, o veículo tende a sair pela tangente da curva no regime subesterçante e guinar para o centro da curva no sobresterçante. A Figura 2, ilustra as trajetórias de três veículos, com características neutra, subesterçante e sobresterçante. Para melhor compreensão, os mesmos estão esterçando para a esquerda.

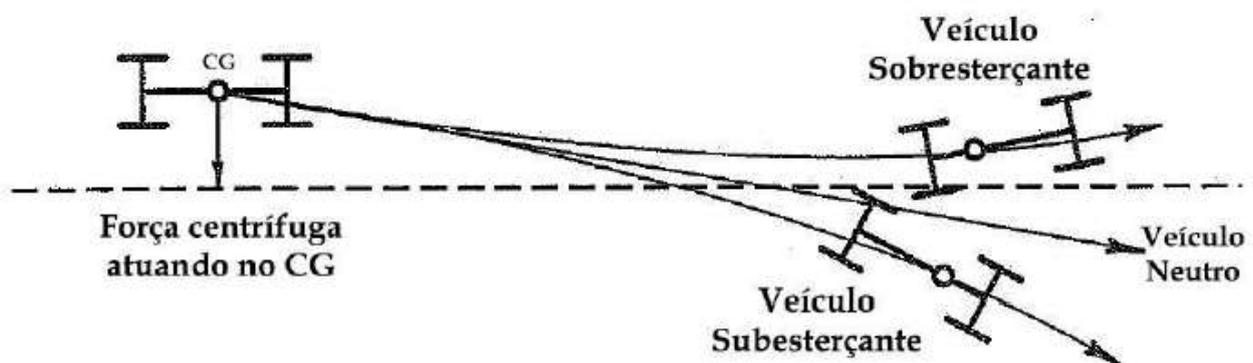


FIGURA 2. Comportamentos do veículo. Fonte: Adaptado de MILLIKEN e MILLIKEN (1995).

3.3 TRANSFERÊNCIA DE CARGA LATERAL

Ao se considerar um automóvel simétrico longitudinalmente, com os eixos fixados diretamente na carroceria, as cargas normais, nas rodas de um mesmo eixo, serão idênticas. Uma vez que o mesmo se encontra em repouso sobre um plano horizontal.

Partindo deste pressuposto, e, considerando um ambiente *steady-state*, quando este mesmo veículo percorre uma curva, a força centrífuga atua em seu centro de gravidade (CG), gerando um momento que tende a tombá-lo, como ilustrado na Figura 3.

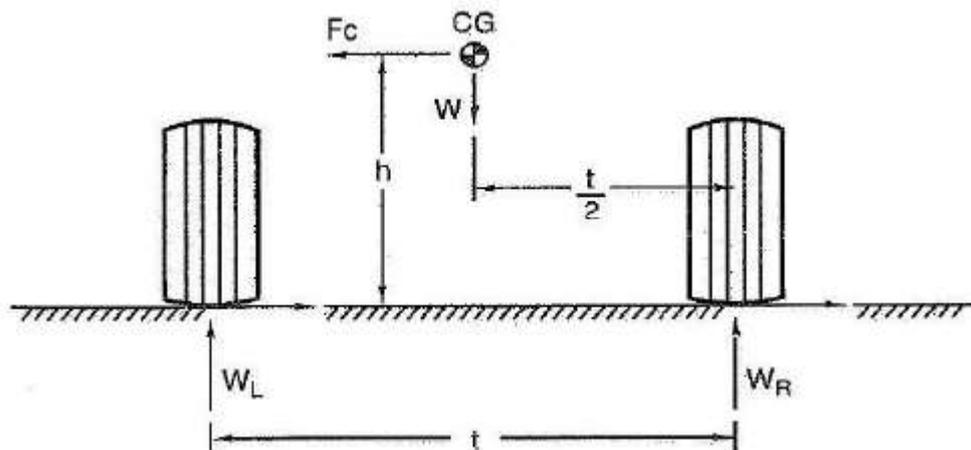


Figura 3. Transferência de carga lateral total. Fonte: Adaptado de MILLIKEN e MILLIKEN (1995).

Logo, ocorrerá uma transferência de carga entre os pneus do mesmo eixo, diminuindo o carregamento na roda interna e aumentando o da roda externa. Sampo (2010), quantifica tal fenômeno por meio da Equação 1, em que ΔF_z é a transferência de carga lateral total.

$$\Delta F_z = \frac{mh_{CG}}{t} * a_y \quad (1)$$

Partindo para um modelo mais fiel à um automóvel real, a análise da transferência se torna mais complexa, uma vez que é necessário considerar os eixos dianteiro e traseiro e, também, a presença da suspensão. Sendo assim, o veículo passa a ser considerado como uma massa suspensa por um sistema de suspensão, que possui rigidez e propriedades geométricas, como mostra a Figura 4. Logo, quando a força centrífuga atua no CG, ela gera um momento de rolagem.

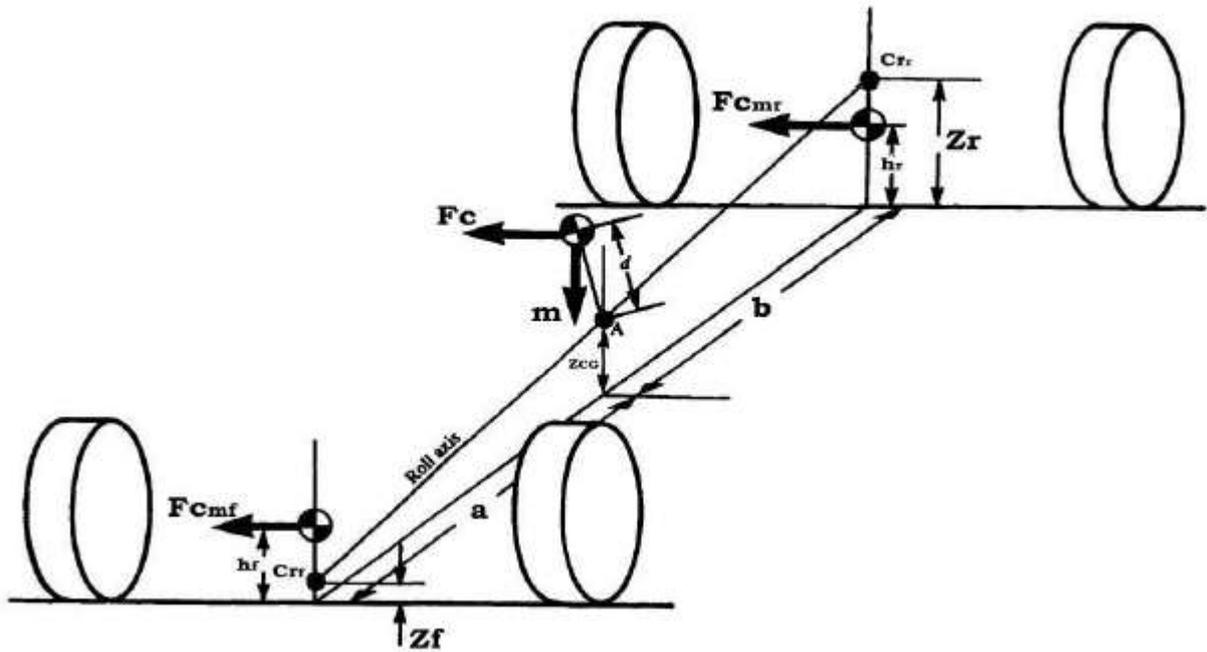


FIGURA 4. Modelo de transferência de carga veicular. Fonte: Adaptado de DIXON (1996).

Diante disso, a transferência de carga lateral, em condições *steady-state*, é calculada por Sampo (2010) com as Equações 2 e 3. Sendo k_f e k_r respectivamente, a rigidez à rolagem da suspensão dianteira e traseira. Vale ressaltar que, as Equações 1, 2 e 3, consideram o chassi como um elemento infinitamente rígido.

$$\Delta F_{zF0} = \frac{m}{t} \left(\frac{k_f}{k_f + k_r} \frac{b}{l} d_F + \frac{k_f}{k_f + k_r} \frac{a}{l} d_R + \frac{b}{l} z_F \right) a_y \quad (2)$$

$$\Delta F_{zR0} = \frac{m}{t} \left(\frac{k_r}{k_f + k_r} \frac{b}{l} d_F + \frac{k_r}{k_f + k_r} \frac{a}{l} d_R + \frac{a}{l} z_R \right) a_y \quad (3)$$

A fim de aprimorar o modelo anterior, é importante considerar a rigidez torcional do chassi do veículo, uma vez que ela está atrelada à transferência de carga lateral. Sendo assim, segundo Sampo (2010), as Equações 4 e 5 são diretamente derivadas das Equações 2 e 3, ao substituir a ligação rígida entre os eixos por uma mola torcional, k_c . Percebe-se, também, que a transferência de carga dianteira é afetada pela traseira do veículo e vice-versa, devido à resistência ao movimento, criada pela mola k_c , como representado na Figura 5.

$$\Delta F_{zF} = \frac{m}{t} \left(\frac{k_F}{k_F + \frac{k_R k_C}{k_R + k_C}} \frac{b}{l} d_F + \frac{\frac{k_F k_C}{k_F + k_C}}{k_R + \frac{k_F k_C}{k_F + k_C}} \frac{a}{l} d_R + \frac{b}{l} z_F \right) a_y \quad (4)$$

$$\Delta F_{zR} = \frac{m}{t} \left(\frac{\frac{k_R k_C}{k_R + k_C}}{k_F + \frac{k_R k_C}{k_R + k_C}} \frac{b}{l} d_F + \frac{k_R}{k_R + \frac{k_F k_C}{k_F + k_C}} \frac{a}{l} d_R + \frac{a}{l} z_R \right) a_y \quad (5)$$

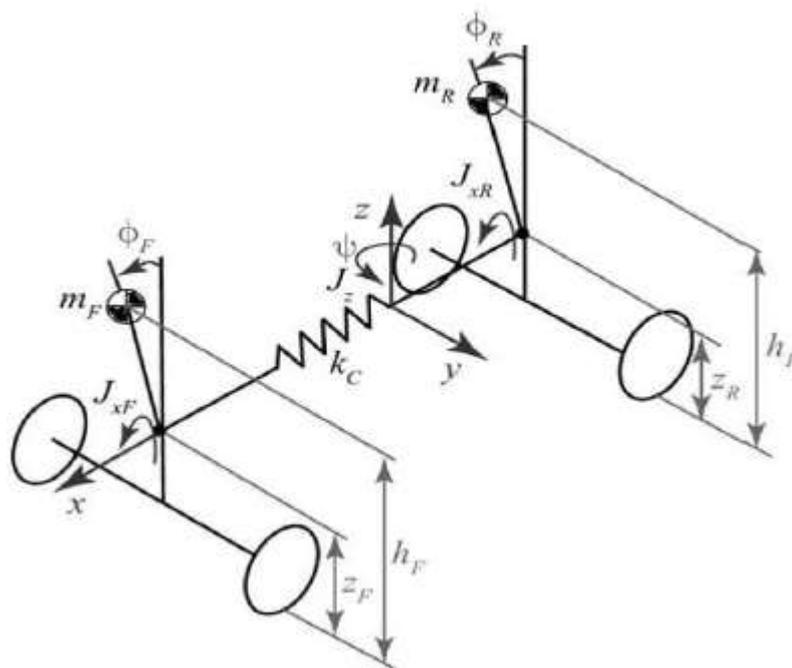


FIGURA 5. Modelo de chassi como mola torcional. Fonte: SAMPO (2010).

3.4 GRADIENTE DE SUBESTERÇO

Uma vez definidos os tipos de comportamento veicular, as forças de curva e a transferência de carga, o gradiente de subesterço (K) é um coeficiente que descreve a dinâmica de um automóvel em uma curva. Gillespie (1992) define tal coeficiente como resultado dos efeitos dos pneus, parâmetros de suspensão e direção. Seu valor é obtido através da soma dos seguintes parâmetros descritos na Tabela 1:

TABELA 1. Parâmetros de suspensão e direção.

Componente do gradiente	Origem	
$K_{tires} = \frac{W_f}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}}$	Rigidez lateral do pneu	(6)
$K_{camber} = \left(\frac{C_{\gamma f}}{C_{af}} \frac{\delta \gamma_f}{\delta \phi} - \frac{C_{\gamma r}}{C_{ar}} \frac{\delta \gamma_r}{\delta \phi} \right) \frac{\delta \phi}{\delta a_y}$	Força de cambagem	(7)
$K_{roll\ steer} = (\epsilon_f - \epsilon_r) \frac{d\phi}{da_y}$	Esterçamento devido à rolagem	(8)
$K_{lfcs} = A_f W_f - A_r W_r$	Esterçamento devido a força lateral	(9)
$K_{at} = W \frac{p}{L} \frac{C_{af} + C_{ar}}{C_{af} C_{ar}}$	Torque auto alinhante	(10)
$K_{llt} = \frac{W_f}{C_{af}} \frac{2b \Delta F_{zf}^2}{C_{af}} - \frac{W_r}{C_{ar}} \frac{2b \Delta F_{zr}^2}{C_{ar}}$	Transferência de carga lateral	(11)
$K_{strg} = W_f \frac{rv + p}{K_{ss}}$	Sistema de direção	(12)

Fonte: Adaptado de GILLESPIE (1992).

Vale destacar que, os termos: $K_{tires}, K_{camber}, K_{roll\ steer}, K_{lfcs}, K_{at}, K_{strg}$, serão considerados como constantes, uma vez que dependem da cinemática da suspensão, propriedades dos pneus e do sistema de direção, não sendo objeto de estudo do presente trabalho. Sendo assim, a variação do gradiente de subesterço irá ocorrer, exclusivamente, pelas mudanças nos valores de transferência de carga lateral.

O gradiente de subesterço é dado pela unidade (°/g), o que significa que o veículo analisado irá subesterçar uma quantidade de X° para cada g de aceleração lateral aplicada ao mesmo. Dessa maneira, com os valores de gradiente, é possível definir as características do automóvel em uma curva sob as condições de *steady-state*.

Considerando um veículo cumprindo um raio de curva, como exemplo, este estará exposto a uma aceleração lateral g, proveniente da força centrífuga. Se o gradiente de subesterço for igual a zero, conclui-se que as forças centrípetas dos pneus dianteiros e traseiros são iguais, resultando em um comportamento neutro ($K = 0, \alpha_f = \alpha_r$) (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

Assumindo um valor de gradiente maior que zero, positivo, sob as mesmas condições em uma curva, o comportamento veicular será subesterço ($K > 0, \alpha_f > \alpha_r$). Dessa forma, há um aumento no raio de curvatura, devido à diferença entre os ângulos de deslizamento das rodas dianteiras e traseiras.

Enquanto as rodas traseiras seguem a trajetória correta, as dianteiras tendem a escorregar pela tangente (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

Fundamentando, ainda nos parâmetros de *steady-state*, caso apresente um gradiente menor que zero, negativo, a característica veicular será de sobresterço ($K < 0, \alpha_f < \alpha_r$). Sendo assim, o ângulo de curva irá diminuir, uma vez que o de deslizamento nas rodas do eixo traseiro será maior do que as do eixo dianteiro (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

3.5 CHASSI

Segundo Sampo (2011), “o chassi veicular é definido como a estrutura base para o motor ou a estrutura sobre a qual o veículo é construído”. Esse componente tem como finalidade unir suas rodas com uma estrutura rígida e segura, sendo capaz de transmitir e suportar as cargas ou torções aplicadas nele, sem defletir a um ponto de criticidade e acomodar e conectar todos os sistemas e seus componentes.

O chassi deve estar sempre alinhado com o dimensionamento dos demais subsistemas, tendo seu projeto sempre atualizado e suas dimensões adaptadas para que a realização de ultrapassagens do veículo por obstáculos favoreça sempre o seu desempenho dinâmico.

No automobilismo existem diferentes tipos de chassis, que são desenvolvidos com base nas peculiaridades de cada projeto, podendo variar de *design* e material utilizado na fabricação. Dentre os modelos de chassis existentes vale destacar: o de túnel, o *backbone*, o monobloco, o longarina e o *spaceframe*.

Para as competições Baja SAE o modelo estrutural utilizado é do tipo *spaceframe*, sendo este amplamente utilizado em veículos de competição, como Fórmula SAE, Stock Car, NASCAR, entre outros. Tal tipo de estrutura apresenta, como característica, uma superior rigidez à torção e compressão, se comparado aos outros tipos de chassis. Além disso, por ser construído através da interação de múltiplos elementos estruturais, seu projeto pode ser facilmente alterado, visando uma ótima disposição e interação entre os demais subsistemas do veículo.

Tendo seu projeto e construção embasado pelo RATBSB, o chassi Baja SAE deve apresentar confiabilidade estrutural e segurança ao piloto. Outro ponto importante, é que o mesmo deve ser uma estrutura tubular, em que o material utilizado na construção contenha uma porcentagem mínima de 0,18% de carbono, para que possa participar das competições SAE (SAE, 2020).

3.6 RIGIDEZ TORCIONAL

Rigidez é a resistência de um corpo à flexão, enquanto a rigidez torcional é a resistência à torção. Um veículo de performance deve possuir um chassi com adequada rigidez torcional em torno do seu eixo longitudinal (MILLIKEN & MILLIKEN, 1995).

Relacionando o chassi como uma mola, caso sua resistência à deflexão seja fraca, as chances de controle da distribuição de transferência de carga, manuseio na dirigibilidade e resistência aos momentos de rolagem serão mínimas. Além disso, também aumentarão os deslocamentos no chassi com relação a conexão com a suspensão, vibrações, imprevisibilidade do veículo, deformações nos tubos e aumento da fadiga. Por isso, a determinação da rigidez da estrutura se faz de fundamental importância.

De acordo com Milliken e Milliken (1995), a dirigibilidade previsível pode ser melhor alcançada se o chassi for rígido o suficiente para que seja desprezado com segurança. Isto significa que para quaisquer definições relacionadas à dinâmica veicular, pressupõe-se que o chassi já possua a rigidez necessária para suportar os demais subsistemas.

3.7 MEF E SIMULAÇÃO

Os métodos analíticos clássicos permitem os cálculos da resposta exata das deformações, deslocamentos e tensões em toda uma estrutura, isto é, em seus infinitos pontos. Porém, quando se estuda estruturas complexas é interessante desenvolver procedimentos aproximados, ou seja, o método dos elementos finitos. Ele consiste na utilização de um *software*, que através de um modelo 3D, realiza a divisão da estrutura em partes menores que são interligadas em pontos comuns, os nós. Com essa separação, é possível fazer uma análise mais detalhada de cada parte da peça, pois transforma um problema complexo em problemas menores (FILHO, 2002).

O projeto do chassi da Komiketo Baja é feito no *SolidWorks*®, e, posteriormente exportado para o pacote de *softwares Hyperworks*®, onde se inicia a simulação através de elementos finitos, que avaliará o quão rígido é o *design* adotado e, se o mesmo possui tensões internas superiores às quais o material utilizado é capaz de suportar. O *software*, também, possibilita prever possíveis falhas antes mesmo da fabricação da peça, diminuindo os gastos e tempo. Ele ainda permite outros tipos de análises como, análises de fadiga, que simulam os efeitos de uma carga aplicada a um determinado componente ao longo de um tempo, determinando a vida útil do mesmo bem como os potenciais efeitos desse tipo de esforço na peça em questão.

Após as simulações terem sido realizadas e uma geometria funcional ter sido concretizada, se iniciam as otimizações, processo no qual são revistos os antigos parâmetros de restrições de construção e funcionamento da peça. Com essas informações, são buscadas formas de diminuir a massa do componente, os custos ou tempo de fabricação, ou até mesmo alterações na geometria em questões estruturais, a fim de obter menores tensões internas, aumentando a confiabilidade da peça.

4. MÉTODOS

4.1 SIMULAÇÃO DO CHASSI UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

No intuito de mensurar o valor de rigidez torcional do chassi do protótipo KB08, foram utilizados os softwares *Hypermesh*[®] e *Hyperview*[®], da *Altair Engineering*[®]. A modelagem e pré-processamento, criação da malha e definição das condições de contorno da simulação, foram realizadas no software *Hypermesh*[®].

Como o chassi do KB08 é composto por tubos de aço 4130 primários e secundários, possuindo, respectivamente, espessuras de 0,9mm e 1,6mm, optou-se pela utilização de elementos do tipo 2D PSHELL. Dessa forma, a peça é considerada, pelo programa, como uma casca e, suas espessuras, são introduzidas à parte nas configurações dos elementos. O resultado é um menor tempo computacional do problema, sem perder a confiabilidade da simulação.

Para os componentes: cubos de roda, braços de suspensão, manga e ponta de eixo, que não são o foco da simulação, foram utilizados elementos mais simples, do tipo 1D PBEAML. Tal modelagem aplicada nesses componentes foi com a intenção de economizar a capacidade de processamento e otimizar o tempo computacional da simulação. A Figura 6 representa a estrutura veicular malhada, na qual, os tubos em rosa representam os membros primários e em azul os secundários.

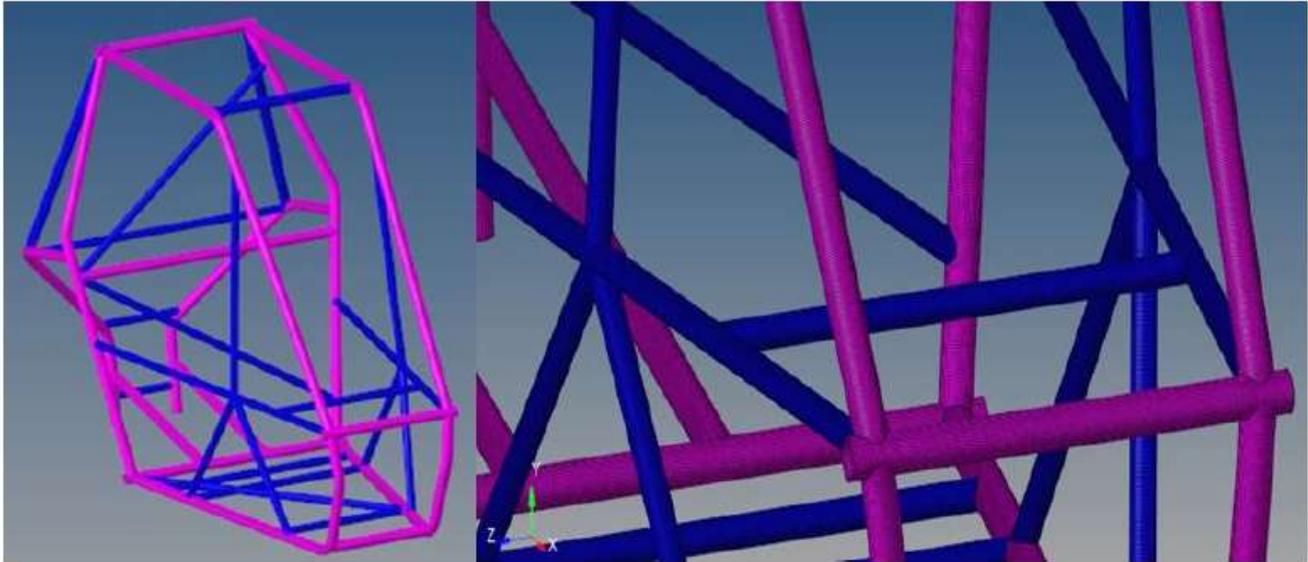


FIGURA 6. Chassi do protótipo KB08 malhado. Fonte: Equipe Komiketo Baja.

As condições de contorno foram definidas segundo a metodologia de Rilley (2002), onde as molas e amortecedores foram substituídos por elementos rígidos, no intuito de transmitir toda a carga aplicada diretamente para o chassi. Para medir a rigidez torcional da dianteira, as pontas de eixo traseiras foram engastadas e aplicou-se uma força de 1000N nas pontas de eixo dianteiras, gerando um momento de binário. O mesmo método foi utilizado, de maneira análoga, para medir a rigidez torcional na traseira do protótipo. Dessa vez, engastando o eixo dianteiro e aplicando a força, de mesma intensidade, no traseiro.

O resultado obtido é o deslocamento vertical das extremidades esquerda e direita do eixo, representados pelas incógnitas v_e e v_d . De acordo com Oliveira (2006), o ângulo de torção é calculado através da soma das Equações 13 e 14. Estas representam o ângulo de torção da extremidade esquerda e da direita, respectivamente.

$$\phi_m = \arctan \left(\frac{v_e}{t/2} \right) \quad (13)$$

$$\phi_p = \arctan \left(\frac{v_d}{t/2} \right) \quad (14)$$

A rigidez torcional da estrutura é calculada dividindo o valor do torque aplicado pelo ângulo de torção. As Equações 15 e 16 foram utilizadas para se obter, respectivamente, o torque e a rigidez do chassi. Vale ressaltar que, a rigidez da parte dianteira e traseira do veículo são calculadas separadamente.

$$T = F * t \quad (15)$$

$$Kc = \frac{T}{\phi} = \frac{F * t}{0,5 * (\phi_m + \phi_p)} \quad (16)$$

Uma vez obtidas a rigidez torcional da dianteira e da traseira, Costa (2012) utiliza a Equação 17 para calcular a rigidez média do chassi. Onde, $k\phi_{fr}$ e $k\phi_{rr}$ representam, nesta ordem, a rigidez da dianteira e traseira.

$$K\phi = \frac{k\phi_{fr} + k\phi_{rr}}{2} \quad (17)$$

4.2 TRANSFERÊNCIA DE CARGA

4.2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Antes de iniciar a análise matemática para posteriormente um estudo em *software*, é necessário estabelecer algumas premissas, que terão relevância para o presente estudo. Assim como no trabalho de Sampo (2010), a influência da rigidez do chassi na dirigibilidade do protótipo KB08, da Equipe Komiketo Baja, será regida pelas seguintes considerações:

- O estudo foi realizado sob condições de *steady-state*;
- O valor para aceleração lateral, $a_y = 1G$;
- Aceleração da gravidade = $9,81m/s^2$;
- As massas não suspensas do veículo foram desconsideradas;
- Os efeitos gravitacionais atuantes no ângulo de rolagem foram desconsiderados;
- As taxas de deslocamento de roda dianteira e traseira, foram calculadas separadamente;
- Força lateral aplicada ao longo do eixo de rolagem não produz momento de rolagem;
- Os centros de rolagem e de gravidade estão localizados na linha central do veículo;
- A cinemática da suspensão não se altera com a deformação do chassi;

- O cenário A se caracteriza por considerar o chassi infinitamente rígido;
- O cenário B se caracteriza por considerar o chassi finitamente rígido;
- Os dados utilizados, do protótipo KB08, estão dispostos no Apêndice A.

4.3 ANÁLISE NUMÉRICA

Para o cálculo numérico envolvendo a rigidez torcional do KB08, foi utilizado o MATLAB®, software matemático comumente aplicado para cálculos numéricos, matriciais e plotagem de gráficos dimensionais. O funcionamento dessa ferramenta se dá por meio de programação computacional, nas linguagens C e Java, onde são inseridas fórmulas e comandos que devem ser executados para alcançar os resultados desejados.

Sendo assim, inicialmente foram utilizadas as Equações 2 e 3 para calcular a transferência de carga lateral do protótipo KB08 nos eixos dianteiro e traseiro. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 2. Vale ressaltar que as Equações 2 e 3 consideram a rigidez torcional do chassi como infinita.

TABELA 2. Transferência de carga nos eixos do veículo, para o cenário A.

Transferência de carga lateral na dianteira	Transferência de carga lateral na traseira
2.851x10 ² N	8.271x10 ² N

Fonte: Autoria própria.

Para a obtenção de valores genéricos de rigidez torcional do chassi, foi utilizada a Equação 18, que cria uma relação entre a rigidez total à rolagem e a rigidez torcional. Uma vez que os valores de rigidez à rolagem dos eixos dianteiro e traseiro são constantes, ao se variar K_c , obtêm-se o valor de k_c (rigidez torcional do chassi).

$$K_c = \frac{k_c}{k_f + k_r} \quad (18)$$

Com os dados genéricos encontrados, em mãos, as Equações 4 e 5 foram aplicadas para se obter a variação da transferência de carga lateral em função da rigidez do chassi. A seguir a Figura 7 apresenta os valores encontrados por meio dos cálculos realizados.

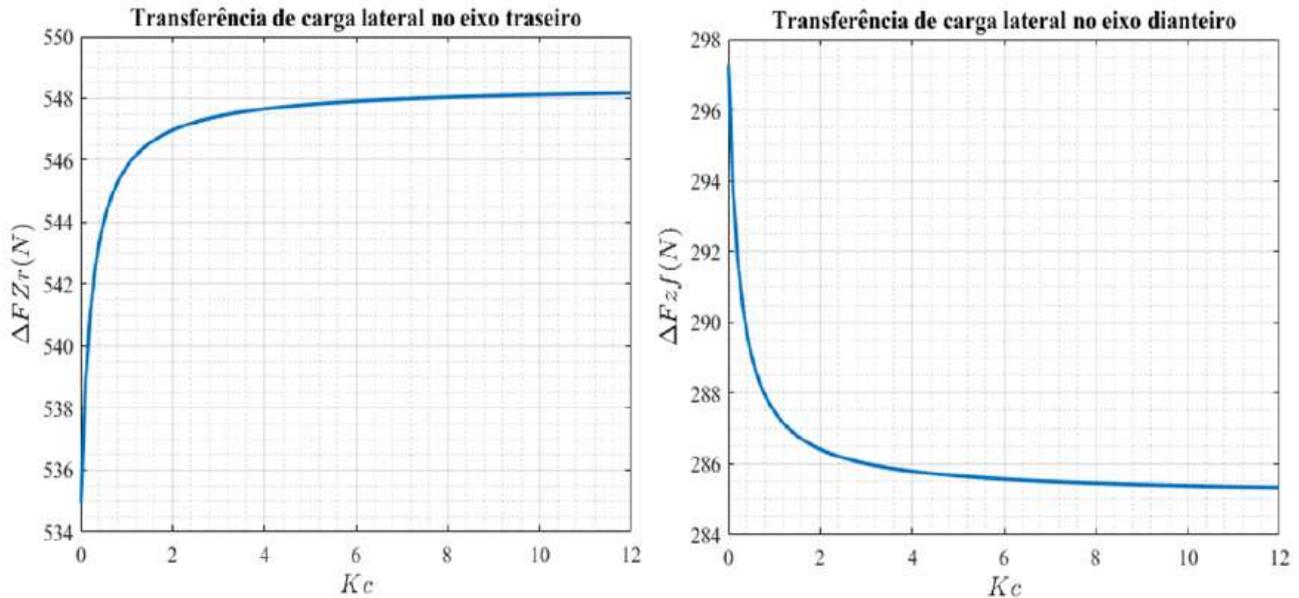


FIGURA 7. Transferência de carga nos eixos traseiro e dianteiro. Fonte: Autoria própria.

Partindo para a análise da dinâmica lateral do protótipo, o gradiente de subesterço foi calculado a partir das condições explicitadas anteriormente. Consequentemente, os termos: K_{tires} , K_{camber} , $K_{roll\ steer}$, K_{lfcs} , K_{at} , K_{strg} , da equação de gradiente, foram considerados constantes, implicando que a variação do gradiente de subesterço se dá, exclusivamente, pela variação da transferência de carga lateral.

Com os valores da Tabela 2 aplicados no somatório do gradiente, obtêm-se o valor de gradiente de subesterço para um chassi infinitamente rígido $K_0 = -2,73$ ($^{\circ}/g$). Desta maneira, considerando a estrutura do protótipo como um elemento rígido e indeformável (cenário A), o mesmo apresenta um comportamento sobreesterçante.

A variação do gradiente em função da rigidez torcional do chassi foi obtida através da inserção dos valores de transferência de carga das Equações 4 e 5, no somatório do gradiente, configurando o cenário B.

5. ANÁLISES E RESULTADOS

5.1 DINÂMICA LATERAL DO PROTÓTIPO

A diferença de transferência de carga lateral foi calculada através da subtração dos valores obtidos no cenário A pelos valores do cenário B. A Figura 8, representa graficamente as análises para o eixo

dianteiro, respectivamente, em porcentagem e em Newtons. Da mesma forma, a Figura 9 expõe para o eixo traseiro.

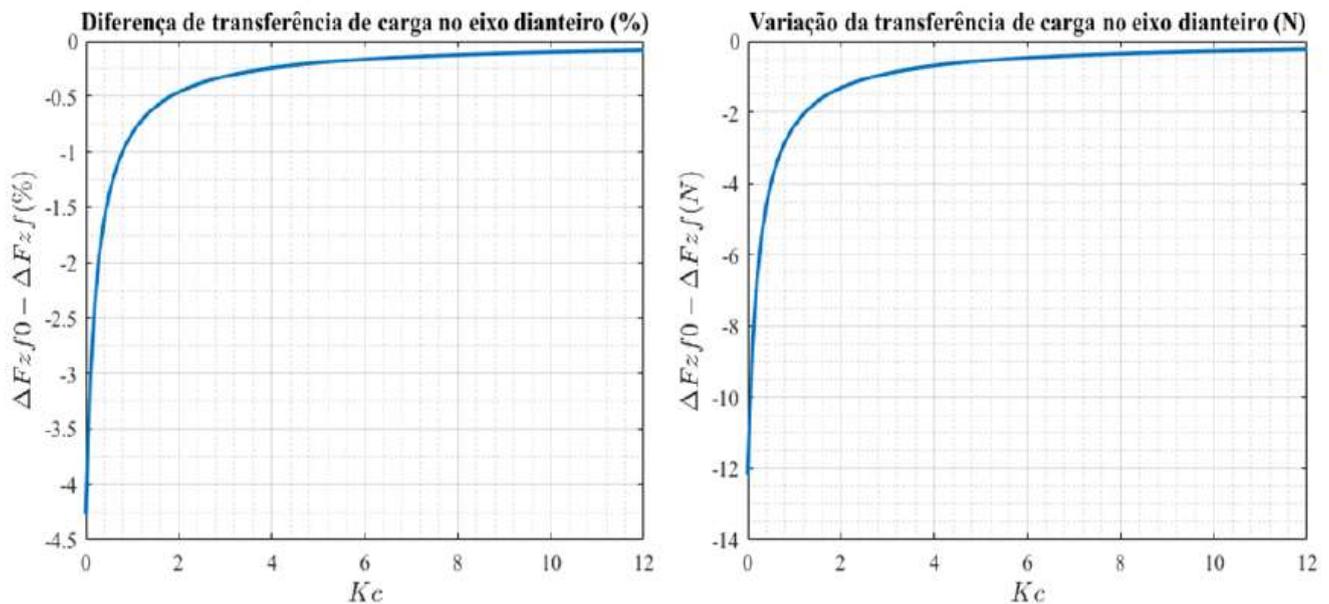


FIGURA 8. Variação da transferência de carga no eixo dianteiro. Fonte: Autoria própria.

Ao analisar as curvas dos gráficos da Figuras 8, conclui-se que, as mesmas possuem um comportamento exponencial e tendem a zero, à medida que o valor de rigidez torcional aumenta. Nota-se, também, que para o eixo dianteiro, as mesmas se comportam de maneira crescente. O gráfico se encontra no quarto quadrante do plano cartesiano, o que leva a constatação de que há um ganho de transferência de carga lateral, em razão da insuficiência de rigidez do chassi. Ou seja, $\Delta F_{zf0} < \Delta F_{zf}$.

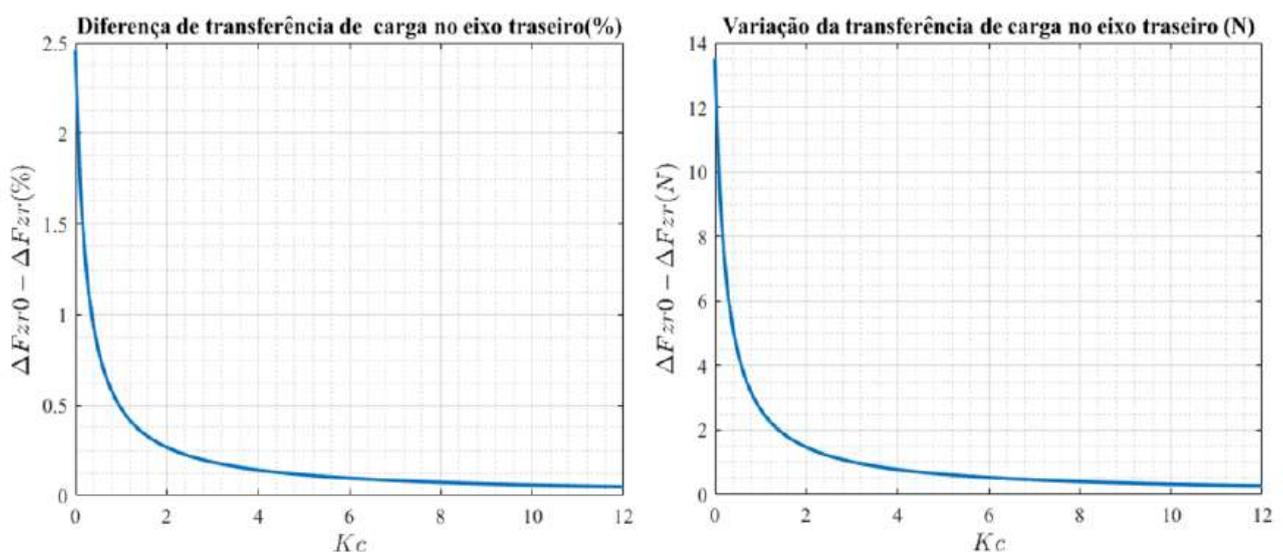


FIGURA 9. Variação da transferência de carga no eixo traseiro. Fonte: Autoria própria.

De forma análoga, os gráficos da Figura 9, também se comportam exponencialmente tendendo a zero, porém, de modo decrescente. Como todo o gráfico está localizado no primeiro quadrante do plano cartesiano, pode-se concluir que há uma perda de transferência de carga lateral devido à falta de rigidez do chassi. Ou seja, $\Delta Fz0 > \Delta Fzr$.

5.2 GRADIENTE SUBESTERÇO

A Figura 10, representa, respectivamente, a variação do valor de gradiente em função da rigidez do chassi e a variação da diferença entre o gradiente do cenário A e os do cenário B.

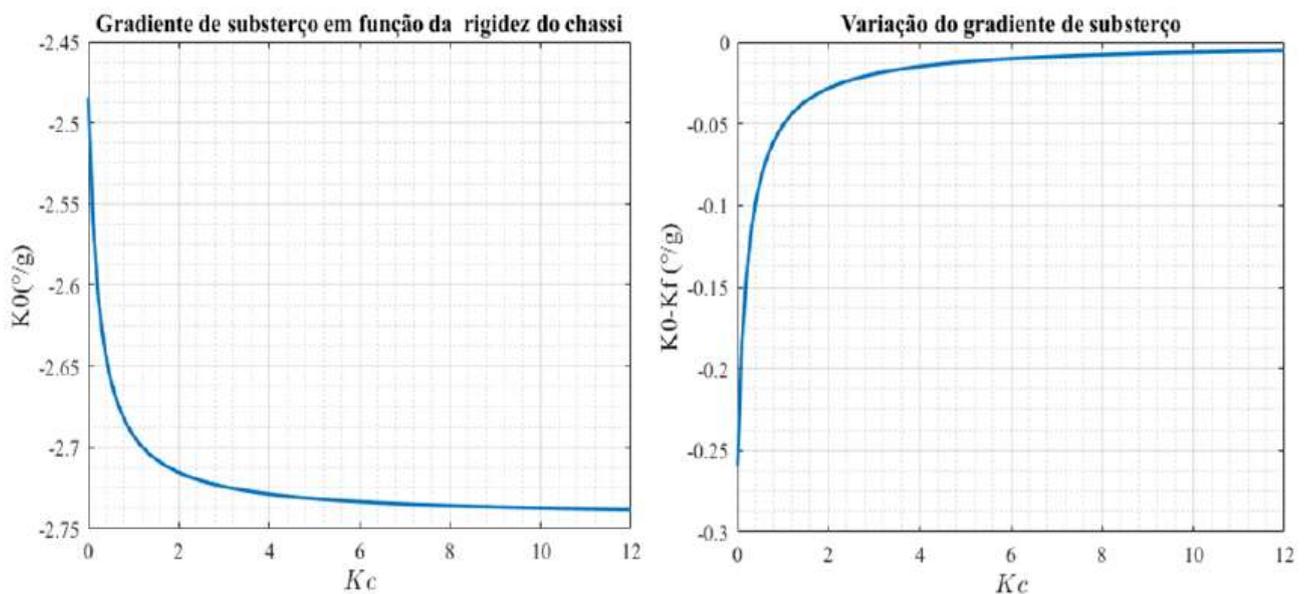


FIGURA 10. Variação do gradiente substerço. Fonte: Autoria própria.

As variações de transferência de carga lateral nos eixos dianteiro e traseiro resultam em uma variabilidade no valor do gradiente substerço. A Figura 10 mostra que, ao aumentar a rigidez torcional do chassi, o protótipo se torna mais sobresterçante. Visto que, o gradiente se torna mais negativo, aproximando-se de $-2,73$ ($^{\circ}/g$), ponto em que o mesmo tende a se estabilizar.

Tal estabilidade pode ser percebida na Figura 10, na qual, a diferença entre os valores de gradiente substerço, para os cenários A e B tende a zero. Uma vez que, ao considerar o chassi como uma estrutura indeformável, foi obtido o valor de $-2,743$ ($^{\circ}/g$).

5.3 SIMULAÇÃO

A Figura 11, ilustra os resultados da simulação no *software Hyperview*[®]. Os deslocamentos verticais máximos do eixo dianteiro e do eixo traseiro foram introduzidos nas Equações 13 e 14, obtendo-se a

rigidez torcional média do chassi do protótipo. Os valores encontrados para o KB08 estão apresentados na Tabela 3.

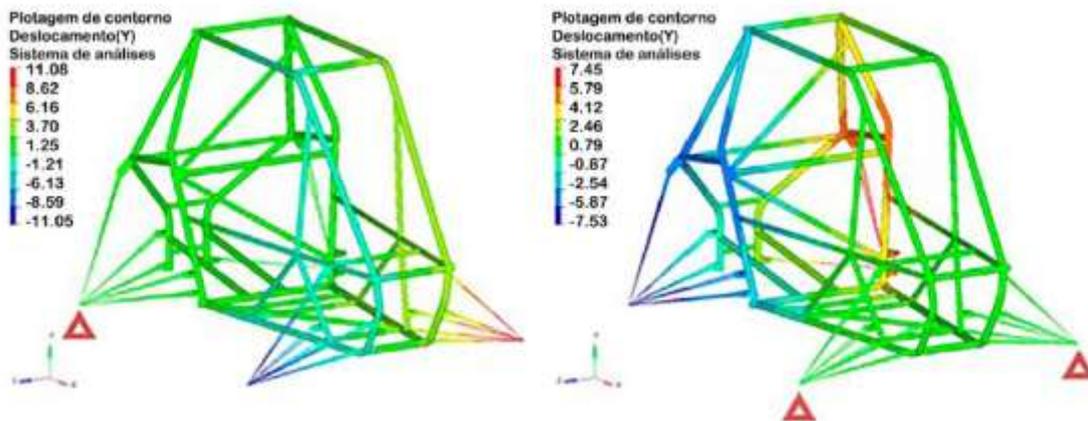


FIGURA 11. Resultados da simulação virtual de rigidez torcional. Fonte: Equipe Komiketo Baja.

TABELA 3. Resultados de rigidez obtidos.

	N.m/º	N.m/rad
Dianteira	1.395,21	79.939,65
Traseira	1.676,72	96.069,04
Média	1.535,96	88.004,35

Fonte: Autoria própria.

6. CONCLUSÃO

Com os devidos cálculos realizados o valor de rigidez torcional média, em N.m/rad, foi aplicado na Equação 18, obtendo o valor de $K_c = 10,32$. Utilizando esse dado na análise dos gráficos das Figuras 8 e 9, percebe-se que há uma diferença de cerca de 0,125% na transferência de carga lateral nos eixos dianteiro e traseiro, quando comparados os resultados dos cenários A e B.

Tal ínfima diferença reflete, também, em uma pequena variação no gradiente de subesterço do veículo, como pode ser observado na Figura 10. No caso, para um $K_c=10,32$, o KB08 é apenas 0,0084 °/g mais subesterçante, quando se comparado ao modelo do cenário A.

Logo, é possível concluir que, a dinâmica lateral do protótipo analisado não é, significativamente, afetada pela rigidez torcional do mesmo. Consequentemente, pode-se afirmar que o chassi do KB08 é um componente estrutural e de segurança do piloto, não podendo ser atribuídas a ele quaisquer ganhos ou perdas de performance na dinâmica lateral.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Variável	Descrição	Valores	Unidades
h_{CG}	Altura centro de gravidade	0.436079	m
h_f	Altura centro de gravidade dianteiro	0.42	m
h_r	Altura centro de gravidade traseiro	0.481	m
Z_{CG}	Altura do eixo de rolagem nas coordenadas do CG	0.2147	m
Z_f	Altura do centro de rolagem da dianteira	0.162	m
Z_r	Altura do centro de rolagem da traseira	0.254	m
t_f	Bitola dianteira	1,33	m
t_r	Bitola traseira	1,2	m
a	Distância entre o centro de gravidade e o eixo dianteiro	0.86492	m
b	Distância entre o centro de gravidade e o eixo traseiro	0.61007	m
d_f	Distância entre o centro de gravidade dianteiro e centro de rolagem dianteiro (d_f)	0.258	m
d_r	Distância entre o centro de gravidade traseiro e centro de rolagem traseiro (d_r)	0.227	m
l	Ente eixos (l) (mm)	1.475	m
m	Massa do carro (Kg)	157	Kg
m_p	Massa do piloto	75	kg
W_f	Carga sobre o eixo dianteiro	958.8333	N
W_r	Carga sobre o eixo traseiro	1317.086661	N
k_f	Rigidez à rolagem na dianteira (k_f) (Nm/rad);	3540.36	Nm/rad
k_r	Rigidez à rolagem na traseira (k_r) (Nm/rad);	4984.48	Nm/rad
C_{af}	Rigidez lateral dos pneus dianteiros	126.4	N/mm
C_{ar}	Rigidez lateral dos pneus traseiros	148.64	N/mm
K_{tires}	Rigidez à curvas	-1,27	N/°
K_{camber}	Força de cambagem	$-5,288 \times 10^{-5}$	°/g
$K_{roll\ steer}$	Esterçamento devido à rolagem	$-9,241 \times 10^{-6}$	°/g
K_{lfcs}	Esterçamento devido a força lateral	0	°/g
K_{at}	Torque auto alinhante	1,137	Nm
K_{strg}	Sistema de direção	0	N

REFERÊNCIAS

- DA COSTA, João Augusto. ESTUDO DA RIGIDEZ TORCIONAL DO QUADRO DE UMFORMULA SAE POR ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS. 2012. 57 p. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Automotiva) - Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, [S. l.], 2012.
- DIXON, John C. Tires,Suspension and Handling. Segunda. ed. Society of Automotive Engineer: [s. n.], 1996. 621 p.
- FILHO, AVELINO ALVES, Elementos Finitos a Base da Tecnologia CAE, ed Érica, 7edição, 2002.
- GILLESPIE, Thomas D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineer: [s. n.], 1992. 470 p.
- MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L. Race Car Vehicle Dynamics. Society of Automotive Engineers Inc., 3° Edition, USA, 1995.
- NICOLAZZI, L.C.; ROSA, E.; LEAL, L. C. M. Uma Introdução à Modelagem Quase Estática de Veículos Automotores de Rodas. Brasil: Publicação interna do GRANTE – Depto. de Engenharia Mecânica da UFSC. 2008.
- OLIVEIRA, F. C. G. Avaliação da rigidez torsional de uma estrutura veicular tipo space frame pelo método de elementos finitos com estudo de caso. 16° POSMEC, Minas Gerais, Brasil, 2006.
- RILEY, W. B., GEORGE, A. R., Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis. SAE Paper 2002-01-3689.
- SAE BRASIL. REGULAMENTO BAJA SAE BRASIL, 2020. Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil> >. Acesso em: 07 ago. 2021.
- SAMPO, Enrico. Chassis Torsional Stiffness: Analysis of the Influence on Vehicle Dynamics. SAE International, [S. l.], p. 1-14, 4 dez. 2010.
- SAMPO, Enrico. Modelling chassis flexibility in vehicle dynamics simulation. 2011. 171 p. Monografia (Degree of Doctor of Philosophy) – F.

Capítulo 8



10.37423/220606043

PANORAMAS E PERSPECTIVAS DAS MATRIZES CURRICULARES DA FORMAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES NO BRASIL, EM NÍVEL DE GRADUAÇÃO

José Lázaro de Carvalho Santos

Universidade Federal da Bahia

Jorge Ubirajara Pedreira Júnior

Universidade Federal da Bahia

Marcella Sgura Viana

Universidade Federal da Bahia



Resumo: *Vários cursos de graduação em Engenharia de Transportes foram criados no país desde a década de 2000. Anteriormente, a formação de Engenharia de Transportes estava presente apenas em programas de pós-graduação. Ao passar do tempo os cursos foram criados, com currículos que tem enfoque tanto na infraestrutura de transportes, como no planejamento. Este artigo objetiva analisar as matrizes curriculares de cursos de graduação em Engenharia de Transportes no Brasil, a partir de uma pesquisa exploratória.*

Palavras-chave: *Engenharia de Transportes, Formação em Engenharia, grades curriculares.*

1 INTRODUÇÃO

Em relação a formação em Engenharia de Transportes no Brasil, há de se considerar que historicamente, a qualificação para o setor de transportes vem ocorrido, primordialmente, em cursos de Engenharia Civil (MAGALHÃES, *et. al*, 2013), por vezes como ênfase ou área de concentração, o com disciplinas da área de transportes sendo ofertadas como “optativas” ou “eletivas”. Tais disciplinas conseguem dar uma visão geral sobre o setor e a relativa profissão de um Engenheiro de Transportes, mas a qualificação dos profissionais formados em engenharia civil acontece, na quase totalidade dos casos, na pós-graduação. Existem, de fato, numerosos programas de pós-graduação seja a nível de mestrado seja a nível de doutorado (*strictu e latu sensu*) no país, específicos para a área de transporte e ofertados seja por universidade públicas que privadas.

Tratando-se de formação acadêmica a nível de graduação, o Engenheiro Civil, especializado em transportes, se capacita geralmente para (MAGALHÃES, *et. al*, 2013):

- Planejar um sistema de transporte (em sua maioria orientada a uma tecnologia específica, como o modo rodoviário, por exemplo),
- Conceber e construir infraestruturas (rodovias, ferrovias, portos, hidrovias, aeroportos e terminais),
- Gerenciar a circulação (Engenharia de Tráfego) e as operações de transporte público e de carga.

Devido às peculiaridades de cada curso, os profissionais acabam sendo formados em segmentos específicos – cargas ou passageiros - em construção, manutenção e gestão de infraestrutura específica - rodoviário, ferroviário, aéreo, hidroviação, marítimo – ou com foco principalmente nas questões do trânsito e da sua gestão.

Questiona-se sobre as lacunas que este profissional teria quanto a uma visão sistêmica, na qual a atividade de engenharia é vista como uma interação do profissional com os vários ambientes nos quais a sua atuação interfere e, ao mesmo tempo, é afetada. É importante evidenciar a necessidade de uma visão multidisciplinar com a inserção de algumas disciplinas, tais como aquelas voltadas à: planejamento urbano e regional, meio-ambiente e energia, tecnologia veicular, naves e aeronaves, e gestão e economia dos serviços (MAGALHÃES, *et. al*, 2013).

O campo de conhecimento necessário à solução dos problemas de transportes é muito abrangente, englobando diversas atividades profissionais; essas considerações fizeram surgir a Engenharia de

Transportes, cujo caráter multidisciplinar requer um espaço que extrapola o disponível nos cursos de Engenharia Civil (SANTANA FILHO, 1994).

Mesmo existindo a discussão sobre a oportunidade e necessidade de implantação de cursos de graduação de Engenharia de Transporte há pelo menos 2 décadas, no Brasil, considera-se recente a implantação desses cursos. Atualmente há cursos da área de Transporte em nível de Bacharelado e de Graduação Tecnológica (Tecnólogo em Transporte Terrestre). Segundo dados do Ministério da Educação, oriundos da plataforma e-MEC, são hoje 34 cursos registrados, oferecidos por instituições públicas e privadas em nível de Bacharelado ou Tecnológico. (MAGALHÃES, *et. al*, 2013; MEC, 2018).

O objetivo do presente trabalho é, portanto, analisar e comparar as grades curriculares dos cursos em nível de Bacharelado atualmente ativos no Brasil evidenciando eventuais áreas de concentração e tendências nacionais na formação do Engenheiro de Transportes. O artigo se estrutura, portanto, numa primeira introdução apresentando a justificativa e objetivo do trabalho; o segundo ponto apresenta brevemente a metodologia adotada e, na terceira seção, segue com a apresentação dos dados da pesquisa realizada relativas aos cursos de graduação. A quarta parte do artigo expõe, à luz das informações e dados apresentados na seção anterior, algumas reflexões sobre perspectivas quanto a formação para continuar a discussão dos resultados na seção final das conclusões.

2 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste trabalho, foi realizada uma análise exploratória dos cursos de bacharelado em Engenharia de Transportes no Brasil. O trabalho foi conduzido de acordo com a seguinte sequência:

- (a) Pesquisa dos cursos de Engenharia de Transportes na plataforma e-MEC (MEC, 2018) no ano de 2018, empregando-se os termos “Engenharia de Transporte” e “Engenharia de Transportes”;
- (b) Pesquisa sobre os planos pedagógicos dos cursos elencados na etapa anterior em suas respectivas páginas na internet;
- (c) Organização das matrizes curriculares dos cursos pesquisados em planilha eletrônica, com classificação das disciplinas quanto ao tipo (obrigatória ou optativa), ao nível (básica, profissionalizante ou específica) e à área da Engenharia de Transportes (Infraestrutura de Transportes ou Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte). Também foram listadas as cargas horárias de cada uma destas disciplinas;

- (d) Análise comparativa dos cursos de Engenharia de Transportes quanto à distribuição das cargas horárias entre componentes curriculares obrigatórios e optativos, além da predominância das áreas da Engenharia de Transportes na matriz curricular

3 ANÁLISE DAS GRADES DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES NO BRASIL

Conforme pesquisa realizada no Sistema e-MEC sobre os cursos superiores de Engenharia de Transportes em funcionamento no país (MEC, 2018) foram verificados os cursos em nível de graduação, conforme o quadro seguinte:

Quadro 01 – Cursos de Engenharia de Transportes no Brasil

Curso	Instituição	Natureza	Vagas anuais	Ano de início
Engenharia de Transporte e Logística	UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina	Pública	-	-
Engenharia de Transportes	UFMT – Univ. Federal de Mato Grosso	Pública	63	2013
Engenharia de Transportes	UNIFRAN – Univ. de Franca	Privada	120	2012
Engenharia de Transportes	UFG – Univ. Federal de Goiás	Pública	40	2014
Engenharia de Transportes	CEFET-MG – Centro federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais	Pública	80	2015
Engenharia de Transportes	FAM – Faculdade das Américas	Privada	100	2017
Engenharia de Transportes	FSG – Centro Universitário da Serra Gaúcha	Privada	100	2015
Engenharia de Transportes	IFG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás	Pública	30	2014
Engenharia de Transportes e Logística	UFSC – Univ. Federal de Santa Catarina	Pública	80	-

Fonte: MEC, 2018

Observa-se que há 07 (sete) cursos com denominação de Engenharia de Transportes e outros 02 (dois) com a denominação de Engenharia de Transportes e Logística. Dos cursos com denominação Engenharia de Transportes foram analisadas 06 (seis) grades curriculares, das seguintes instituições: UFMT, UNIFRAN, UFG, CEFET-MG, FAM, FGS e IFG. O curso da UNIFRAN não foi analisado em virtude do seu projeto pedagógico de curso não ter sido encontrado. Foram também analisadas as grades dos outros 02 (dois) cursos de Engenharia de Transportes e Logística: UFSC e UFMT. Predominam cursos nas universidades públicas. Daqueles pesquisados, apenas dois, UNIFRAN e FGS, são ministrado em

instituição privada, com destaque para o processo de extinção em que se encontra o curso de Engenharia de Transportes na FSG, segundo informação presente na plataforma e-MEC.

É importante mencionar a existência de bacharelados com outras denominações, cujos currículos abordam temáticas associadas à área de Engenharia de Transportes, conforme o quadro a seguir.

Quadro 02 – Cursos que se aproximam do perfil dos cursos de Engenharia de Transportes no Brasil

Curso	Instituição	Natureza	Vagas anuais	Ano de início
Engenharia Civil de Infraestrutura	UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana	Pública	50	2010
Engenharia de Mobilidade	UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá	Pública	50	-
Engenharia Civil da Mobilidade	IFG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás	Pública	30	2014
Engenharia da Mobilidade	FACENS – Faculdade de Engenharia de Sorocaba	Privada	-	-

Fonte: MEC (2018)

Outros similares também foram identificados, a exemplo da Engenharia Ferroviária e Metroviária, da UFSC e UFSJ. Na pesquisa também não foram considerados os cursos de graduação de Tecnologia em Transporte Terrestre, que pode ser objeto de um outro trabalho mais aprofundado. Existem hoje no Brasil 15 (quinze) destas graduações tecnológicas que abordam conteúdos presentes naqueles de Engenharia de Transportes (MEC, 2018).

O Quadro 03 apresenta a quantidade e a carga horária das disciplinas obrigatórias e optativas ofertadas pelos 08 (oito) cursos analisados.

Quadro 03 – Oferta de Disciplinas (Quantidade e CH):

Universidade	Obrigatórias		Optativas		
	Quantidade	Carga Horária	Quantidade (Disponível)	Carga Horária (Disponível)	Carga Horária (Mínima a cursar)
UFSC	58	3866 h	13	684 h	126 h
UFMT	53	3280 h	29	1088 h	256 h
UFG	63	3392 h	37	2080 h	416 h
CEFET-MG	59	3390 h	8	480 h	360 h
FAM	31	3980 h	0	0 h	0 h
FSG	41	2952 h	-	-	144 h
IFG	73	3847 h	12	648 h	108 h
UFSM	63	3885 h	-	-	180 h

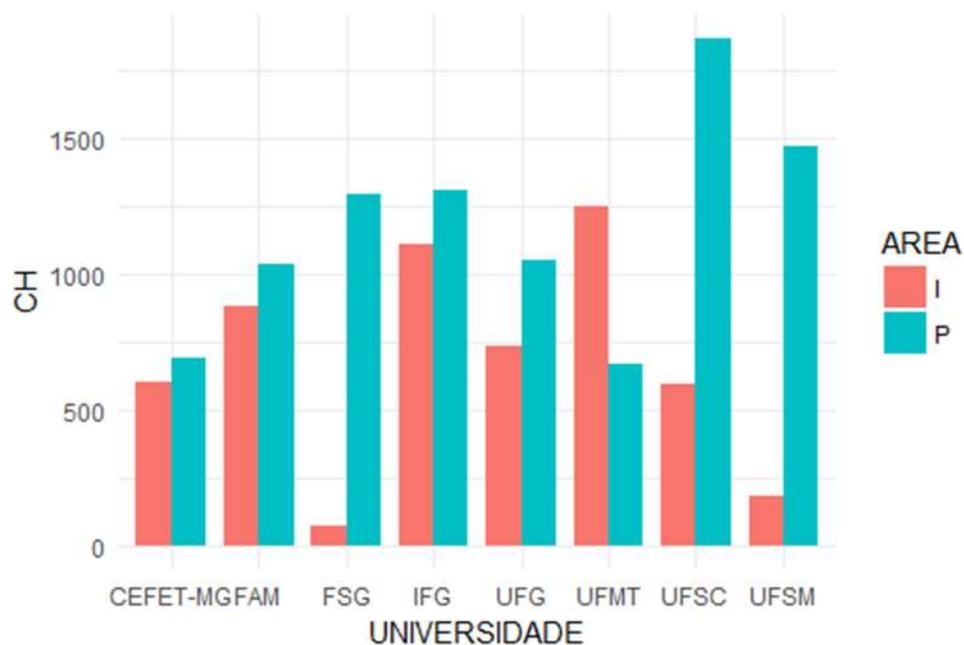
Fonte: UFSC(2018), UFMT (2018), UFG (2018), CEFET-MG (2018), FAM (2018) FSG (2018), IFG(2018) e UFSM (2018)

Entre as disciplinas obrigatórias, observa-se uma carga horária média de 3.574 h para os 08 cursos pesquisados, com a FSG representando o valor mínimo (2952 h) e a FAM o valor máximo (3980 h). É importante destacar que a carga horária das disciplinas optativas no Quadro 03 é relativa à oferta disponibilizada do curso e não ao mínimo que os estudantes devem cumprir, que varia de instituição para instituição conforme a última coluna do Quadro 03. Convém salientar o fato de não ter sido encontrada uma lista de disciplinas optativas na matriz curricular disponibilizada na página eletrônica da UFSM (apesar de existir uma clara exigência de 180 horas de componentes optativos). Igualmente, na matriz curricular da FSG há apenas a menção a duas disciplinas optativas de 144 h sem indicação de quais as possíveis a serem cursadas. Na FAM, as disciplinas estão rigidamente estabelecidas para o discente, sem a possibilidade de optativas. No quesito flexibilidade do currículo, destaca-se a UFG que apresenta maior carga horária mínima de optativas (416h) a serem escolhidas de um rol de 2080 h de disciplinas ofertadas.

Para analisar o enfoque dos cursos de Engenharia de Transportes, as disciplinas obrigatórias profissionalizantes e específicas foram classificadas nas áreas Infraestrutura de Transportes (I) e Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte (P). Poucas disciplinas não se encaixaram nesse perfil, cujos focos estão relacionados à mecânica veicular, sistemas de telecomunicação e controle, presentes principalmente nas matrizes curriculares da UFSC e da UFSM.

No gráfico da Figura 01, a seguir, são apresentadas as cargas horárias das disciplinas obrigatórias em cada curso por área.

Figura 01 – Gráfico de Carga Horária de disciplinas obrigatórias, profissionalizantes e específicas por área, em cada universidade pesquisada



Fonte: UFSC(2018), UFMT (2018), UFG (2018), CEFET-MG (2018), FAM (2018) FSG (2018), IFG(2018) e UFSM (2018)

De modo geral, observa-se uma predominância de componentes curriculares associados à área de Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes em relação à área de Infraestrutura de Transportes (à exceção do curso de Engenharia de Transportes na UFMT). Essa predominância é mais notória na FSG, na UFSC e na UFSM, cujas diferenças de cargas horárias entre as áreas são, no mínimo, 3 vezes maiores em Planejamento do que em Infraestrutura. Essa diferença é mais equilibrada no IFG, na UFG, no CEFET-MG e na FAM. Outra observação é quanto a localização destes cursos, predominantemente nas regiões Sudeste e Sul do país, não havendo cursos de graduação em Engenharia de Transportes nas regiões Norte e Nordeste.

4 PERSPECTIVAS QUANTO A FORMAÇÃO

Observa-se propostas que podem variar de uma formação de engenheiro civil, com ênfase em transportes, ou de engenheiro de transportes (SANTANA FILHO, 1994). O engenheiro de transportes teria uma formação que lhe fizesse, segundo Magalhães (*et. al*, 2013):

(...) capaz de reconhecer e analisar problemas de transporte dentro de seu contexto social (que inclui suas dimensões econômicas, políticas e culturais), articular diferentes tecnologias e conhecimentos para produção de soluções viáveis, efetivas e eficientes, que viabilizem as atividades ou interesses que os demandaram de forma sustentável.(...)

Há ideia de que a formação tenha um perfil multidisciplinar, que enfoque questões de infraestrutura, planejamento, quanto ao transporte e trânsito urbano e regional, além de gestão e serviços de transporte, logística, etc. , que extrapolam a formação dos cursos de graduação em Engenharia Civil (SANTANA FILHO, 1994 ; MAGALHÃES, *et. al*, 2013). A formação de engenheiro de transportes realizada nos programas de pós-graduação, apenas, logo após a graduação em outras áreas da Engenharia (Civil, Mecânica, etc.), geralmente, não seria o suficiente para lhes conferir uma formação multidisciplinar (SANTANA FILHO, 1994). Segundo Magalhães (*et. al*, 2013) o perfil do engenheiro de transportes, com formação numa graduação, estaria dentro de uma visão considerada ampla da matéria e uma cultura interdisciplinar e multidisciplinar, sendo que sua atividade abrangeria o desenvolvimento e a aplicação de tecnologia de infraestruturas, veículos e equipamentos, o planejamento de sistemas de transporte, o planejamento, a organização produtiva e gerencial dos serviços (MAGALHÃES, *et. al*, 2013). Não seria tratar o transporte apenas com questão de projeto e o planejamento, posteriormente de forma isolada, mas conjuntamente (SANTANA FILHO, 1994). Seriam desenvolvidas ainda atividades no âmbito da gestão dos instrumentos financeiros e jurídico-institucionais, e daí uma inserção profissional em um contexto mais amplo, abrangendo questões referentes ao desenvolvimento urbano e regional, o industrial e tecnológico, mas também o desenvolvimento social, além do o equilíbrio financeiro das ações e a preservação ambiental (MAGALHÃES, *et. al*, 2013).

Daí surgiram propostas para a formação na área em nível de graduação no país, com este enfoque multidisciplinar. A formação deveria suprir uma lacuna de formação em engenharia, que capacite para a solução de problemas de transporte em termos de projeto e construção relacionadas a infraestrutura de transportes, como para o planejamento e operação de sistemas de transportes (SANTANA FILHO, 1994 ; MAGALHÃES, *et. al*, 2013).

Vale ressaltar que recentemente ocorreu a inserção do título Engenheiro de Transportes na Tabela de Títulos Profissionais do Sistema CONFEA/CREA, antes não existente, apesar de existir títulos pouco comuns como “Engenheiro Rodoviário”. As atividades e competências profissionais deste título estão contidas na Resolução CONFEA nº 1.096, de 13 de dezembro de 2017.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se diante do levantamento realizado para os cursos de Engenharia de Transportes no país que são ainda recentes em relação aos cursos de graduação em Engenharia Civil, mais tradicionais, e que tem um perfil diferenciado, que os autores pesquisados vem considerando como capaz de preencher uma lacuna na área de formação em questão.

Diante da análise das matrizes curriculares dos cursos pesquisados, considera-se que há, atualmente, no Brasil, cursos que as apresentam com disciplinas de várias áreas do conhecimento, não só com predominância de carga horária daquelas voltadas à infraestrutura de transportes, mas também com ênfase no planejamento e operação. Pode haver uma certa variação de concentração numa área ou em outra, porém observa-se um certo “equilíbrio” que depende do perfil de formação proposto pelas instituições onde são ministrados, conforme sua autonomia e demandas da sociedade, que pode depender inclusive da região a qual está inserida.

Evidencia-se o perfil multidisciplinar que estes cursos apresentam na atualidade, diante dos itens analisados, conforme a classificação que foi realizada para cada grupo de disciplinas. Vale ressaltar que a maior parte destes cursos são ministrados em instituições públicas, apenas dois em instituição privada (um deles em processo de extinção). Há, contudo de se realizar discussões acerca de habilidades e conteúdos curriculares que podem ser desenvolvidas por estes considerando-se a Resolução CONFEA nº 1.096.

REFERÊNCIAS

CEFET-MG. Projeto Pedagógico para Implantação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Transportes. 2010. Disponível em:

http://www.cepe.cefetmg.br/galerias/Arquivos_CEPE/Resolucoes_CEPE/Resolucoes_CEPE_2012/Resolucoes_2012_Anexos/RES_CEPE_37_12_ANEXO_Projeto_Pedagogico_Engenharia_de_Transportes.pdf. Acesso em: 09 out. 2016.

CEFET-MG. Engenharia de Transportes. Disponível em:

http://www.det.cefetmg.br/galerias/arquivos_download/EngenhariaTransportes/MatrizesCurriculares/2015/Matriz.pdf . Acesso em: 09 out. 2016.

CONFEA. Resolução CONFEA nº 1.096, de 13 de dezembro de 2017. Disponível em: <<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=64797&idTipoEmenta=5&Numero=>. Acesso em: 09 mai. 2018.

MAGALHÃES, M. T. Q. et. al. Do Fundamento à Formação: O Engenheiro De Transportes e Diretrizes Curriculares . Belém: XVIII ANPET.2013.

MEC – Ministério da Educação. Sistema e-mec. Cursos existentes de Engenharia de Transportes e Superior no país. Disponível em: < <http://emec.mec.gov.br/> > . Acesso em 20 de abr. de 2018.

MEC. Resolução CEB n. 4, de 3 de Dezembro de 1999 -Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Profissional de Nível Técnico. Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf1/ceb0499.pdf> . Acesso em 18 de Julho de 2014

MEC. Resolução CNE/CES 11, de 11 de Março de 2002 - Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Brasília. Disponível em:

<http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES112002.pdf> . Acesso em 18 de Julho de 2014.

SANTANA FILHO, A. R., Uma proposta para o ensino de graduação em Engenharia de Transportes. Transportes, Rio de Janeiro, v. 2, n.nº1, p. 4-8, 1994.

UFG. Engenharia de Transportes. Disponível em:

https://transportes.fct.ufg.br/up/767/o/PPC_Engenharia_de_Transportes_-_v1.pdf?1469472408 . Acesso em 20 de out. de 2016.

UFMT. Engenharia de Transportes. Disponível em:

<http://www.ufmt.br/varzeagrande/arquivos/1a93d647bdf211d2bcb4deab6c1aca2b.pdf>. Acesso em 20 de out. de 2016.

UFSM. Engenharia de Transportes e Logística. Disponível em:

http://w3.ufsm.br/cachoeira/images/Grades_curriculares/CONTE%C3%9ADOS_-_ETL.pdf. Acesso em 20 de out. de 2016.

UFSC. Bacharelado Interdisciplinar em Mobilidade. Disponível em:

<http://mobilidade.paginas.ufsc.br/estrutura-curricular/estrutura-curricular-20161/> . Acesso em 20 de out. de 2016.

UFSC. Engenharia Ferroviária e Metroviária. Disponível em:

<http://ferroviaria.joinville.ufsc.br/estrutura-curricular-proposta/> . Acesso em 20 de out. de 2016.

UFSC. Engenharia de Infraestrutura. Disponível em:

<http://infraestrutura.joinville.ufsc.br/estrutura-curricular/>. Acesso em 20 de out. de 2016.

UFSC. Projeto pedagógico do curso de Eng. de Transportes e Logística – UFSC. Disponível em :
http://transporteslogistica.joinville.ufsc.br/files/2013/10/PPC_Transportes-e-Log%C3%ADstica1.pdf.
Acesso em 20 de abr. de 2018

Capítulo 9



10.37423/220606044

IMPACTOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS OCASIONADOS POR DESFLORESTAMENTO

Laís Alencar de Aguiar

*Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD
/ CNEN*

Oscar Rocha Barbosa

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Tetyana Gurova

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro –
UERJ-ZO*

Gustavo Aveiro Lins

*Organização/empresa em que trabalha -
CEDERJ*

Tatiana Santos da Cunha

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro –
UERJ-ZO*

Felipe Affonso Dantas dos Santos

*UFRJ / Doutorando / PEA -Programa de
Engenharia Ambiental*

Evandro Lima

*Associação Brasileira de Perícia e Gestão
Ambiental*

Josimar Ribeiro de Almeida

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro –
UERJ*

Resumo: A expansão urbana na região de Petrópolis é decorrente de intenso desmatamento para moradia e outras atividades antrópicas. Desflorestamento é a causa principal de desequilíbrios ecológicos, resultando em: inundações, diminuição da porosidade do solo e desertificação. Através da técnica de AIA de análise semi qualitativa estudou-se possíveis prejuízos e benefícios da expansão urbana na localidade, se as mudanças eram passíveis ou não de ocorrência e seu nível de impactação. Observou-se que a probabilidade de ocorrência de prejuízos era muito maior que a de benefícios. O resultado corrobora a literatura, sendo assim, foi visto que a vegetação possui papel importante no controle hídrico da localidade, e também na integridade física e química do solo. A probabilidade de consequências catastróficas, por conta do desmatamento, é extremamente alta, e mesmo as consequências de médio porte possuem capacidade de impactos ambientais que tendem a ser irreversíveis. O desmatamento intensifica as consequências das grandes precipitações frequentes no verão do Estado do Rio de Janeiro, logo, quanto maior o desmatamento, maior a probabilidade de eventos recorrentes e intensos resultantes das grandes precipitações. Logo, é necessário um controle da expansão urbana na região para diminuir o impacto ambiental hídrico na região

Palavras chave: Desflorestamento; Expansão urbana; Alagamento; Deslizamentos de terra.

I INTRODUÇÃO

O desmatamento é uma das intervenções humanas mais prejudiciais à sustentabilidade ambiental, podendo culminar em desequilíbrio físico, químico e ecológico. A vegetação possui papel fundamental na manutenção do microclima, principalmente no processo hidrológico da bacia hidrográfica. As principais consequências do desmatamento são a perda de biodiversidade, a degradação do solo, mudanças climáticas e na hidrografia. (FERREIRA et al., 2005; FEARNSTIDE et al., 2006).

Solos florestados possuem uma capacidade de infiltração maior do que solos descobertos, mas uma quantidade menor de água chega ao solo florestado que no solo descoberto, por conta de uma parcela dessa água ser interceptada pela copa das árvores. Por esse motivo, áreas florestadas apresentam menor infiltração, no entanto, no solo descoberto podem ocorrer alterações nas propriedades do solo por conta do impacto das gotas de chuva, ocasionando diminuição de infiltrações (ALMEIDA et al., 2013).

Em áreas florestadas o microclima criado se deve principalmente ao controle da evapotranspiração. A água evaporada é transportada a outros locais por correntes de ventos, e a floresta mais densa contribui na diminuição na evaporação do solo, amenizando temperatura e diminuindo as correntes de ventos. Há também, a redução de vazões de rios, por conta da evaporação que fica interceptada no dossel, sendo assim um desmatamento leva a uma maior vazão dos rios. A retenção de água, também, promove redução na ocorrência de inundações, a vegetação contribui para o aumento da porosidade e favorece a liberação contínua de água em níveis mais controlados, mesmo em épocas de menos chuvas. (ALMEIDA et al., 2013).

Petrópolis é uma das quatro glebas disjuntas que constituem a APA Petrópolis, criada em 1982, pelo Decreto Federal 87.561, de 13/09/82 e oficializada em 1992. É a primeira APA federal criada no país (BAPTISTA e CALIJURI, 2007).

Durante muito tempo a expansão urbana na região metropolitana de Petrópolis foi regulada pelo plano urbanístico elaborado pelo major Koeler por volta do século XVIII, com o objetivo de se manter o equilíbrio entre a expansão urbana e a preservação do ambiente. Com o tempo tais regras elaboradas começaram a ser desrespeitadas, e logo houve casos de grandes áreas desmatadas, para dar lugar a culturas agrícolas, pastagens e ocupação imobiliária, oferecendo riscos a própria população ali vivente (ALMEIDA et al., 2013) (GUERRA et al., 2007). Silva et al. Revista SUSTINERE, Rio de Janeiro, v.3, n. 1, p. 53-64, jan-jun, 2015 56.

Hoje a ocupação é caracterizada por uma junção de áreas de ocupação desordenada, e outras de ocupação “orientada”, feita por um parcelamento e distribuição de lotes sem critérios urbanísticos ou parcialmente dentro das regulamentações municipais. A ocupação apresenta um nível acentuado de habitações com características de sub-habitação e favelização, em áreas até então valorizadas pelo mercado imobiliário. (BAPTISTA e CALIJURI, 2007).

O solo da bacia hidrográfica estudada possui uma boa capacidade de infiltração da água, sendo composta médio-argilosa ou franco-argilosa, o desflorestamento reduz a quantidade de água captada da chuva pela transpiração e evaporação da vegetação, aumentando o volume escoado e desbalanceado o balanço hídrico da bacia. E a baixa taxa de água evapotranspirada acaba sendo transferida para outras regiões pelas correntes de ar, reduzindo o volume de água total disponível no local provocando a desertificação (ALMEIDA et al., 2013).

Na região de Petrópolis há alta incidência de chuvas, com o desmatamento, houve um aumento na taxa de água superficiais de escoamento, causando assim processos erosivos e deslizamentos de terra (BAPTISTA e CALIJURI, 2007). A avaliação desses impactos é fundamental para identificar os efeitos esperados de atividades e projetos no ambiente (biofísico e social), e principalmente, avaliar meios e medidas necessárias para monitorar e minimizar estes impactos. Para isso é necessário o estudo de caso da situação ambiental na presença e na ausência de uma atividade, e assim saber se o projeto é passível ou não de aprovação (MOREIRA, 1985).

II METODOLOGIA

Foi utilizada a metodologia de AIA (avaliação de impactos ambientais) que tem como objetivo principal determinar se o projeto é passível ou não de causar danos ao meio ambiente, e se ocasionar prejuízos ao meio ambiente, é feita a análise onde será levado em conta o benefício do projeto para a aprovação do mesmo (MOREIRA, 1985).

Como não é possível obter números reais de uma grande gama de impactos e riscos, foram usadas todas as informações disponíveis a respeito do evento para se elaborar possíveis consequências relativas ao ambiente estudado.

Nesse trabalho foi usado a técnica de abordagem semiquantitativa para determinar os impactos e riscos prováveis do desmatamento na região.

Nesse processo foi estudado o grau de consequência e probabilidade de ocorrência dos eventos, sendo cada um deles pontuados com o grau de impactação referente. Não sendo totalmente acurada a real magnitude ou de ocorrência, mas tendo o objetivo de estar mais próximo possível da realidade.

São utilizados cinco níveis de severidade – 1-Insignificante, 2-Menor, 3-Moderado, 4- Maior e 5-Catastrófico. Nas consequências foram consideradas tanto impactos ambientais quanto riscos ambientais.

Foram separadas em categorias gerais (Quadro 1) e pontuais (Quadros de 2 a 5), sendo os pontuais, desenvolvidas sobre pontos de maiores importâncias.

Quadro 1 – Medidas qualitativas das consequências dos eventos gerais.

Nível	Valor	Características
Insignificante	1	Não impactado, sem mudanças homeostáticas no ambiente. A mudança possui baixo valor de impacto e/ou é recuperável em pouco tempo. Baixa/nenhuma detecção dos eventos.
Menor	2	Impactos homeostáticos de baixo valor, a curto prazo há mudanças no ecossistema local. Mudanças com aspecto de impacto natural. Potencial de detecção de impacto baixo.
Moderado	3	Impacto a longo prazo, com alteração pontual no ecossistema (espécies não ameaçadas), podendo contribuir para efeito sinérgico. Comprometimento da saúde humana improvável.
Maior	4	Dano ecológico grande, ocorrência de uma ou mais espécies se tornarem ameaçadas. Sustentabilidade do ecossistema prejudicado. Efeito sinérgico moderado. Saúde humana pode ser afetada.
Catastrófico	5	Extinção de espécie(s). Pouca chance de reversão do impacto. Contribui grandiosamente para o efeito sinérgico. Saúde humana provavelmente afetada.

Fonte: ALMEIDA et al., 2013

Os quadros de 2 a 4 apresentam critérios específicos para medidas qualitativas das consequências dos eventos.

Quadro 2 – Ecossistema

Nível	Valor	Características
Insignificante	1	Efeitos adversos diminutos, poucas espécies afetadas a curto-prazo. Reversíveis de imediato.
Menor	2	Mudança no padrão de vida de determinadas espécies, danos reversíveis a curto prazo.
Moderado	3	Migração e perda de habitats em pequenas localidades, potencial dano ao ecossistema (remoção de vegetação), modificação do solo (drenagem), danos reversíveis a médio prazo
Maior	4	Migração, destruição esparsa de habitats, morte de animais, perda de espécies reversíveis, grande modificação do solo, danos reversíveis somente com a colaboração de programas, a longo prazo.
Catastrófico	5	Morte de grande número de indivíduos (flora e fauna), grande destruição da vegetação, solo sofre modificações irreversíveis.

Fonte: ALMEIDA et al., 2013

Quadro 3 – Paisagem

Nível	Valor	Características
Insignificante	1	Pequenas mudanças na paisagem reversíveis a curto prazo.
Menor	2	Mudanças consideráveis, mas que por meio natural ou por intervenções são reversíveis
Moderado	3	Mudanças causam transformação do ambiente, podendo causar mudança no microclima local. Chance de reversão a longo prazo
Maior	4	Impacto ambiental extenso, grande retirada de vegetação. Impacto físico no solo causada pelas chuvas. Dano ecológico amplo, pouquíssimas chances de reversão
Catastrófico	5	Destruição da floresta, que pode gerar problemas físicos e químicos no solo da região. Danos irreversíveis.

Fonte: ALMEIDA et al., 2013

Quadro 4 – Regime hídrico

Nível	Valor	Características
Insignificante	1	Aumento da capacidade de infiltração.
Menor	2	Infiltração pode afetar positivamente o escoamento sub-superficial. Capacidade de retenção de água no solo é pouco comprometida, alimentação mais rápida dos cursos d'água em períodos de chuva.
Moderado	3	Variações de temperatura e umidade do ar, evapotranspiração é afetada consideravelmente, diminuição ainda maior da capacidade de retenção de água no solo, cursos d'água podem sofrer erosões.
Maior	4	Evapotranspiração é afetada, microclima é quebrado, causa mudanças no ciclo de água no local, cursos d'água sofrem erosões pela chuva, podendo ainda haver deslizamentos e/ou inundações.
Catastrófico	5	Ciclo hidrológico é modificado, inundações recorrentes em épocas de chuva intensa, formações de sulcos no solo, ajudando a infiltrações de água, deslizamentos ocorrem quando a quantidade de água infiltrada é menor que a quantidade precipitada, assoreamento de rios.

Fonte: ALMEIDA et al., 2013

Quadro 5 – Medidas qualitativas dos fatores de risco dos eventos

Nível	Valor	Características
Insignificante	1	Pequenos acidentes de trabalho durante a derrubada, ferimentos leves.
Menor	2	Acidentes de trabalho, falta de equipamentos pessoais Silva et al. Revista SUSTINERE, Rio de Janeiro, v.3, n. 1, p. 53-64, jan-jun, 2015 60 de segurança causando ferimentos médios.
Moderado	3	Acidentes médios a graves de trabalho, pequenas emissões de gases do efeito estufa, pequenas erosões causam falhas no terreno. Baixo perigo de vida.
Maior	4	Acidentes graves de trabalho, destruição do habitat, grandes emissões do efeito estufa, diminuição da retenção de água e porosidade do solo causando pequenos deslizamentos, erosões e inundações pouco recorrentes. Perigo de morte.
Catastrófico	5	Grandes deslizamentos, inundações, grandes erosões e depósito de sedimentos nos canais fluviais. Perigo a vida humana.

Fonte: ALMEIDA et al., 2013

A partir da classificação qualitativa é feito um estudo de caso para a probabilidade de ocorrência dos eventos descritos (Quadro 6), tendo como base ocorrências passadas e sendo feita numa escala de 1 a 5 variando de raro para quase certo.

Quadro 6 – Probabilidade de ocorrência.

Nível	Valor	Características
Quase Certo	5	99% de possibilidade de ocorrência durante o tempo de vida do projeto OU ocorreu muitas vezes na história da indústria, incluindo eventos altamente frequentes ou contínuos.
Provável	4	90% de possibilidade de ocorrência durante o tempo de vida do projeto OU ocorreu muitas vezes em operações similares na indústria e provavelmente vai ocorrer durante a atividade.
Possível	3	50% de possibilidade de ocorrência durante o tempo de vida do projeto OU ocorreu frequentemente na indústria, possivelmente vai ocorrer durante a atividade.
Improvável	2	10% de possibilidade de ocorrência durante o tempo de vida do projeto OU ocorreu muito poucas vezes na indústria, improvável ocorrer durante a atividade.
Raro	1	1% de possibilidade de ocorrência durante o tempo de vida do projeto, apenas em circunstâncias excepcionais OU não ocorreu na indústria e é extremamente improvável que aconteça durante a atividade, ainda que possa ocorrer.

Fonte: Adaptado de MARIANO, 2007.

III RESULTADOS

A partir dos quadros apresentados, é possível fazer uma estimativa e avaliação dos impactos e riscos ambientais, sendo calculado como mostrado a seguir:

$$\text{Impacto Ambiental} = \text{Probabilidade de ocorrência} \times \text{Consequência}$$

Tendo como resultado uma matriz com valor aproximado do risco ambiental. É feita uma divisão de quatro categorias – Extremo, Alto, Moderado e Baixo - definindo os níveis de vulnerabilidade ambiental, e é inserido os resultados da matriz nessas categorias. • Extremo – Grande risco/impacto ambiental, situação de emergência dos recursos naturais disponíveis. Alto – Necessária intervenção política e gerenciamento de alto nível para a redução do impacto/risco. • Moderado – Implementação de programas de gerenciamentos futuros, e responsabilidade social, para não aumentar os impactos/riscos. • Baixo – Aceitável, operações de rotina e manutenção, através do Plano de Gestão Ambiental e de Riscos.

Quadro 7 – Matriz Probabilidade de ocorrência x Consequência

Probabilidade de Ocorrência do Evento	Consequências do Evento				
	Insignificante (1)	Menor (2)	Moderado (3)	Maior (4)	Catastrófico (5)
A (Quase Certo) (5)	Médio 5	Médio 10	Extremo 15	Extremo 20	Extremo 25
B (Provável) (4)	Baixo 4	Médio 8	Alto 12	Extremo 16	Extremo 20
C (Moderado) (3)	Baixo 3	Médio 6	Alto 9	Alto 12	Extremo 15
D (Improvável) (2)	Baixo 2	Baixo 4	Médio 6	Médio 8	Alto 10
E (Raro) (1)	Baixo 1	Baixo 2	Baixo 3	Baixo 4	Medio 5

No quadro 7 é apresentado o risco/impacto que pode resultar na probabilidade de ocorrência de uma determinada consequência. Multiplicando-se os fatores na matriz (Probabilidade X Consequências), verificamos que quanto maior o fator, pior será a aceitabilidade ou a vulnerabilidade do ambiente.

IV DISCUSSÃO

O crescimento desordenado das cidades aliado a pressão antrópica gera problemas de ordem socioambiental sabidamente conhecidos. A vegetação age como reservatório para contenção de cheias, tendo importância também na área de produção madeireira, na proteção de outros recursos naturais, bem como habitat para diversas espécies. Tendo grande papel no controle hídrico, o desmatamento, portanto, faz parte de uma importante parcela de fatores que determinam ocorrências de cheias, sendo indiretamente responsável pela erosão de solo e assoreamento de rios, sendo diretamente responsável pelo aumento de escoamento de água e aumento de nível dos cursos d'água. Tendo em vista a taxa de infiltração de água em solos florestados e descobertos, é chegada a conclusão que as cheias duram menor tempo em áreas descobertas que em áreas florestadas (ALMEIDA et al., 2013).

As ocupações urbanas e o desmatamento mais recentes de encostas de morros, causam impactos negativos a topografia, o que pode levar também a maior incidência de acidentes, como por exemplo, o deslizamento de solo, por conta da movimentação de terras, que diminui a estrutura natural do solo e diminuição da resistência a água, que antes era causada pelas raízes da cobertura vegetal natural (GUERRA et al., 2007).

A área estudada está localizada em um núcleo urbano de rápido crescimento populacional e pobre infraestrutura, o que faz com que a probabilidade de desastres seja mais alta do que o normal, talvez até, mais alta que a prevista em estudos anteriores. O desmatamento leva, quase que impreterivelmente, impactos ambientais importantes, e na maioria das vezes apresenta-se irreversível (BAPTISTA e CALIJURI, 2007; GUERRA et al., 2007; ALMEIDA et al., 2013).

V CONCLUSÃO

O uso do solo urbano sofre mudanças em resposta às forças econômicas, sociais e ambientais. O gerenciamento adequado através do monitoramento e o planejamento da ocupação urbana resultam em melhores infraestruturas e em controle da expansão urbana reduzindo os impactos ambientais na região. Este gerenciamento inclui a realocação de moradias em áreas de risco e a promoção de ações socioeducativas a famílias já residentes, de modo a minimizar os impactos já ocorridos.

A sustentabilidade urbana fica então a cargo de gestores ambientais e públicos, que analisam e corroboram, quanto ao processo de planejamento urbano, as medidas preventivas e/ou corretivas que poderão ser implantadas no meio.

De acordo com a literatura consultada e a metodologia empregada, foi possível observar que os deslizamentos na região do município de Petrópolis não estão necessariamente ligados a grandes precipitações pontuais, mas sim a problemas inerentes ao balanço hídrico. Ou seja, quando há grande precipitação local e não há tempo para que a água excedente possa escoar pelas áreas subterrâneas do solo.

Esta ocorrência, de maior incidência no verão, intensifica o acúmulo de água na superfície do solo, onde a formação de sulcos no terreno pela passagem da água, aliado a declividade e ausência de cobertura, dificultam a drenagem e agem como fatores que influenciam os deslizamentos de terra que ocorrem na cidade de Petrópolis. Sendo assim, o desmatamento intensifica as consequências das grandes precipitações, logo, quanto maior o desmatamento, maior a probabilidade de eventos recorrentes e intensos resultantes das grandes precipitações frequentes no verão do Estado do Rio de Janeiro.

REFERENCIAS

- ALMEIDA, J. R.; SILVA, C. E.; RODRIGUES, M. G.. Avaliação dos impactos ambientais do desflorestamento sobre o regime hídrico da região metropolitana de Petrópolis (RJ). *Engineering Sciences*, Aracaju, v. 1, n. 1, p.6-13, 31 ago. 2013. DOI: 10.6008/ess2318-3055.2013.001.0001. Disponível em: . Acesso em: 12 jun. 2015.
- BAPTISTA, A. C.; CALIJURI, M. L. Caracterização espaço-temporal por sensoriamento remoto da expansão urbana na APA Petrópolis. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR)., 2007, Florianópolis. Anais do XIII Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5091-5098. CDRom, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: . Acesso em: 24 jun. 2015.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 36, n. 3, p.395-400, 2006. DOI: 10.1590/s0044-59672006000300018. Disponível em: . Acesso em: 15 jun. 2015.
- FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S.. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 19, n. 53, p.157-166, 2005. DOI: 10.1590/s0103-40142005000100010. Disponível em: . Acesso em: 15 jun. 2015.
- GUERRA, A. J. T.; LOPES, P. B. M.; SANTOS FILHO, R. D.. Características Geográficas e Geomorfológicas da APA, Petrópolis. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p.77-86, 2007. Disponível em: . Acesso em: 15 jun. 2015.
- MARIANO, J.B. Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore. 2007. 571 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia, Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: Acesso em: 15 jun. 2015.
- MOREIRA, I. V. D.. Avaliação De Impacto Ambiental–AIA. Rio de Janeiro: Feema, 1985. Disponível em: . Acesso em: 15 jun. 2015.

Capítulo 10



10.37423/220606054

SOFTWARE CREATION FOR ULTRA-HARD METAL ALLOY DESIGN

Raphael Basilio Pires Nonato

Thomaz Augusto Guisard Restivo

*IFSC, Xanxerê, Mech Eng Dept; and UNISO,
Post-grad Prog in Technological and
Environmental Processes
University of Sorocaba (UNISO),
Thermophysical Laboratory.*



Abstract. *Ultra-hard metal alloys (UHMA) are often demanded when wear resistance is the most relevant requirement in a product. Consequently, researchers have reported several technical parameters and associated criteria to predict the stability of the UHMA and ease the alloy design process. Among the existing parameters and criteria, fourteen (ten parameters, and four criteria) were adopted in this research to theoretically assure that the formed UHMA is stable. Therefore, a software coded in Microsoft Visual Basic 6.0[®] calculates the involved parameters and provides the statuses of the associated criteria in order to speed up the UHMA design process. By providing the required information, this program outputs the mass of each chemical element involved in the UHMA's formation in conjunction with the calculation of the parameter values, as well as whether each established criterion is attended. The results from the software were compared to those from a paper with a maximum relative error of 1.923%. The main contributions of this software refer to: (a) organization of parameters and criteria into a single application (simplifying the evaluation process); (b) operation in a faster manner; (c) and portability (as it can be installed in any Windows[®]-based device).*

Keywords: *Ultra-hard metal alloy, Metal alloy design, Metal alloy, Software development, Computer programming.*

1. INTRODUCTION

A wide range of materials resulted from researches performed all over the world in order to solve the most distinct problems. Notably, when the wear resistance enhancement of a part is an improvement requirement, the automatic request is for tougher and harder materials. In view of this, the most widely employed materials to solve this problem are generally the ultra-hard metal alloys (UHMA), e.g. special steels and superalloys, and the metallic-ceramic composites (e.g. carburized carbides or hard metal).

In this scenario, the mechanical properties of pure metals can be significantly improved by producing alloys with metallic and/or non-metallic elements (Razuan et al., 2013). The conception of these conventional alloys encompasses a maximum of one or two main elements (Shun et al., 2012). In addition, a distinct solution addresses the multi-component alloys, which have three or more main elements. Despite their use in a great variety of situations and the fact that they can represent the solution required in many situations, the possible formation of intermetallic compounds associated with complex microstructures may provide undesired physical behavior and inadequate magnitudes of mechanical properties.

Regarding hardness, the conventional metal alloys and steels may reach magnitudes of approximately 1100 HV (Vickers' hardness, kgf/mm²), viz. the M40-series high-speed steel (HSS) (Dennis, 1993). Carburized, nitrided, and boronized alloys can reach up to 1900 HV (Klaus, 1993). Nonetheless, the currently available alloys frequently present a considerable degree of ceramic phases after heat treated, which gives them a brittleness character.

In order to reduce the presence of these unwanted microstructures and, consequently, their associated properties, a solution has been widely applied throughout last decades. The so-called high-entropy alloys (HEAs) then emerged, which denomination refers to their high entropic effects in solidification process, hence promoting the obtainment of simple solid solutions, in opposition to the formation of complex phases. The design of HEAs stands on at least five main elements, which concentrations range between 5 and 35% in molar fraction.

Although HEAs minimized the formation of intermetallic components, there is still the opportunity for improvement in what refers to hardness (wear resistance). In this context, the recent finding of diamoy alloys can be one of the breakthroughs of this paradigm (Restivo & Restivo, 2021). These alloys, yet under development, have six to nine different metallic elements at the cubic lattice positions. On both

laboratory and industrial scales, the values of hardness are the highest ever registered when compared to the other metallic alloys, even surpassing those of ceramic oxides. For comparison purposes: (a) without heat treatment, diamond alloys may reach up to 1420 HV (value higher than that presented by the conventional metal alloys, achieving around 1100 HV); (b) when heat treated, diamond alloys reach the baseline of 2500 HV (value higher than carburized, nitrided, and boronized alloys, of 1900 HV).

In parallel to an ever-growing number of findings related to ultra-hard metal alloys (UHMA), the set of criteria to be fulfilled to produce stable solid solutions is frequently being revised. In addition, each combination of elements may imply in a unique set of minimum criteria to be attended. Consequently, there may be relative difficulty in recognizing and adopting a certain set of criteria to produce and possibly assure the required solid solution stability. The method to design a multi-component alloy by using a set of criteria is denominated parametric approach (Tazuddin et al., 2016), (Tazuddin et al., 2017). Besides that, two other approaches can also be adopted: calculation phase diagrams (CALPHAD) (Zhang et al., 2012) (Zhang et al., 2014), and molecular dynamic (MD) simulations (Xie et al., 2013), (Gao & Alman, 2013).

Therefore, this paper presents a software coded in Microsoft Visual Basic 6.0® based on the parametric approach of UHMAs design. This computer program provides the values of ten parameters and the statuses of four criteria associated with four of these parameters to indicate the feasibility of forming a stable multi-component alloy. Besides that result, under the input of some information about the intended solid solution, the software also provides the mass of each chemical element to form the required alloy. In the branch of parametric approach, the main contributions of the developed software refer to: (a) providing a tool which contains some of the most used parameters to constitute a multi-component metallic alloy, thus simplifying the related evaluation process; (b) speeding up the design process by just a few user-machine interactions; (c) turning this into a portable tool, which can be accessed or installed in any Windows®-based device.

2. BASIC DESCRIPTIVE PARAMETERS TO FORM A SOLID SOLUTION

According to the parametric approach (Tazuddin et al., 2017), when a metallic multi-component alloy is intended to be processed, there are several fundamental descriptors of the referred solid solution (eventually it may also result in intermetallic-containing alloys, or metallic glasses). Among all the available parameters, ten are described in this work. There are also four criteria, each associated with one different parameter in order to provide four distinct statuses. Therefore, the set of descriptive

parameters and criteria are addressed here in order to predict the solid solution stability. These parameters are presented in the following items:

a) Chromium equivalent coefficient, Cr_{eq} : it is calculated from the ferrite-forming elements to measure the formation of α -ferrite (Eq. (1)), which, in turn, is known to reduce the notch toughness where fatigue phenomenon prevails (Ryu & Yu, 1998). The higher the chromium equivalent coefficient, the more it approaches to a body-centered cubic (BCC) structure, thus increasing the hardness (Restivo & Restivo, 2021), where each chemical symbol represents the respective weight percentage in the solid solution.

$$Cr_{eq} = Cr + 0.8Si + 2Mo + W + 4V + 2Nb + 1.7Al + 60B + 2Ti + Ta + \\ - 2Ni - 0.4Mn - 0.6Co - 0.6Cu - 20N - 20C. \quad (1)$$

b) Atomic radii difference, Δr : described as the first rule of Hume-Rothery, it states that the solid solution effectively occurs when the difference between atomic radii (largest and smallest) of the chemical elements involved is lower than 15% (Wang et al., 2019), as per Eq. (2), where r_S and r_M are, respectively, the substitutional and the matrix atomic radii of the solid solution.

$$\Delta r(\%) = \frac{|r_S - r_M|}{r_M} 100. \quad (2)$$

c) Mean atomic radius, \tilde{r} : the weighted average of atomic radii of the chemical elements involved is expressed mathematically by Eq. (3) (Singh et al., 2014), in which f_i and r_i are, respectively, the molar fraction and the radius of the i -th element, and n is the number of elements used in the alloy design.

$$\tilde{r} = \sum_{i=1}^n f_i r_i. \quad (3)$$

d) Atomic size difference, δ : the poly-dispersion of atomic radii affects the atomic packing and is defined by the mean square deviation of the atomic radii of the involved elements, which is expressed by Eq. (4). In terms of this parameter, the solid solution tends to be stable if $\delta < 0.1$, excluding some specific situations (Yang & Zhang, 2012). It also can be complementary understood as a measure of strain referred to an ideal lattice because if the bonds are distorted at a certain degree, local strains occur (Singh et al., 2014):

$$\delta = \sqrt{\sum f_i \left(\frac{r_i - \tilde{r}}{\tilde{r}} \right)^2}. \quad (4)$$

e) Topological discrepancy, γ : given by Eq. (5), it quantifies the effects of smallest and largest atoms of the solid solution (Hu et al., 2017), where r_{MAX} and r_{MIN} are, respectively, the largest and smallest radii among the involved chemical elements. In this case, the criteria to be observed is that the calculated γ should be smaller than 1.175.

$$\gamma = \frac{1 - \sqrt{\frac{(r_{MAX} + \tilde{r})^2 - \tilde{r}^2}{(r_{MAX} + \tilde{r})^2}}}{1 - \sqrt{\frac{(r_{MIN} + \tilde{r})^2 - \tilde{r}^2}{(r_{MIN} + \tilde{r})^2}}}. \quad (5)$$

f) Mean Valence Electron Concentration, \tilde{V} expressed by Eq. (6), it is the average periodic table group number, in which BCC structure is stable for $\tilde{V} < 6.87$; for $\tilde{V} \geq 8$, FCC structure is stable; otherwise, FCC predominantly occurs, but BCC may occur at some situations. It depends on the circumstances of each alloy configuration (Guo et al., 2011), in which V_i is the value electron concentration of the i -th element involved in the solid solution.

$$\tilde{V} = \sum_{i=1}^n f_i V_i, \quad (6)$$

g) Electronegativity difference, $\Delta\chi$, it is the difference between the largest and smallest electronegativities of the involved chemical elements, which affects the enthalpy of mixing, influencing the phase separation and new phase formation (Fang et al., 2003). The appearance of intermetallic compounds can be minimized or even avoided for small values of electronegativity difference. The parameter is given by Eq. (7), where χ_i denotes the Pauling electronegativity of the i -th element $\tilde{\chi}$, and $\tilde{\chi}$ is the mean electronegativity among solid solution elements:

$$\Delta\chi = \sqrt{\sum_{i=1}^n f_i (\chi_i - \tilde{\chi})^2}. \quad (7)$$

h) Molar-averaged melting point, \tilde{T} weighted average of the melting points of the constituents (Singh et al., 2014), given by Eq. (8), where p_i is the melting point of the i -th element of the solution.

$$\tilde{T} = \sum_{i=1}^n f_i T_i, \quad (8)$$

i) Mean density, $\tilde{\rho}$ weighted average of the densities of the materials involved, where ρ_i is the density of the i -th element of the solution, as per Eq. (9):

$$\tilde{\rho} = \sum_{i=1}^n f_i \rho_i . \quad (9)$$

j) Mean bulk modulus, \tilde{K} presented in Eq. (10), it can be obtained by calculating the weighted average of the bulk moduli of the involved chemical elements. The bulk modulus is defined as the resistance of a material to volume compression subjected to hydrostatic pressure. Therefore, it is commonly applied to evaluate the incompressibility of a material. (Huang & Vitos, 2019). Moreover, the relatively strong dependence of the bulk modulus on the atomic radius is evidenced in (Wu et al., 2015),

$$\tilde{K} = \sum_{i=1}^n f_i K_i , \quad (10)$$

where , K_i which is given by Eq. (11), is the bulk modulus of the i -th element of the solid solution, in which denotes the initial volume of the i -th element, and P is the applied pressure:

$$K_i = -\left(V_0\right)_i \frac{dP}{d\left(V_0\right)_i} , \quad (11)$$

3. SOFTWARE DEVELOPED FOR UHMA DESIGN

In order to provide a tool to gather a few of the most important parameters to check the initial feasibility of UHMA, a software named “Diamoy 1.0” was developed and here introduced. In addition to the calculation of the ten described parameters, four criteria are provided by their verification statuses. Furthermore, the computer program gives the mass of each chemical element involved in the solid solution design. The referred software was developed in Microsoft Visual Studio 10.0® by means of emulating the ambient of Microsoft Visual Basic 6.0®.

The conception of this application aims at easing the evaluation process to form a metal alloy because besides functioning as an intrinsic checklist, it intends to speed up the alloy design process. Despite all this, there is no assurance that, if all these criteria are strictly attended, there will be the effective formation of a stable metal alloy. This is due to the fact that: (a) even inside the parametric approach, there are another parameters to be considered and others yet to come; and (b) as there are another approaches not being dealt herein, there is a risk of not considering some aspects of evaluation.

Figure 1 shows the empty interface of the software “DIAMOY 1.0”, i.e. before filling in the required fields. From the standpoint of its external architecture, the computer program presents a set of instruction lines, text-boxes, drop-down box, and buttons. In what concerns to its internal structure, an adequate sequence of programming sentences were written down in order to reflect all the criteria presented here to form a solid solution. The interface consists of a unique screen through which the

user interacts with the computer, thus simplifying the simulation of the alloy design. Some of the information are typed in, inserted by clicking on checkboxes, and selected from a dropdown list.

Figure 1- Empty interface of “DIAMOY 1.0”. Source: own authorship (2022).

There are four regions to highlight as input data. The first input is the product mass or mass of the formed alloy in grams, represented by the “Product mass:” field. The second input is described by the selection of the required chemical elements to form the solid solution (“Alloy elements:” field), whereas the third is referred to answer whether the solution is equimolar or not, represented by the question field “Equimolar?”. If the solution is selected as equimolar, the fourth region is not required to be filled in. However, if it is not equimolar, the fourth region has to be filled in with the molar fraction of each chemical element involved. To display the results, the blue button “Calculate!” must be pressed.

There are also two regions of output data. The first region is intended to present the mass in grams of each chemical element involved in the solid solution formation. The second one shows the values for all the ten parameters in their respective unities and the four criteria statuses. If different input data have to be entered into the computer program, the red button “Restart!” must be pressed. The software restarts with all the fields in the empty state.

In order to facilitate the understanding of how the software must be operated, a basic workflow is schematically shown by the flowchart in Fig. 2. The user types in the required texts and selects the desired options in the input data region. Then, the blue button “Calculate!” must be pressed. If one of the pertinent fields is not selected or is not filled in properly, an error message arise with some guidance to fix it. In this case the user must press the red button “Restart!” in order to fill in properly the input data this time. On the other hand, if the software is adequately fed, it will provide the previously described output data. If these results are satisfactory to build up the required metal alloy, then the process finishes. If the results are not adequate to the objectives, consequently another run can be made by pressing the “Restart!” button.

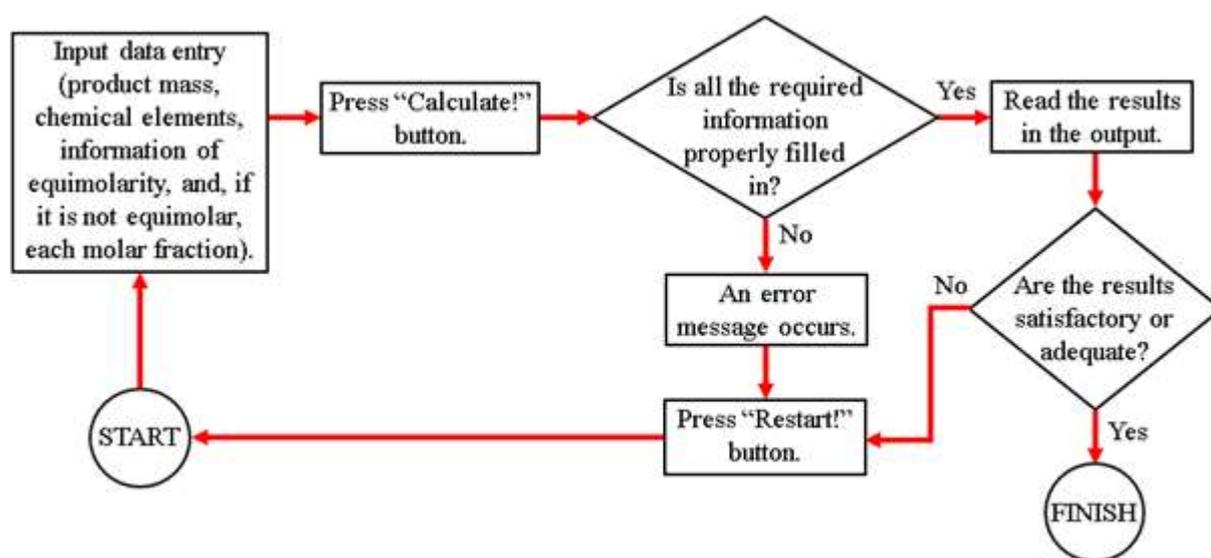


Figure 2- Software workflow. Source: own authorship (2022).

4. SOFTWARE OUTPUTS (RESULTS AND DISCUSSION)

This section addresses the comparison of the results from the developed software (embedded with the equations presented herein) with those extracted from Restivo & Restivo, 2021, more specifically the denominated metal alloy 6. Thus, the validation of the software is accomplished by comparing the referred results.

Figure 3 shows the results obtained from the software. As already mentioned, the input data were inserted in the left side, and the output is shown in the right one. Between parameter values and statuses, fourteen output data were presented. It is important to note that the value of the product mass (20 g) entered does not have a direct relation with the calculated parameters, but with the mass of each element of the solid solution. Table 1 compares these results with those from Restivo &

Restivo, 2021 by the relative error statistical tool. The first column is the parameter nomenclature, the second and third columns are, respectively, the values of Restivo & Restivo, 2021, and the calculated by the software. Finally, the last column corresponds to the relative error between the two sources.

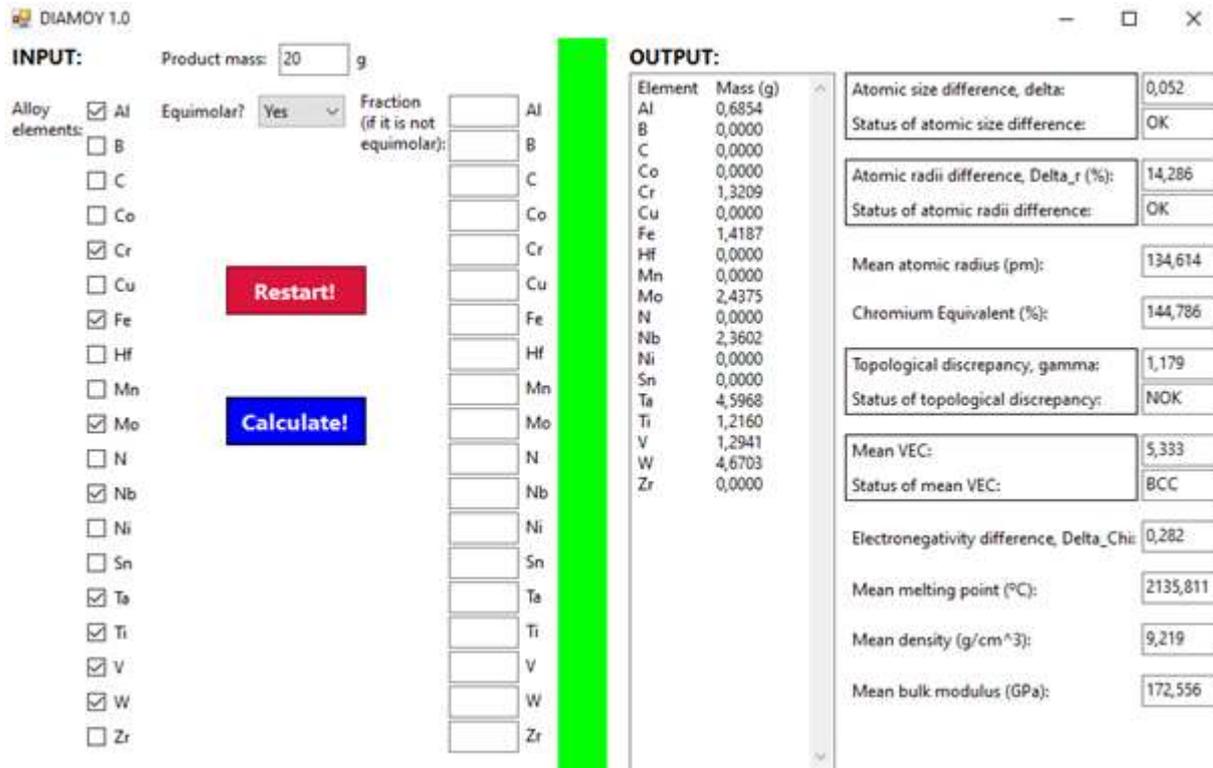


Figure 3- Interface of “DIAMOY 1.0” with the results related to the metallic alloy 6 (Restivo & Restivo, 2021). Source: own authorship (2022).

Table 1- Comparison of parameter values between (Restivo & Restivo, 2021) and the software developed in this work (Diamoy 1.0). Source: own authorship (2022).

Parameter	Restivo & Restivo, 2021	Software	Relative error (%)
δ	0.053	0.052	1.923
$\Delta r(\%)$	14.500	14.286	1.498
Cr_{eq}	145.000	144.786	0.148
γ	1.179	1.179	0.000
\tilde{V}	5.330	5.333	0.056
$\Delta\chi$	0.282	0.282	0.000
\tilde{T} (°C)	2135.850	2135.811	0.002
$\tilde{\rho}$ (g/cm ³)	9.390	9.219	1.855

There is a relatively good agreement between the results obtained by the two sources, which ranges from 0.000 (γ and $\Delta\chi$) to 1.923% (δ) for the alloy 6. It is important to highlight that the obtained null values of relative error probably justifies by not adopting a higher precision in the calculation related to both sources of comparison. In what refers to the status of each criteria, the only one not attended was the corresponding to the topological discrepancy, γ , which status in Fig. 3 is “NOK” (not ok). This means that this parameter was not attended because γ should be less than 1.175, as described in section 2.

Therefore, for example, within a 2% error margin, this set of results can be used to validate the software related to the precision mentioned for the application of alloy 6. Moreover, despite the relative error obtained, none of the statuses found via the computer program was different from the obtained in (Restivo & Restivo, 2021). Therefore, the computer program presented may be used as a helping tool to partially predict the behavior of the intended alloy and potentially be tested in the design of similar UHMAs.

5 CONCLUSIONS

This paper introduced a software programmed in Microsoft Visual Basic 6.0[®] that aims at being used in the design process of ultra-hard metal alloys (UHMAs) in what concerns the feasibility of forming a stable multi-component alloy. It was coded taking into account a set of ten parameters and four associated criteria of the parametric approach.

The software was subjected to a running test in order to validate the calculation process of alloy 6, denomination given in the work of (Restivo & Restivo, 2021). The parameters calculated by the software presented a relatively good agreement with the values provided in the cited reference (approximately 2% of relative error).

The major contributions of the designed software are the following: (a) the provision of a tool which contains a few of the most used parameters and some of their associated criteria to design a multi-component metal alloy, hence facilitating the alloy evaluation process; (b) the acceleration of a stage in the design process by just a few user-machine interactions; (c) the transformation of the evaluation process into a portable tool, which can be applied in any Windows[®]-based device.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge: the publisher, FAPESP council for funding through project 2020/09736-3, Catalisa ICT/SEBRAE/CNPq29083-128, and CNPq-Universal 408406/2021-6.

REFERENCES

- Dennis, D. H. (1993), "Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys in ASM Handbook", vol.1, ASM International, Ohio.
- Fang, S.; Xiao, X.; Xia, L.; Li, W.; Dong, Y. (2003), Relationship between the widths of supercooled liquid regions and bond parameters of Mg-based bulk metallic glasses. *Journal of Non-crystalline Solids*, 321, 120-125.
- Gao, M.C.; Alman, D.E. (2013), Searching for next single-phase high-entropy alloy compositions. *Entropy*, 15, 4504-4519.
- Guo, S.; Ng, C.; Lu, J.; Liu, C.T. (2011), Effect of valence electron concentration on stability of fcc or bcc phase in high entropy alloys. *J. Appl. Phys.*, 109:103505, 1-5.
- Hu, Q.; Guo, S.; Wang, J.M.; Yan, Y.H.; Chen, S.S.; Lu, D.P.; Liu, K.M.; Zou, J.Z.; Zeng, X.R. (2017), Parametric study of amorphous high-entropy alloys formation from two new perspectives: atomic radius modification and crystalline structure of alloying elements. *Scientific Reports*, 7:39917, 1-12.
- Huang, S.; Vitos, L. (2019), High Entropy Alloys: Elastic Parameters and Trends. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.
- Klaus, M.Z. (1993), "Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials in ASM Handbook", vol.2, ASM International, Ohio.
- Razuan, R.; Jani, N. A.; Harun, M. K.; Talari, M. K. (2013), Microstructure and hardness properties investigation of Ti and Nb added FeNiAlCuCrTi_xNb_y high entropy alloys. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 66, 4, 309-312.
- Restivo, T.A.G.; Restivo, G.M.G. (2021), Development of Ultra-Hard Multicomponent Alloys. *Journal of Materials Research*, 36, 1316-1327.
- Ryu, S.H.; Yu, J. (1998), A new equation for the Cr equivalent in 9 to 12 pct Cr steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 29A, 1573-1578.
- Singh, K.A.; Kumar, N.; Dwivedi, A.; Subramaniam, A. (2014), A geometrical parameter for the formation of disordered solid solutions in multi-component alloys. *Intermetallics*, 53, p.112-119.
- Shun, T.-T.; Chang, L.-Y.; Shiu, M.-H. (2012), Microstructures and mechanical properties of multiprincipal component CoCrFeNiTi_x alloys. *Materials Science & Engineering A*, 556, 170-174.
- Tazuddin, A.; Biswas, K.; Gurao, N.P. (2016), Deciphering micro-mechanisms of plastic deformation in a novel single phase fcc-based MnFeCoNiCu high entropy alloy using crystallographic texture. *Materials Science & Engineering A*, 657, 224-233.
- Tazuddin, A.; Gurao, N.P.; Biswas, K. (2017), In the quest of single phase multi-component multiprincipal high entropy alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 697, 434-442.
- Wang, Z.; Huang, Y.; Liu, C.T.; Li, J.; Wang, J. (2019), Atomic packing and size effect on the Hume-Rothery rule. *Intermetallics*, 109, 139-144.

Wu, Y.; Wang, H.; Cheng, Y.; Liu, X.; Hui, X.; Nieh, T.; Wang, Y.; Lu, Z. (2015), Inherent structure length in metallic glasses: simplicity behind complexity. *Scientific Reports*, 5:12137, 1-10.

Xie, L.; Brault, P.; Thomann, A.-L.; Bauchire, J.-M. (2013), AlCoCrCuFeNi high entropy alloy cluster growth and annealing on silicon: A classical molecular dynamics simulation study. *Applied Surface Science*, 285P, 810-816.

Yang X.; Zhang, Y. (2012), Prediction of high-entropy stabilized solid-solution in multi-component alloys. *Mater Chem. Phys.*, 132, 233–238.

Zhang, C.; Zhang, F.; Chen, S.; Cao, W. (2012), Computational thermodynamics aided high-entropy alloy design. *JOM*, 64, 7, 839-845.

Zhang, F.; Zhang, C.; Chen, S.L.; Zhu, J.; Cao, W.S.; Kattner, U.R. (2014), An understanding of high entropy alloys from phase diagram calculations. *CALPHAD: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry*, 45, 1-10.

Capítulo 11



10.37423/220606056

LABORATÓRIO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS MOTIVADOR E ENVOLVENTE: EXPERIÊNCIA DA INTRODUÇÃO DA ELABORAÇÃO DE VÍDEOS DIDÁTICOS COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Mateus Giesbrecht

Universidade Estadual de Campinas

Paulo David Battaglin

Universidade Estadual de Campinas

Gilmar Barreto

Universidade Estadual de Campinas



Resumo: Este trabalho apresenta a experiência de ensino adotada na disciplina Laboratório de Máquinas Elétricas da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas – FEEC - UNICAMP. Tradicionalmente nas disciplinas de Laboratório envolvendo atividades de Eletrotécnica é adotado o seguinte procedimento: os alunos seguem um roteiro com o experimento a ser realizado, efetuam a montagem, fazem os acionamentos necessários, realizam as medições solicitadas e elaboram um relatório. Nesta proposta, os tradicionais relatórios e eventuais provas foram abolidos e substituídos pela elaboração de diversos vídeos didáticos envolvendo o experimento em estudo. Estes vídeos de até 3 minutos são realizados por grupos de até dois alunos e exibidos no início da aula seguinte. Os resultados obtidos com esta metodologia são apresentados e discutidos considerando a opinião dos alunos neste primeiro semestre de implantação.

Palavras-chave: Máquinas Elétricas. Vídeos Didáticos. Metodologia de Ensino.

1 INTRODUÇÃO

Engenheiros e engenheiras são profissionais que devem ser capazes de compreender os fenômenos físicos com a profundidade suficiente para a proposição de soluções em diversos campos do conhecimento. Ao longo de sua trajetória no mercado de trabalho, esses profissionais poderão se deparar com a necessidade de atuação em laboratórios de desenvolvimento ou de pesquisa (Feisel e Rosa, 2013). Sendo assim é fundamental que os estudantes de engenharia sejam envolvidos em disciplinas de laboratório durante sua formação.

Nos cursos de graduação em Engenharia Elétrica, uma das disciplinas de laboratório que é tradicionalmente oferecida é a de Laboratório de Máquinas Elétricas. A importância dessa disciplina é tal que, desde o passado até mais recentemente, muitos autores têm elaborado pesquisas sobre maneiras de tornar esse laboratório mais atrativo para os alunos (Gruber, 1984), (Montanari et al, 2017).

Neste trabalho é apresentada a experiência de ensino adotada na disciplina Laboratório de Máquinas Elétricas da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas – FEEC - UNICAMP. Essa disciplina está dividida na execução de 7 experimentos, que são realizados em período quinzenais, totalizando uma carga de 30 horas.

Os experimentos são realizados em uma bancada didática composta por uma máquina síncrona de polos salientes, uma máquina de indução de rotor bobinado e uma máquina de corrente contínua com interpolos. Os eixos das três máquinas são acoplados entre si permitindo o acionamento das máquinas quando são estudadas como geradores e a introdução de cargas mecânicas variáveis quando as máquinas sob estudo são operadas como motores. Os experimentos realizados são listados a seguir:

- 1) Introdução às Máquinas Elétricas.
- 2) Gerador de Corrente Contínua de Excitação Independente.
- 3) Motor de Corrente Contínua de Excitação Independente.
- 4) Motor de Indução.
- 5) Gerador de Indução.
- 6) Gerador Síncrono.
- 7) Gerador e Motor síncrono.

Tradicionalmente nas disciplinas de Laboratório envolvendo atividades de Eletrotécnica é adotado o seguinte procedimento: os alunos seguem um roteiro com o experimento a ser realizado, efetuam a montagem, fazem os acionamentos necessários, realizam as medições solicitadas e elaboram um relatório. Este procedimento tradicional pode, em alguns casos, não envolver a totalidade de alunos de cada grupo, que normalmente são formados por até 4 alunos mas podem chegar a ser compostos por até 5 estudantes. Nos grupos maiores, em geral pode ocorrer de um dos alunos se encarregar da montagem, outros dois ou três da operação da bancada e das medições um quarto do relatório, não havendo atividades distribuídas para todos durante todo o procedimento experimental, o que pode propiciar a dispersão via utilização de celulares, por exemplo. Além disso, em alguns casos os alunos se valem da utilização de eventuais bancos de relatórios anteriores previamente elaborados e ou corrigidos ao invés de elaborarem seus próprios relatórios.

Há um provérbio chinês sobre educação que relata: “Diz e eu esqueço, ensina-me e eu recordo, envolve-me e eu aprendo”. Portanto, tivemos a ideia de criar um sistema que pudesse envolver todos os alunos na disciplina do Laboratório de Máquinas Elétricas na maioria das atividades práticas desenvolvidas. A metodologia e resultado obtidos são descritos a seguir.

2 VÍDEOS PROPOSTOS

A maneira proposta para aumentar o envolvimento dos alunos foi a substituição da forma de avaliação tradicional, que consistia na entrega de relatórios em até uma semana após o experimento, pela elaboração de vídeos sobre o experimento realizado. Os experimentos são executados integralmente por todos os alunos, que são divididos em grupos de até cinco estudantes. Quando o primeiro grupo da turma completa o experimento, são sorteadas duplas de alunos, sendo que cada uma delas deve elaborar um dos vídeos do roteiro da aula atual. Em caso de número ímpar de alunos, o professor pode indicar um dos vídeos para elaboração individual. Com isso, é necessário que todos os alunos se envolvam em todo o procedimento experimental para que possam ter condições de elaborar um vídeo sobre qualquer uma das partes que seja solicitada. Os vídeos então são apresentados na aula seguinte e avaliados conforme detalhado na seção 3 deste artigo. A divisão dos experimentos é detalhada a seguir.

2.1 EXPERIMENTO 1

1. Partida e operação em regime da máquina de corrente contínua sem carga.

2. Apresentação da máquina de indução e seus parâmetros. Partida e operação em regime da máquina de indução: partida suave e partida abrupta.
3. Apresentação da máquina síncrona e seus parâmetros cálculo da relação de transformação entre seus circuitos de rotor e estator.
4. Partida e operação em regime da máquina síncrona sem carga. Operação da máquina síncrona sem carga com variação da corrente de campo.
5. Preparação da próxima aula – Curva de magnetização da máquina de corrente contínua.

2.2 EXPERIMENTO 2

1. Revisão de máquinas de corrente contínua e seu circuito equivalente.
2. Apresentação das equações relevantes de uma máquina de corrente contínua.
3. Apresentação da bancada experimental e sua instrumentação.
4. Operação em regime da máquina de corrente contínua como gerador de excitação independente.
5. Levantamento da curva de magnetização da máquina de corrente contínua.
6. Determinação da zona neutra de comutação da máquina de corrente contínua.
7. Preparação da próxima aula – operação da máquina de corrente contínua como motor de excitação independente.

2.3 EXPERIMENTO 3

1. Revisão de máquinas de corrente contínua e seu circuito equivalente operando como motor de excitação independente.
2. Apresentação das equações relevantes de uma máquina de corrente contínua operando como motor de excitação independente.
3. Apresentação da bancada experimental e sua instrumentação.
4. Partida e operação em regime da máquina de corrente contínua operando como motor de excitação independente.
5. Controle de rotação e curva de rotação da máquina de corrente contínua
6. Apresentação das curvas obtidas no item anterior.

7. Preparação da próxima aula – Máquina de indução operando como motor.

2.4 EXPERIMENTO 4

1. Revisão de máquinas de indução e seu circuito e das suas equações relevantes.
2. Apresentação da bancada experimental e sua instrumentação.
3. Partida e operação em regime da máquina de indução operando como motor.
4. Relação de transformação entre o rotor e estator máquina de indução e corrente de partida.
5. Apresentação da curva conjugado X velocidade da máquina de indução.
6. Determinação experimental dos parâmetros do circuito equivalente da máquina de indução através dos ensaios em vazio e de rotor bloqueado.
7. Tratamento dos dados do circuito equivalente e curva conjugado por velocidade teórica para escorregamentos variando de 1 a 0.
8. Preparação da próxima aula – Máquina de indução operando como gerador auto excitado.

2.5 EXPERIMENTO 5

1. Revisão de máquinas de indução e seu circuito e das suas equações relevantes.
2. Apresentação da bancada experimental e sua instrumentação.
3. Operação em regime da máquina de indução operando como gerador e sua curva de magnetização.
4. Operação em regime da máquina de indução como gerador auto excitado em vazio.
5. Levantamento das curvas de regulação do gerador de indução auto excitado.
6. Preparação da próxima aula – Máquina síncrona operando como gerador e sua curva de magnetização.

2.6 EXPERIMENTO 6

1. Revisão de máquina síncrona e seu circuito equivalente (polos lisos) e de seu diagrama fasorial (máquinas de polos lisos e polos salientes)
2. Apresentação da bancada experimental e sua instrumentação.

3. Operação em regime da máquina a máquina síncrona funcionando como gerador e levantamento da curva de magnetização.
4. Levantamento da característica em curto e realização do ensaio de baixo escorregamento para determinação de reatâncias de regime nos eixos direto e em quadratura.
5. Levantamento da característica de regulação da tensão terminal do gerador síncrono.
6. Preparação da próxima aula – Máquina síncrona operando como gerador em sincronismo com a rede e levantamento das curvas V de um motor síncrono.

2.7 EXPERIMENTO 7

1. Revisão de máquina síncrona e Máquinas síncronas operando como geradores conectados ao barramento infinito.
2. Curvas V de máquinas síncronas e circuito equivalente da máquina síncrona operando como gerador e suas equações relevantes.
3. Apresentação da bancada experimental e sua instrumentação.
4. Operação em regime da máquina síncrona como gerador e sincronização da máquina síncrona com a rede elétrica.
5. Levantamento da curva P- δ da máquina síncrona.
6. Levantamento da curva V da máquina síncrona.

Para elaboração dos vídeos, foram disponibilizados aos estudantes vários materiais disponíveis na literatura com o objetivo de auxiliar na elaboração dos roteiros e na produção de vídeos, como (BARRETO et al., 2010; 2012), (CAI et al., 2004), (CIÊNCIA HOJE, 2016), (CNPQ, 2016), (COMPARATO, 2003), (DANCYGER, 2003), (KELLISON, 2007),(MANERA et al., 2013), (MONTOSSORO et al., 2013), (OSAWA et al., 2013), (PULLEN, 2001), SANGION et al., 2014 e 2016),(SANTOS, 1993), (SARAIVA, 2004) e (WATTS, 1990) entre outros.

A disciplina propicia a elaboração de 49 vídeos, com um total de 147 minutos de material informativo de qualidade sobre as atividades de um Laboratório de Máquinas Elétricas.

3 CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO ADOTADO

Os alunos são avaliados conforme os seguintes critérios: Cada grupo de até 2 alunos deve elaborar e apresentar um vídeo de até 3 minutos sobre parte do experimento estudado. As apresentações iniciam-se a partir do início da aula seguinte ao experimento realizado, e valem 70% da nota final. A apresentação do vídeo é obrigatória e o não cumprimento resulta em nota zero. O vídeo deve atender as recomendações a seguir:

1. Vídeos com duração inferior a 2:45 e superior a 3 minutos não são exibidos.
2. Os vídeos devem ser apresentados em formato wmv.
3. A trilha sonora deve ser branca (sem direito autoral).
4. O uso de filmes ou vídeos de terceiros não pode ultrapassar 15 segundos.
5. O vídeo deve ser entregue e exibido no início de cada aula. Os alunos devem apresentar os vídeos elaborados e comentar sobre o material exibido.

Os vídeos são avaliados levando em consideração:

1. O conteúdo do vídeo transmitiu a informação desejada, (50%).
2. Qualidade Sonora, (10%).
3. Qualidade de Imagem, (10%).
4. Qualidade da apresentação (design), (10%).
5. Existem créditos na apresentação (título, autores, data) (10%).

Além de elaborar os vídeos, os alunos (em grupos de até 4) devem entregar um trabalho de divulgação científica, seguindo o modelo do XLVII Congresso Brasileiro de Educação em

Engenharia – COBENGE ou da revista IEEE Transactions on Education, com um dos temas tratados em aula valendo 30% da nota final. A submissão dos trabalhos é opcional.

A presença é obrigatória em pelo menos 75% das aulas. Para ser computada a presença o aluno deverá estar em sala no início da aula.

A nota final é a média da nota dos 7 vídeos elaborados valendo 70% mais 30% do trabalho de divulgação científica. Em caso de exame, a nota final do exame valerá 50% em composição com 50% da nota final sem exame.

4 QUESTIONÁRIO SOBRE A NOVA PROPOSTA DE APRENDIZADO

Para avaliar o método proposto foi elaborado um questionário para que os estudantes pudessem opinar de maneira anônima sobre a nova forma de avaliação. No questionário eram apresentadas afirmações e os estudantes deveriam responder se concordavam fortemente, concordavam ligeiramente, se eram neutros, se discordavam ligeiramente ou se discordavam fortemente das afirmações. As questões são apresentadas a seguir:

1. A metodologia de avaliação aplicada auxiliou meu aprendizado.
2. A elaboração de vídeos foi uma tarefa difícil.
3. Meu envolvimento com a disciplina foi maior do que se o método de avaliação fosse conforme as outras disciplinas de laboratório que já cursei.
4. Senti falta da necessidade de ter que escrever um relatório escrito do experimento.
5. A elaboração do vídeo exigiu um maior conhecimento da disciplina do que a elaboração de um relatório escrito
6. A metodologia de avaliação utilizada aumentou minha motivação para cursar a disciplina
7. Gostaria que outras disciplinas adotassem a mesma metodologia de avaliação
8. Assistir aos vídeos elaborados por meus colegas no início de cada uma das aulas auxiliou no aprendizado
9. Acredito que os vídeos elaborados devem ser disponibilizados para o público em geral para promover o conhecimento da disciplina

Os questionários foram aplicados a três turmas com 36 alunos matriculados, dos quais 31 responderam. Os resultados obtidos são apresentados na figura 1. A partir da figura é possível concluir que o método foi bem aceito pela maioria dos alunos. Mais de 80% dos alunos concordou que a metodologia de avaliação aplicada auxiliou o aprendizado, confirmando que o objetivo desejado foi atingido. Sobre a dificuldade em se elaborar os vídeos, quase metade dos alunos concordou apenas ligeiramente que essa foi uma tarefa difícil, e menos de 20% concordou totalmente com a afirmação.

Sobre o envolvimento na disciplina, 64,5% dos estudantes concordaram que a adoção do critério de avaliação baseado em vídeos fez com que eles se envolvessem mais com os temas propostos. Grande parte dos estudantes também não sentiu falta da necessidade de ter que elaborar um relatório escrito, embora ainda haja aproximadamente 10% dos estudantes que tenha sentido falta dessa atividade. O

componente da nota relativo à escrita de um trabalho de acordo com o modelo de conferências e revistas deve satisfazer a essa porção dos alunos.

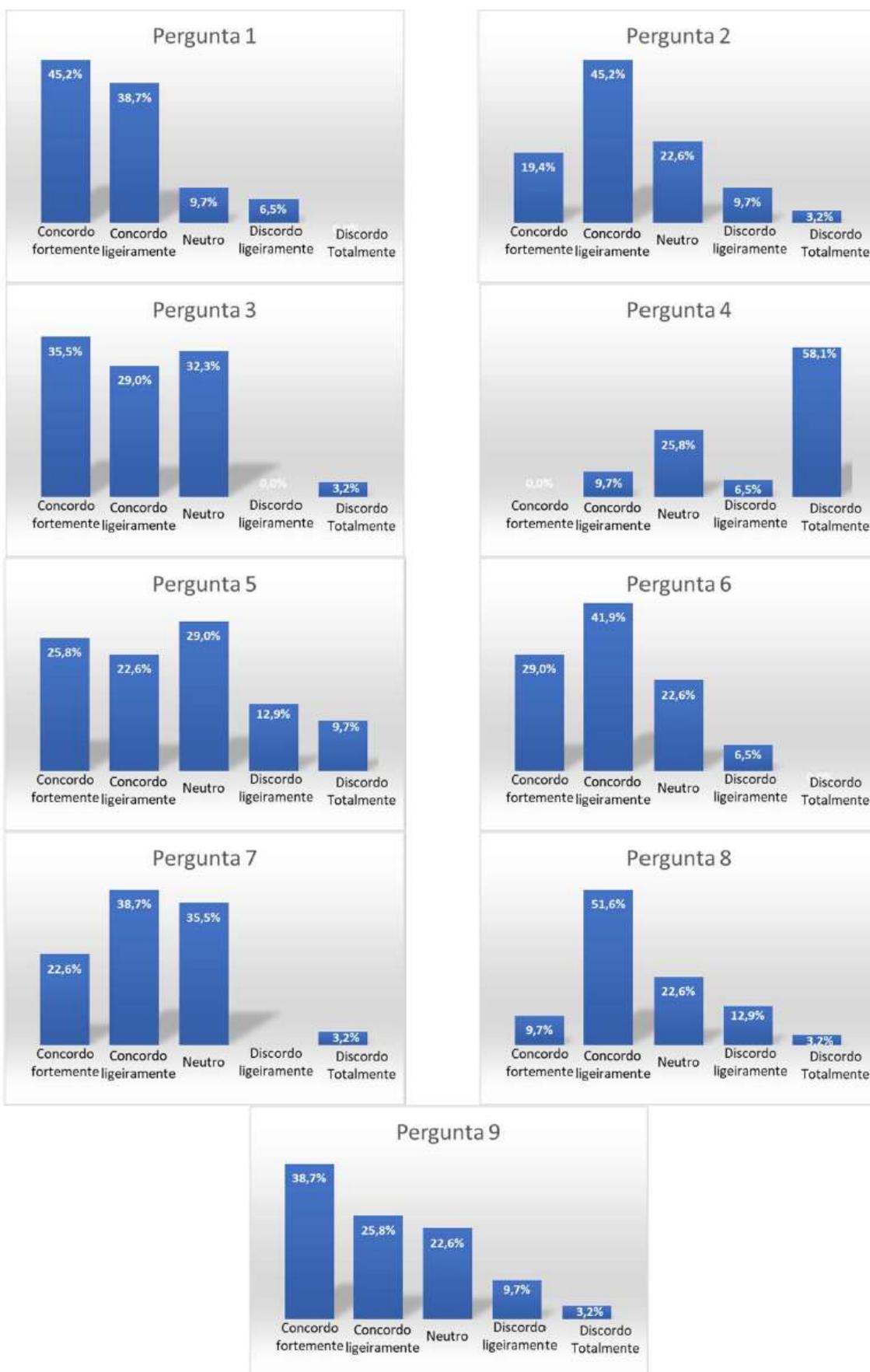
Da pergunta 5 foi possível notar que quase a metade dos estudantes concorda que é necessário um maior conhecimento da disciplina para a elaboração de um vídeo, embora um terço considere que uma quantidade de conhecimento maior não tenha sido necessária.

Sobre a motivação, mais de dois terços dos alunos concordou que a metodologia de avaliação adotada contribuiu para o interesse na disciplina. Isso era uma das expectativas deste trabalho, que aparentemente foi satisfeita. Apenas uma pequena minoria, de menos de 10% da turma, discorda que o método tenha aumentado a motivação.

Grande parte dos estudantes gostaria que a mesma metodologia fosse aplicada a outros cursos de graduação, confirmando a grande aceitação do formato de avaliação proposto e a familiaridade da geração avaliada com a criação de vídeos. A troca de experiências entre os alunos também foi um aspecto positivo do método. Ao se analisar a resposta à questão 8 nota-se que mais que 60% do grupo avaliado concorda que assistir aos vídeos elaborados pelos colegas contribuiu para o aprendizado.

Por fim, sobre a divulgação dos vídeos elaborados, a maioria acredita que sua disponibilização para um público em geral pode promover o conhecimento da disciplina de máquinas elétricas. Esse resultado era esperado dessa geração de estudantes, que está habituada com a criação e a disseminação de conteúdos via internet.

Figura 1. Resultados da aplicação dos questionários



Os estudantes também tinham no questionário um campo para fazer comentários sobre a disciplina, dentre os quais se destacam os seguintes:

“O método de avaliação foi muito bom, pois temos pouca ou quase nenhuma experiência em relação a elaboração de vídeos na graduação”.

“Ótima iniciativa, o único problema é encontrar um software gratuito para a produção”.

“Fazer o vídeo em duplas contribui bem mais para o envolvimento e para o aprendizado do que fazer sozinha.”

“Acredito que fazer vídeos curtos explicando apenas uma parte do experimento tem menor efeito de aprendizado do que fazer um vídeo sobre o conteúdo completo do laboratório.”

“O vídeo sobre equipamentos deveria ser substituído por outro tópico, talvez substituído por partes dos tópicos finais que são mais compridos.”

“Não sei afirmar se a elaboração de vídeos é uma metodologia de avaliação melhor ou pior.

Acredito que depende da disciplina e do perfil do estudante. Eu pessoalmente achei mais produtivo criar vídeos do que escrever relatórios.”

“Alguns temas são bem desafiadores que outros, portanto seria legal balancear um pouco”.

“Acredito que o método alternativo tem algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais, pois força os alunos a estudarem de fato o conteúdo abordado. No entanto, também exige muito mais horas de dedicação”.

“Gosto da forma de avaliações, mas talvez pelo tempo limite for curto (SIC), as falas são feitas muito rapidamente, sendo difícil entender e seguir o raciocínio. Se os vídeos fossem disponibilizados posteriormente no youtube ou moodle seria ótimo”.

“ Se os critérios de avaliação do vídeo fossem mais claros e talvez maior disponibilidade de ferramentas para elaboração dos mesmos (software, guias, etc.) ”.

Os comentários foram analisados pelos docentes da disciplina e serão considerados nos próximos oferecimentos da disciplina.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada a experiência de introdução de uma forma de avaliação baseada na elaboração de vídeos didáticos no laboratório de máquinas elétricas da Faculdade de Engenharia

Elétrica e de Computação da Unicamp. A nova forma de avaliação consistiu na substituição dos relatórios sobre experimentos pela elaboração de vídeos, que são posteriormente apresentados aos próprios alunos. Para a avaliação da efetividade do método, um questionário foi proposto aos estudantes e, a partir das respostas, ficou claro que o novo método de avaliação adotado foi bem aceito e cumpriu os objetivos principais, que eram os de aumentar o interesse pela disciplina e o envolvimento dos alunos durante as práticas experimentais. Como trabalhos futuros os comentários feitos pelos estudantes serão analisados e considerados para aprimoramento da forma de avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, G. ; MIGUEL, P.V. ; MURARI, C. A.F. . Didactic Videos About Basic Concepts On Alternating Current Circuits. INTERNATIONAL JOURNAL OF ONLINE ENGINEERING, V. 6, P. 1285, 2010.

BARRETO, G. ; MANERA, L. T. ; CASTRO Jr., Carlos Alberto ; ATTUX, R. ; SANTOS FILHO, J. C. S. . Tópicos Gerais Em Engenharia Elétrica e de Computação: Uma Nova

Abordagem Didática. COBENGE 2012 - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Belém - PA. v. 1. p. 1-9, 2012.

CAI, LIN; YANG, YAFEI; YANG, YIXIAN; A new idea of e-learning: establishing video library in University Network League. E-COMMERCE TECHNOLOGY FOR DYNAMIC E-BUSINESS. IEEE International Conference on, Page(s): 126 - 129, Sept. 2004.

CIÊNCIA HOJE. Mais que mil palavras. Disponível em: <http://cienciahoje.org.br/acervo/maisque-mil-palavras/>. Acesso em: 16 abr. 2019.

CNPQ. Fazendo Divulgação Científica. Disponível em: <http://memoria.cnpq.br/divulgacaocientificasobre> . Acesso em: 16 abr. 2019.

COMPARATO, Doc. Da Criação ao Roteiro. São Paulo: Ed. Summus, 2009

DANCYGER, Ken. Técnicas de Edição para Cinema e Vídeo: História, teoria e prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

FEISEL, L. D.; ROSA, A. J. The role of the laboratory in undergraduate engineering education. Journal of Engineering Education, v. 91, n. 1, p. 121-130, 2013.

GRUBER, S. A computer-interfaced electrical machines laboratory. IEEE Transactions on Education, v. 27, n. 2, p. 73-79, 1984.

KELLISON, Cathrine. Produção e direção para TV e Vídeo. Rio de Janeiro: Campus, 2007.

MANERA, L. T.; BARRETO, G.; CASTRO Jr., Carlos Alberto; ATTUX, R.; SANTOS FILHO, J. C. S. História e Filosofia em Engenharia Elétrica: Multidisciplinaridade no

Ensino de Engenharia. COBENGE 2013 - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Gramado - RS. v. 1. p. 1-11, 2013.

MONTANARI, A. N.; LUCIANO, M. C. F.; STOPA, M.; LIMA, C. A. A virtual environment for paralleling process of synchronous generators on labview and simulink, In: 2017 International Symposium on Engineering Accreditation (ICACIT), p. 1-4, 2017

MONTESSORO, P.L. CASCHI, S.. MTEACH: Didactic Multimedia Production. IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE MULTIMEDIA COMPUTING AND SYSTEMS. Florence, Italy.

ISBN: 0-7695-0253-9. Volume 2, p. 1017-1019 vol.2, Jul. 1999.

OSAWA, N.; ASAI, K.; SHIBUYA, T.; NODA, K.; TSUKAGOSHI, S.; NOMA, Y.; ANDO, A.; Three-dimensional video distance education system between indoor and outdoor environments. INFORMATION TECHNOLOGY BASED HIGHER EDUCATION AND TRAINING ITHET. 6th International Conference on, p. F2C/13 - F2C/18, July 2005.

PULLEN, J.M.; Applicability of internet video in distance education for engineering .

FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE, 2001. 31ST ANNUAL, p. T2F - 14-19 vol. 1, 10-13 Oct. 2001.

SANGION, Juliana; MANERA, Leandro T.; BARRETO, Gilmar; Castro, Carlos A.. Orientações sobre a Elaboração de Vídeos para o Ensino e Divulgação de Trabalhos de

Engenharia. In: XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Anais. Juiz de Fora, 2014.

SANGION, Juliana; MANERA, Leandro T.; BARRETO, Gilmar; Castro, Carlos A.. Avaliação da Qualidade de Vídeos Para o Ensino e Divulgação de Trabalhos de Engenharia. In: XLIV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Anais. Natal, 2016.

SANTOS, Rudi. Manual de Vídeo. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 1993.

SARAIVA Leandro; CANNITO, Newton. Manual de roteiro – ou manuel, o primo pobre dos manuais de cinema e TV. São Paulo: Conrad Livros, 2004.

WATTS, Harris. On câmera: o curso de produção de filme e vídeo da BBC. São Paulo: Ed. Summus, 1990.

Capítulo 12



10.37423/220606059

PROPRIEDADES E MICROESTRUTURA DO COBRE PROCESSADO EM UM NOVO SISTEMA DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA SEVERA MORNA

Hiron Akira Yamada Magalhães

Instituto Militar de Engenharia

Talita Gama de Souza

Instituto Militar de Engenharia

Rodrigo Felix de Araujo Cardoso

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Bruno Rangel da Silva

Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas

Luiz Paulo Brandao

Instituto Militar de Engenharia



Resumo: Diversos são os métodos de deformação plástica severa (DPS) e o processo de extrusão por canal equiangular (ECAP – Equal Channel Angular Pressing) é um dos mais populares. Este processo tem como principal característica produzir materiais com grãos ultrafinos ou até mesmo grãos nanométricos. Devido a estas mudanças microestruturais é possível gerar melhoria em algumas propriedades mecânicas como a resistência e ductilidade. Nesta perspectiva, pretendeu-se no presente trabalho avaliar as variações da propriedade mecânica dureza associada às alterações microestruturais e texturais do cobre puro, em função das variações de parâmetros do processo por DPS via ECAP. Para isto o material foi submetido a 4 passes através das rotas A (a amostra é pressionada repetidamente sem qualquer rotação entre cada passage) e Bc (a amostra é girada no mesmo sentido em 90° entre cada passage) em temperatura ambiente e a morno. Por meio do resultado obtido verificou-se que na temperatura ambiente a rota Bc foi a que promoveu maior homogeneidade na microestrutura e enfraquecimento da textura após o 4º passe. O processamento do cobre por ECAP a morno promoveu um amolecimento das amostras e uma distribuição homogênea da dureza em ambas a rotas.

Palavras-chave: DPS; ECAP; Cobre; Forno; Matriz.

1 INTRODUÇÃO

Diversas são as técnicas propostas para modificar as propriedades mecânicas de um material, sendo uma dessas através dos métodos de deformação plástica severa (DPS) que tem grande aplicação em materiais metálicos. Por meio deste processo, obtém-se uma microestrutura com grãos ultrafinos e nanoestruturados. Resulta-se dessas modificações microestruturais, um material com diferentes propriedades daquelas apresentadas pelo mesmo antes de ser processado e com grãos mais grosseiros, como por exemplo, maior valor de dureza e, conseqüentemente, um limite de resistência a tração mais elevado e sem perda significativa da ductilidade (ZRNİK *et al.*, 2008).

Processamento por DPS, define-se como todo método de conformação metálica no qual impõe uma alta deformação. O processo de extrusão por canal equiangular (ECAP) é um dos processos de DPS que tem como característica principal a não introdução de mudança de forma da peça conformada. Outra característica interessante deste processo é a capacidade de produzir um refino de grãos excepcional para tamanhos que não seriam alcançáveis por tratamentos termomecânicos convencionais (LANGDON, 2011). Desta forma, os métodos de DPS são utilizados para converter metais e ligas com grãos grosseiros em materiais com grãos ultrafinos. Por meio deste processo, esses materiais apresentam melhorias das propriedades mecânicas e físicas, como por exemplo, o aumento de resistência mecânica, que para fins comerciais são de grande interesse, pois não há a necessidade de adição de elementos de liga ou realização de outros processos termomecânicos para alcançar este objetivo.

Dentre os vários tipos de deformação plástica severa, considera-se o processo de extrusão por canal equiangular (ECAP) como um dos mais utilizados, não apenas por requerer pouca força de compressão, mas também por sua ferramenta de simples geometria que pode ser facilmente montada em um laboratório para realização de testes experimentais (ALHAJERI *et al.*, 2011).

Por meio do processamento do material por ECAP são impostas altas magnitudes de deformação plástica no material o que resulta em um refinamento da microestrutura e conseqüentemente uma mudança nas propriedades mecânicas. Essas modificações acontecem não somente pelo nível de deformação plástica severa induzida, mas também em função do número de passes, pela a rota e temperatura de processamento (VIJAYASHAKTHIVEL *et al.*, 2014).

Este método de deformação plástica severa foi desenvolvido pelo professor Segal em 1977 na Rússia e posteriormente por Valiev e colaboradores em 1991 (LANGDON, 2011) com uma abordagem mais

científica, analisando a correlação dos materiais nanoestruturados com os métodos de deformação plástica severa.

Neste presente trabalho de pesquisa, o material escolhido para o estudo das mudanças microestruturais e, conseqüente, comportamentos mecânicos no processamento do ECAP foi o cobre puro por possuir uma média energia de defeito de empilhamento, uma boa conformabilidade e um baixo custo. Nesse sentido, através do método de DPS via extrusão em canal equiangular, buscou-se realizar um estudo da evolução microestrutural do cobre puro e valores de dureza em função da seqüência do número de passes em duas rotas diferentes e duas diferentes condições de temperatura, a frio e a morno.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 MATERIAL UTILIZADO

O material desta pesquisa consistiu em barras redondas com diâmetro de 9,56 mm de cobre eletrolítico (99,998% Cu e 0,0002% O) fornecido pela empresa Paranapanema. As barras de cobre foram fornecidas após extrusão contínua, seguido de trefilação por máquinas automáticas. Para a confecção das amostras, as barras de seção circular recebidas foram seccionadas em corpos de prova com comprimento de 80 mm. As amostras foram classificadas de acordo com o número de passes, rota escolhida (Rota A ou Bc) e condição de temperatura a frio e a morno, como por exemplo: 2PRAF (processada via ECAP com 2 passes pela rota A a frio) e 4PRBCM (processada via ECAP com 4 passes pela rota Bc a morno).

2.2 MATRIZ PARA ENSAIO DE DPS POR ECAP

Para a realização do processo de ECAP nesse estudo, utilizou-se uma matriz projetada e desenvolvida para este fim. Confeccionada com aço ferramenta H13, teve seus canais nitretados para garantir uma maior resistência ao desgaste. No seu desenvolvimento, algumas características mecânicas tiveram que ser consideradas durante o projeto, como: determinação e distribuição do número de furos para que fosse garantida uma boa área de contato e alinhamento da camisa com a matriz, sendo esta bipartida; adoçamento dos ângulos em cantos vivos e avaliação dimensional da camisa para que garantisse uma maior segurança durante o ensaio de ECAP. Na Fig. 1 demonstra-se o projeto da matriz depois de finalizado.

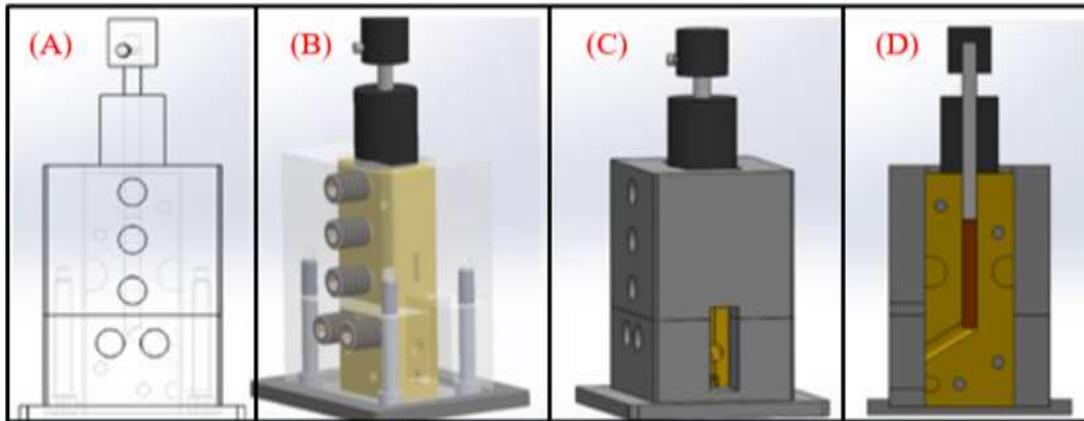


Figura 1: Projeto da Matriz de ECAP desenvolvida. (A) Esquemático, (B) Desenho 3D, (C) Projeto completo (vista externa) e (D) Desenho do corte evidenciando os detalhes internos.

Esta matriz possui parâmetros geométricos do canal de $\Phi = 120^\circ$, $\psi = 23^\circ$, $R = 4$ e $r = 2$ e diâmetro de 10 mm, resultando em uma deformação verdadeira equivalente em cada passe de 0,67. As amostras foram processadas pelas rotas A (todos os passes do corpo de prova sempre com a mesma orientação) e a Rota Bc (rotação de 90° no sentido anti-horário a cada passe) e 4 passes em cada rota. Na Fig. 2 apresenta-se a matriz confeccionada para o ensaio de ECAP.

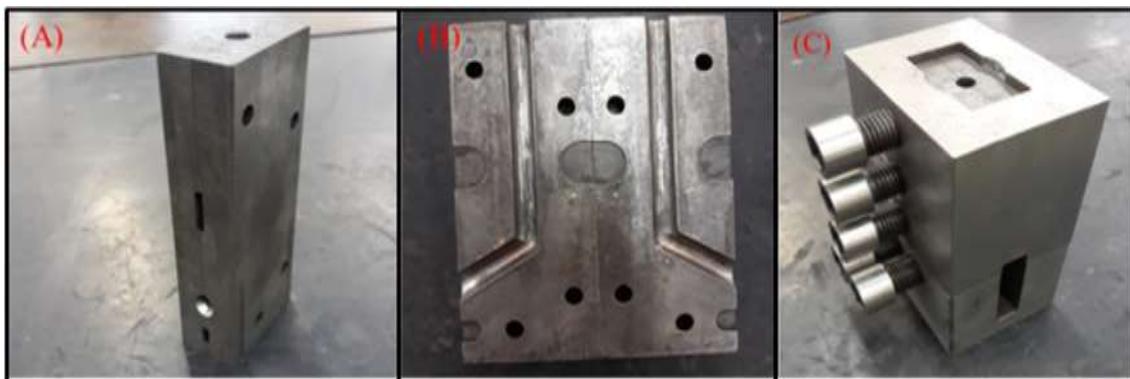


Figura 2: Matriz de ECAP. (A) Matriz fechada, (B) bipartida e (C) montada com a camisa.

2.3 FORNO PARA O ENSAIO DE DPS POR ECAP A MORNO

Para a realização dos ensaios de ECAP a morno, utilizou-se a mesma matriz e necessitou-se construir um forno que atendesse às necessidades experimentais do presente estudo. No desenvolvimento deste, considerou-se como parâmetro as dimensões da matriz e utilizou-se também exemplos disponíveis na literatura de outros tipos de fornos que empregaram sistemas de aquecimento semelhantes, embora para outras aplicações (LEE et al., 2015; SARIN et al., 2006; LORENZ et al., 1993).

Assim, baseando nesses estudos precedentes, fabricou-se o forno utilizando-se uma estrutura de alumínio cilíndrica com espessura de parede de aproximadamente de 3 mm, empregando-se 4 lâmpadas halógenas do tipo palito de 190 mm com potência de 1000 W e alimentação 127 V. Na conexão das lâmpadas, utilizaram-se soquetes do tipo R7s, dispostos equidistantes no forno para que houvesse uma melhor distribuição térmica e mais homogênea. A fim de reduzir a troca térmica da câmara com o ambiente externo, instalou-se uma manta cerâmica maleável de 25 mm de espessura para o isolamento. Na Fig. 3 é apresentado o desenho técnico do forno de lâmpadas halógenas construído para o ensaio de ECAP a morno.

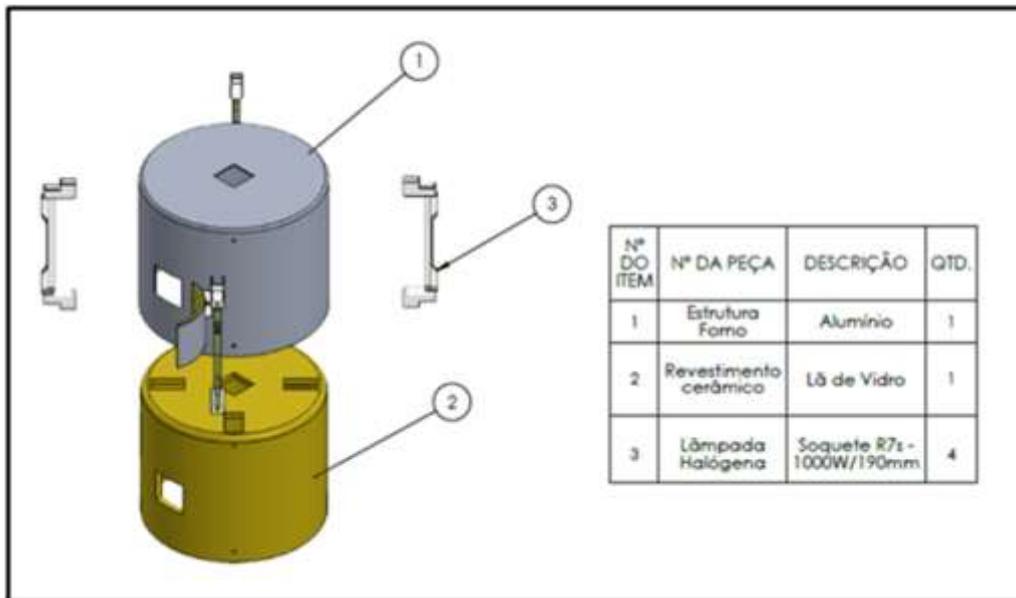


Figura 3: Desenho Técnico do forno de lâmpadas halógenas construído.

O sistema elétrico do forno foi alimentado por um transformador de potência ajustável com a seguinte especificação técnica: tipo 50 A, entrada 127 V, corrente máxima de operação de 45 A, tensão máxima de 135 V e carga máxima de 5 kVA. Na Fig. 4 demonstra-se o forno de lâmpadas construído para o ensaio de DPS a morno.



Figura 4: Forno para os ensaios de DPS a morno. (A) Vista externa do equipamento, (B) Detalhes internos e (C) Vista e seção do aparato da montagem da matriz de ECAP como forno de lâmpadas.

No ensaio a morno, as amostras foram processadas em aproximadamente 350 °C, que foi escolhida baseando-se nos estudos da literatura (BAHADORI et al., 2013; NEISHI et al., 2001). Durante o processo de ECAP, em ambas as condições de temperatura, utilizou-se uma graxa a base de cobre e bissulfeto de molibdênio (MoS₂). Além disso, após cada passe as amostras foram usinadas e lixadas até a lixa de 2500 mesh.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As caracterizações foram realizadas por análises obtidas através da técnica de difração de raios X (DRX), microestrutural e microdureza Vickers. Para a realização do ensaio de microdureza Vickers utilizou-se um microdurômetro LECO com carga de 10 Kgf por um tempo de 15 s. Realizaram-se 15 indentações onde estas foram divididas em três perfis de microdureza com cinco medições no início, meio e fim do corpo de prova.

Para as análises microestruturais, utilizou-se um microscópio de varredura eletrônica (MEV) Quanta FEG 250. As análises foram feitas após as amostras serem lixadas, mecanicamente polidas com pasta de diamante e por fim atacadas quimicamente com uma solução contendo 5 parte de ácido nítrico PA (HNO₃), 5 partes de ácido acético PA (CH₃CO₂H) e 1 parte de ácido fosfórico PA (H₃PO₃) (VANDER VOORT, 1984).

A técnica de DRX foi usada para obter os valores de densidade de discordâncias e textura cristalográfica. Os valores de densidade de discordâncias foram determinados através do software Convolutional Multiple Whole Profile (CMWP) a partir da análise dos difratogramas de cada amostra. Os difratogramas foram obtidos usando o difratômetro PANalytical X'Pert Pro MRD na configuração foco ponto, tensão e corrente do equipamento de 40 kV e 40 mA, respectivamente. Para a análise de textura inicialmente, obteve-se as figuras de polo a partir de medições nos planos (111), (200) e (220). Os resultados da análise de textura cristalográfica foram observados através do fator de severidade de textura (FST) e das funções de distribuição de orientação cristalina (FDOC) obtidos por meio do software popLa. O fator FST é um parâmetro proposto por Kallend & Davies (1972), que determina uma medida do desvio padrão da função de distribuição de orientação cristalinas (FDOC) quando comparada a uma amostra sem textura, que neste caso apresentaria valor nulo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES

Com o objetivo de estudar a homogeneidade microestrutural ao final do processo por ECAP, realizou-se perfis de microdureza ao longo do comprimento das amostras. Os resultados obtidos são apresentados através da Fig. 5, onde demonstra-se os gráficos da distribuição de dureza da sequência do número de passes para a rota A e rota Bc processadas por ECAP na temperatura ambiente e a morno.

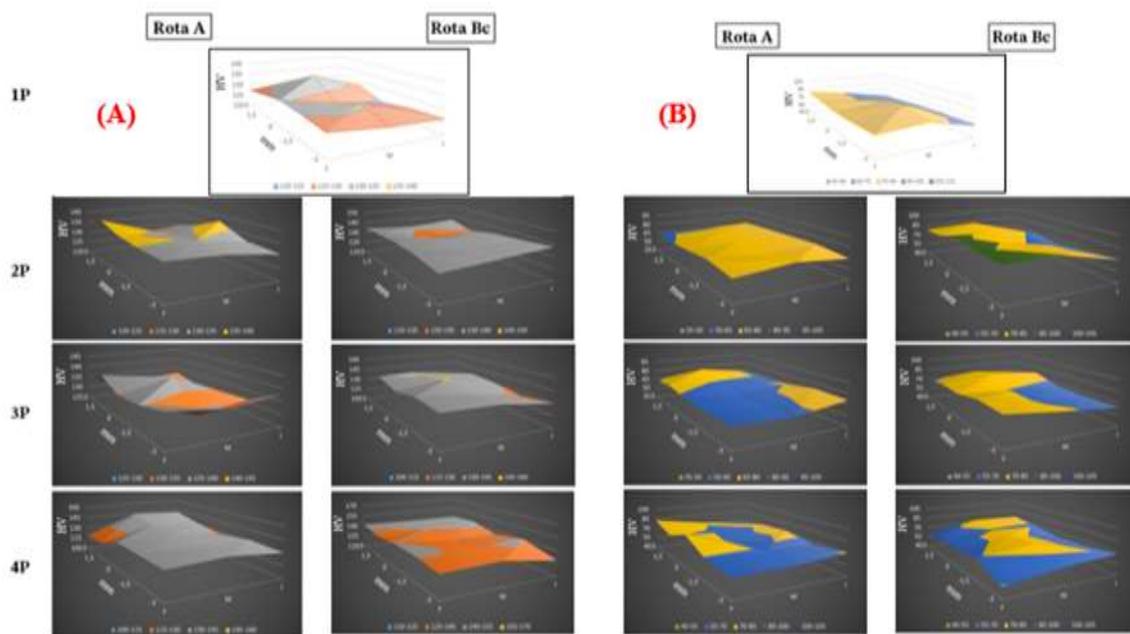


Figura 5: (A) Distribuição de dureza da superfície da amostra do quarto passe processada por ECAP na temperatura ambiente; e (B) Distribuição de dureza da superfície da amostra do quarto passe processada por ECAP a morno.

Desta forma, observou-se através do ensaio de DPS via ECAP em temperatura ambiente, que por meio da rota A obteve-se uma distribuição de dureza menos homogênea quando comparada com a amostra processada pela rota Bc. Os resultados corroboram com os estudos de Valiev e Langdon (2006), que demonstraram que de todas as rotas a Bc apresenta maior homogeneidade microestrutural, levando o material processado por esta rota a se comportar de forma mais isotrópica durante os ensaios mecânicos.

Já em relação a distribuição de dureza ao longo da superfície analisada das amostras a morno, pôde-se observar que ambas as rotas apresentaram uma característica igualmente homogênea. Diferente quando comparadas ao perfil apresentado pela a distribuição de dureza na condição a frio. Alateyah

et al. (2021) também encontraram uma microestrutura com distribuição de dureza homogênea no cobre puro, no qual este foi processado por ECAP até o quarto passe via rota Bc em um ensaio a morno a 200 °C. Esta distribuição de dureza uniforme foi atribuída às altas deformações alcançadas por meio do processamento por múltiplos passes, o que levou a uma estabilização da estrutura interna da amostra.

Os resultados de dureza e densidade de discordâncias obtidos nas amostras processadas por ECAP na temperatura ambiente e a morno são apresentados na Fig. 6.

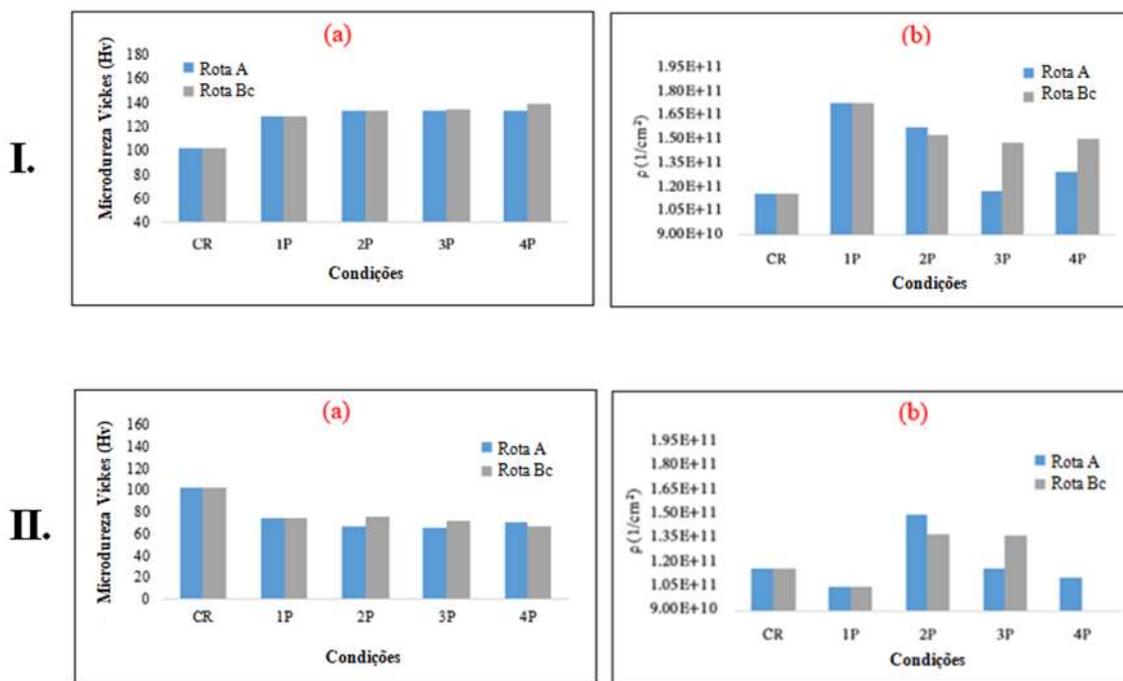


Figura 6: Condição das amostras de Cu processadas por ECAP via rota A e Bc na temperatura ambiente: I.(a) Microdureza Vickers e I.(b) Densidade de Discordâncias; e na temperatura a morno: II.(a) Microdureza Vickers e II.(b) Densidade de Discordâncias.

A partir dos resultados observa-se que o aumento de dureza (Fig. 6.Ia) mais expressivo foi apenas após o primeiro passe em ambas as rotas. Sabe-se que diversas são as características que poderiam levar ao aumento de dureza do material após o seu processamento do primeiro passe. Já para a densidade de discordâncias (Fig. 6.Ib), observa-se que houve uma queda logo após o primeiro passe para ambas as rotas, apresentando uma leve tendência de aumento após o terceiro passe. Devido ao material apresentar um alto nível de pureza e como os aumentos de densidade de discordâncias não foram tão expressivos, atribui-se o aumento de dureza ao refinamento de grão. Outro aspecto que levou-se em consideração foi a condição inicial do material, onde este não havia sido recozido e já se encontrava com alguma deformação proveniente do seu processo prévio de fabricação. Desta forma, após o

primeiro passe possivelmente o processo de recuperação dinâmica do cobre foi ativado, o que pode ter corroborado para a queda da densidade de discordâncias nos subsequentes números de passes em ambas as rotas (ALAWADHI et al., 2017).

Como dito, a condição do material de partida, influenciou também na evolução dos valores de densidade de discordâncias. O material por já apresentar alguma deformação e não ter sido recozido antes do processamento por ECAP, levou a uma saturação do seu número de discordâncias logo no início do primeiro passe. Ademais, diferente dos valores encontrados na literatura (ALAWADHI et al., 2021; WEN et al., 2012) onde a ordem de grandeza da densidade de discordância aumenta com o decorrer da sequência de passes por ECAP, no presente estudo este mantém-se constante na ordem de grandeza de 10^{11} (ρ/cm^2) ao longo de todos os 4 passes do ensaio na condição de temperatura ambiente. Isto pode ser atribuído a um provável processo de recuperação dinâmica sofrido pelo material, que mesmo apresentando um incremento de sua deformação em função das sequências de passes por ECAP, este foi provavelmente assistido pela concorrência entre multiplicação e aniquilamento de discordâncias (LEIS et al., 2019). Comportamento semelhante foi observado por Alawadhi et al. (2017) em sua pesquisa, onde estes verificaram que houve uma redução da densidade de discordância devido a recuperação dinâmica sofrida pelo o cobre durante o seu processamento por ECAP.

A partir dos dados observados do processamento a morno por ECAP, após o primeiro passe, ambas as rotas apresentaram praticamente um valor constante de dureza (Fig. 6.IIa) nos passes subsequentes. Já para a densidade de discordâncias (Fig. 6.IIb), observou-se uma certa variação ao longo dos passes para ambas as rotas. Embora tenham apresentado um aumento após o primeiro passe, estas apresentam uma redução logo após o terceiro passe, sendo mais expressiva para a rota Bc. Assim, observou-se que o material sofreu um processo de recuperação dentro da faixa de temperatura ao qual foi processado, resultando em um processo pelo qual ocorreu de certa forma um equilíbrio em relação a multiplicação e ao aniquilamento de discordâncias. Observa-se que logo após o primeiro passe, o valor de dureza diminuiu e posteriormente manteve-se aproximadamente constante. Este comportamento foi atribuído ao fato do material ter passado por um processo de recuperação dinâmica em função da temperatura homóloga $0,48T_F$ ao qual o ensaio a morno foi realizado.

Para ambas as rotas, a partir do segundo passe, os valores de dureza mantiveram-se praticamente constantes, apresentando apenas uma pequena variação em função da sequência do número de passes. As densidades de discordâncias não apresentaram um aumento comparável com a variação

dos valores de dureza, que pode também estar correlacionado com a redução de tamanho de grão característico do processamento por ECAP.

Na Fig. 7 é apresentada a análise da evolução da textura em função da sequência do número de passes verificada por meio do fator de severidade de textura (FST).

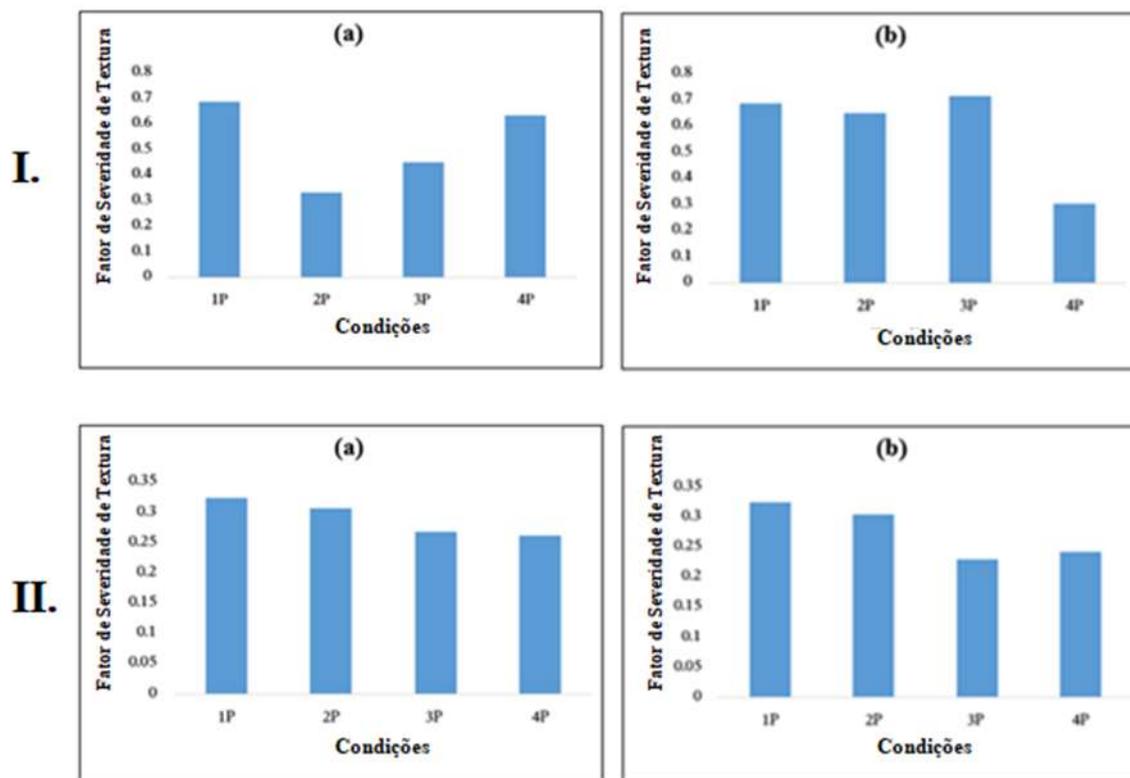


Figura 7: Evolução da textura das amostras de Cu em função do número de passes por meio do ECAP a frio: I.(a) Rota A e I.(b) Rota Bc; e a morno II.(a) Rota A e II.(b) Rota Bc.

O fator de severidade de textura fornece um índice genérico sobre o grau de texturização do material, isto é, quanto mais intenso maior é o grau de textura como um todo. Pode-se observar que por meio da rota A, logo após o segundo passe, o cobre apresentou uma redução da sua textura, contudo apresentou uma tendência de aumento constante até o quarto passe. Já por meio da rota Bc, o cobre apresentou praticamente uma textura constante até o terceiro passe e uma grande redução após o quarto passe, sendo esta uma característica comum desta rota que apresenta enfraquecimento da textura ao final de seu processamento (KLI AUGA et al., 2012).

Da mesma forma que foi realizada para o ECAP a frio, realizou-se para a condição a morno a análise da evolução da textura em função da sequência do número de passes verificada por meio do fator de severidade de textura. Assim, verificou-se por meio da rota A, que o cobre apresentou uma tendência de redução da intensificação da textura ao longo da sequência de passes. O mesmo foi verificado para

o processamento por meio da rota Bc, onde o material apresentou até de forma mais expressiva essa redução da textura, entretanto após o quarto passe foi observado um leve aumento de sua intensidade.

Uma outra análise de textura foi realizada por meio da técnica de difração de raios X (DRX) e posteriormente com o tratamento dos dados obtidos, gerou-se as funções de distribuição de orientação cristalográficas (FDOC's). Desta forma, foram realizadas para cada condição de processamento das amostras por ECAP em função do número de passes e rotas em ambas as temperaturas analisadas. Utilizou-se o ábaco na notação Bunge para a interpretação das FDOC's para a análise dos resultados de textura, baseando-se nas componentes características para materiais CFCs deformados por cisalhamento simples. De acordo com as variações da textura apresentada pelo material em função da sua recuperação, utilizou-se as componentes de recristalização para auxiliar na análise dos resultados.

Apresenta-se na Fig. 8, as FDOC's somente em $\varphi = 0^\circ$ e $\varphi = 45^\circ$ para a seqüência de número de passes de ECAP na rota A e Bc na condição de temperatura ambiente e a morno.

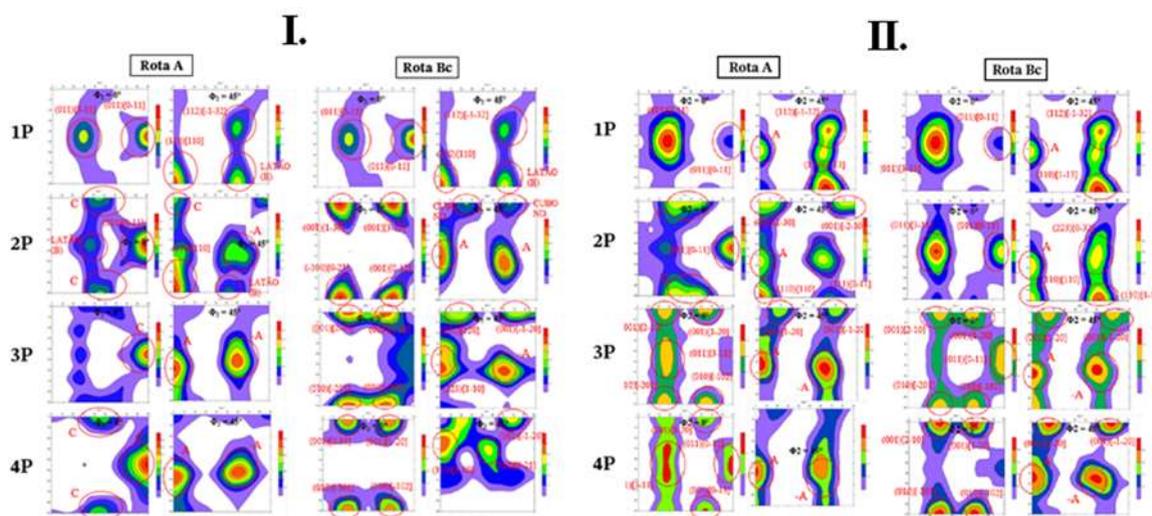


Figura 8: FDOC's das amostras de Cu processadas em temperatura ambiente (I) e a morno (II) por ECAP por meio da Rota A e Bc.

Como pode ser verificado por meio das FDOC's das amostras processadas a frio por ECAP (Fig. 8.I), a textura apresentada pela evolução de passes através da rota A, verificou-se que logo após o primeiro passe surgiu a componente Latão (B) (110) [1-12] de textura de recristalização e após o segundo passe, surgiu também as componentes C (001) [1-10] e A/A' (111) [110] / (111) [110] no material, caracterizando uma textura de cisalhamento. Através desta rota, houve uma diminuição da

intensidade de textura logo após o primeiro passe, embora voltando a aumentar consecutivamente nos dois últimos passes. A partir do segundo passe por meio da rota A, ocorre praticamente a intensificação da componente C em $\varphi_2 = 0^\circ$ e A/\bar{A} em $\varphi_2 = 45^\circ$ até o quarto passe.

Já através da rota Bc, logo após o passe inicial, em $\varphi_2 = 45^\circ$ ocorre o aparecimento de uma textura de recristalização, a componente Latão (B) (110) [1-12] em $\varphi_2 = 45^\circ$. Após o segundo passe surge também em $\varphi_2 = 45^\circ$ a componente Cubo ND (001) [-1-30], componente esta de recristalização e outras duas componentes de cisalhamento puro, A/\bar{A} (111) [110] / (111) [110]. A componente A intensifica-se após o terceiro passe e desaparece ao fim do último. Pode-se afirmar que os resultados obtidos estão em conformidade com os encontrados pela literatura (HIGUERA; CABRERA, 2013).

Apresenta-se na Fig. 8.II, as FDOC's para a sequência de número de passes de ECAP na rota A e Bc na condição a morno. Por meio das análises de textura realizada, observou-se após o primeiro passe, surgiram as componentes de textura A/\bar{A} (111) [110] / (111) [110], ambas componentes textura de cisalhamento puro. A textura gerada através da rota A, demonstrou uma leve intensificação após o segundo passe onde nesta surge a componente C (010)[101] em $\varphi_2 = 0^\circ$ e a componente A (111) [110] em $\varphi_2 = 45^\circ$. Logo depois ocorre a atenuação consecutivamente nos dois últimos passes, mantendo-se ainda a componente A e as componentes de textura que surgiram nos passes anteriores. Já por meio da rota Bc, esta se mantém com intensidade de textura constante após o segundo passe, ficando oscilando nos passes consecutivos. Surgem também as componentes A/\bar{A} (111) [110] / (111) [110] após o segundo passe, ambas textura de cisalhamento puro. Os resultados de textura estão de acordo com a literatura (CARRO et al., 2019).

3.2 ANÁLISE MICROESTRUTURAS

A temperatura de recuperação do cobre é de aproximadamente 270 °C e a de recristalização está na faixa de 450-500 °C. Quanto mais puro e maior for o grau de deformação do material menor é a temperatura mínima de recristalização (GULHÁEV, 1981). Sendo assim, os ensaios a morno na presente pesquisa concederam ao material um processo de recuperação, o que pode ter sido justificado pela sua redução do valor de dureza apresentados pela passagem do material por ECAP sob temperatura.

Mediante os resultados obtidos, atribuiu-se a redução brusca de dureza das amostras no presente estudo a uma recuperação sofrida pelo material durante o processo de ECAP, onde este foi realizado em faixa de temperatura similar ao da literatura (WEN et al., 2012; LIU et al., 2019). Sugere-se ainda que o material pode ter iniciado um processo de recristalização como pode ser verificado através da

Fig. 9, onde por meio desta observa-se uma microestrutura já com indícios de formação de alguns grãos equiaxiais.

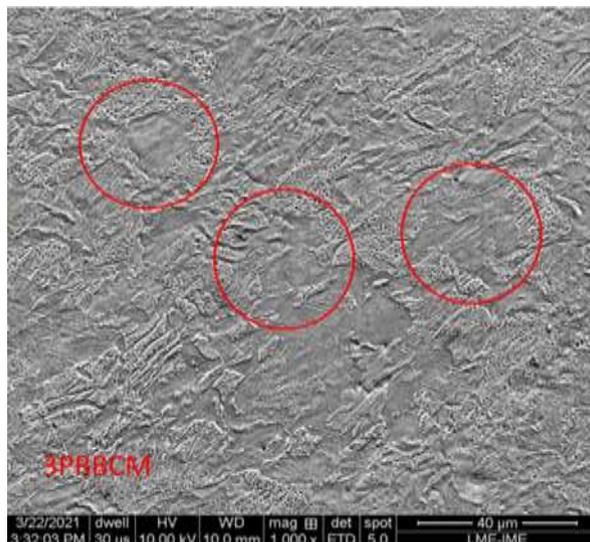


Figura 9: Amostra processada com 3 passes por meio da rota Bc a morno apresentando um possível início de recristalização, conforme destacados pelos círculos (aumento de 1000x).

Com o processo de ECAP realizado sob temperatura elevada, simultaneamente ao aumento da densidade de discordâncias geradas pela deformação, possivelmente atuaram mecanismos de restauração no material e como consequência deste fato, era esperado uma queda brusca de seus valores de dureza. Este fato pode ter sido potencializado pelo acúmulo de energia interna no material devido a sua deformação na condição inicial. Como o cobre é um material que possui média energia de defeito de empilhamento, este amaciamento apresentado pelo material pode ter sido decorrente do processo de recuperação dinâmica, onde este com o processo de deformação sob temperatura, o nível de tensão reduz para um estado de tensão estacionário após alcançar um máximo (ROHATGI et al., 2001).

4 CONCLUSÕES

A partir dos objetivos determinados para a presente pesquisa e através dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O forno construído para o desenvolvimento da presente pesquisa, atendeu de maneira satisfatória a todas as etapas que foi requisitado. Atingindo assim a faixa de temperatura exigida para a realização do ensaio a morno do processamento por ECAP, sem colocar em risco o equipamento e dentro de uma condição segura operacional;

- A matriz para o processamento de materiais por ECAP, projetada e desenvolvida, teve seus testes concluídos com sucesso, demonstrando total capacidade para o tipo de processamento para qual foi confeccionada;
- Através do ECAP a frio, foi possível observar que, o aumento da dureza e densidade de discordâncias não foram significativos. Além disso, pode-se verificar que a rota Bc promoveu uma microestrutura mais homogênea e o enfraquecimento da textura cristalográfica após o quarto passe de ECAP;
- Por meio do ECAP a morno, pode-se observar um fenômeno de amolecimento concomitante ao processo de deformação em função da recuperação dinâmica sofrida pelo material na faixa de temperatura usada;
- Por meio do processamento do cobre eletrolítico por ECAP na temperatura homóloga de 0,48TF foi possível promover uma distribuição homogênea de dureza ao longo da microestrutura do material por ambas as rotas;
- Com o aumento do número de passes por meio do processamento do cobre eletrolítico por ECAP, na faixa de temperatura de 0,48TF, foi possível promover uma diminuição do valor de dureza e da densidade de discordâncias;
- Por meio de ambas as rotas via ECAP a frio, estas apresentaram componentes de textura de cisalhamento. A rota Bc, ao longo da sequência do número de passes, também apresentou componentes de textura de recristalização;
- Por meio de ambas as rotas via ECAP a morno, estas apresentaram componentes de textura de cisalhamento puro.

REFERÊNCIAS

- ALHAJERI, S. N.; GAO, N.; LANGDON, T. G. Hardness homogeneity on longitudinal and transverse sections of an aluminum alloy processed by ECAP. *Materials Science and Engineering A* 528 (2011) 3833-3840, 2011.
- ALATEYAH, A. I.; AHMED, M. M. Z.; ZEDAN, Y.; EL-HAFEZ, H. A.; ALAWAD, M. O.; EL-GARAIHY, W. H. Experimental and Numerical Investigation of the ECAP Processed Copper: Microstructural Evolution, Crystallographic Texture and Hardness Homogeneity. *Metals* 2021, 11, 607, 2021.
- ALAWADHI, M. Y.; SABBAGHIANRAD, S.; HUANG, Y.; LANGDON, T. G. Direct influence of recovery behavior on mechanical properties in oxygen-free copper processed using different SPD techniques: HPT and ECAP. *Jmr&t – Journal of Materials Research and Technology*, 2017.
- ALAWADHI, M. Y.; SABBAGHIANRAD, S.; HUANG, Y.; LANGDON, T. G. Evaluating the paradox of strength and ductility in ultrafine-grained oxygen-free copper processed by ECAP at room temperature. *Materials Science & Engineering A* 802 (2021) 140546, 2021.
- BAHADORI, S. R.; DEGHANI, K.; BAKHSHANDEH, F. Microstructure, texture and mechanical properties of pure copper processed by ECAP and subsequent cold rolling. *Materials Science & Engineering A* 583 (2013) 36-42, 2013.
- CARRO, G.; MUÑOZ, A.; SAVOINI, B.; MONGE, M. A.; PAREJA, R. Processing, microstructure and mechanical characterization of dispersion strengthened Cu-1%Y. *Fusion Engineering and Design* 138 (2019) 321-331, 2019.
- GULHÁEV, A. P. *Metais e suas Ligas – Tomo 1 – Estruturas, propriedades e aplicação industrial (Metalografia geral e estrutural)*. Editora Mir Moscovo, impresso na U.R.S.S., 1981.
- HIGUERA, O. F.; CABRERA, J. M. Texture Analysis in Ultrafine Grained Coppers Processed by Equal Channel Angular Pressing. *Materials Research*. 2013; 16(3): 619-624, 2013.
- KLIAUGA, A. M.; SUSSAI, W. R.; FERRANTE, M.; SORDI, V. L.; BOLMARO, R. E. Textura e fator de Lankford da Liga AA1050 Deformada por Extrusão em Canal Angular e Tratada Termicamente. 67th abm international congress, 2012.
- LANGDON, T. G. Processing by Severe Plastic Deformation: Historical Developments and Current Impact. *Materials Science Forum Vols. 667-669*, pp 9-14, 2011.
- LEE, T.; SHIH, D. S.; LEE, Y.; LEE, C. S. Manufacturing Ultrafine-Grained Ti-6Al-4V Bulk Rod Using Multi-Pass Caliber-Rolling. *Metals* 2015, 5, 777-789, ISSN 2075-4701, 2015.
- LEIS, M. P. P.; DE CARVALHO, S. S.; SOUSA, T. G.; DE SANTANA, S. I. V.; BRANDAO, L. P. Comparative Study by TEM, EBSD and Microhardness of Microstructure of Copper Wire Drawn at 77 K and 295 K. *Tecnol. Metal. Miner., São Paulo*, v. 16, n. 2, p. 279-283, abr./jun., 2019.
- LIU, F.; FA, T.; CHEN, P. H.; WANG, J. T. Steady-state characteristics of fcc pure metals processed by severe plastic deformation: experiments and modelling. *Philosophical Magazine*, Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group, 2019.

LORENZ, G.; NEDER, R. B.; MARXREITER, J.; FREY, F.; SCHNEIDER, J. A Mirror Furnace for Neutron Diffraction up to 2300 K. *J. Appl. Cryst.* (1993). 26, 632-635, ISSN 0021-8898, 1993.

NEISHI, K.; HORITA, Z.; LANGDON, T. G. Achieving superplasticity in a Cu-40%Zn alloy through severe plastic deformation. *Scripta Materialia* 45 (2001) 965-970, 2001.

ROHATGI, A.; VECCHIO, K. S.; GRAY, G. T. The Influence of Stacking Fault Energy on the Mechanical Behavior of Cu and Cu-Al Alloys: Deformation Twinning, Work Hardening, and Dynamic Recovery. *Metallurgical and Materials Transactions A Volume 32A*, January, 2001.

SARIN, P.; YOON, W.; JURKSCHAT, K.; ZSCHACK, P.; KRIVEN, W. M. Quadrupole lamp furnace for high temperature (up to 2050 K) synchrotron powder x-ray diffraction studies in air in reflection geometry. *Review of Scientific Instruments* 77, 093906, 2006.

VALIEV, R. Z.; LANGDON, T. G. Principles of equal-channel angular pressing as a processing tool for grain refinement. *Progress in Materials Science* 51, 2006.

VANDER VOORT, G. F. *Metallography: principles and practice*. 2^o ed. New York: McGraw-Hill, 1984.

VIJAYASHAKTHIVEL, A. T.; DATH, T. N. S.; KRISHNAMURTHY, R. Response of copper to Equal Channel Angular Pressing with different processing temperature. *Procedia Engineering* 97 (2014), 56 - 63, 2014.

WEN, H.; ZHAO, Y.; TOPPING, T. D.; ASHFORD, D.; FIGUEIREDO, R. B.; XU, C.; LANGDON, T. G.; LAVERNIA, E. J. Influence of Pressing Temperature on Microstructure Evolution and Mechanical Behavior of Ultrafine-Grained Cu Processed by Equal-Channel Angular Pressing. *Advanced Engineering Materials* 2012, 14, No. 3, 2012.

ZRNIK, J.; DOBATKIN, S. V.; MAMUZIC, I. Processing of Metals by Severe Plastic Deformation (SPD) – Structure and Mechanical Properties Respond. ISSN 0543-5846, *METABK* 47(3) 211-216 (2008), UDC-UDK 669.14-418:539.37:620.17=111.

Capítulo 13



10.37423/220606068

APPLICATION OF GAMES THEORY IN THE BIDDING PROCESS FOR THE CONCLUSION OF ANGRA 3

Monique Suellen de Lima e Silva Tomaz

Universidade de Pernambuco

Lázara Silveira Castrillo

Universidade de Pernambuco

Eduardo Henrique Diniz Fittipaldi

Universidade de Pernambuco



Abstract: It is notorious that the conclusion of Angra 3 will provide significant advantages for the socio-economic development and for the energy reliability in country. The present paper presents the application of the Game Theory, an analysis tool in the decision processes through the auctions, in order to choose the international partners, for the conclusion of Angra 3. Objective data of the situation were used, disregarding the subjectivity of the individuals involved, who recognize their mutual interdependence and who act rationally. The games resulting from this scenario will be presented, in order to determine a technically appropriate solution in the bidding process among the agents involved. To this end, the market structures of the Stackelberg were observed. And so conclude that the format of hybrid auction, in which in the first stage the auction is the closed type, with given proposals in sealed envelopes. All bids must be equal to or less than the maximum value allowed in the edict and the winner is the individual with the lowest bid. The second step is the open and descending type, in which the bids are made in descending order, with the second lowest value of the first step being applied, which consists of an assertive alternative. Finally, the winner will be the investor who offers the smallest corporate share to finalize the construction of the plant and will sign a contract with the government, where characteristics of the concession will be specified.

Keywords: International private partnership, Completion of Angra 3, Theory of Games, Theory of Auctions, Market structure of Stackelberg, Hybrid Auction.

1. INTRODUCTION

The Games Theory corresponds to a set of parameters on how individuals should behave to come to an agreement, resolve conflicts or develop a joint project, respecting certain rules of rigorous analysis of situations of strategic interdependence, in which the decisions or movements of a player depend substantially on the actions of the other individuals participating in the event [1].

According to several authors of the area, there are many types of games due to the number of players, the number of possible strategies for each, and their order; as well as the interaction between them, the expected gains and the disposition of the information that can be complete or incomplete. A situation that is characterized as a game can be expressed in several ways, that is, according to the information one wishes to obtain. The two most common ways are the strategic, expressed in tables, and the sequential way represented by means of a tree diagram [2].

The application of Games Theory in the national electrical scenario should be a decision-making alternative. During the restructuring of the sector, which has become decentralized, competition between energy generators and distributors is promoted. As the electricity market developed, the auctions began to be used as an acquisition tool for various products in the electricity sector and for the realization of long-term electricity contracts [3].

In this context, highlighting the current scenario of the Brazilian electricity sector and the importance of the nuclear source to expand generation and supply with reliability, the conclusion of Angra 3 is seen as a unique solution for the authorities involved, contributing significantly to the growth of several sectors of the country. A recent set of policy decisions was made to ensure the viability of the venture and attract the interest of foreign investors in the nuclear sector. This situation can be characterized as a process of strategic interaction between the Brazilian government and the possible partners interested in applying to participate in the venture, which in turn can be treated as a game to predict the relations of negotiations between those involved.

Thus, the scenarios resulting from this partnership were evaluated according to the Stackelberg market structures in order to indicate the possible State's decisions and an attractive choice according to the auction theory about the prospect of completion of Angra's works.

In 1990, in the United States mobile phone industry, the first auction took place with the aid of experts who applied games theory to establish an open platform of increasing bids, with each round bids being made simultaneously for all licenses offered.

2.2. STACKELBERG MARKET STRUCTUREH

The different market structures are distinguished by three fundamental variables, the number of companies that interact in the market, the differentiation of the products that are offered, which are classified as homogeneous or heterogeneous and the existence of barriers for the entry of new companies. These characteristics determine which market scenario companies are working on [4].

Seeking closer approximation to reality and simplification of market structures, Stackelberg's classification uses a single element of differentiation, the number of agents involved both for demand and for supply. Even disregarding other variables, Stackelberg highlighted nine possible structures and sequentially numbered them to the right of the formula. That is, we write for example the steady-state equation of continuity

The Fig.1 allows us to understand the market structures mentioned, in which supply is observed vertically and demand horizontally.

2. THEORETICAL SYNTHESIS FOR THE COMPREHENSION OF THE PROPOSED MODEL

2.1. A BRIEF HISTORY OF GAMES THEORY

In 1928, the mathematician John von Neumann took the first step demonstrating the minimax theorem. Neumann showed interest in economics and, along with economist Oscar Morgenstern, published the classic "The Theory of Games and Economic Behavior" in 1944, and with this, Game Theory invaded economics and applied mathematics.

In 1950, the mathematician John Forbes Nash Jr. published four important articles for non-cooperative game theory and bargaining theory. In "Equilibrium Points in N-Person Games" and "Non-cooperative Games", Nash proved the existence of a mixed strategy equilibrium for non-cooperative games, called Nash equilibrium, and suggested an approach to cooperative game studies, from its decline to a non-cooperative form.

	Many Sellers	Few Sellers	A Single Seller
Many Buyers	Perfect Competition	Oligopoly	Monopoly
Few Buyers	Oligopsony	Bilateral Oligopoly	Almost Monopoly
A Single Buyer	Monopsony	Almost Monopsony	Bilateral Monopoly

Figure 1: Classification of market structures by Stackelberg.

The market in perfect competition presents a large number of buyers and sellers and all participants in this environment have perfect knowledge of trading conditions, a resemblance to reality are the commodities, since there are many buyers and sellers and the products are homogeneous. In an extreme situation, the bilateral monopoly occurs when there is a single seller and a single buyer, in which both the seller and the buyer are in situations of bargaining.

On the other hand, the monopolistic market has as main characteristic a single company offering a certain merchandise for the sector. When we change to a situation where there is only a single buyer and a significant number of sellers, this scenario is defined as monopsony. When the negotiations are between a few sellers and a single buyer we call it almost monopsony and when there is a single seller and a small number of buyers the situation is defined as an almost monopoly.

The oligopoly is a market situation in which there are many buyers and few suppliers or is when there are a large number of companies, but a minor dominates the market. On the other hand, in the oligopsony, who dominates the market is a small number of buyers [5]. Finally, bilateral oligopoly is when there are few sellers and buyers.

2.3. INCOMPLETE INFORMATION GAMES: THEORY OF AUCTIONS

Auctions are one of the oldest ways to do business, by building one of the purest forms of the market, where buyers and sellers negotiate with each other until they arrive at a price acceptable on both sides. Possibly the greatest contribution of this form of negotiation is in the creation of mechanisms that facilitate the transfer of public assets to private companies, such as the sale of industries and rights to use natural resources [6].

It is worth mentioning that the auction is a type of game because it is a simple and well-defined environment, in which a particular player assumes a behavior that maximizes their return in function of the actions of the other individuals. A significant feature of auctions is that not all the participants in the negotiation know the information, so it is necessary to define the main characteristics of how to conduct an auction through economic prospects and the desired results [6].

The electricity sector performs the concession of new plants, and the firmament of supply contracts to meet the future demand are obtained through the auctions, that is, public power with a view to obtaining electric energy in a future term (predetermined in terms of a public notice), or by the construction of new power generation plants, transmission lines, consumer centers. As well as the energy that is generated from operating plants promotes competition among interested investors to carry out the bidding processes.

Without the auctions, therefore, it would be extremely difficult for the electricity sector to achieve a balance between supply and consumption of energy, therefore, in view of this, would increase the risks of supply failure and rationing. In defining contract prices, auctions also determine the share of energy sources used in generation, which affects the quality of a country's electricity matrix in terms of the environment, as well as on the value of fees paid by consumers [7].

2.4. THE DUTCH-ANGLO AUCTION MODEL

The Dutch-Anglo auction model known as the First-Price sealed-bid Auction consists of a hybrid auction mechanism. In the first phase, all potential investors make their offers in a single bid (sealed-bid) simultaneously; the bids classified for the next phase are those that differ by a maximum of 5%, being the winner of this first phase the participant who makes the lowest offer. In the next phase there are continuous rounds, within a time predetermined by the auctioneer and then the auction is closed, being the winner the one that submitted the lowest price [8].

This auction format has been used in Brazil to select investors and grant concessions from power plants, based on the lowest cost. The advantage of this mechanism is the minimization of coalition formation among participants in the first phase.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. STACKELBERG CLASSIFICATION APPLIED TO THE BRAZILIAN NUCLEAR ELECTRIC SECTOR

The current design of the electric power generation market is composed of a single company, Eletronuclear, a subsidiary of Eletrobrás, responsible for operating and building thermonuclear power plants in Brazil. Considering the importance of this source to the country in relation to the national macro objectives in the area of defense, energy, environmental and health security, the three possible market structures resulting from the choice of the state, according to the model described by Stackelberg, are evident. Fig. 2 shows the possible combinations of Eletrobrás shares, as well as their possible results.

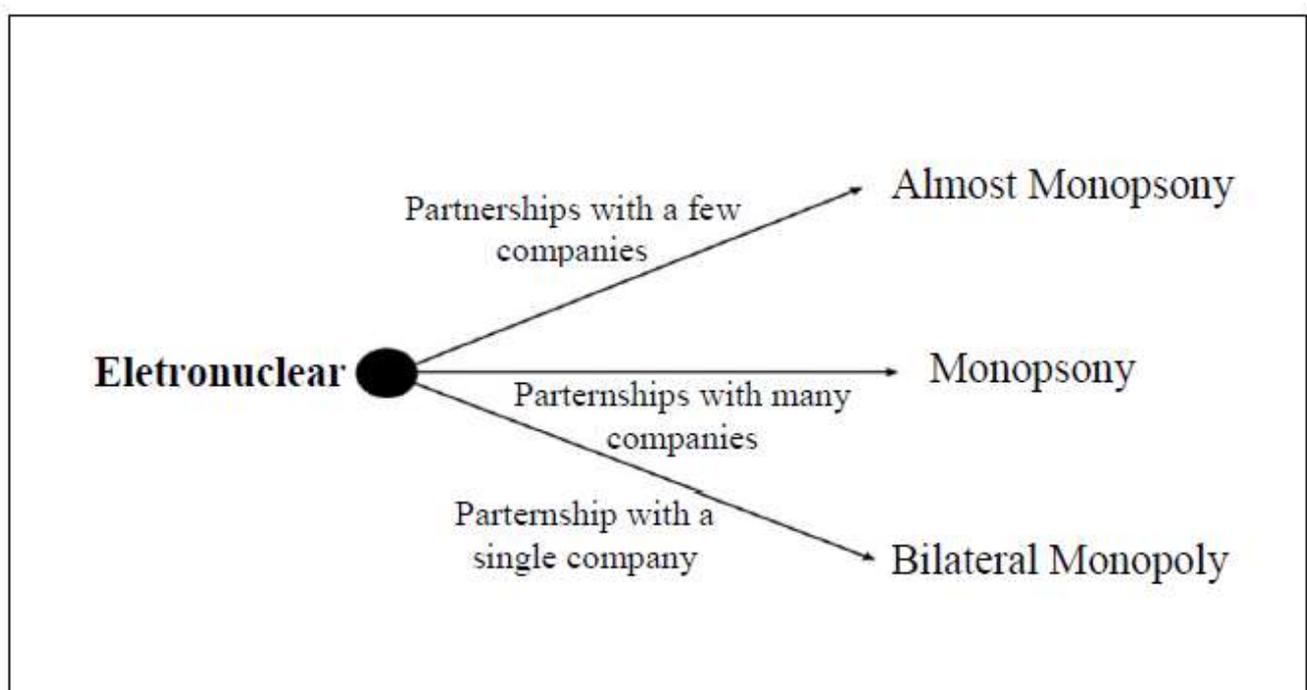


Figure 2: The partnership game Eletronuclear Actions.

Emphasizing that the international nuclear sector is dominated by a small group of large companies that operate in the most diverse areas of the nuclear sector and that some of them have shown an interest in participating in the works of Angra 3 and in the construction of new plants. Thus, there are only two circumstances in which Eletronuclear possesses to make its choice, which is indicated in the extended form in Fig. 3.

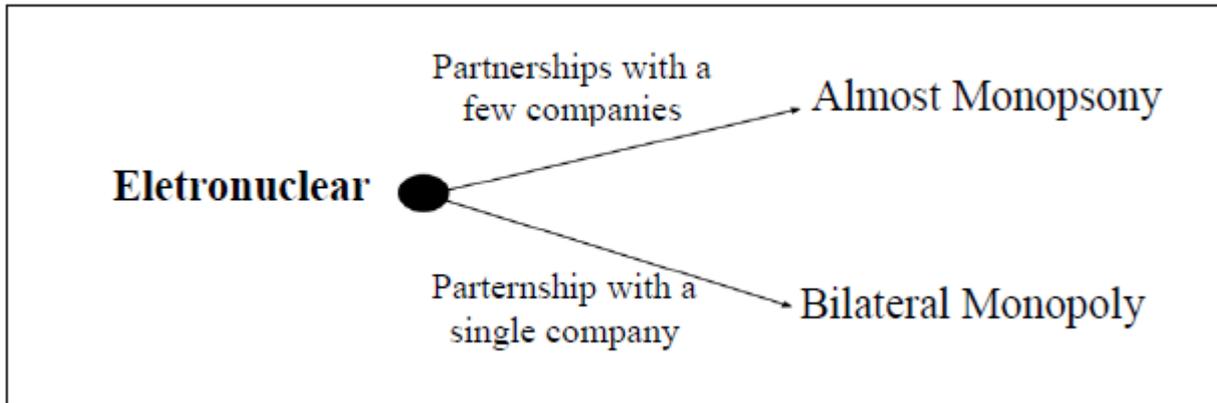


Figure 3: The partnership game.

The decision-making process that involves developing partnerships with a group of companies or with a single group, should pursue the five basic performance objectives for any productive operation, they are quality, speed, reliability, flexibility and cost [9]. Thus, considering BEN 2018, Fig. 4 illustrates the strategic objectives that Eletronuclear must meet, considering its main *stakeholders* groups with the completion of Angra 3.



Figure 4: Strategic objectives for completion of Angra 3.

Seeking to meet aforementioned strategic objectives, the scope of the project, the term, cost with quality, considering that the works of finalization of the plant consists of macro operations, in view of

the robustness of the project. In order to coordinate and control this process it is necessary to consider three aspects, operational efficiency, and alignment of activities and sharing of information.

In this context, the hypothesis of the formation of a bilateral monopoly is strictly dominant in relation to the formation of an almost monopsony considering the strategic rewards for the Brazilian nuclear sector. This decision provides the development of stronger and more lasting relationships, favoring a greater commitment among the parties in the cooperation, as well as minimizing fluctuations in the productive stages, due to information distortions and increases the reliability of the stakeholders.

3.2. APPLICATION OF THE DUTCH-ANGLO MODEL TO BILATERAL MONOPOLY

Considering that the bidding process results in a bilateral monopoly, it was decided to use the hybrid auction design format, to avoid collusion between participants, not only aiming at jointly maximizing stakeholder profits, but also ensuring entry into the Brazilian market.

Following the establishment of the specific regulatory guidelines for the nuclear sector by the Ministry of Mines and Energy and the announcement of the contract with the description of the contract model that guarantees the financing to Eletronuclear, the supply of equipment and services, ensuring the strategic characteristic of the nuclear source for National security. In addition to Eletronuclear's commitment to technology transfer and partnerships in the continuity of the sector, the auction is executed.

With the flowchart shown in Fig. 5 it is possible to verify the preparation phases, in other words, what happens before the auction, the bidding process mechanism and data validation of all interested parties in the process, the hybrid stages and the closing.

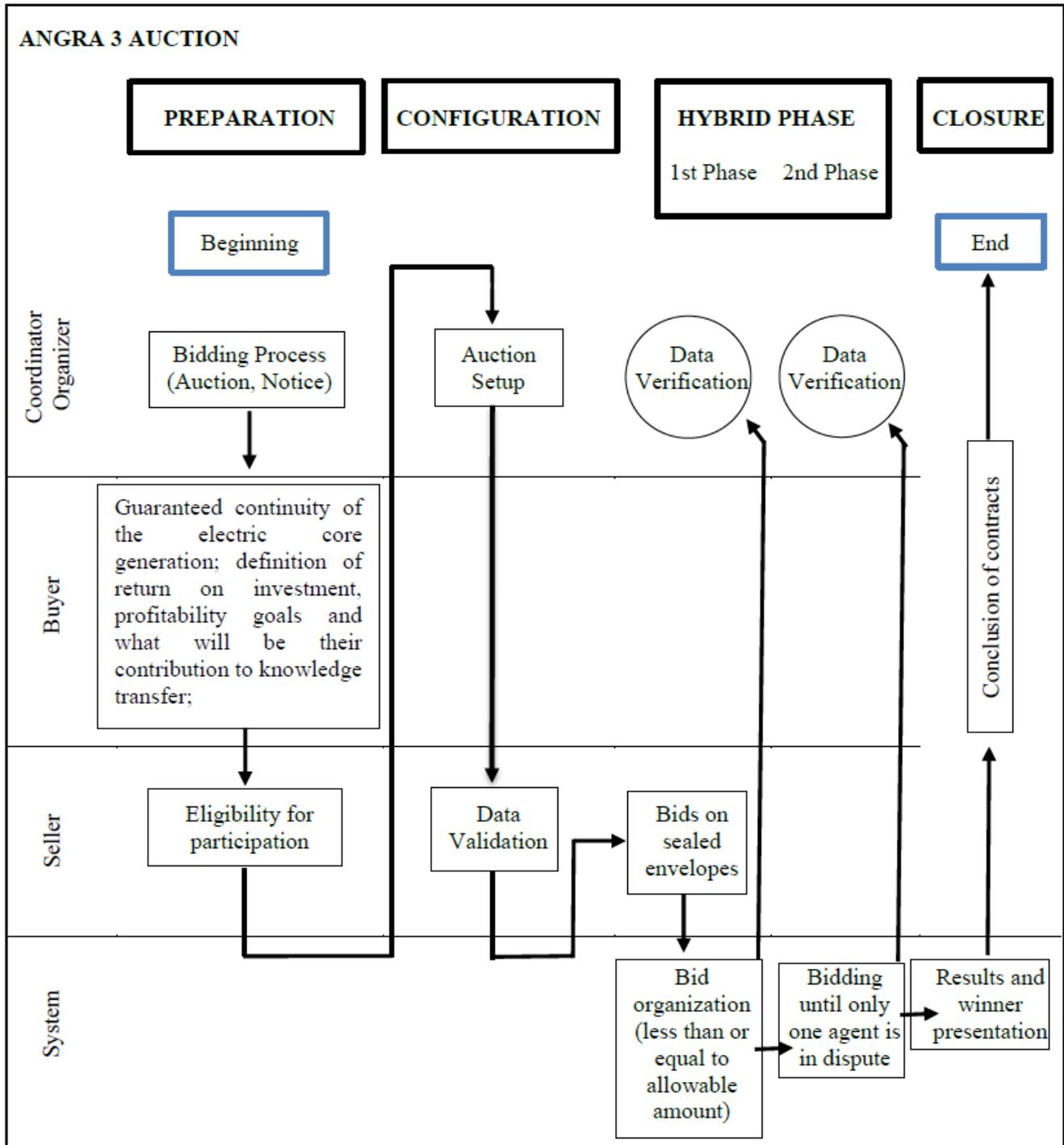


Figure 5: Flowchart of the bidding process for completion of Angra 3.

After a systematic analysis of the operation of the Dutch-Anglo format, the proposed auction model is the hybrid format similar to the Dutch-Anglo model, as the difference to be made with second-price sealed-bid, followed by continuous and descending rounds. The hybrid stage consists of two phases, the first being the sealed type, in which all registered and qualified investors submit a single share bid and the intermediary, which may be a system or an auctioneer, orders the highest values to the lowest.

It should be emphasized that all values must be equal to or less than the maximum value allowed in bidding documents and the winner is the one with the lowest offer bid.

Using the hypothesis that is established in the contest, a maximum value of 49% in the shareholding of the plant, which means that, in the first phase of the auction, the bids must be equal to or less than the value allowed in the auction notice, and the winner is the one with the least proposal. The second phase occurs only when there are bids within the 5% range above the winner of the previous step, of the open and descending type. In this second round, bids are made publicly, in descending order, from the second lowest bid of the previous step, until only one bidder is in contention, winning it. The winning company will then sign a contract with the government, agreeing on the revenue that will be received and the characteristics of the concession.

The Fig. 6 presents a hypothetical example of a situation in the first phase of the auction, admitting the participation of five institutions. The second stage consists of decreasing continuous rounds, where investors offer new bids, equal to or less than the second lowest bid of the initial stage, if the bid difference is equal to or less than 2.5%.

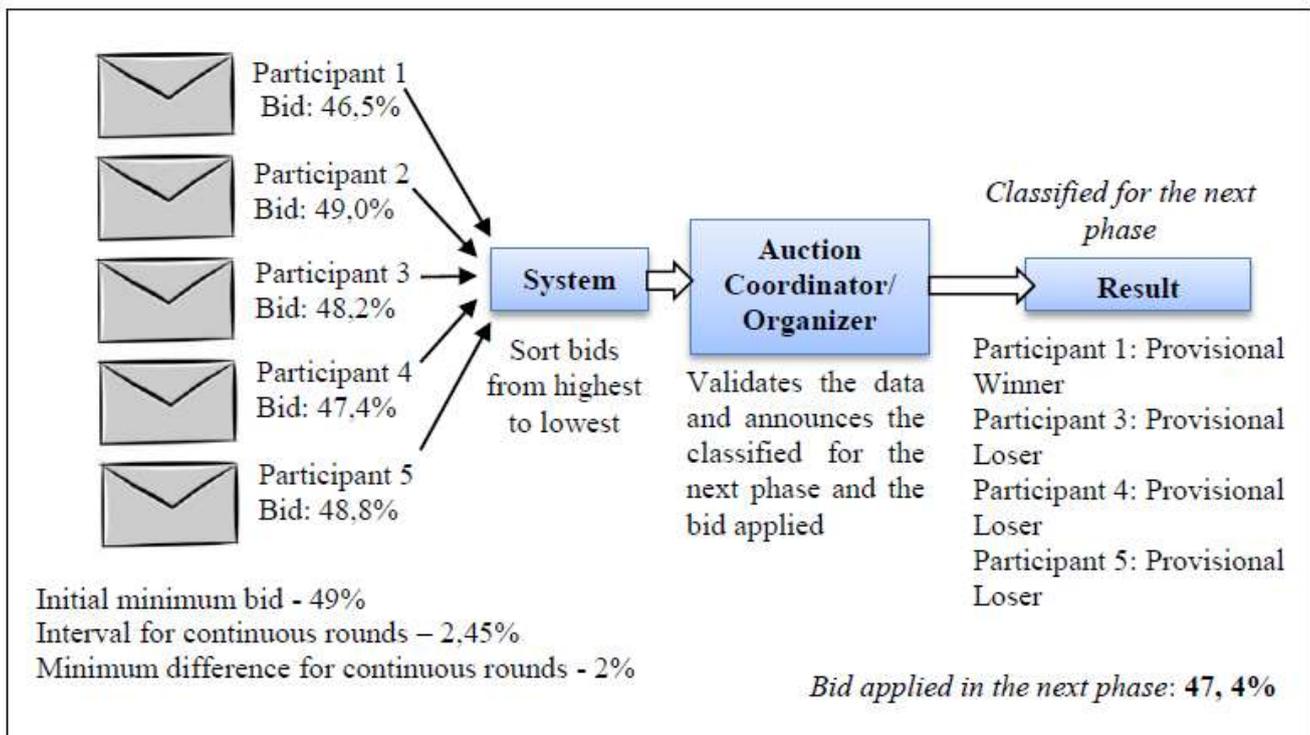


Figure 6: Probable situation in the first phase of the auction.

Continuous rounds occur until a pre-established period, when new bids can not be made. After the second stage, the institution that offers the lowest bid will receive the concession of the plant, receiving the second lowest bid, and in case of a tie the winner will be defined by means of a lottery.

4. CONCLUSIONS

Assuming that the process of resumption of the plant involves a complex of decisions, among them, the choice of a strategic alliance-forming partner. The application of the games theory, through the auction mechanism linked with the study of market structures makes possible better decisions.

Within the scope of analysis, considering the proposed market design, the choice of the auction as an allocative tool is relevant, since its theoretical principle implies to increase the efficiency in the negotiations of goods and services, guaranteeing the competitiveness and more affordable prices. Thus, the results obtained point to an increase in competitiveness among investors, as a result of the formation of a partnership with the Brazilian government for the conclusion of the plant and the reduction of future problems of economic sustainability.

REFERENCES

1. S. R. Aníbal, *Negociações e Teoria dos Jogos*, Revista das Tribunais, São Paulo, Brasil (2017).
2. F. Ronaldo, *Teoria dos Jogos*, Elsevier, Rio de Janeiro, Brasil (2015).
3. M. M. Flávio, K. M. Paulo, *An Introduction to Auction Theory*, Oxford University Press Inc, New York, Brasil (2008).
4. M. Maura, *Economia: passo a passo*, Qualitymar, Rio de Janeiro, Brasil (2007).
5. M. Regis et al, *Engenharia Econômica e Finanças*, Elsevier, Rio de Janeiro, Brasil (2009).
6. K. Vijay, *Auction Theory*, Elsevier, Burlington, United States (2010).
7. L. T. A. Maurer, L A. Barroso, *Electricity Auctions: An Overview of Efficient Practices*, The World Bank, Washington, United States,
<http://documents.worldbank.org/curated/pt/114141468265789259/pdf/638750PUB0Exto00Box0361531B0PUBLIC0.pdf> (2011).
8. R. Cassady Jr., *Auctions and Auctioneering*, University of California Press, California, United States, https://books.google.com.br/books?id=8e3__eR77D4C&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=dutch&f=false (1967).
9. S. Nigel, *Administração da Produção*, Atlas, São Paulo, Brasil (2009).

Capítulo 14



10.37423/220606126

CUSTEIO DA CADEIA LOGÍSTICA: PROPOSTA DE ESTUDO DOS CUSTOS LIGADOS À UMA FÁBRICA DE PRODUTOS ELETRÔNICOS

Adriano Pereira da Silva

UFBA



Resumo: Este artigo tem como objetivo analisar os custos ligados à importação e distribuição de produtos eletrônicos pela Reistar Indústria e Comércio Eletrônicos Ltda. Em paralelo, têm-se especificamente os objetivos de realizar a revisão bibliográfica as técnicas disponíveis para o custeio da logística; estabelecer uma orientação metodológica relativa à melhoria do desempenho logístico com base nos custos; identificar as práticas adotadas. Na consecução dos objetivos propostos, o estudo realiza uma revisão bibliográfica da literatura existente dos temas: Logística, Métodos de Custos; Aplicação destes na cadeia de suprimentos voltados a importação e distribuição; Evolução e sua avaliação. Após esta introdução, será realizada um estudo de caso, buscando-se obter uma definição e identificação dos chamados "Custos Logísticos" e a sua aplicação ao comércio nacional, especificamente, à importação de mercadorias ou produtos. Nesta perspectiva, a partir das bases conceituais supracitadas, algumas técnicas relativas ao custeio da cadeia de suprimentos buscam desenvolver as melhores práticas dentro dos processos adotados pela empresa a ser estudada. Em paralelo, se espera explorar a sua aplicação ao custeio da cadeia de suprimentos, procurando, também, na apresentação dessas técnicas, destacando seus pontos fortes e fracos.

Palavras-chave: Revisão Bibliográfica, Custos da Cadeia Logística, Importação e Distribuição.

1. INTRODUÇÃO

Notadamente observam-se problemas de diversos fatores que afetam a rentabilidade, na qual se agravam a medida do atraso em identifica-los e muitas vezes desconhecimento de suas causas. Desta forma, o esforço empresarial deve estar direcionado no sentido de reconhecer e mensurar com máximo de antecedência possível e soluciona-los, antes que se tornem críticos. Por conseguinte, os sistemas gerenciais de custos se tornam um elemento-chave para as empresas.

Em paralelo, a logística é base vital para a economia e para as empresas individuais, sendo fator primordial na incrementação do comércio regional e internacional, por objetivo de prover os clientes com produtos e serviços desejados, corretos, no lugar certo, no tempo exato e na condição desejada e ao menor custo possível. Esta perspectiva é alcançada através da administração adequada dos seus três macroprocessos, sendo eles: suprimentos, apoio à produção e distribuição física. Não obstante, esta visão deve ser considerada um meio exequível nas organizações, fazendo necessário considerar o desenvolvimento de ferramentas e metodologias, métodos ou teorias que possibilitem às empresas, inicialmente, identificar e obter os chamados “Custos da Cadeia de Suprimentos”, para, em seguida, poder avaliá-los.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral proporcionar uma base para estudos dos custos ligados à importação e distribuição de produtos eletrônicos pela Reistar Indústria e Comércio Eletrônicos, cujo detém experiência de mais de 20 anos trabalhando com importação e na industrialização de produtos eletrônicos, instalada em Camaçari-BA, local privilegiado por ter uma apropriada composição logística.

De tal modo, observa-se os objetivos específicos como: Realizar a revisão bibliográfica das técnicas disponíveis para o custeio da logística; estabelecer uma orientação metodológica relativa à melhoria do desempenho logístico com base nos custos; propor comparação da teoria com a prática adotada na Reistar Indústria e Comércio Eletrônicos Ltda.

Por conseguinte, a partir das bases conceituais estudadas, algumas técnicas relativas ao custeio da cadeia de suprimentos aclaram o desenvolvimento das melhores práticas dentro dos processos adotados pela empresa a ser estudada

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CONCEITO DE LOGÍSTICA

A logística surgiu, segundo Leite et al (2016), a partir das relações humanas, quando no século XVII, a palavra “*logistique*” é derivada de uma patente do exército francês, da qual era designada a exercer atividades relativas ao deslocamento, alojamento e acampamento das tropas em operação. Em virtude dessa razão, a palavra passou a significar “a arte prática de movimentar exércitos”.

Conforme Schneider e Vieira (2015), a logística é uma ferramenta corporativa, eficaz para controle dos fluxos e componentes de competitividade das empresas, territórios e regiões que se utiliza de diversas técnicas e ferramentas para aperfeiçoar sistemas logísticos. De forma análoga, é um processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e armazenagem de produtos e materiais, bem como os serviços e informações associados, sendo que o objetivo fundamental atender adequadamente o consumidor final (SANTOS, 2014).

Conforme Araujo et al (2016) a logística realiza sua administração de forma integrada, agrupando as atividades de fluxo de produtos e serviços através da execução das atividades de transporte, estoques e comunicação. Esse alinhamento é colocado como essencial para otimização dos negócios provendo um relacionamento entre seus clientes, bens e serviços. Por conseguinte, existem vários fatores que destacam a estratégia das empresas, dentre eles a habilidade que a organização tem para responder com mais rapidez e eficácia do que seus concorrentes em relação às necessidades dos seus clientes. A partir de Santos, (2014) a logística pode satisfazer as necessidades dos clientes e da empresa, com relação a termos como lucratividade e rentabilidade. Isso considerando se conseguir entregar seus produtos e materiais em determinadas condições: Na qualidade esperada pelo cliente; Forma desejada pelo cliente; Custo adequado; Preço esperado pelo cliente; Local esperado pelo cliente; Prazo correto.

Em linhas gerais, esta estrutura de forma integrada trata das atividades de movimentação e armazenagem facilitando os fluxos de informação dos produtos do ponto de compra da matéria-prima ao consumo final, com isso pode-se oferecer um nível de serviços adequado com custo baixo. Assim, as atividades logísticas descritas por Assis e Sagawa (2018), consideradas primárias, direcionadas para os objetivos logísticos são: Transportes: Movimenta os produtos por meio dos modais aeroviários, aquaviário, dutoviário, ferroviário, rodoviário e serviço intermodal; Manutenção de estoques:

Responsável por dois terços dos custos logísticos; Processamento de pedidos: Um elemento crítico do tempo necessário para levar bens e serviços aos clientes.

2.2 LOGÍSTICA COMO VANTAGEM COMPETITIVA

Ao observar a prática das atividades logísticas, identifica-se sua existência desde os tempos mais remotos. Nas guerras, líderes militares usufruíam de estratégias nesta área do conhecimento nas batalhas no que diz respeito a transporte, abastecimento, armazenagem, distribuição de munição, alimentos e armas, entre outras atividades. Com o decorrer dos séculos e eclosão da segunda grande guerra (1939 – 1945), que trouxe consigo um desenvolvimento tecnológico, a logística acabou abrangendo outros ramos da administração militar, assim, a ela foi incorporada às atividades civis e empresariais, as quais se aproveitaram dos conhecimentos e experiências adquiridos. Assim, a logística trata de planejamento, organização, controle e realização de tarefas à armazenagem, transporte e distribuição de bens e serviços (OLIVO, 2013).

No tocante de uma empresa que está inserida num segmento de mercado em que o diferencial para a escolha de seus produtos trata-se de preço e do prazo com o qual este produto é entregue aos pontos de venda, faz-se necessário uma análise das ferramentas de logística empresarial existentes para atender a estas necessidades com qualidade no serviço logístico prestado. Dentro desta atual perspectiva, a economia é fortemente influenciada por diversos fatores internos e externos da produção, na qual, muitas vezes são intrínsecas nas empresas de manufatura, por outro lado, têm enfrentado um ambiente complexo e de competição acirrada. Para Dos Santos e Alves (2015), diante desse cenário de crescentes desafios impostos pela alta e crescente nível de competitividade, a vantagem estratégica de uma empresa passa a estar atrelada ao dinamismo de todos os membros de sua cadeia de suprimentos, logo, uma organização não concorre com outra individualmente, a concorrência acontece através de suas cadeias de suprimentos de seus produtos ou de seus concorrentes, assim, o domínio da logística contribui fortemente em melhorias dos processos e setores de uma empresa, ao promover a integração entre eles, gerando um maior processamento de informações no sistema, de uma forma concisa e reduzindo a possibilidade de erros.

Nesse sentido, Araujo et al (2016) expõe que a logística vem se destacando como alternativa para aprimorar a cadeia de suprimentos na busca por vantagens competitivas, através técnicas e ferramentas logísticas podem ser aplicadas para melhorar o sistema de abastecimento das empresas. Assim, o objetivo das empresas é realizar as entregas e distribuir os materiais na quantidade solicitada,

na condição especificada, no local definido e no momento exato que foi estabelecido. Isso é uma variável do número de clientes, da quantidade de produtos e do número de fornecedores que estão na cadeia logística da empresa. Com relação à distribuição física pode-se observar que as empresas vêm buscando aprimorar o fluxo de seus sistemas de entrega e distribuição para torná-los mais eficientes e eficazes contribuindo para os resultados da organização.

2.3 CADEIA DE SUPRIMENTOS

A partir dos rápidos avanços em tecnologia e aumento da liberdade regulatória mudaram as regras de competição no mercado. As empresas estão agora competindo globalmente e as barreiras tradicionais entre as indústrias estão se desmoronando. De acordo com Gattorna (2017), para lidar com essas mudanças e obter um desempenho superior, os líderes de negócios estão caminhando para novos paradigmas estratégicos que permitem que suas empresas trabalhem mais de perto com seus parceiros de negócios tradicionais e novos para se adaptarem ao mercado dinâmico e em constante modificação. Essa integração aprimorada é a própria essência do gerenciamento da cadeia de suprimentos.

Desta forma, o gerenciamento da cadeia de suprimentos vem do termo *Supply Chain Management* (SCM) que se apresentando como uma tendência na busca por resultados sustentáveis pelas empresas, pois é uma filosofia que propõe processos enxutos, eliminação de desperdícios e minimização de estoques (MOURA E VALENTINA, 2016). Sua definição tange uma integração dos processos industriais e comerciais, partindo do consumidor final até os fornecedores iniciais, gerando produtos, serviços e informações que agreguem valor para o cliente. Portanto, a Gestão da demanda na cadeia de suprimentos consiste em criar um fluxo coordenado da demanda entre os membros da cadeia de suprimentos e o cliente final, com o objetivo de equilibrar a oferta em relação à procura, calculando os estoques de segurança necessários para o nível de serviço predefinido.

Para Olivo (2013), a administração da cadeia de abastecimento transforma o relacionamento fraco que, em geral, existe entre as empresas que compõe uma cadeia, em um esforço coordenado com foco no cliente, centrado na melhoria da eficiência e da competitividade. As empresas passaram a operar como corporação estendida (virtual), utilizando recursos comuns de maneira ideal, visando obter sinergias. Em essência, altera-se a gestão individual de estoque por participante para uma gestão integrada, na qual, esta atuação visa disponibilizar produtos e serviços para o mercado, atendendo ao que o cliente/consumidor deseja e ao quanto está disposto a pagar. Como resultado, deve ser um

produto/serviço de alta qualidade e baixo custo, que seja entregue com presteza e que satisfaça ao cliente. Deste modo, o desempenho de uma cadeia de abastecimento está intimamente ligado aos fatores de: Capacidade de resposta às demandas dos clientes; Qualidade dos produtos e serviços; Velocidade, qualidade na inovação dos produtos; Custos de produção e distribuição; Nível de utilização de capital em estoque.

A melhoria no desenvolvimento da cadeia de abastecimento depende, fundamentalmente, da reavaliação e remodelagem da cadeia interna de cada membro da cadeia estendida e da colaboração e integração entre eles, sendo que a colaboração reduz os riscos e possibilita o aumento da eficiência do processo logístico total e o compartilhamento de informações e estratégias enquanto que a integração reduz os desperdícios (estoques em excesso) e a duplicação de estoques (OLIVO, 2013).

2.4 O GERENCIAMENTO DAS UNIDADES DE ANÁLISE DAS EMPRESAS

A partir da sensível alteração na relação de forças entre cliente e fornecedor, o controle dos processos internos tem gradualmente sendo modificado dentro do contexto onde o foco é o negócio, na qual os clientes passaram a informar o que deseja, quanto deseja, como deseja e quanto pagará pelo produto ou serviço. Neste contexto, as empresas desenvolveram novas formas de gerenciamento, tendo como abordagens mais comuns a melhoria contínua. Esta busca constante pelos melhores métodos das atividades pode ser orientada por uma metodologia chamada de Gerenciamento de Processos (FREIRES, 2000).

A definição de cada etapa do processo como atividades que agregam ou não valor possibilita o melhor entendimento entre processos e custos. Esse entendimento é possível devido à ligação direta das atividades com produtos, clientes e canais de distribuição. Por conseguinte, em uma cadeia de suprimentos, os macro-processos seriam as atividades-chave dessa cadeia (Fornecimento, Produção e Distribuição). Um macroprocesso pode ser subdividido em processos com o objetivo de se incrementar o seu aperfeiçoamento, por exemplo, em uma área de alto custo. Os subprocessos, por sua vez, podem ser subdivididos nas várias atividades que os compõem, em um nível de detalhamento maior essas Tarefas Atividades Subprocessos Processos atividades podem ser desmembradas em tarefas, constituindo assim, o menor enfoque dos processos (FREIRES, 2000).

A partir deste cenário – arranjos das cadeias de suprimentos e as cadeias produtivas – as empresas transformam-se em agentes cuja competitividade depende do seu desempenho e do desempenho de todas as demais empresas envolvidas nas etapas necessárias para o fornecimento de um determinado

produto aos clientes finais. Assim, a organização torna-se visível três unidades principais: De forma isolada, no contexto de sua cadeia de valor (*value chain*), em que as atividades executadas são analisadas com o objetivo de apontar potenciais de vantagem competitiva; Como um dos membros de uma cadeia de suprimentos (*supply chain*), visualizada a partir de uma empresa, e envolvendo as empresas envolvidas a montante e a jusante desta, desde as fontes originais de matérias-primas, até os clientes finais; Como participante de um dos elos (indústria) de uma cadeia produtiva, seja na cadeia principal ou auxiliar desta (CASTRO; ALCÂNTARA, 2012).

Amaro (2002), retrata que ao tratar das vantagens competitivas possíveis de serem alcançadas pelas empresas, aponta a liderança pelos custos como uma delas. Dessa forma, tornou-se essencial para as organizações, de um modo amplo, o conhecimento dos seus processos e comportamento dos custos a eles associados. Não obstante, nem toda empresa pretende competir como produtor de baixo custo, mas mesmo optando por uma estratégia diferenciada, através de serviços ou itens especiais valorizados por seus clientes, precisam ter certeza de que o adicional de preço dos serviços e itens especiais mais do que cobriu o custo adicional para proporcionar tais itens

A perspectiva que as organizações adotam, ou passarão a adotar, certamente volta-se para a forma com que gerenciam sua cadeia de valor, visto que a mesma fornece o instrumento básico para a análise de custos, alegando que o comportamento dos custos de uma empresa e a posição dos custos relativos provêm das atividades de valor por ela executadas na concorrência em uma indústria (SILVA, 1999).

2.5 CUSTEIO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A visão baseada em processos mais a perspectiva de se enxergar fornecedores e clientes como extensão da empresa aumenta a necessidade de uma comunicação e troca de informações, para que todos os envolvidos possam planejar de modo conjunto e alinhado para seguir em direção aos objetivos comuns dessa nova entidade denominada cadeia de suprimentos. Atualmente, um dos principais desafios da logística é proporcionar um gerenciamento adequado das suas funções no sentido de obter um cenário confortável no que tange a relação entre custos e nível de serviço. Na logística, a melhoria da rentabilidade e da oferta de nível de serviço ao cliente são os objetivos básico (GASPARETTO, 1999). Contudo, há dificuldades em se solucionar os problemas existentes entre nível de serviço e custos consiste na falta de sistemas adequados para a gestão dos custos logísticos. Tais problemas podem ser solucionados mediante uma eficiente gestão de custos.

Conforme Guerreiro et al. (2013), as cadeias de suprimento existem, e o que faz a diferença é a conscientização dos gestores quanto à sua existência, levando aos diferenciais de gerenciamento de uma rede. Na atividade logística tem-se considerado, com frequência, o custeio baseado em atividades que procura relacionar todas as despesas relevantes necessárias à adição de valor às atividades desenvolvidas, independente de quando e onde elas ocorrem. O critério de desenho do sistema de custeio, ou seja, as regras e procedimentos para identificação, agrupamento e definição dos custos têm impactos decisivos no processo de tomada de decisão, no sentido de ajudar o gestor a entender os principais fatores que afetam as despesas com

Ferreira e Schnorr (2011), definem que a gestão dos custos logísticos favorece a tomada de decisões tais como: correta alocação de recursos, controle de estoques, decisões sobre terceirização, gerenciamento do custo versus nível de serviço prestado, eliminação de gargalos, avaliação de desempenho do sistema e melhora nos processos. Os principais custos logísticos e os fatores que afetam a sua ocorrência estão descritos no Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização dos custos logísticos

Custos	Fatores que afetam nos custos logísticos	Exemplos
Níveis de serviço	Os custos dos níveis de serviço representam os custos incorridos para atender os níveis esperados pelos clientes. A redução destes custos depende da gestão de todos os outros elementos descritos neste quadro, de forma conjunta.	Os custos de implantação de novos canais para atendimento mais rápido, utilização da internet para exposição de produtos.
Custos de lotes	A definição do mix de produção impacta diretamente nos custos de lotes. Quanto maior o mix, maior é o custo de administração e de operacionalização dos lotes.	Custo de setup de máquinas, tempo de parada, movimentação, programação e expedição.
Custos de Embalagem	Relacionados ao acondicionamento necessário para o produto e algumas vezes à diferenciação requisitada pelos clientes, para armazenagem, transporte e manuseio.	Custo de aquisição da embalagem e da aplicação, incluindo para transporte e acondicionamento.
Custos de Armazenagem	Dependem da centralização ou não da distribuição. Quanto mais centros de distribuição existir, maiores serão os custos associados. Também está relacionado aos níveis de inventário utilizados pela empresa, quanto maiores mais armazéns devem ser considerados.	Custos com armazenagem dos produtos, estrutura física necessária, número de armazéns utilizados e os custos fixos.
Custos de manutenção de inventário	Dependem, em grande parte, do planejamento e controle da produção. O planejamento define como a demanda será atendida; quanto melhor o planejamento menor a necessidade de estoque.	Custos com seguros, impostos, avaria, roubo, obsolescência e custo de oportunidade.
Custos com Planejamento e Controle da Produção	Utilização de sistemas de informação que considerem a capacidade instalada, localização, níveis de estoque etc., a fim de adequar a sincronização das entradas (insumos) com as saídas (produção). Melhorias no planejamento reduzem compras emergenciais e reduz complexidade na programação de produção.	Custos com sistemas de informação, custos com pessoas capacitadas para a realização do planejamento, custos para implantação dos controles.
Custos de Transportes	Renovação da frota, distância dos fornecedores e clientes, utilização de CD, de sistema de integração como o EDI para otimização dos fretes. Relacionar produtos e embalagem.	Combustível, custos de manutenção da frota.

FONTE: Ferreira e Schnorr (2011)

O sistema de gerenciamento dos custos logísticos pode ir além dos limites da empresa e considerar atividades desenvolvidas por outros componentes da cadeia de suprimentos. E isso passa a ter relevância no contexto atual, visto que muitos serviços que não fazem parte do core business da empresa passaram a ser terceirizados.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada na execução deste trabalho inicialmente tratará de um embasamento científico através da revisão bibliográfica da literatura existente dos temas: Logística, Métodos de Custos; Aplicação destes na cadeia de suprimentos voltados a importação e distribuição; Evolução e sua avaliação. Nesta fase, se faz necessário o aprimoramento dos conceitos fundamentais e avançados das técnicas que nortearão o projeto, na qual a utilização de livros, teses e dissertações, assim como artigos científicos recém-publicados em eventos de grande notoriedade na área aqui estudada.

Após esta introdução, será realizada um estudo de caso, buscando-se obter uma definição e identificação dos chamados “Custos Logísticos”, e a sua aplicação ao comércio nacional, especificamente, à importação de mercadorias ou produtos. Para tanto, há a necessidade da elaboração de um plano de gestão na qual objetivará a mensuração dos dados correspondentes a cada etapa do fluxo logístico, fazendo necessário, a partir disso, a orientação de uma equipe multidisciplinar composto por departamentos da empresa com a finalidade do envolvimento dos setores interessados na garantia da acurácia das informações em todos os níveis.

A fase final consiste na verificação e análise da sistemática observada, na qual, proporcionará indicadores de desempenho suficientes para identificar a eficiência da cadeia de suprimentos, os custos envolvidos no processo, além de fornecer recomendações para possíveis estudos posteriores.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS ESPERADOS

Uma possível limitação que possa ocorrer se trata na escassez de modelos já existentes e atuais que identificam e avaliam os “Custos Logísticos” sob a ótica da Cadeia Logística. A bibliografia existente apresenta poucas abordagens em relação aos “Custos Logísticos” limitando-se, na maioria das vezes, somente a medições para avaliar o nível de desempenho. Outras vezes, simplesmente refere-se ao gerenciamento do sistema de transportes e frotas, não levando em consideração os outros elos do ciclo de importação e distribuição. Em contrapartida, o mesmo passa a ter potencial inovador na sua fundamentação técnica, proporcionando um cenário otimista para melhoria contínua da Cadeia de Suprimentos na empresa a ser estudada.

Não obstante, outros fatores que implicam no sucesso de programa de análise dos Custos Logísticos, tais como motivação, envolvimento dos funcionários, programas de planejamento estratégica na empresa, na qual possa haver dificuldade de desenvolvimento caso não seja bem exposto e coordenado.

Nesta perspectiva, a partir das bases conceituais supracitadas, algumas técnicas Diante da revisão literária adotada, observa-se escassez de material que aborde custeio logístico na cadeia logística, visto, do elevado tempo de sua publicação, sem haver revisões. Assim, este projeto pretende realizar uma atualização dos conceitos existentes partindo da análise e aplicação de métodos de custos ligados à importação e distribuição de produtos eletrônicos pela Reistar Indústria e Comércio Eletrônicos. Por conseguinte, explorar a sua aplicação ao custeio da cadeia de suprimentos, buscando identificar seus pontos fortes e fracos. Ademais, analisar a eficácia das ferramentas apresentadas de forma agrupada, sendo esta uma inovação técnica e literária.

REFERÊNCIAS

- AMARO, José. Custeio da Cadeia Logística: Análise dos Custos Ligados ao Comércio Exterior. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2002.
- ARAUJO, Adryano; ROCHA, Fernando; OLIVEIRA, Andre. Análise da Logística Interna e de Indicadores de Desempenho de uma Fábrica Produtora de Fios e Cabos Elétricos. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 35, João Pessoa/PB, 2016. Anais. João Pessoa/PB: ENEGEP, 2016.
- ASSIS, Rafael; SAGAWA, Juliana. Avaliação da implantação do Sistema de Gestão de Armazém em uma empresa multinacional do ramo de acionamentos. Gest. Prod. vol.25 no.2 São Carlos Apr./June 2018 Epub Mar 15, 2018.
- CASTRO, Daniela; ALCÂNTARA, Rosane. A gestão da demanda em cadeias de suprimentos: uma abordagem além da previsão de vendas. Gestão & Produção, v. 18, n. 4, 2012.
- DOS SANTOS, Reinaldo; ALVES, João. Proposta de um modelo de gestão integrada da cadeia de suprimentos: aplicação no segmento de eletrodomésticos. Production, v. 25, n. 1, p. 125-142, 2015.
- ESTEVES, Joselfina. Avaliação comparativa do custeio baseado em atividades e do custeio variável: um estudo de caso no IPEN. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2010.
- FERREIRA, Fernanda; SCHNORR, Carla. Práticas de gestão de custos logísticos: um estudo de caso em empresa gaúcha do setor alimentício. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2011.
- FREIRES, Francisco. Proposta de um Modelo de Gestão dos Custos da Cadeia de Suprimentos. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2000.
- GASPARETTO, Valdirene et al. Custeio da cadeia logística: uma análise das ferramentas disponíveis. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 1999.
- GATTORNA, John. Introduction. Strategic Supply Chain Alignment: Best Practice in Supply Chain Management. Taylor & Francis Group, 2017.
- GUERREIRO, Reinaldo; BIO, Sérgio Rodrigues; MENDEL, Sérgio Fellous. Logística integrada, gestão da cadeia de suprimentos e mensuração de custos e resultados logísticos: um estudo com empresas brasileiras. ASAA-Advances in Scientific and Applied Accounting, 2013.
- LEITE, Caio et al. A logística e a gestão da cadeia de suprimentos: um estudo de caso em uma empresa da região do sul de Minas Gerais, 2016.
- MARTINS, Gabriel; CARDOSO, Anderson; MELO, Kamila. A percepção das práticas contábeis para gestores de microempresas e empresas de pequeno porte da área de transportes. Congresso de Contabilidade, 2015.
- MOURA, Cassiano; VALENTINA, Luiz. Aplicação de conceitos de logística em uma empresa da área têxtil. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 35, João Pessoa/PB, 2016. Anais. João Pessoa/PB: ENEGEP, 2016.

OLIVO, Rodolfo. Logística na cadeia de suprimentos: técnicas, ferramentas e conceitos. São Paulo: Saint Paul Editora, 2013.

RIBEIRO, Roberto et al. Custeio variável na produção agrícola: um estudo da aplicação do método nas culturas de soja e milho. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2018.

SANTOS, Mariana. Gestão da Cadeia de Suprimentos: estudo de caso na Empresa Itatex em Itaporanga, PB. 2014.

SCHNEIDER, Michele; VIEIRA, Adriana. A Logística como Instrumento de Desenvolvimento dos Vales da Uva Goethe. In: Congresso Sul Catarinense de Administração e Comércio Exterior. 2015.

SILVA, Liliane Sena. Nível de Serviço Logístico: Estudo de caso de uma empresa de bebidas da Paraíba. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, Sérgio et al. Um instrumento de avaliação de desempenho de recursos humanos com o uso do Sistema de Custeio Baseado em Atividades (ABC). Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 1999.

Capítulo 15



10.37423/220606127

ESTUDO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO: UM LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS CONCEITOS APRESENTADOS NA LITERATURA

Adriano Pereira da Silva

Universidade Federal da Bahia



Resumo: Constantemente os Sistemas de Informação (SI) estão presentes nas entidades com vistas a aperfeiçoar, bem como automatizar processos, substituindo a forma tradicional de como as atividades eram realizadas e de como as informações eram tratadas e armazenadas. Assim, este artigo tem como objetivo pesquisar os Sistemas de Informação através da sua aplicação contemporânea, tal como descrever o desenvolvimento de um Sistema de Informação; aclarar sobre aquisição de um Sistema de Informação; elucidar a respeito do Sistema de Informação Empresariais; e evidenciar aspectos relevantes do Sistemas de Informação ERP. Portanto, visando contribuir para uma melhor percepção acerca dos benefícios gerados através do seu uso nesse contexto, no qual, para atingir os objetivos propostos, será utilizado o método de pesquisa bibliográfica como fonte de informação, a partir do material já publicado a respeito do tema estudado. Por conseguinte, a análise dos sistemas de informação desenvolvida neste artigo propiciou na estruturação de conceitos e concepção no estabelecimento de conexões de julgamento, na qual o propósito de agrupar os sistemas de informação por suas semelhanças e diferenças é de facilitar o entendimento de seu papel nas organizações.

Palavras-chaves: Sistemas de Informação. Automatizar atividades. Método de pesquisa bibliográfica

1 INTRODUÇÃO

O mundo empresarial moderno propõe invenções e inovações constantemente, promovendo alterações significativas na conjuntura organizacional de maneira ampla, na qual as máquinas, ferramentas e dispositivos passaram a fazer parte dessa nova realidade. Nesse contexto, observa-se, a proliferação das empresas industriais que se devotam em organizar seu ambiente interno para que possam produzir cada vez mais propícia a um ambiente informatizado. Essa mentalidade, com o foco na sistematização dos processos conduzem a uma evolução dos processos. Assim, com o volume crescente de informações, de caráter científico, tecnológico e de negócios, as instituições passam a buscar meios que favoreçam a coleta, sistematização e disponibilização dessas informações a fim de subsidiar seu processo decisório contribuindo para sua permanência no mercado (FALSARELLA et al, 2003).

Diante disso, a era da Informação e sistema vêm sendo associados, pois ao mesmo tempo em que, nos aspectos terminológicos e conceituais, a informação assume as características do contexto, ou seja, do sistema na qual está inserida, perfaz uma característica funcional e organizada sob um fator que estabelece como parte necessária a um sistema, responsável pelo funcionamento organizado dos padrões atuais de interação e integração. Por sua vez, a questão norteadora desse trabalho é: Quais os principais conceitos apresentados na literatura sobre dos sistemas de informação?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Pesquisar os Sistemas de Informação através da sua aplicação contemporânea.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever o desenvolvimento de um Sistema de Informação;
- Aclarar sobre aquisição de um Sistema de Informação;
- Elucidar a respeito do Sistema de Informação Empresariais;
- Evidenciar sobre Sistemas de Informação ERP.

2.3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa vem a contribuir para uma melhor percepção acerca dos benefícios gerados através da utilização do Sistema da Informação no contexto contemporâneo, a partir de estudos práticos de pesquisa, que, por conseguinte, refletem na adequação empresarial dos recursos tecnológicos dispostos para novos processos da informação, além da aquisição e promoção do conhecimento.

2.4 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, será utilizado o método de pesquisa bibliográfica como fonte de informação, a partir do material já publicado a respeito do tema estudado, constituído principalmente de livros, trabalhos acadêmicos como monografias e dissertações, artigos de periódicos, material disponibilizado na internet e outros materiais disponíveis a respeito do tema.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica permite verificar o estado do problema a ser pesquisado, sob o aspecto teórico e de outros estudos e pesquisas já realizados. Assim, sustenta à coleta e análise dos dados e apresenta os conceitos, teorias e modelos que irão sustentar a argumentação que se segue.

3.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO

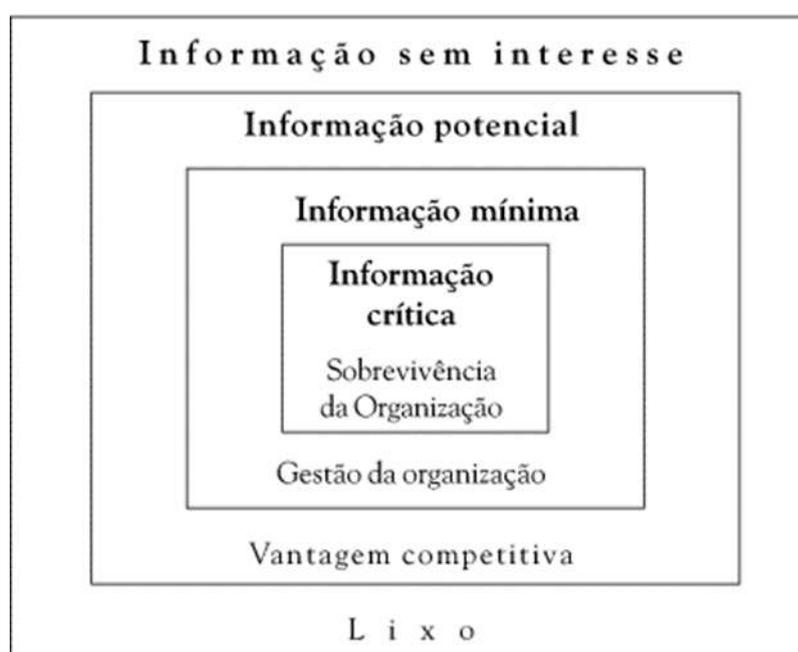
Conforme Moresi (2000), observa-se hodiernamente uma aceitação por parte da sociedade pós-industrial, na qual o setor econômico apresenta comportamentos holísticos universais da informação, cujo fator principal está amparado no capital precioso dos recursos produtivos, ademais, materiais e financeiros. Assim, nesta nova concepção do mercado, torna-se fundamental o significado que a informação se revela como uma realizada dos padrões essenciais de competição, visto que a aceitação desta ideia a coloca como o recurso-chave de competitividade efetiva, de diferencial de mercado e de lucratividade nesta nova sociedade.

Por conseguinte, percebe-se a necessidade da informação dentro das organizações num sentido amplo, visto q sua constituição abrangente de dados a serem processados, na qual o uso dos recursos principais na tomada de decisão é utilizado na sua forma de gestão, estando diretamente relacionadas com os objetivos traçados. Dessa forma, a informação é considerada e utilizada em quase todas as entidades como instrumento estruturante multidisciplinar interdepartamental. Outrossim, a gestão efetiva de uma organização requer a percepção objetiva e precisa dos valores da informação e do sistema de informação (TENÓRIO, 2015).

Para tanto, justifica-se essas concepções a partir de aspectos relativos ao valor da informação, sendo apresentada por meio de uma análise sobre os níveis hierárquicos da informação no processo decisório de uma organização. Os quatro níveis abordados são os seguintes: dados, informação, conhecimento e entendimento (URDANETA,1992). Assim, realiza-se uma conjectura do valor do sistema da informação, fundamentando-se através de uma equação metafórica composta dos seguintes fatores: portfólio de produtos e serviços, qualidade, custo e tempo de resposta. Em linhas gerais, analisa-se aspectos relativos ao planejamento de desenvolvimento e a cadeia de valor de um sistema de informação.

Diante deste, assume-se um papel de aceitação por parte dos usuários da informação, cujo valor se transforma através da cadeia de valor em que os recursos da organização estão inseridos. Assim, as distintas informações que se relacionam a outros recursos – sendo estes alocados de forma diferentes – dificultam ou até mesmo impossibilita sua categorização em sentido econômico. Em reflexo a isso, as organizações são motivadas, por meio de alternativas do gerenciamento da informação, direcionadas as novas tecnologias, haja vista de se encontrar maior aplicabilidade de seus modelos tradicionais (MORESI, 2000). Portanto, uma derivação desta classificação deve ser feita em função do papel que a informação pode desempenhar nas atividades de uma organização (informação crítica, mínima, potencial, sem interesse), conforme é apresentado a seguir.

Figura 1 – Classificação da Informação



MORESI (2000)

Por conseguinte, Moresi (2000) informa a tratativa dessa estrutura, no qual diz:

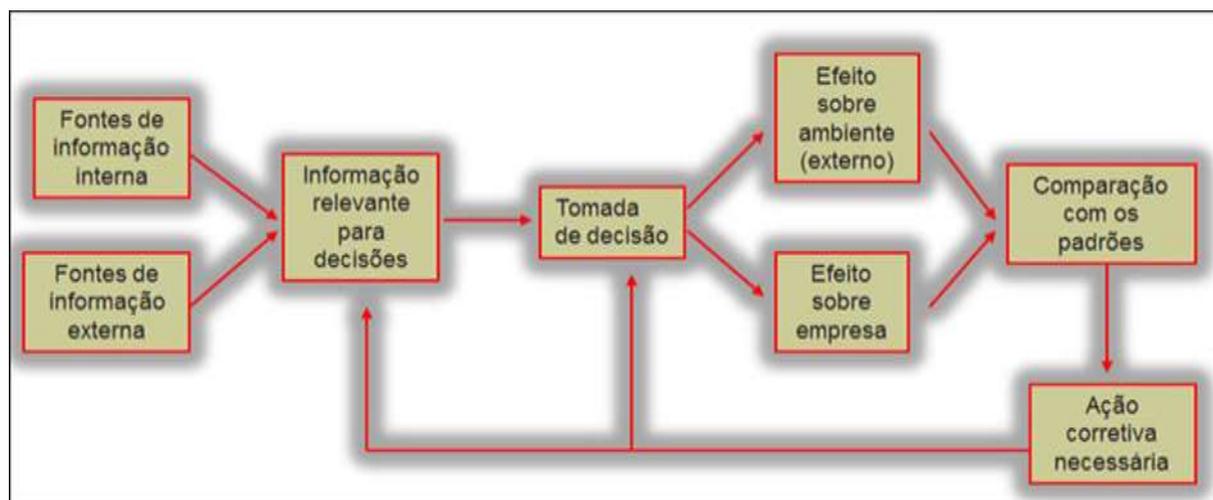
Reconhecendo a importância da informação, muitas organizações não são sensíveis a alguns excessos na busca e na manutenção da informação. Os esforços principais de uma organização devem priorizar a busca e a manutenção das informações crítica, mínima e potencial, respectivamente. Em relação à informação sem interesse, o esforço é, obviamente, no sentido de se evitar desperdício de recursos na sua obtenção. A aceitação do princípio subjacente a classificações como esta é comum e utilizado em muitas abordagens de gerenciamento da informação. Contudo, a operacionalização deste princípio é muito delicada, pois a classificação de uma dada informação, em particular, em uma destas classes é, obviamente, um problema de difícil resolução prática (MORESI, 2000).

Nesse sentido, a tomada de decisão na organização é considerada como característica intrínseca no desempenho das funções estratégicas. Pois, independentemente dos âmbitos e variáveis da decisão, as providências devem ser estruturadas mediante atitudes de processos sistemáticos, cujo envolvimento de estudos do problema de acordo com levantamento de dados, produção de informação, estabelecimento de propostas de soluções, escolha da decisão, viabilização e implementação da decisão e análise dos resultados obtidos. Não obstante, a cultura organizacional orienta que a tomada de decisão é formada por padrões e procedimentos que específicos que estabelecem valores que influenciam como a organização enfrenta a escolha e a incerteza. A combinação esperada entre cultura, comunicação e consenso melhora a eficiência e ajuda a alcançar um nível mais elevado de comportamento de escolha racional (GUIMARÃES; ÉVORA, 2004).

Em linhas gerais, entende-se que o estudo organizado da entidade permite conhecer os mecanismos da comunicação formal e informal, reconhecendo-o como meio pelo qual os participantes se relacionam dentro da organização e como é empregado para apoiar as decisões, almejando as metas individuais e coletivas. Assim, Guimarães e Évora (2004) explicam que “nestes ambientes, valores são agregados à informação, transformando-a em matéria-prima para o desenvolvimento do produto da instituição. Seu objetivo principal é a busca da tomada de decisão certa, no momento oportuno, com as pessoas apropriadas, a partir da informação adequada, com o menor custo possível”.

A seguir, a Figura 2 ilustra de forma esquematizada o processo da tomada de decisão.

Figura 2 – o processo da tomada de decisão



DOS SANTOS CLARO (2013)

Assim, atenta-se que existe um processo padronizado na qual a informação passa por um sistema cuja implicação resulta numa decisão organizacional assertiva. Não obstante, reconhece-se que atualmente, as empresas necessitam cada vez mais de sistemas robustos, eficazes, eficientes e, principalmente, integráveis. Desta forma, encontram-se sistemas para cada serviço/setor, conseqüentemente seus dados, dificilmente são compatíveis e concisos, provocando muitos empecilhos para a elaboração de relatórios, afetando tomadas de decisões dentre outros problemas. Os sistemas que ajudam no compartilhamento e integração destes dados são classificados diante o quadro a seguir:

Quadro 1 – Modelos de Sistemas de Informação

SPT (Sistemas de Processamento de Transações) - É um sistema computadorizado designado ao registro de dados. Ajuda a monitorar o fluxo de informações dentro da empresa, com isso os dados poderão ser combinados para a produção de relatórios. É essencial e mais voltado para a parte operacional da organização. Ex: Quantidade de produtos no estoque, folha de pagamento, registro de compras nos supermercados.

SIG (Sistemas de Informações Gerenciais) - É um sistema que processa dados de entrada e elabora relatórios gerais de acordo com a necessidade do gerenciador. Ele auxilia na tomada de decisão e apoia no recurso de dados.

SAD (Sistemas de Apoio a Decisão) - É o sistema mais voltado para tomada de decisões, com ele é possível definir uma variedade de caminhos a serem seguidos pelo administrador. No caso, ele levanta

hipóteses através de uma análise de dados da empresa e tenta demonstrar inúmeras ações possíveis. Dá maior agilidade e segurança ao processo de decisão.

SAE (Sistemas de Apoio ao Executivo) - Assim como o SAD, o SAE é um sistema voltado para a tomada de decisões, entretanto ele além de reunir todos os dados da empresa, ele reúne também dados externos como dados da economia nacional, impostos, juros etc. Com isso, ele é capaz de formular respostas de acordo não só com a atual situação da empresa, mas também da parte externa dela. A empresa possuirá um melhor desempenho administrativo, além de ampliar o controle da organização a nível estratégico.

DESCONHECIDO (2015)

Nesse contexto, observa-se uma estrutura organizacional diante os níveis de informação, categorizados face a figura a seguir.

Figura 3 – Estrutura do Sistema da Informação



DESCONHECIDO (2015)

3.2 AQUISIÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO

De acordo com Petri e Weber (2006), a globalização é um fenômeno altamente abrangente, o qual ultrapassa as fronteiras, influenciando os mais diversos setores da sociedade, como cultural, social, financeiro, econômico e educacional. Esse fenômeno é facilitado pela rapidez nas comunicações, transportes e alimentado pela informática, como consequência a globalização rompe todos os limites imagináveis. Advento deste fenômeno estão as inovações na área da educação. Neste sentido, estas ferramentas permitem a melhoria dos processos internos de aprendizagem e a interação entre a produção científica e o agente consumidor das matérias disponíveis. Essa interação oportuniza a participação da sociedade efetivamente das publicações em todos os aspectos do conhecimento.

Entretanto, McLuhan (2005), informa que as consequências da evolução das novas tecnologias, centradas na comunicação e difusão do conhecimento, ainda não se fizeram sentir plenamente estratégico, pelo menos na maioria das organizações. Contudo, a informatização, sobretudo a baseada na era da informação, parece ser a grande novidade empresarial neste início de novo milênio. A tecnologia opera com a linguagem que nossa cultura atual dominante vive impregnada por uma cultura, particularmente a linguagem da informação. A cultura do papel representa talvez o maior obstáculo ao uso intensivo da integração da comunicação operacional e estratégica. Nesse sentido, DOS SANTOS (2008), informa que a busca sistemática de informações científicas é uma atividade indispensável à realização da pesquisa. Esta atividade fornece uma visão global sobre o estado da arte referente ao campo de atuação abordado, permitindo ao pesquisador obter uma noção clara sobre a influência de sua pesquisa no desenvolvimento do referido campo. Além disso, evita a realização de atividades de pesquisa já desenvolvidas.

Nesse sentido, recentemente observa-se que o Brasil vem adotando como protecionismo áreas essenciais para informatização (como instrumentação e informática), o mecanismo de seu desenvolvimento. Embora o mercado brasileiro não teve oportunidade de contemplá-lo e supri-lo com seus produtos para áreas correlatas. As informações a respeito desses produtos ainda são pouco acessíveis mesmo para pesquisadores, formadores de opinião. Nesse contexto, Inamasu (1996), expõe que a necessidade de desenvolver a cultura de uso de sensores e sistemas de aquisição de dados para ambientes industriais como primeiro passo, é de fundamental importância para desenvolvimento organizacional. Outrossim, com o intuito de apresentar um sistema de informação de elementos de aquisição de dados automáticos para este ambiente, observa-se projetos destinados a promover o desenvolvimento da cultura do seu uso através de um banco de dados de sensores para facilitar o acesso à informação em sistemas de aquisição de dados, bem como publicações e treinamentos na área (INAMASU, 1996).

3.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO EMPRESARIAIS

O processo empresarial passou por uma radical mudança no início no século XVIII na Inglaterra, junto à Revolução Industrial, com a mecanização do sistema de produção, vindo a tornar os métodos de produção mais eficientes com o uso de máquinas, elevando o ritmo de produção. Além da informação que passaram a ser mais difundidas, as empresas passaram a se caracterizar pela utilização do trabalho no qual organizava-se por conceitos amplamente conhecidos, realizado em etapas e especializado,

sendo que cada trabalhador realizava uma ação de acordo com os conhecimentos adquiridos e repassados (DE CARVALHO, 2001).

Outra fase que caracteriza uma das maiores inovações tecnológicas na era industrial foi a linha de montagem, criada por Henry Ford na fabricação de automóveis Ford, que reduziu ainda mais o tempo de produção de peças, tendo como consequência um aumento na produtividade. Dessa forma, Teixeira, Urze, Machado, (2008) comentam, que as linhas de montagem são utilizadas desde então no processo de produção em série, para que o produto em fabricação seja deslocado ao longo de postos de trabalho. Contudo, a sua eficiência depende da combinação de quatro condições indispensáveis: componentes padronizados, movimento mecânico, equipamento de precisão e processos padronizados. Em geral, o aumento da produtividade é um dos principais fatores que permite adquirir a maior parcela do mercado, e para isso acontecer é necessária uma otimização no processo, tendo como finalidade eliminar o desperdício e melhorar o fluxo da produção. Assim, a administração estratégica por produtividade total é uma das maneiras de definir os propósitos e objetivos da empresa, desenvolvendo ações que possibilitem as concretizações destas expectativas.

Fatores essenciais estratégicos como técnicas para otimização de processos, mantêm um relacionamento constante com indicadores de satisfação dos clientes e ações dos colaboradores. Moreira (2004) aborda os conceitos da administração da produção e operações colocando em destaque o processo de tomada de decisão, projeto do sistema de produção, operação e controle do sistema da informação empresarial.

Devido às técnicas existentes para otimização de processos em indústrias, a busca das melhores estratégias para otimização de processo através de métodos eficazes se torna imprescindível para conciliar a produtividade e qualidade dentro da informação compartilhada.

Por sua vez, dentro dos setores industriais a necessidade de elaborar e executar projetos de trabalho vem crescendo gradativamente, tendo como foco principal a tecnologia, sistemas, procedimentos e instalações. Assim, Sistema de Informação Empresariais trabalha em propor e implantar as melhores soluções pelas quais pessoas ou conjuntos de pessoas executam as suas parcelas de trabalho num sistema produtivo, amparado por confiabilidade, organização e proatividade das funções etc. (SANTOS, 2002). Dessa forma, observamos todas as unidades da organização em uma determinada área de trabalho, onde localiza-se níveis de estratégias para otimização e atualização de processos através do uso de todos os recursos existentes.

Segundo Camarotto (2007, apud MENEZES, 2010) o projeto de trabalho é executado em diferentes condições, onde visualiza a necessidade de uma nova condição do ambiente, melhoramento um cenário existente e aperfeiçoando o processo da informação num determinado local e tempo e, no desenvolvimento deste. A necessidade de melhoria surge a partir de resultados obtidos através de avaliações sistemáticas, identificado pelas metas previstas não alcançadas, ou no decorrer das atividades do sistema informacional. Portanto, o planejamento de melhoria proporciona, de forma generalizada, mudanças no método e/ou processo, buscando garantir padrões cada vez mais elevados de produtividade, proporcionando soluções dentro das condições existentes.

Portanto, as empresas em geral vêm se preocupando em analisar tempos e métodos visando à melhoria contínua dos processos, onde a determinação das melhores práticas para os sistemas de informação empresariais são fatores preponderantes para o aumento da competitividade.

3.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO ERP

No atual contexto que as empresas estão inseridas, observa-se que cada uma delas procuram aumentar sua produtividade, proporcionando um ambiente mais competitivo e acirrado por uma conjuntura que ofereça lucratividade, reduzindo custos e melhoria dos seus processos. Assim, Padilha (2005), informa que “agregando mais valor ao produto e se diferenciando da concorrência ou se especializando em algum segmento ou nicho de mercado”. Em linhas gerais, é dito que:

Os sistemas de informação estão em evolução contínua desde que os processos produtivos e a cadeia produtiva começaram a despertar o interesse da alta administração. Em pouco tempo, houve uma evolução que consistiu no surgimento do MRP - *Material Requirements Planning*, passando pelo MRPII - *Manufacturing Resources Planning* e chegando ao *Enterprise Resource Planning* – ERP (PADILHA, 2005).

Diante disso, de acordo com Riccio (2001), informa que “os sistemas empresariais integrados têm sua origem na necessidade das empresas em gerir suas estruturas organizacionais – cada vez mais complexas e dinâmicas”. Nesse sentido, os sistemas ERP (*enterprise resource planning*) são definidos por Souza (2000), como “sistemas de informação integrados, adquiridos na forma de um pacote de software comercial, com a finalidade de dar suporte à maioria das operações de uma empresa”. Assim, dividem-se em módulos que se comunicam e atualizam uma mesma base de dados central, cujo modo que informações alimentadas num módulo são instantaneamente disponibilizadas para os demais módulos que delas dependam. Por conseguinte, os sistemas ERP permitem ainda a utilização de ferramentas de planejamento que podem analisar o impacto de decisões de manufatura, suprimentos, finanças ou recursos humanos em toda a empresa (SOUZA, 2000).

Por outro lado, os sistemas ERP fornecem rastreamento e visibilidade global da informação de qualquer parte da empresa e de sua Cadeia de Suprimento, o que possibilita decisões inteligentes. Diante disso, estes Sistemas, também chamados no Brasil de Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, controlam e fornecem suporte a todos os processos operacionais, produtivos, administrativos e comerciais da empresa. Todas as transações realizadas pela empresa devem ser registradas para que as consultas extraídas do sistema possam refletir o máximo possível a realidade (PADILHA, 2005).

Não obstante, Padilha (2005), ainda expõe que:

Pode-se dizer que o ERP é um sistema integrado, que possibilita um fluxo de informações único, contínuo e consistente por toda a empresa, sob uma única base de dados. É um instrumento para a melhoria de processos de negócios, como a produção, compras ou distribuição, com informações on-line e em tempo real. Em suma, o sistema permite visualizar por completo as transações efetuadas pela empresa, desenhando um amplo cenário de seus negócios (PADILHA, 2005).

Entretanto, Mendes e Escrivão (2002), colocam como principais dificuldades a constante atualização constante do sistema e gerenciamento das versões, visto que mesmo o sistema já implantado, deve-se manter em desenvolvimento contínuo, afim de otimizar os processos, na qual os participantes do sistema possam usufruir de novos recursos, incorporando métodos e corrigindo falhas ou problemas organizacionais. A adoção de um ERP é um processo de mudança organizacional envolvendo alterações nas tarefas e responsabilidades de indivíduos, departamentos e relações entre os departamentos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na tentativa de compreender a interação existente entre os diversos conceitos e termos referente aos sistemas de informação apresentados e abordados na literatura, observa-se uma interação e intenção de caracterizar as definições comuns, visto pela pouca abrangência de estudos modernos, na qual a produção científica se limita em novos conceitos e reestruturar definições já consolidadas. Como a informação é um elemento determinante em um sistema de informação, então nada mais coerente do que considerá-la como tal para estudar comparativamente essa relação.

Nesse sentido, a análise dos sistemas de informação desenvolvida neste trabalho objetivou na estruturação de conceitos e concepção de estabelecer conexões de análise, na qual o propósito de agrupar os sistemas de informação por suas semelhanças e diferenças é de facilitar o entendimento de seu papel nas organizações.

Em linhas gerais, identifica-se que os sistemas de informação nas empresas tendem a serem informatizados. Sabe-se também que o conceito básico sobre sistema de informação nas empresas é de que este, antes de tudo, significa o conjunto de registros e documentos referentes às operações executadas por ela. Portanto, indiferentemente aos recursos de tecnologias de informação e comunicação (TICs), pode-se afirmar que sistemas de informação nas empresas se estruturam basicamente na formalização dos dados gerados em suas operações (registros/documentos), cuja categorização é orientada pelo grau de complexidade dos registros segundo o nível organizacional, sendo imprescindível na sobrevivência organizacional.

REFERÊNCIAS

DE CARVALHO, Rogério Dardeau. A sociedade em negociação: inovações tecnológicas, trabalho e emprego. Mauad Editora Ltda, 2001.

DOS SANTOS CLARO, José Alberto Carvalho. Livro " Sistemas de Informações Gerenciais", 1 Edição, 2013, São Paulo.

DOS SANTOS, Anderson Rouge; FIRME, Caio Lima; BARROS, José Celestino. A internet como fonte de informação bibliográfica em química. Quim. Nova, v. 31, n. 2, 2008.

GUIMARÃES, Eliane Marina Palhares; ÉVORA, Yolanda Dora Martinez. Sistema de informação: instrumento para tomada de decisão no exercício da gerência. Ciência da informação, v. 33, n. 1, p. 72-80, 2004.

Tipos de Sistemas de Informações Empresariais (SPT, SIG, SAD e SAE). Disponível em: <<http://fsi2015linuxrules.blogspot.com/2015/06/tipos-de-sistemas-de-informacoes.html>> Acesso em 01 de Fevereiro de 2020.

INAMASU, Ricardo Y. et al. Sistema de informação em elementos de aquisição de dados para ambiente agropecuário. EMBRAPA-CNPDIA, 1996.

MCLUHAN, Herbert Marshall. O homem e os meios de comunicação. mCluhan por mCluhan: entrevistas e conferências inéditas do profeta da globalização. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

MENDES, Juliana Veiga; ESCRIVÃO, Edmundo. Sistemas integrados de gestão ERP em pequenas empresas: um confronto entre o referencial teórico e a prática empresarial. Gestão & Produção, v. 9, n. 3, p. 277-296, 2002.

MENEZES, Higor. Estudo de caso sobre a implantação da cronoanálise na silkgra. 2010. 52 p. – Dissertação (Graduação de Tecnologia em Produção) – Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga, São Paulo, 2010.

MOREIRA, Daniel Augusto. Administração da produção e operações. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MORESI, Eduardo Amadeu Dutra. Delineando o valor do sistema de informação de uma organização. Ciência da informação, v. 29, n. 1, p. 14-24, 2000.

PADILHA, Thais Cássia Cabral; MARINS, Fernando Augusto Silva. Sistemas ERP: características, custos e tendências. Production, v. 15, n. 1, p. 102-113, 2005.

PETRI, Fernanda C.; WEBER, Beatriz T. Os Efeitos da Globalização nos Processos de Integração dos Blocos Econômicos. Rev. do Programa de Pós-Graduação em Integração Latino-Americana – UFSM. v. 2. n. 2. 2006.

RICCIO, Edson Luiz. Efeitos da tecnologia de informação na contabilidade: estudo de casos de implementação de sistemas empresariais integrados-ERP. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SANTOS, Rafael Paim Cunha. Engenharia de Processos: análise do referencial teórico-conceitual, instrumentos, aplicações e casos. 2002. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

SOUZA, Cesar Alexandre de. Sistemas integrados de gestão empresarial: estudos de casos de implementação de sistemas ERP. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TEIXEIRA, Cláudio; URZE, Paula; MACHADO, Tiago. Linha de montagem: um olhar sobre o trabalho compassado. Lisboa: Celta Editora, 2008.

TENÓRIO, Fernando Guilherme. Tecnologia da informação transformando as organizações e o trabalho. Editora FGV, 2015.

URDANETA, I. P. Gestión de la inteligencia, aprendizaje tecnológico y modernización del trabajo informacional: retos y oportunidades. Caracas: Universidad Simón Bolívar, 1992.

FALSARELLA, Orandi Mina; JANNUZZI, Celeste Aída Sirotheau Corrêa; BERAQUET, Vera Sílvia Marão. Informação empresarial: dos sistemas transacionais à latência zero. Transinformação, v. 15, n. SPE, p. 141-156, 2003.

Capítulo 16



10.37423/220606160

UM ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE VARIÁVEIS PETROFÍSICAS EM UM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO

UM ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE INCERTEZAS DE VARIÁVEIS PETROFÍSICAS EM UM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO Universidade Federal de Pernambuco

André Marques Cavalcanti

Universidade Federal de Pernambuco

Auristela Maria da Silva

Universidade Federal de Pernambuco

Suely de Carvalho Roma

Universidade Federal de Pernambuco



Resumo: Este trabalho buscou esclarecer questionamentos no que diz respeito à viabilidade de projetos de recuperação de óleo, e para tal avaliou-se a propagação das incertezas de algumas variáveis petrofísicas e econômicas investigando as relações entre as incertezas de variáveis geológicas do reservatório de petróleo, além de incertezas econômicas e financeiras.

Palavras chave: Funções utilidades. Risco. Valor presente líquido. Reservatório de petróleo.

1. INTRODUÇÃO

O atual foco do mercado de exploração de petróleo e gás está centrado no aumento da competitividade internacional, tornando indispensável uma análise mais aprofundada das metodologias, exploração e avaliação de risco [Bedford *et al.* 2007]. No caso da avaliação de risco, buscam-se fatores que sirvam de suporte para a tomada de decisão das empresas ou investidores do ramo de petróleo [Ligero *et al.* 2008]. A exploração, produção e previsão de produção de um reservatório de petróleo são consideradas atividades de alto risco tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro, isso devido às inúmeras incertezas presente nesses processos. Existem diversas maneiras para realizar simulações com a pretensão de análise de risco, e uma delas é conhecida como Simulação de Monte Carlo [Filho 2006].

Um dos maiores desafios da engenharia de reservatórios é a incorporação de reservas de petróleo e gás natural, seja através do desenvolvimento de novas jazidas ou do aumento do fator de recuperação de campos já em produção. Devendo-se considerar os riscos e incertezas associadas às questões de natureza financeira, ambiental, política, tecnológica, regulatória e operacional [Costa 2003].

Na modelagem e simulação de reservatórios, as incertezas e riscos podem advir de uma informação incompleta ou de discordâncias entre diferentes fontes da informação. Isso se deve, na maioria das vezes, à falta de viabilidade técnica ou financeira na obtenção dessas informações. Mesmo diante de dados e informações completas, os riscos e incertezas ainda podem estar presentes devido a simplificações ou aproximações feitas nos modelos de simulação para torna-los mais tratáveis matematicamente [Júnior 2012].

Considerando os parâmetros de um reservatório, tomando-se as variáveis permeabilidades e porosidades em relação aos impactos na avaliação do risco, discute-se a proposição de um modelo do ponto de vista econômico e financeiro nas produções acumuladas (óleo, água e gás), representados por meio de métodos de engenharia econômica e análise de risco financeiro, como: valor presente líquido (VPL), curvas de risco, valor monetário esperado (VME), funções utilidades e equivalentes certos [Park *et al.* 2009].

Este estudo busca contribuir com a utilização de modelos de avaliação de incertezas em variáveis de reservatório de petróleo, para uma maior compreensão dos efeitos dessas nas estimativas dos riscos econômicos e financeiros em um projeto de recuperação suplementar de petróleo [Schiozer *et al.* 2004a]. Para isso, é proposta uma metodologia de integração entre modelagem e simulação

estocástica de reservatório de petróleo com engenharia econômica e ferramentas de decisão. Avalia-se um modelo de análise dos impactos da consideração de riscos em variáveis petrofísicas de um reservatório de petróleo sobre a produção de óleo, e consequentes efeitos econômicos produzidos no processo de decisão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO

Os meios porosos naturais, tais como os reservatórios de petróleo, apresentam grande variabilidade nas suas propriedades físicas e hidrodinâmicas, associando-se a escassez de informações da heterogeneidade deste meio, torna a caracterização, modelagem e simulação uma tarefa complexa com elevado grau de incerteza [Larue e Hovadik 2008], [Filho 2006], [Costa 2003], [Margueron 2003]. A caracterização dessas incertezas é importante, uma vez que se torna possível analisar os riscos, buscando-se obter uma melhor previsão e controle do processo de recuperação de óleo. Nesse sentido simulações estocásticas são adequadas para previsões em reservatórios de petróleo [Huysmans e Dassargues 2005].

A simulação de reservatórios pode ser utilizada com diversas finalidades tais como: estimar a produção de poços e do tempo de concessão do campo, quantificar o impacto das incertezas dos principais atributos do modelo de simulação, avaliar os efeitos nas modificações das condições de operação do reservatório, comparar a viabilidade econômica de diferentes métodos de recuperação, dentre outras [Júnior 2012], [Seixas 2010], [Costa 2005], [Daher 2003], [Netto 2003], [Prata 2001]. Considerando os dois principais modelos mais utilizados na simulação de reservatórios de petróleo: modelo *Black Oil* e modelo composicional, a diferença entre ambos é que este último considera a composição detalhada dos fluidos, enquanto que o modelo *Black Oil* considera apenas os dados *Pressão-Volume-Temperatura* (PVT), que incluem informações do fator volume de formação, razão gás/óleo, viscosidade, densidades, dentre outras [Rosa *et al.* 2006]. Nesse trabalho, em todas as simulações de fluxo para os modelos de reservatórios foi utilizado o *software* comercial IMEX *Implicit Explicit Black Oil Simulator* (IMEX) para simular o modelo *Black-Oil*.

As propriedades das rochas e dos fluidos são essenciais para o desenvolvimento das equações básicas para o modelo *Black-Oil* [Rosa *et al.*, 2006]. A formulação clássica deste modelo considera o fluxo isotérmico de três componentes em fases distintas: óleo, água e gás. A água e o óleo são imiscíveis, no entanto, componentes gasosos podem estar dissolvidos na fase óleo. Este modelo é utilizado com

frequência, por exemplo, nos processos de recuperação suplementar de injeção de água, através de três equações: as equações de conservação da massa, a equação de Darcy e as equações de estado que simulam o comportamento físico.

As Equações 1, 2, e 3 referem-se à conservação de massa para cada fase óleo, água e gás [Chen *et al.*, 2005], [Ertekin *et al.* 2001], respectivamente.

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\varphi \rho_o S_o}{B_o} \right) + \nabla \left(\frac{\rho_o k k_{ro}}{\mu_o B_o} (\nabla P_o - \rho_o g \nabla H) \right) - q_o = 0, \quad [1]$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\varphi \rho_w S_w}{B_w} \right) + \nabla \left(\frac{\rho_w k k_{rw}}{\mu_w B_w} (\nabla P_w - \rho_w g \nabla H) \right) - q_w = 0, \quad [2]$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\varphi \rho_g S_g}{B_g} + \frac{R_{so} \rho_g S_o}{B_o} \right) + \nabla \left(\frac{\rho_g k k_{rg}}{\mu_g B_g} (\nabla P_g - \rho_g g \nabla H) \right) + \nabla \left(\frac{R_{so} \rho_o k k_{ro}}{\mu_o B_o} (\nabla P_o - \rho_o g \nabla H) \right) - q_g = 0, \quad [3]$$

onde: ∇ é o operador divergente;

$\frac{\partial}{\partial t}$ é a derivada parcial em relação ao tempo;

k é a permeabilidade absoluta do meio, k_{ro} , k_{rw} e k_{rg} são as permeabilidades relativas para cada fase.

Os fatores volume de formação para cada fase óleo, água e gás, respectivamente, são B_o , B_w e B_g . Os parâmetros: μ_{rw} , μ_{ro} e μ_{rg} são as viscosidades das fases óleo, água e gás, respectivamente. As saturações das fases óleo, água e gás são dadas, respectivamente, por: S_o , S_w e S_g . As pressões das fases óleo, água e gás, respectivamente, são: P_o , P_w , e P_g . Além disso, φ é a porosidade, g é a força gravitacional, H é a carga hidráulica e R_{so} é a razão solubilidade do óleo. Por fim, q_o , q_w e q_g são as funções correspondentes aos termos fonte-sumidouro dos fluidos, calculados em função das condições de superfície.

A equação de Darcy [1856] apresentada em Rosa *et al* [2006] possui grande importância no estudo de transporte de fluidos em meios porosos, que na maioria das vezes, é o maior interesse nas modelagens e simulações. Dois parâmetros bastante influentes nessa equação são: a permeabilidade e a porosidade. As equações descritas acima, foram escritas considerando o fluxo de fluidos dado pela Lei de Darcy generalizada. Vale ressaltar que existem outras equações devido ao efeito de capilaridade, compressibilidade, fator volume de formação, densidade, mobilidade, porosidade, permeabilidade,

dentre outras. Para mais detalhes as seguintes referências podem ser consultadas [Rosa *et al.* 2006], [Thomas 2004]

2.2. RISCOS E INCERTEZAS EM RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO

O tema análise de risco e incerteza, atualmente vem ganhando destaque em vários campos de estudo, por conseguinte, muitos trabalhos estão sendo desenvolvidos e aprimorados quando se pretende estudar reservatórios de petróleo [Schiozer *et al.* 2004a], [Schiozer *et al.* 2008]. Em um processo de decisão existem diversos riscos associados, dessa forma em uma situação de risco em projetos de exploração e produção de petróleo, o tomador de decisão tem a liberdade entre escolher investir ou não no projeto. Nesse processo de escolha as incertezas são características intrínsecas do sistema, sendo muito difícil a total exclusão das mesmas. Isso torna o processo de decisão de investimento arriscado, uma vez que as incertezas são as fontes causadoras dos riscos [Park *et al.* 2009], [Ligero *et al.* 2008], [Schiozer *et al.* 2004b].

Devido à dificuldade de englobar muitos dos tipos de incertezas e todas as variáveis que apresentam risco no modelo de simulação, normalmente são determinadas as variáveis críticas que influenciam significativamente nos resultados. Essas variáveis podem ser encontradas a partir de um estudo de sensibilidade das variáveis em questão [Silva 2001], [Costa 2003]. As variáveis que influenciam significativamente nas simulações de reservatórios de petróleo são: a permeabilidade e a porosidade [Oliveira 2009], [Keehm *et al.* 2006], [Ghassemzadeh e Sahimi 2004]. O conhecimento da permeabilidade é necessário para estimar a quantidade de óleo ou gás presente no reservatório, a quantidade que pode ser recuperada, a taxa de fluxo de petróleo ou gás, a previsão da produção futura e o projeto de instalação de produção [Olatunjia *et al.* 2010]. Para obtenção de previsões a respeito do transporte hidrodinâmico do meio poroso do reservatório, utiliza-se o método de Monte Carlo.

2.3. CONJUNTOS FUZZY

A teoria dos conjuntos *Fuzzy* foi estruturada em 1965 pelo Dr. Lotfi Zadeh da Universidade da Califórnia para tratar e representar imprecisão. Essa teoria torna-se importante na medida em que muito do mundo em que vivemos não é constituído por fatos absolutamente verdadeiros ou falsos, permitindo representar graus de verdade intermediários entre aqueles da lógica clássica ou bivalente [Braña 2008], [Caneppele 2007]. A lógica *fuzzy* permite combinar as imprecisões associadas às medidas dos eventos naturais realizadas pelo homem com o poder computacional das máquinas para interpretar sistemas complexos de uma forma rápida, robusta e flexível. Por exemplo, na engenharia de

reservatórios, o valor do parâmetro permeabilidade é tratado de forma numérica para construção de um modelo numérico de um reservatório. Neste caso é necessário modificar o conceito binário da lógica aristotélica para o conceito *fuzzy* ou lógica nebulosa. A variável permeabilidade pode ser associada a conjuntos *fuzzy* com as seguintes qualidades: baixo, médio e alto.

Portanto, é necessário o fornecimento do conjunto de regras a partir do qual se tem uma relação entre as informações de entrada e as informações de saída. Essa dedução lógica utilizando-se um conjunto de regras *fuzzy* é chamada de inferência *fuzzy*. Existem vários tipos de estrutura para descrever inferências *fuzzy*, como os métodos Sugeno [1985] e o Mamdani [1974]. Quando existe um elevado grau de complexidade para solucionar problemas de forma quantitativa, o método *fuzzy* tem se mostrado uma alternativa bastante eficaz, uma vez que o mesmo utiliza as relações de inferência que são baseadas em conhecimentos de especialistas.

2.4. ENGENHARIA ECONÔMICA

Em todo e qualquer projeto de investimento são levados em conta, pelo menos três critérios: técnicos, financeiros e econômicos. Os critérios técnicos estão relacionados, basicamente, à disponibilidade de equipamentos e tecnologias na execução dos projetos; os critérios financeiros estão relacionados à disponibilidade de recursos; e os critérios econômicos relacionam-se com a rentabilidade do investimento. Como o custo do dinheiro é um fator a ser considerado na tomada de decisão, busca-se completar a análise com os índices que estão relacionados com este fator. Nesse caso são utilizados métodos tradicionais de alocação de capital, tais como a análise do valor presente líquido (VPL) e o valor monetário esperado (VME) [Park *et al.* 2009], [Ligero *et al.*, 2008]. O VPL é a soma algébrica de todos os fluxos de caixa descontados para o instante presente ($t=0$), a uma taxa de juros (d). Na área de reservatório de petróleo existem diversos trabalhos que utilizam este indicador de investimento [Seixas 2010], [Castiñeira 2008].

A equação 4 representa o VPL do fluxo de caixa da operação de um reservatório:

$$VPL(x_{p,t}) = \sum_{\tau=0}^T \left[\frac{1}{(1+d)^\tau} \right] F_\tau(x_{p,t}), \quad [4]$$

onde:

d é a taxa de desconto aplicada ao capital;

T é o tempo final ou tempo de concessão do projeto;

F_τ é o fluxo de caixa da operação no tempo τ .

Uma ferramenta bastante utilizada para análise econômica considerando incertezas é o valor monetário esperado. Essa função representa a média ponderada do Valor Presente Líquido (VPL) de cada um dos resultados possíveis dentro de uma alternativa de decisão, em outras palavras, é o produto do VPL pela sua probabilidade de ocorrência. Existem muitos trabalhos que utilizam tal função nas análises econômica para a indústria de petróleo [Park *et al.* 2009], [Ligero *et al.* 2008], [Schiozer *et al.* 2004a].

2.5. TEORIA DA UTILIDADE E EQUIVALENTE CERTO

O grande marco na Teoria da Utilidade foi a publicação de “*Theory of games and economic behaviour*”, por John Von Neumann e Oskar Morgenstern em 1944, quando houve a associação da Teoria da Utilidade com a Teoria da Decisão e a Teoria dos Jogos [Nepomuceno 1997]. Portanto, uma forma conveniente de expressar a preferência em relação ao risco é por meio das funções utilidade. A função utilidade é construída atribuindo-se um valor numérico maior (peso) para o melhor resultado possível, e um valor numérico menor para o evento menos preferível, ou seja, realizar uma ponderação.

Existem basicamente três tipos de comportamento de um decisor frente ao risco que são: avesso, indiferente e propenso. A Utilidade esperada do projeto é dada por:

$$\begin{aligned} E(U) &= p_1 U(VPL_1) + p_2 U(VPL_2) \\ E(U) &= -p_1 e^{-cVPL_1} - p_2 e^{-cVPL_2} \end{aligned} \quad [5]$$

Em que:

c = coeficiente de aversão ao risco

VPL_1 = Valor presente líquido no caso de sucesso

VPL_2 = Valor presente líquido no caso de fracasso

p_1 = Probabilidade de sucesso

O Equivalente Certo surge da comparação entre uma opção de investimento incerto e arriscado, com possibilidade de perdas, e outra sem incerteza ou risco. Então ele é o valor certo oferecido para o qual existe indiferença entre recebê-lo ou participar de um determinado jogo ou investimento [Margueron 2003]. Em outras palavras o equivalente certo (EqC) de um projeto de risco é o valor que o decisor está disposto a receber para desistir do projeto, ou de uma opção de risco (um jogo, por exemplo). Os decisores podem apresentar os seguintes comportamentos: Indiferente ao Risco: EqC = VME; Propenso ao Risco: EqC > VME; Averso ao Risco: EqC < VME.

Dessa forma, para quem é avesso ao risco, o equivalente certo é menor do que o valor esperado. Por definição, a utilidade do equivalente certo é igual à utilidade esperada do jogo, equação 6:

$$U(EqC) = E(u). \quad [6]$$

Para uma função utilidade do tipo $U[x] = -e^{-cx}$, o equivalente certo assumirá a forma expressa na Equação [7].

$${}_{i=1}^n EqC = -\frac{1}{c} \ln(\sum p_i e^{-cVPL_i}). \quad [7]$$

Onde:

EqC = Equivalente certo do projeto.

VPL_i = Valor presente líquido do evento i .

p_i = Probabilidade de ocorrência do evento i .

Dessa forma o VME do projeto que possuir o maior equivalente certo será o mais viável. Assim uma das maneiras de se encontrar a probabilidade de sucesso e fracasso que são utilizadas para obter o VME e o EqC pode ser dadas a partir de conjuntos *fuzzy*.

3. MODELO APLICADO E RESULTADOS

As incertezas dos parâmetros petrofísicos foram consideradas a partir de simulações estocásticas onde as propriedades permeabilidades e porosidades foram consideradas incertas, atribuindo-se a elas campos com distribuição aleatória de valores. Em cada um dos tópicos a seguir serão apresentados os principais resultados das simulações realizadas.

3.1. SIMULAÇÕES ESTOCÁSTICAS

No modelo de reservatório deste trabalho são consideradas as incertezas nas duas permeabilidades horizontais das duas camadas mais profundas e os valores das permeabilidades horizontais de todas as células. No entanto, os valores de permeabilidades são sorteados, aleatoriamente, de modo a obter uma função distribuição de probabilidade log-normal, com média e desvio padrão dados. Os campos de porosidades correspondentes aos de permeabilidades são obtidos a partir da relação de Kozeny-Carman [Kokezy 1927]. Na natureza é observada uma relação forte entre a porosidade e a permeabilidade. Considerar uma relação para essas variáveis faz com que o modelo fique mais próximo da realidade.

Ressalta-se que foram obtidos campos de permeabilidades e porosidades sem correlação espacial, ou seja, os valores de cada propriedade da célula (bloco) de uma das camadas foram obtidos de maneira aleatória. Todos os campos foram obtidos considerando um coeficiente de variação ($CV=60\%$), para as permeabilidades horizontais do caso base do reservatório. Esse alto valor do CV foi escolhido propositalmente, a fim de “englobar” incertezas de outras categorias nas permeabilidades e porosidades. Os valores de permeabilidades na direção vertical k em todas as camadas foram dez vezes menores que nas direções i e j , e o período de simulação do reservatório foi igual ao período de concessão de 30 anos, isso para todas as simulações.

Foram simulados 1.000 campos de permeabilidade e porosidades para cada uma das três camadas do reservatório utilizando o programa Imex v2015. Toda a simulação durou aproximadamente 60 minutos em um *workstation* de 8 núcleos de processamento (3.0 GHz cada) com 24 Giga de memória RAM. Na execução desse processo foi necessária a manipulação e simulação de mais de 10.000 arquivos de dados, que possivelmente para um modelo de reservatório de petróleo mais discretizado se tornaria uma tarefa impraticável, com o recurso computacional disponível. Para fazer as simulações foi necessário o desenvolvimento de uma estrutura de armazenamento e gerenciamento de banco de dados, uma vez que cada uma dessas simulações forneciam diversas informações em estruturas de dados distintos. Todo o controle dos dados e simulações do reservatório foi feito em ambiente *Linux* com diversos *scripts* do *Shell* e *Matlab*.

A Tabela 1 mostra as estatísticas das médias das permeabilidades e porosidades das 1.000 realizações utilizadas para este estudo. A Figura 1 mostra as produções acumuladas de óleo, água e gás obtidas das 1.000 simulações estocásticas (Monte Carlo) de campos de permeabilidades e porosidades (curvas em azul), comparadas com a simulação determinística do caso base (curvas em vermelho). Vale lembrar que no caso base a simulação foi realizada com campos de permeabilidades homogêneas nas camadas, ou seja, todos os valores de permeabilidades eram iguais a um determinado valor em cada camada, e os campos de porosidade ou, melhor dizendo, os valores em todas as camadas constantes igual a 0,3.

Na Figura 1, observa-se uma grande diferença nas produções acumuladas entre o caso determinístico (base) e as simulações de Monte Carlo. Isso se deve pelo fato de que, nas simulações de Monte Carlo os valores maiores de permeabilidades coincidem com aqueles de maior porosidade e vice-versa, promovendo assim um fluxo mais consistente com a realidade. Os histogramas das 1.000 simulações

de Monte Carlo com as produções acumuladas de óleo [Np], água [Wp] e gás [Gp] são mostrados na Figura 2.

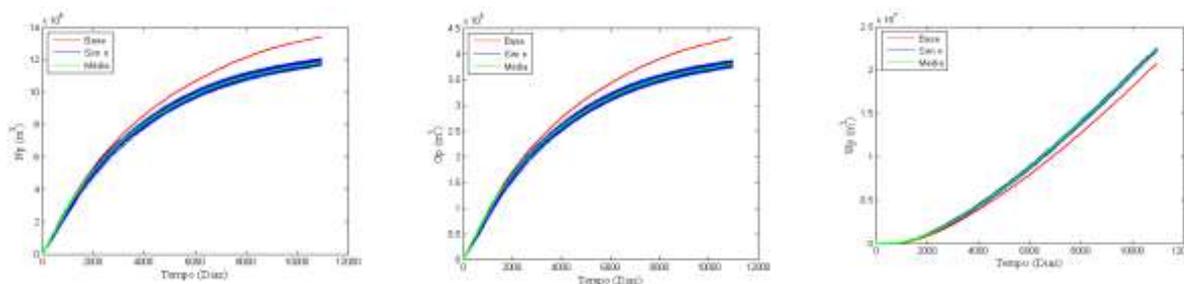
Tabela 1: Estatísticas das médias das médias de 1.000 campos de permeabilidades e porosidades correlacionadas.

Camada	Média das Permeabilidades [mD]	Desv. Pad.	Média das Porosidades	Desv. Pad.
1ª Camada	204,79	0,459	0,2728	$2,43 \times 10^{-4}$
2ª Camada	51,21	0,087	0,1863	$1,318 \times 10^{-4}$
3ª Camada	512,03	0,358	0,3441	$2,344 \times 10^{-4}$

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 2 mostra uma diferença de aproximadamente 8 % entre a simulação determinística e estocástica para a produção acumulada de óleo, 4% para produção acumulada de água, e 8% para produção acumulada de gás. Esta diferença corresponde, aproximadamente, a superestimar 6,3 milhões de barris de petróleo, subestimar 5,3 milhões de barris de água, e superestimar 32 milhões de metros cúbicos de gás, nas simulações determinísticas. Dessa forma observa-se uma grande variação nas produções acumuladas, no período de 30 anos, quando consideradas, nas simulações estocásticas, uma relação entre permeabilidades e porosidades. A Tabela 2 mostra os valores das estatísticas da Figura 2, e valores da simulação do caso determinístico.

Figura 1. Curvas de produção acumulada de óleo, água e gás do caso base com a média das 1000 realizações de campos.



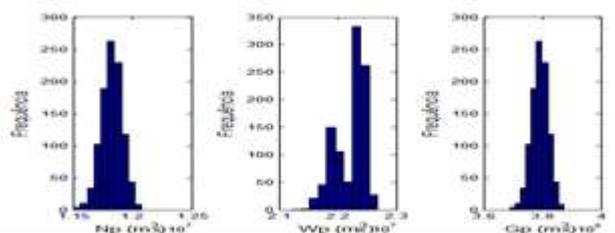
Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2. Estatísticas das produções acumuladas.

Simulação	Np [m ³]	Desv. Padrão Np	Wp [m ³]	Desv. Padrão Wp	Gp [m ³]	Desv. Padrão Gp
Determinística	$1,282 \times 10^7$	-	$2,137 \times 10^7$	-	$4,111 \times 10^8$	-
Estocástica	$1,183 \times 10^7$	$8,682 \times 10^4$	$2,222 \times 10^7$	$2,501 \times 10^5$	$3,792 \times 10^8$	$2,784 \times 10^6$

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 2. Histograma das produções acumuladas das simulações.



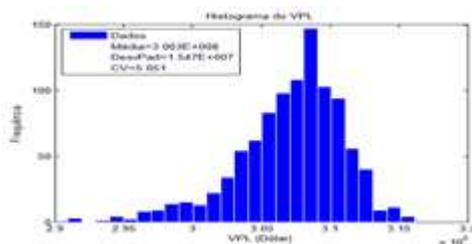
Fonte: Elaborado pelo autor

3.2. ANÁLISES DE ENGENHARIA ECONÔMICA

A Figura 3 mostra o histograma do VPL para as 1.000 realizações de campos de permeabilidades e porosidades. Pode-se notar um comportamento seguindo, aproximadamente, uma distribuição de probabilidade normal dos dados.

Após a obtenção das 1.000 simulações de Monte Carlo do reservatório, foi possível encontrar uma média para todas as produções acumuladas de óleo, água, gás e injeção de água. Com isso, foi possível realizar outro conjunto de simulações de Monte Carlo, considerando agora, variabilidades nas produções acumuladas e também na taxa mínima de atratividade. As variabilidades nas produções acumuladas foram mantidas com um CV=1%, que foi o valor aproximadamente observado para as produções acumuladas das simulações de Monte Carlo, onde se considerou variações nas propriedades petrofísicas.

Figura 3. Histograma do VPL das simulações



Fonte: Elaborado pelo autor

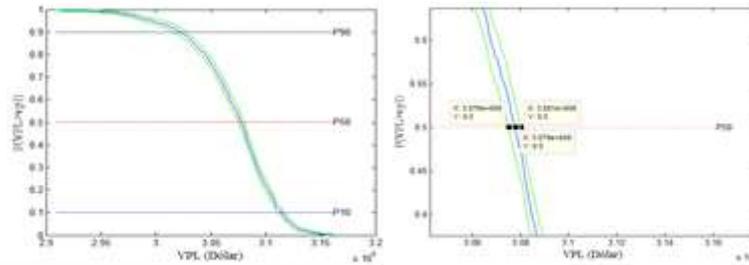
A Figura 4 mostra a curva de risco do VPL para as simulações consideradas e a Tabela 3 mostra a média e o desvio padrão deste histograma, bem como o intervalo de confiança para o percentil P50 da curva de risco. A partir da Tabela 3, observa-se uma diferença de 10% entre o VPL determinístico com o VPL estocástico. Essa diferença é considerada significativa uma vez que o volume financeiro do empreendimento é muito grande.

Tabela 3. Intervalos de confiança para o VPL.

<i>Simulação</i>	<i>EVPL [Dólar]</i>	<i>Desv. Padrão</i>	<i>Curva de risco P50 [95% de confiança]</i>
Determinística	$3,388 \times 10^8$	-	-
Estocástica	$3,079 \times 10^8$	$1,547 \times 10^7$	$[3,078 \times 10^8; 3,081 \times 10^8]$

Fonte: Elaborado pelo autor

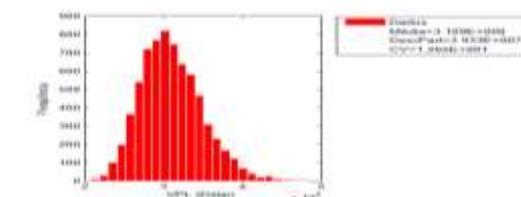
Figura 4. Curva de risco para o VPL.



Fonte: Elaborado pelo autor

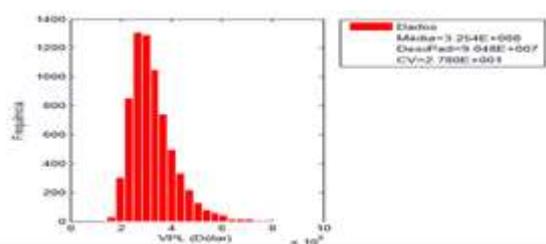
As Figuras 5, 6 e 7 mostram histogramas do VPL após a consideração de variabilidade na Taxa Mínima de Atratividade (TMA) com CV=30%, CV=60% e CV=90%, respectivamente. Para essas simulações foi possível obter um número muito maior de amostras de Monte Carlo, 7.000 amostras, uma vez que não é mais necessária a simulação do reservatório, pois essa já foi considerada para obtenção das médias e desvios padrões das produções acumuladas. Observa-se que à medida que o valor do coeficiente de variação aumenta, isso para a taxa mínima de atratividade, o histograma vai perdendo a característica de distribuição normal e apresentando características de distribuição exponencial ou de Poisson. O coeficiente de variação para o VPL para o caso considerando com TMA [CV=30%] foi de [CV_{VPL}=12%], que é bem maior comparado com o caso sem considerar variabilidade da TMA onde se tem VPL com CV=5%, comparar com a Figura 3. Isso mostra que a consideração de variabilidade de natureza econômica (TMA) influencia fortemente na volatilidade do VPL, ou seja, a TMA é variável bastante sensível para a função VPL.

Figura 5: Histograma da consideração de TMA com CV=30%.



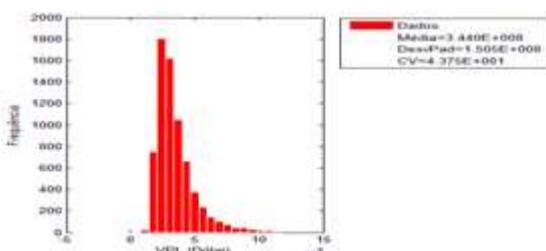
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6: Histograma da consideração de TMA com CV=60%.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 7. Histograma da consideração de TMA com CV=90%.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 CONJUNTOS FUZZY E O EQUIVALENTE CERTO

Busca-se aqui estimar a probabilidade de sucesso na exploração de poços que é função das variáveis: informações geológicas, volume estimado de óleo, tamanho do campo de exploração, profundidade do reservatório e tecnologia disponível para a exploração. Vale ressaltar que o peso para todas as variáveis, impostas no conjunto *fuzzy*, foram os mesmos, ou seja, todas as variáveis possuem relevâncias iguais no processo.

Aplicando-se com seis regras de inferências *fuzzy*, obtém-se as estimativas da probabilidade para cada variável. Então, aplica-se o processo de defuzificação para obtenção da probabilidade de sucesso exploratório para as condições do reservatório estudado, imposta no sistema *fuzzy*, onde se verifica que é de aproximadamente 65% (considerada uma probabilidade média). Esse valor de probabilidade será utilizado para calcular o valor esperado da utilidade e o equivalente certo do projeto de exploração e exploração do reservatório estudado.

Visando o maior retorno econômico, é buscada a maximização do valor monetário esperado (VME) e também a obtenção do Valor Esperado da Utilidade. Tomando-se os valores constantes da Tabela 2 e aplicando-se a probabilidade estimada de sucesso de 0,65 obtém-se o valor de VME = U\$ 186,135 milhões com $VPL_1 = U\$ 3,079$ milhões quando do sucesso e $VPL_2 = -U\$ 40,0$ milhões quando do

fracasso. Por outro lado, para definir o menor montante determinístico que torna o decisor indiferente a participação em um projeto de risco, pode-se utilizar o conceito de equivalente Certo (EqC). Nesse caso busca-se o valor mínimo que faz o investidor abandonar um projeto ariscado.

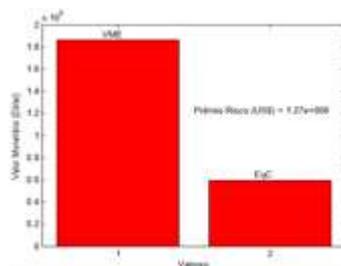
A partir da equivalência entre o valor Esperado da Utilidade (VEU) com a Utilidade do Equivalente Certo, pode-se encontrar a seguinte relação:

$$\begin{aligned} U(EqC) &= VEU, \\ -e^{-c(EqC)} &= p(-e^{-c(VPL_1)}) + (1-p)(-e^{-c(VPL_2)}), \\ e^{-c(EqC)} &= pe^{-c(VPL_1)} + (1-p)(e^{-c(VPL_2)}), \\ -c(EqC) &= \ln(pe^{-c(VPL_1)} + (1-p)e^{-c(VPL_2)}), \\ EqC &= -\frac{1}{c}\ln(pe^{-c(VPL_1)} + (1-p)e^{-c(VPL_2)}). \end{aligned}$$

Considerando K=400 milhões de dólares o capital exploratório do projeto e atribuindo-se para o coeficiente de aversão ao risco $c = 4/400 = 0.01$ milhões com $p=65\%$, $VPL_1=3,079 \times 10^8$ e $VPL_2= -40$ milhões [investimento inicial], portanto é encontrado um equivalente certo de US\$ 59,413 milhões. Observa-se, para esse projeto com as considerações atribuídas, um nível de participação ótimo no projeto é de aproximadamente 77%, que corresponde a um EqC(VPL) de US\$ 62,18 milhões. Como notado, nesse caso como o VME é maior do que o EqC e, portanto, o processo de decisão é de aversão ao risco. Isso porque a função utilidade escolhida possui essa característica.

Agora pode ser obtido o prêmio ao risco, calculando a diferença entre o Valor Monetário Esperado e o Equivalente Certo. Portanto, dessa forma é encontrado um valor de US\$ 127,72 milhões, para o prêmio ao risco, Figura 8.

Figura 8. Prêmio ao risco do investimento



Fonte: Elaborado pelo autor

4. CONCLUSÕES

Este trabalho procurou integrar engenharia de petróleo e simulação estocástica de reservatório de petróleo com engenharia econômica. Tem como objetivo apresentar um modelo de auxílio a tomada de decisão de um projeto de exploração e produção de petróleo.

Discute-se a construção de procedimentos para avaliar os riscos e funções utilidades para o valor presente líquido além de avaliar a propagação da variabilidade e impactos das variáveis petrofísicas: permeabilidades e porosidades. Para isso são utilizados alguns conceitos e teorias da engenharia econômica. O elemento principal de estudo desse trabalho é o reservatório de petróleo. Dando atenção às variabilidades e consequentes riscos e possíveis incertezas devido a erros provenientes da falta de informações e mensuração das variáveis de caracterização do reservatório de petróleo.

Como a informação não pode ser representada de maneira completa e precisa em um modelo de reservatório e nas variáveis econômicas como um todo, não é possível obter inferências confiáveis sem considerar ao menos algo que represente esta incapacidade. As ferramentas utilizadas neste trabalho são um exemplo de como a incompletude dessas informações e dados, podem ser consideradas na modelagem, simulação e tomada de decisão de investimento em um reservatório de petróleo. Poucos foram os conflitos observados entre a modelagem e simulação, visto que o reservatório estudado exigia um período curto de simulação para a modelagem considerada e com os recursos computacionais disponíveis.

As principais conclusões encontradas referentes ao trabalho foram as seguintes: as convergências para as simulações estocásticas, de acordo com o reservatório estudado, obteve-se com aproximadamente 1.000 realizações de campos; a simulação do caso base comparadas com a do caso estocástico (Monte Carlo) superestima as produções acumuladas de óleo e gás, e subestima as produções acumuladas de água; no caso da simulação estocástica de campos randômicos, identifica-se uma diferença significativa em relação ao caso base nas produções acumuladas e VPL, algo em torno de 8% para o N_p , 4% para o W_p , 8% para o G_p e 10% para o VPL, demonstra-se que o nível de participação ótimo no projeto estudado é de aproximadamente 77%, que corresponde a um EqC(VPL) de US\$ 62,18 milhões e que o prêmio ao risco da participação no projeto de exploração e exploração é de US\$ 127,72 milhões.

REFERÊNCIAS

- Bedford, T., Cook, R. Probabilistic Risk Analysis – Foundations and Methods. Cambridge University Press, 2007.
- Braña, J. P. Processo de tomada de decisão em projetos de exploração e produção de petróleo: uma abordagem sistêmica com aplicação da teoria de lógica fuzzy. Ciências em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Dissertação (Mestrado).
- Caneppele, F.L. Desenvolvimento de um modelo fuzzy para otimização da energia gerada por um sistema híbrido [solar fotovoltaico e eólico]. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP - Campus de Botucatu- São Paulo, 2007.
- Castiñeira, P. P. Estudo da viabilidade econômica de projetos de recuperação suplementar para campos com alto grau de exploração. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- Chen, Z., Huan, G., Ma, Y. Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media. October, 2005. 284 p. SIAM – Computational Science & Engineering, Texas, USA.
- Costa, A. P. A. Quantificação do impacto de incertezas e análise de risco no desenvolvimento do campos de petróleo. Campinas – SP Brasil, 2003.
- Costa, E. F. Influencia da porosidade e saturação aplicada no monitoramento sísmico do reservatório, Universidade Estadual do Rio de Janeiro- UENF, Rio de Janeiro, 2005.
- Daher, J. S. Avaliação da incrustação de sais inorgânicos em reservatórios inconsolidados através da simulação numérica. Universidade Estadual do Rio de Janeiro- UENF, Rio de Janeiro, 2003.
- Ertekin, T., Abou-Kassem, J. H.; King, G. R. Basic Applied Reservoir , 2001.
- Ghassemzadeh, J.; Sahimi, M. Pore network simulation of fluid imbibition into paper during coating: II. Characterization of paper's morphology and computation of its effective permeability tensor. Chemical Engineering Science, 2004. 2265 – 2280
- Huysmans, M.; Dassargues, A. Stochastic analysis of the effect of heterogeneity and fractures on radionuclide transport in a low-permeability clay layer. University of Liege, Belgica, 2005.
- IMEX. Three-Phase, Black Oil Reservoir simulation 2015. <http://www.cmgl.ca/software/imex2015>. Acesso Janeiro/2016.
- Keehm Y., Sternlof, K., Mukerji, T. Computational estimation of compaction band permeability in sandstone. Geosciences Journal Vol. 10, No. 4, p. 499 – 505, December 2006.
- Kozeny, J. Ueber kapillare Leitung des Wassers im Boden. Sitzungsber Akad. Wiss., Wien, 1927.
- Larued, K. e Hovadik, J. Why is reservoir architecture an insignificant uncertainty in many appraisal and development studies of clastic channelized reservoirs? Journal of Petroleum Geology, Vol. 31[4], October 2008, pp 337-366.

Ligero, E.L., Risso, V.F., Shiozer, D.J. Análise econômica da redução de incertezas geológicas de reservatórios de petróleo. Revista Brasileira de Geociências, 2008.

Júnior, J. D. L. Otimização com modelos substitutos considerando incertezas em reservatórios de petróleo (tese de doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

Mamdani, E.H. Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant. IEEE (Control and Science), v.121[12], p.1585-1588, 1974.

Margueron, M.V.L. Processo de tomada de decisão sob incerteza em investimentos internacionais na exploração & produção de petróleo: uma abordagem multicritério. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

Moura Filho, M. A. B. Integração de Análise de Incertezas e Ajuste de Histórico de Produção. Campinas –SP Brasil, 2006.

Nepomuceno, F.. Tomada de Decisão em Projetos de Risco na Exploração de Petróleo. Tese de D.Sc., Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP,1997.

Netto, J. B. M. L. Estudo da dispersão numérica de simuladores de fluxo para o problema de deslocamento imiscível. Universidade Estadual do Rio de Janeiro- UENF, Rio de Janeiro, 2003.

Olatunja, S. O., Selamat, A., Abdulraheem, A. Modeling the permeability of carbonate reservoir using type-2 fuzzy logic systems. Computers in Industry,2010.

Oliveira, R. S. Propriedades de escala no escoamento de fluido em meio poroso modelado por empacotamento Apoloniano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, 2009.

Park, C., Kang, J.M., Ahn, T. A stochastic approach for integrating market and technical uncertainties in economic evaluations of petroleum development. Research Division for Energy Resources , Republic of Korea, 2009.

Prata, F. G. M. Modelagem numérica do processo de migração de hidrocarbonetos e preenchimento de um reservatório sob variações térmicas. Universidade Estadual do Rio de Janeiro- UENF, Rio de Janeiro, 2001.

Rosa, A. J., Carvalho, R. S., Xavier, J. A. D. Engenharia de reservatórios de petróleo. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2006.

Seixas, M. G. Otimização sequencial aproximada aplicada a métodos de recuperação suplementar em reservatórios de petróleo. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

Schiozer D.J., Ligero, E.L., Suslick, S.B., Costa, A.P.A., Santos, J.A.M. Use of representative models in the integration of risk analysis and production strategy definition. Journal of Petroleum Science and Engineering 44, 2004a.

Schiozer, D.J., Ligero, E.L., Suslick, S.B., Costa, A.P.A., Santos, J.A.M. Use of representative models in the integration of risk analysis and production strategy definition. Journal of Petroleum Science & Engineering. Campinas, São Paulo, Brazil, 2004b.

Schiozer, D. J., Ligerio, E. L., Maschio, C., Risso, F. V. A. Risk Assessment of Petroleum Fields—Use of Numerical Simulation and Proxy Models. *Petroleum Science and Technology*, 26:1247–1266, 2008.

Silva, M. L. O. Caracterização de Incerteza de Reservatório em Projetos de Exploração de Simulation; SPE Textbook Series, Vol. 7; Richardson, TEXAS, 2001.

Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences* 36, p. 59-83.

Thomas, J.E. Fundamentos de engenharia de petróleo – 2ª Ed. Editora Interciência, 2004.

Capítulo 17



10.37423/220606164

SISTEMAS ATIVOS DE PREVENÇÃO, RETARDO E COMBATE A INCÊNDIO

E. C. Moraes

UNIVERSIDADE FEDARAL DO MARANHÃO

Julie Brenda Santos da Silva

UNIVERSIDADE FEDARAL DO MARANHÃO



Resumo: *este trabalho apresenta os sistemas ativos de prevenção combate e retardo a incêndio que uma edificação para fins educacionais precisa ter. São apresentados a teoria do fogo, as classes de incêndio, os sistemas hidráulicos usados neste tipo de edificação, os sistemas de supressão por gás usados, abordando as saídas, sinalização, iluminação e plano de emergência, a formação de uma brigada de incêndio, procedimentos de remoção da fumaça oriunda de um incêndio e como a rede elétrica deve ser protegida do fogo. Este trabalho é um material de auxílio no desenvolvimento de um projeto de segurança contra incêndio, com a finalidade de alertar sobre uma cultura prevencionista e seu objetivo é reunir os conhecimentos obtidos sobre fogo, calor e conjuntos mecânicos e aplicá-los à segurança contra incêndio. Por fim é realizado um estudo de caso de uma edificação através de inspeção visual e é verificado os sistemas de prevenção, combate e retardo a incêndio existentes na mesma.*

Palavras-chave: *Incêndio, Prevenção, Combate, Segurança.*

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como temática a prevenção, retardo e combate a incêndio em uma edificação para uso educacional. Entretanto, essa abordagem aqui discutida pode ser aplicada a qualquer edificação onde o fluxo de pessoas é uma premissa a se considerar.

Eventos de grandes repercussões tais como: o incêndio da boate Kiss onde a vida de vários jovens foram ceifadas; o incêndio do Museu Nacional, o maior museu de história natural do Brasil onde milhões de artefatos foram consumidos pelo fogo. Em ambos os casos ficou evidenciado o grande descaso, que infelizmente, se trata os sistemas de combate a incêndios no nosso país. Essa negligência tem nos causados perdas irreparáveis. É com base em catástrofes dessa magnitude que este trabalho se mostra indispensável como norteador para uma mudança cultural e prevencionista na temática de projeto de sistemas fixos de prevenção, retardo e combate a incêndio em edificações.

É senso comum que a água seja o elemento mais conhecido de combate a incêndio.

Portanto compreender o funcionamento dos principais sistemas de hidráulicos de extinção e combate a incêndios em edificações é imprescindível na prevenção de catástrofes causadas pelo fogo.

Outra forma muito usada de combate a incêndio é uso de gases para a supressão do fogo, desde que o fogo tornou-se uma ciência, a indústria química desenvolveu gases utilizados para o combate a incêndio para os casos em que a água não é suficiente ou não é adequada para determinado tipo de incêndio. Existem outras exigências necessárias para a segurança contra incêndio, tais como: as saídas de emergência, eliminação de fumaça, plano de emergência, brigada de incêndio, etc. Outro aspecto importante a mencionar é que a prevenção e combate a incêndio deve ser iniciada desde o projeto da edificação, pois ao construí-la, esta deve contemplar: saídas de emergência adequadas, uma casa de bombas com um reservatório de água e sua instalação elétrica.

1.1. DESCOBERTA DO FOGO

No século XVII o cientista francês Antoine Lawrence Lavoisier descobriu as bases científicas do fogo. Ele aqueceu a 300°C uma quantidade de mercúrio em recipiente fechado, Lavoisier observou que no recipiente que antes continha um líquido (o mercúrio), se transformara em um pó vermelho com peso maior que o líquido. Assim, concluiu que o ar no recipiente diminuiu $\frac{1}{5}$, pois foi absorvido na queima do mercúrio, os $\frac{4}{5}$ restantes era nitrogênio (que não queima) e um pó vermelho (óxido de mercúrio), resultado da reação entre mercúrio e oxigênio. A descoberta de Lavoisier é incontestável até hoje e fundamenta a prevenção e combate a incêndio (CBMERJ, 2008).

1.2. ELEMENTOS FORMADORES DE UM INCÊNDIO

Para uma melhor compreensão dos elementos que alimentam um incêndio é necessários se conhecer algumas propriedades inerentes a esse fenômeno, listaremos alguns dessas propriedades:

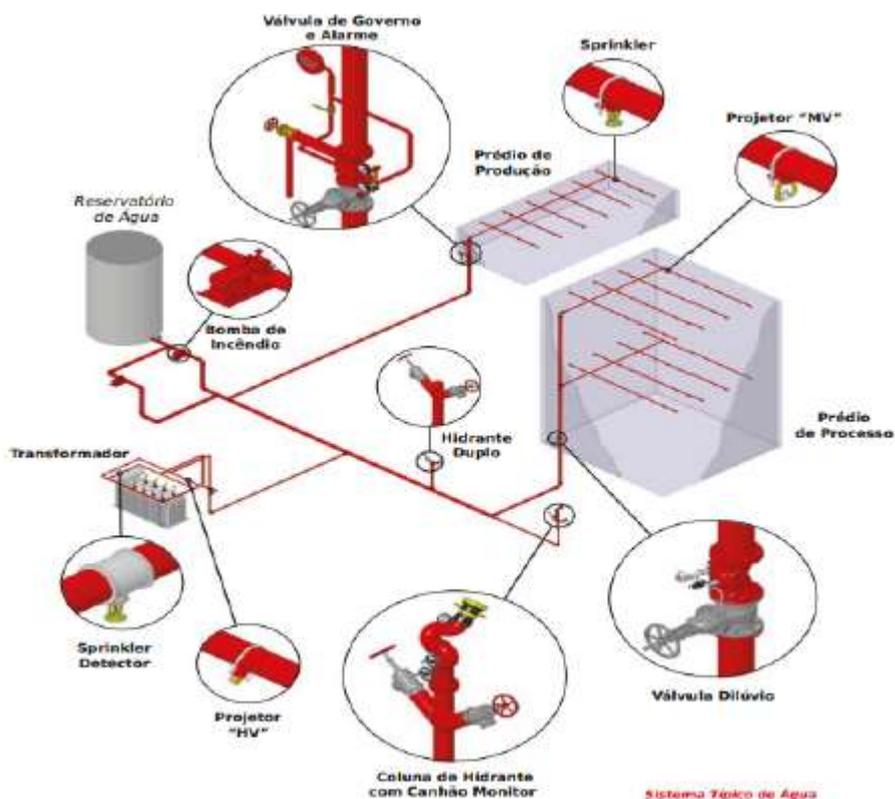
- Combustão;
- Elementos do fogo;
- Propagação do calor;
- Classes de incêndio.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. SISTEMAS HIDRÁULICOS DE COMBATE A INCÊNDIO

Os sistemas de combate a incêndio hidráulicos são aqueles onde o agente é a base de água (um líquido ou espuma), e este agente extintor deve ser armazenado em cilindros ou, caso o agente extintor seja somente a água, este deve ter um reservatório, este agente extintor deverá atingir o local do princípio de incêndio através de uma tubulação que é instalada pela área da edificação com o uso de bombas que irão transportar o fluido. Esses sistemas de hidráulicos de combate a incêndio englobam: chuveiros automáticos (NBR-1087), hidrantes e mangotinhos (NBR-13714), dilúvio, espuma e casa de bombas. Abaixo será feita uma descrição sucinta sobre estes dispositivos. A Figura 1 ilustra um sistema hidráulico completo.

Figura 1 – Sistema hidráulico de combate a incêndio.



Fonte: ARGUS ENGENHARIA, 2018.

2.2. SISTEMAS DE SUPRESSÃO POR GÁS

Sistemas de supressão por gás (NBRs - 12693 e 12962) podem ser descritos brevemente em dois tipos de sistemas a gás: o dióxido de carbono e os agentes limpos. A Figura 2 nos mostra partes da configuração de um sistema de supressão por gás.

Figura 2 – Sistema de supressão por gás.

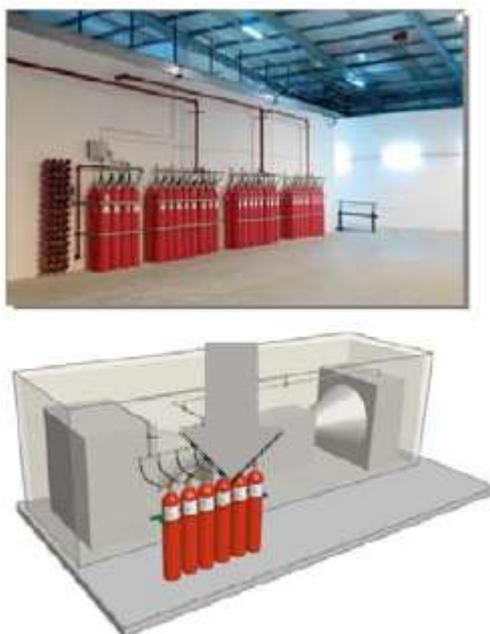


Fonte: INSIDE - Engenharia de Incêndio, 2018.

2.3. DIÓXIDO DE CARBONO

O Dióxido de carbono ou CO₂ é um agente extintor para incêndios de classe C, é um gás não combustível e não comburente, não conduz eletricidade e não deixa resíduo, e apaga o fogo por resfriamento e por abafamento, ele é usado em locais onde o patrimônio possui elevado valor agregado, entretanto, o dióxido de carbono não é um agente limpo e causa impacto ambiental (FRITZ, 2015). A Figura 3 nos mostra um modelo de sistema de supressão por CO₂.

Figura 3 – Sistema de supressão por CO₂.



Fonte: INSIDE - ARGUS ENGENHARIA (adaptado), 2018.

2.4. SAÍDAS DE EMERGÊNCIA

Para atender esse parâmetro de segurança a NBR 9077 deve ser consultada e os seguintes tópicos devem ser atendidos:

- Planejamento de vias de evacuação;
- Dimensionamento das saídas de emergência;
- Sinalização de emergência (NBRs – 13434-1,13434-2 e 13434-3);
- Iluminação de emergência (NBR- 10898);
- Detecção e alarme de incêndio (NBR- 9441);
- Brigada de incêndio (NBR- 14276);

- Plano de emergência (NBR- 15219);
- Controle de fumaça;
- Rede elétrica (NBR- 5410).

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado no prédio Paulo Freire localizado na Universidade Federal do Maranhão, na Avenida dos Portugueses, nº 1966 no bairro Bacanga, de CEP 65080-805, na cidade de São Luís, no estado do Maranhão. Nesta edificação foi realizada uma inspeção visual em uma região do prédio, considerando a equivalência geométrica da região estudada com as demais áreas do prédio. Ressaltamos que se ficou limitado a uma inspeção visual, devido não ter sido possível o acesso às plantas do prédio, ao projeto de segurança contra incêndio, à casa de bombas e ao projeto das instalações elétricas, devido a questões burocráticas ou até mesmo inexistência dessa documentação.

Inicialmente, foi realizada a vistoria nos extintores a fim de se verificar as suas condições, constatou-se a existência de 59 extintores na edificação, sendo todos 59 extintores portáteis: 7 são despressurizados; 12 com validade de carga vencida; 22 com a validade de teste vencida; 29 sem a placa de sinalização; 4 com a placa errada; 10 sem sinalização no chão; 2 não constavam os dados em sua ficha; 21 com validade de teste e de carga adequados e pressurizados, destes, somente 6 estavam com a sinalização adequada.

Na sequência foram vistoriados os hidrantes. Sendo 17 hidrantes no prédio, 5 no térreo, e 4 hidrantes por andar (3 andares), todos estavam em bom estado, entretanto em alguns deles seu abrigo apresentavam sinais de corrosão e muitos estavam obstruído ou utilizados de forma inadequadas, a Figura 4 nos mostra uma dessas situações irregulares.

Pela imagem da Figura 5, pode se observar que o local usado para armazenar cilindros de extintores sobre rodas foi usado para fins administrativos, e na válvula da tubulação de água foi fixado um mural. Demonstrando uma total falta de conhecimento/negligencia com os aspectos de segurança, com relação à prevenção e combate incêndio.

Figura 4 – Hidrante com corpo estranho no interior do abrigo.



Fonte: os autores, 2018.

Figura 5 – Uso inadequado de local destinado a equipamentos de segurança.



Fonte: os autores, 2018.

Observou-se a existência de um reservatório de água, Figura 6, que fica distante do prédio, e não se tem conhecimento se este é destinado a segurança contra incêndio, pois nenhuma sinalização foi constatada no local.

Na edificação foi constatada a existência de chuveiros automáticos em alguns corredores, conforme pode ser observado na Figura 7.

Figura 6 – Reservatório de água



Fonte: os autores, 2018.

Figura 7 – Chuveiros automáticos.



Fonte: os autores, 2018.

A edificação conter esse dispositivo é um ponto muito importante que reduz os riscos de ocorrência de incêndio, porém segundo relatos da administração do prédio, esse sistema nunca foi testado o que nos leva a por em cheque o seu funcionamento.

O prédio é privilegiado com relação ao número de janelas existentes, observou-se a ocorrência destas em todas as suas salas e o corredor permite circulação de ar. Assim a extração de fumaça pode ser feita por ventilação natural, entretanto, isso dependeria da corrente de ar, portanto, seria mais adequada a instalação exaustores de fumaça na edificação, porém nada nesse sentido foi constatado. Foi observado que não há na edificação sistemas de iluminação de emergência, sistemas de detecção e alarme de incêndio, o que demonstra um problema grave e que põem em risco a integridade física das pessoas e de bens materiais. As paredes dos corredores possuíam somente as placas de sinalização das salas, no prédio inteiro possuía somente uma placa de sinalização de emergência, conforme pode ser visto na Figura 8. Foi constatado que há somente saídas de emergência em auditórios. Porém as mesmas estavam trancadas como mostra a Figura 9. Observando todo o perímetro do térreo do prédio, existem somente as vias que conduzem ao estacionamento, e a via principal, que funcionam como vias de entrada e saída simultaneamente.

Figura 8 – Sinalização de emergência.



Fonte: os autores, 2018.

Figura 9 – Saída de emergência.



Fonte: os autores, 2018.

Na saída da edificação, as portas possuem largura de 1,49 m, que obedece aos requisitos mínimos da NBR 9077, entretanto as laterais possuem uma saída de 1,17 m, que está adequada, e três catracas que possuem a largura de 50 cm, que apesar de não serem saídas de emergência deveria ser de no mínimo 55 cm.

As configurações de escadas exigidas pela NBR 9077 indicam que estas devem ser a prova de fumaça e a quantidade mínima exigida é de duas escadas. A edificação possui três escadas, porém estas possuem somente as paredes em volta das escadas para impedirem a passagem de fumaça, o que não garante o isolamento das mesmas, a Figura 10 nos mostra uma das escadas da edificação.

A distância máxima a ser percorrida para saídas de emergência estabelecidas pela NBR 9077 conforme está edificação é de 55 m, pois o prédio possui chuveiros automáticos, na inexistência dos chuveiros seria de 40 m, assim esse parâmetro está de acordo com a norma.

As portas de saída comuns devem ter a largura mínima de luz (vão livre) de 80 cm, correspondendo a uma unidade de passagem e 1 m correspondendo a duas unidades de passagem, as portas das salas do prédio Paulo Freire possuem dimensão de 87 cm, ou seja, por ela podem passar somente uma pessoa por vez. Como as salas possuem uma capacidade superior a 50 pessoas, as portas de acordo com a NBR 9077, deveriam abrir no sentido da saída, observaram-se estas abriam no sentido contrário, como mostra a Figura 11.

Figura 10 – Saída de emergência, escadas.



Fonte: os autores, 2018.

Figura 11 – Saída de emergência, porta comum.



Fonte: os autores, 2018.

A NBR 9077, no item sobre larguras das saídas diz que a largura mínima de saída é de 1,1 m, e no item sobre portas diz que a largura mínima de portas comuns é de 80 cm, 1 m e 1,5 m. Considerando a porta como um meio de saída, na edificação em análise as portas das salas de aula estão em desacordo com a norma.

Os corredores e as passagens devem no mínimo ter largura superior a 1,1 m. Nesse quesito o prédio atende a norma, tendo em vista que a parte mais estreita dos corredores possuem largura de 2,47 m, tal fato se constatou nas rampas também. Porém, em um dos andares os corredores foram obstruídos, por cadeiras e armários, como mostra a Figura 12.

Figura 24 – Corredor obstruído parcialmente.



Fonte: os autores, 2018.

As duas escadas laterais possuem largura, degraus, corrimãos e patamares adequados a NBR 9077. A escada central pode ser usada como saída de emergência, pois sua largura é adequada, e ela possui patamar curvo, mas não possui lanços curvos.

Por fim, foi realizada uma entrevista com o administrador do prédio Paulo Freire, onde o mesmo no relatou que a edificação não possui: plano de emergência e brigada de incêndio. Informou que o prédio possui uma casa de bombas, porém nenhuma manutenção foi realizada na mesma, portanto não se pode afirmar que a mesma esteja funcionando.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho permitiu conhecer o fenômeno da combustão, como o fogo é formado, suas características e como este é extinto. Bem como a classificação dos tipos de riram-se quais as classes de incêndios e os métodos usados para a extinção de cada classe.

O estudo proporcionou maior conhecimento dos sistemas usados na segurança contra incêndio, e como o funcionamento destes equipamentos envolve diversas áreas do conhecimento como máquinas de fluxo, transferência de calor, química, etc.

A investigação através das legislações e normas sobre incêndio nos deu um embasamento necessário para compreender os sistemas ativos de proteção e combate a incêndio.

Com relação ao estudo de caso, se observou vários parâmetros que podem servi de norteadores para as demais edificações dessa natureza.

Especificamente sobre o prédio Paulo Freira, foi observado que:

- O prédio possui um projeto razoável de saídas de emergência;
- Possui sinalização de emergência quase inexistente;
- Não possui sistemas de expulsão de fumaça;
- Não possui brigada de incêndio;
- Não possui plano de emergência;
- Os aparelhos extintores não possuem boas condições de uso;
- Não possui iluminação de emergência;
- Não possui sistemas de detecção e alarme de incêndio;

Em posse dessas informações pode-se concluir que:

- Esta edificação não é segura em relação à segurança contra incêndio;

- Não existe uma inspeção periódica do edifício nos sistemas de prevenção, combate e retardo a incêndio;
- Os equipamentos de segurança em sua maioria não há certeza de suas condições de funcionamento caso seja necessário;
- As pessoas que neste ambiente exercem suas atividades não tem conhecimento da importância da cultura prevencionista de segurança contra incêndio, devido a não realização de um plano de emergência e também devido seu comportamento ao tomarem atitudes como obstruir as vias, armazenarem lixo em hidrantes e ocuparem salas onde somente pessoas capacitadas deveriam ter acesso.

Para que esta edificação se torne segura contra incêndio propõe-se:

- Troca ou reposição de todos os aparelhos extintores e sinalização adequada dos mesmos;
- Instalação de sistemas de detecção de incêndio;
- Instalação de sistemas de alarme de incêndio;
- Instalação de placas de sinalização;
- Instalação de sistemas de controle de fumaça;
- Instalação de chuveiros automáticos por uma área maior;
- Manutenção na casa de bombas;
- Troca de todas as portas;
- Manutenção da rede elétrica;
- Elaboração de um plano de emergência;
- Contratação de uma brigada de incêndio.

A prevenção e combate a incêndio é fundamental para, principalmente, a preservação da vida, é primordial também para a preservação de patrimônio, e para locais de atividades educacionais, proteger as informações contidas naquele local que são de valor inestimável e evita que a ordem da edificação seja alterada, pois acidentes podem acarretar na paralisação de atividades de suma importância como a educação.

6. REFERÊNCIAS

ARGUS ENGENHARIA. Catálogo Geral. 2018. Disponível em: www.argusengenharia.com.br. Acesso em 1/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 9077: Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, dez de 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 9441: Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio. Rio de Janeiro, abr. de 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR –10897: Proteção contra incêndio por chuveiro automático. Rio de Janeiro, jan de 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 10898: Sistema de iluminação de emergência. Rio de Janeiro, set de 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 12693: Sistemas de proteção por extintores de incêndio. Rio de Janeiro, fev de 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 12962: Inspeção, manutenção e recarga em extintores de incêndio. Rio de Janeiro, fev de 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 13434-1: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico. Rio de Janeiro, mar de 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 13434-2: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico. Rio de Janeiro, mar de 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 13434-3: Sinalização de segurança contra incêndio e pânico. Rio de Janeiro, nov de 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR –13485: Manutenção de terceiro nível (vistoria) em extintores de incêndio - Procedimento. Rio de Janeiro, jun de 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 13714: Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro, jan de 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 14276: Brigada de incêndio - requisitos. Rio de Janeiro, dez de 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 15219: Plano de emergência contra incêndio - requisitos. Rio de Janeiro, jun de 2005.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – CBMERJ. Cartilha de orientações básicas. Rio de Janeiro, 2008.

FRITZ, J. Sistema fixo de proteção contra incêndio por agentes limpos: instrumentação e projeto. Panambi: Universidade regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2015, p. 31-33.

INSIDE: Engenharia de Incêndio. Produtos. 2018. Disponível em: www.insideengenharia.com.br. Acesso em: 1/2018.

Capítulo 18



10.37423/220706248

ANÁLISE DE VIBRAÇÃO HUMANA NA UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS DE UMA EMPRESA DE CALDEIRARIA PESADA

Hélio Augusto Goulart Diniz

Centro Universitário Estácio de Sá de Belo Horizonte

Jane de Souza Ramos

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Caroline Santana Zanetti

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Josane Cristiano Brandão

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

José Dias Pena

Centro Universitário Estácio de Sá de Belo Horizonte



Resumo: O presente estudo teve como objetivo avaliar a exposição ocupacional de alguns trabalhadores ao agente físico vibração, devido ao contato com equipamentos industriais inerentes às suas atividades diárias de trabalho. O estudo foi realizado com base na normalização brasileira responsável pela regulamentação e controle de vibração. O trabalho foi desenvolvido na empresa B, que atua no desenvolvimento e implementação de projetos desde a engenharia básica até a fabricação e entrega dos equipamentos. Foi promovida uma avaliação de vibração humana em alguns colaboradores da empresa e realizou-se o levantamento de dados quantitativos, servindo de diagnóstico do ambiente de trabalho desses colaboradores. Para a análise da exposição, a vibração localizada em mãos e braços, realizaram-se medições em lixadeiras de diferentes capacidades de trabalho. A análise de vibração de corpo inteiro foi realizada através da medição da vibração em empilhadeiras. Em relação a análise dos resultados calculados referentes a utilização da empilhadeira, constatou-se que a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas, como por exemplo realizar o monitoramento periódico da exposição e treinamentos aos colaboradores quanto aos riscos decorrentes da exposição à vibração. De modo geral, com a utilização das lixadeiras, os colaboradores apresentaram exposição a acelerações acima do limite de exposição da norma NR 15-Anexo 8, necessitando de tomada de medidas corretivas imediatas, como por exemplo manutenção nos equipamentos e redução do tempo de exposição a vibração.

Palavras-chave: Vibração; Equipamentos, Riscos; Insalubridade.

1 INTRODUÇÃO

As ferramentas manuais motorizadas são amplamente utilizadas em diversos setores de manufatura de bens, pelo fato de realizar trabalho com maior velocidade e precisão, além de poupar o usuário de esforços repetitivos. Porém, todas essas ferramentas geram vibração aos operadores que as manuseiam, e conseqüentemente podem ser prejudiciais ao corpo humano se o limite de exposição a estas for excedido. As ferramentas manuais comumente utilizadas que provocam vibração nas mãos e braços são: furadeiras, lixadeiras, parafusadeiras, polidoras, motosserras, marteletores, entre outras.

A legislação Brasileira prevê através da Norma Regulamentadora NR 15, Anexo 08 da Portaria 3214/78, com redação dada pela portaria nº 1.297 de 13 agosto de 2014, que as atividades e operações que exponham os trabalhadores sem proteções adequadas às vibrações localizadas e de corpo inteiro serão caracterizadas como insalubres através de avaliações quantitativas. As metodologias empregadas nas coletas e análises estão descritas nas NHO 09 e NHO 10 da Fundacentro.

A transmissão de vibração para o ser humano resulta em desconforto e perda de eficiência, podendo constituir um risco em potencial para os trabalhadores, uma vez que as vibrações podem desencadear perturbações neurológicas ou musculares, vasculares e lesões ósteo-articulares, no caso das vibrações transmitidas ao sistema mão-braço e patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral, para o caso das vibrações transmitidas a todo o organismo (Gonçalves e Catal, 2015).

Os efeitos da vibração no organismo humano dependem de diversos fatores, em particular da intensidade das vibrações, dos limites de frequência, direção, ponto de penetração, tempo e forma de aplicação diária, bem como do tempo em que o profissional vem se submetendo à exposição. Estudos indicam que há maior frequência de trabalhadores que manipulam instrumentos que emitem esse tipo de energia e, conseqüentemente, submetem-se a uma exposição maior em extremidades superiores.

A vibração relacionada ao trabalho resulta de uma fonte emissora de vibração mecânica que incide no organismo no corpo inteiro e nas mãos. No primeiro caso, há uma superfície que vibra, suportando o corpo humano em pé, sentado ou deitado; esta forma de exposição ocorre em todas as opções de meios de transporte. No segundo caso, a exposição ocorre ao manusear equipamentos vibratórios, o que se vê em trabalhadores industriais, agricultores, mineradores, profissionais odontólogos e trabalhadores da construção, dentre outros profissionais.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo medir a exposição do trabalhador durante os exercícios de suas atividades, neste caso através da utilização de lixadeiras e operação de empilhadeira em uma empresa do seguimento de caldeiraria pesada. A empresa B atua no desenvolvimento e implementação de projetos, desde a engenharia mecânica básica e detalhamento até a fabricação, montagem industrial e entrega dos equipamentos. A partir da avaliação da vibração ocupacional dos trabalhadores que exercem as atividades com lixadeiras e empilhadeiras, caso sejam detectados valores acima do limite de tolerância e do nível de ação, de acordo com os padrões estabelecidos pela NR 15 anexo 8, serão apresentadas as medidas mitigadoras visando o bem estar e saúde do trabalhador.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DO TRATAMENTO DA VIBRAÇÃO HUMANA

Tecnicamente, segundo Saliba (2013) vibração é o "movimento oscilatório de um corpo, devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. A literatura científica conta com vários estudos acadêmicos com forte orientação teórica e excelente fundamentação empírica que demonstram os efeitos nocivos das vibrações sobre a saúde do trabalhador de modo geral, podendo chegar até mesmo a perdas de capacidade auditiva.

Em junho de 1977, a Organização Internacional do Trabalho (OIT) -- órgão da ONU responsável pelo monitoramento e regulação das relações de trabalho em nível mundial -- definiu sua Convenção No. 148 (C148), concernente à proteção do trabalhador contra riscos ocupacionais no ambiente laboral referentes a poluição do ar, ruído e vibração. Assim, no final da década de 1970, no que diz respeito a vibrações, a *International Organization for Standardization* (ISO) publicou a normas ISO 2631 (Guia para avaliação da exposição humana a vibrações de corpo inteiro) e a ISO 5349 (Guia para avaliação da exposição humana a vibrações transmitidas à mão).

A partir da década de 1980, a Coordenação de Higiene do Trabalho da Fundacentro deu início à publicação de uma série de normas técnicas, denominadas anteriormente Normas de Higiene do Trabalho (NHT). Todavia, naquela época, não foi elaborada NHT para o agente vibração. Assim, segundo a Fundacentro (2013):

"Diante das transformações tecnológicas e da necessidade de atualização dos procedimentos de identificação, avaliação e controle da exposição dos trabalhadores aos agentes ambientais, a revisão das NHT tornou-se imprescindível, bem como a necessidade de elaboração de normas para outros agentes. Visando à utilização de terminologia mais atual, a nova série de normas passou a ser intitulada Normas de Higiene Ocupacional (NHO).

Assim, em 2013, a Fundacentro apresentou aos profissionais da área de segurança do trabalho a NHO 09/2013 (referente à exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro) e a NHO 10/2013 (referente à exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços).

No Brasil, a Norma Regulamentadora NR-15 - Anexo 8, prevê que "as atividades e operações que exponham trabalhadores sem proteção adequada às vibrações localizadas ou de corpo inteiro serão caracterizadas como insalubres através de perícia realizada no local de trabalho". Essa avaliação deve-se basear nos limites de exposição determinados pelas ISO 2631-1:1997 e ISO 5349-1:2001.

A legislação brasileira também determina que os laudos periciais devam constar obrigatoriamente os seguintes itens:

- o critério adotado;
- o instrumental utilizado;
- a metodologia de avaliação;
- a descrição das condições de trabalho e o tempo de exposição às vibrações;
- o resultado da avaliação quantitativa;
- as medidas para eliminação e/ou neutralização da insalubridade, quando houver.

Constatando-se a insalubridade, a mesma será de grau médio, assegurando ao trabalhador o recebimento do adicional de vinte por cento incidente sobre o salário mínimo.

O presente artigo se fundamentou nas normas supracitadas - tanto da Fundacentro (NHO 09/2013 e NHO 10/2013), quanto da ISO (ISO 2631-1/1997 e ISO 5349-1/2001) - buscando aplicar suas equações e tabelas de referência a uma análise empírica de um caso específico, a saber, a empresa B.

2.2 TIPOS DE VIBRAÇÕES

As vibrações são classificadas da seguinte forma:

- Vibrações de corpo inteiro (sentado ou em pé);
- Vibrações localizadas (mãos e braços).

2.2.1 VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

São vibrações de corpo inteiro aquelas transmitidas simultaneamente à superfície total do corpo e/ou a alguma parte dele quando o trabalhador faz uso de equipamentos como caminhões, tratores, plataformas, etc, na posição sentado (reclinado ou não), em pé ou deitado. A vibração é transmitida através das superfícies de apoio, como por exemplo, se a pessoa estiver em pé a vibração é transmitida pelos pés, se a pessoa estiver sentada a vibração é transmitida pelos pés, as nádegas e as costas e as superfícies de apoio para uma pessoa recostada ou deitada. A Figura 1 apresenta os eixos de referência para análise da vibração de corpo inteiro.

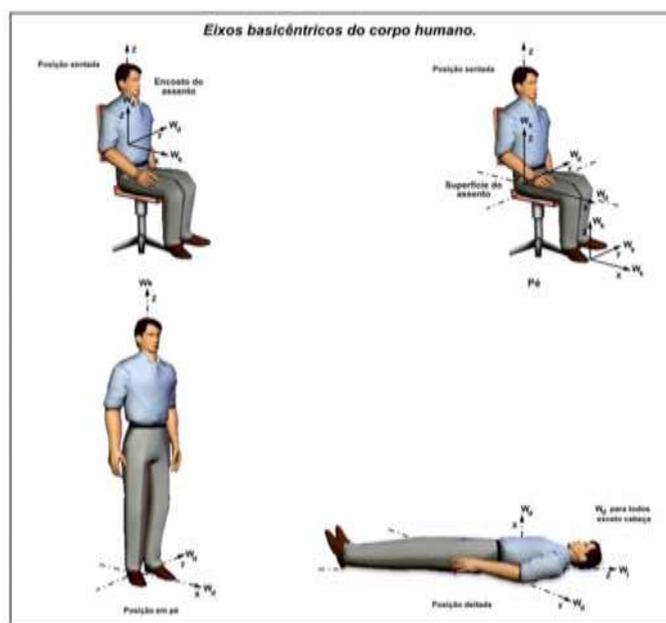


Figura 1: Eixos basicêntricos do corpo humano.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Uma pessoa exposta a altos limites de vibração está sujeita a dores de cabeça, dores nas costas, fadiga muscular, tremores, insônia, lesões nas articulações, além de poderem desenvolver com o passar do tempo, doenças como problemas na coluna, perda de equilíbrio, labirintite e distúrbios visuais, podendo ainda comprometer de maneira severa a região dorsal e lombar, e causar alterações no sistema reprodutivo.

Dependendo da região atingida, o corpo humano reage às vibrações de forma diferente, sendo assim, conforme o item 3.5 da norma ISO 2631/1997, é necessário medir a vibração na estrutura ou no ponto em que será transmitida ao corpo inteiro. A norma ISO 2631/1997, estabelece critérios para a vibração sobre o corpo humano na faixa de frequência de 0,5 a 80 Hz para saúde, conforto e percepção e de 0,1 a 0,5 Hz para enjoo. A região de maior sensibilidade do ser humano é:

- Eixo longitudinal z – de 4 a 8 Hz;
- Eixos transversais x e y – de 1 a 2 Hz.

A maneira pela qual as vibrações afetam a saúde, conforto e percepção é dependente da frequência. Existem diferentes frequências para diferentes eixos. O gráfico da Figura 2 apresenta as diferentes frequências e seus eixos de atuação. Para o eixo “z” seguimos a curva de ponderação W_k e para os eixos “x” e “y” a curva de ponderação W_d .

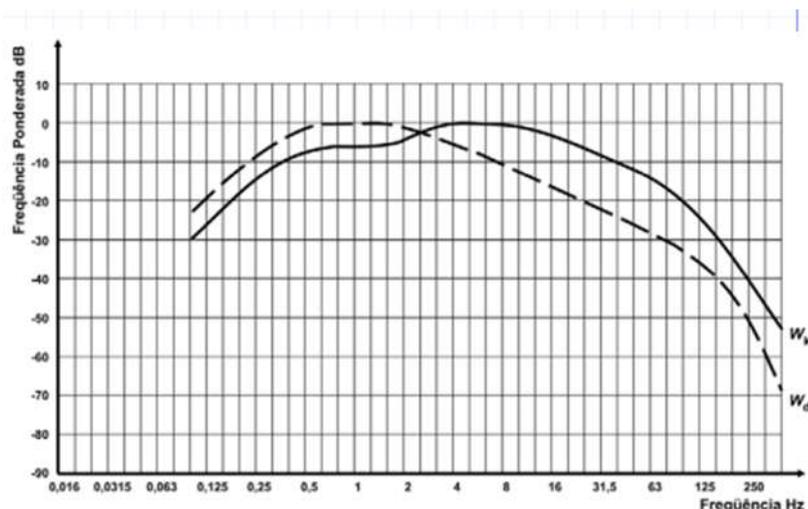


Figura 2: Curvas de ponderação em frequência para vibração transmitida ao corpo inteiro W_d e W_k .

Fonte: Adaptada de ISO 2631/1997.

Assim como na avaliação dos efeitos da vibração para mãos e braços, na análise para o corpo inteiro, podem-se somar os valores da aceleração encontrada nos três eixos e obter uma aceleração total A_t , em m/s^2 , porém neste caso, aplica-se a equação 1.

$$A_t = \sqrt{K_x^2 a_{wx}^2 + K_y^2 a_{wy}^2 + K_z^2 a_{wz}^2} \quad (1)$$

Onde K_x , K_y e K_z são fatores de multiplicação dos respectivos eixos ortogonais X, Y e Z. Os valores de K, para fins de saúde para pessoas em pé ou sentadas são $K_x = 1,4$; $K_y = 1,4$ e $K_z = 1,0$. Além disso, a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} , em m/s^2 , são acelerações r.m.s ponderadas como os respectivos eixos ortogonais X, Y e Z.

Também como na análise da vibração de mãos e braços, caso a exposição à vibração seja diferente em dois ou mais períodos da jornada, deve-se considerar a aceleração resultante de exposição Are , em m/s^2 , conforme a equação 2.

$$Are = \sqrt{\frac{a_1^2 t_1 + a_2^2 t_2 + \dots + a_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (2)$$

Onde a_n , em m/s^2 , é o valor da aceleração obtida e t_n é o tempo de duração da medição para aquela exposição à aceleração a_n .

Para a aceleração resultante de exposição normalizada $Aren$, em m/s^2 , utiliza-se a equação 3.

$$Aren = Are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

Onde T é o tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos. Como jornada padronizada adota-se $T_0 = 8$ horas ou 480 minutos.

Existem casos em que a apuração do valor de aceleração pelo método básico, pode subestimar a exposição. Isso pode ocorrer quando a vibração transmitida é de curta duração. Nessa situação, quando se encontra o fator de crista maior que $9,1 m/s^{1,75}$, pode-se calcular o valor da dose de vibração VDV , em $m/s^{1,75}$, de acordo com a equação 4.

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

Onde $a_w(t)$, em m/s^2 , é a aceleração ponderada instantânea e T , em segundos, é o tempo de duração da medição.

Também podem acontecer casos em que a exposição à vibração ocorrer em dois ou mais períodos apresentando diferentes magnitudes de vibração, nestas situações, podem-se calcular o $VDVR$ resultante ou equivalente, conforme a equação 5.

$$VDV_{total} = \sqrt[4]{\sum VDV_i^4} \quad (5)$$

Onde VDV_i , em $m/s^{1,75}$, trata-se da dose de vibração VDV_i devido a exposição a aceleração em seu dado período de tempo de medição.

Segundo a NHO 09/2013, serão necessárias medidas corretivas objetivando o controle da exposição à vibração, sempre que os valores resultantes encontrados forem:

- $Aren$ – Valor superior a $1,1 m/s^2$;
- $VDVR$ – Valor superior a $21 m/s^{1,75}$.

Para orientar no julgamento e na tomada de decisão, a NHO 09/2013 apresenta na tabela contida na Figura 3 considerações técnicas e a atuação recomendada em função do $Aren$ e $VDVR$.

<i>aren</i> (m/s^2)	<i>VDVR</i> ($m/s^{1,75}$)	<i>Consideração</i> <i>técnica</i>	<i>Atuação</i> <i>recomendada</i>
0 a 0,5	0 a 9,1	aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
acima de 1,1	acima de 21	acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Figura 3: Critério de julgamento e tomada de decisão baseado na NHO 09.

Fonte: Fundacentro – NHO 09/2013.

2.2.2 VIBRAÇÕES LOCALIZADAS

As vibrações localizadas, também conhecidas como vibrações de mãos e braços, vibrações de extremidades ou vibração segmental, referem-se às vibrações que atingem principalmente as mãos e braços quando da utilização de ferramentas manuais vibratórias, como por exemplo, compactadores manuais, motosserras, britadores, martelletes, etc.

Os níveis de vibração encontrados resultantes da utilização dessas ferramentas por um período prolongado são consideravelmente altos para causar danos aos vasos sanguíneos, juntas, descalcificação e graves problemas de circulação. Nos casos de altos níveis de exposição, podem ocorrer problemas como gangrena ou doença de Raynaud (síndrome do dedo branco).

A norma ISO 5349-1/2001 especifica métodos gerais para medir e avaliar o risco da exposição de vibração sobre as mãos em três eixos ortogonais para as faixas de 1/3 de oitava e uma oitava, com frequência de 6,3 Hz a 1.250 kHz.

Os riscos que a vibração do maquinário oferece ao trabalhador, depende da intensidade da vibração, do tempo de exposição, do padrão de exposição, da direção, da postura da mão, do espectro de frequência e do tipo de maquinário.

A norma ISO 5349-1/2001 considera um sistema de coordenadas triortogonal, com duas opções para posicionamento dos eixos X e Z, conforme apresentado na Figura 4.

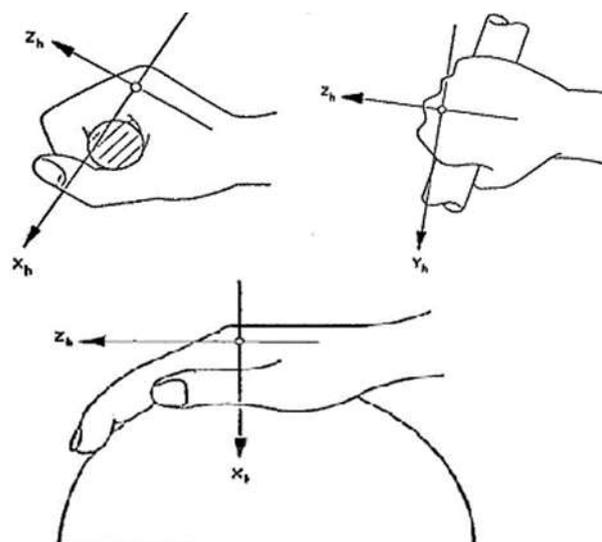


Figura 4: Sistema de coordenadas triortogonal.

Fonte: ISO 5349-1/2001.

A unidade principal usada para descrever a intensidade da vibração é a aceleração. Para a medição da vibração de mãos e braços, a aceleração total, em m/s^2 , isto é, soma dos eixos, se dá pela aplicação da equação 6.

$$A_t = \sqrt{a_{whx}^2 + a_{why}^2 + a_{whz}^2} \quad (6)$$

Onde a_{whx} , a_{why} e a_{whz} , em m/s^2 , são acelerações r.m.s ponderadas como os respectivos eixos ortogonais X, Y e Z.

Havendo a exposição diferente em dois ou mais períodos da jornada de trabalho, devemos considerar a aceleração equivalente, conforme a equação 7.

$$Are = \sqrt{\frac{a_1^2 t_1 + a_2^2 t_2 + \dots + a_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \quad (7)$$

Onde a_n , em m/s^2 , é o valor da aceleração obtida e t_n é o tempo de duração da medição para aquela exposição à aceleração a_n .

Pode-se calcular a aceleração resultante de exposição normalizada $Aren$, em m/s^2 , pela NHO 10/2013, aplicando a equação 8.

$$Aren = Are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (8)$$

Onde T é o tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos. Como jornada padronizada adota-se $T_0 = 8$ horas ou 480 minutos.

Para orientar no julgamento e na tomada de decisão, a NHO 10/2013 apresenta na tabela contida na Figura 5 considerações técnicas e a atuação recomendada em função do $Aren$.

$aren (m/s^2)$	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo, manutenção da condição existente
> 2,5 a < 3,5	Acima do nível de ação	No mínimo, adoção de medidas preventivas
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária
acima de 5,0	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Figura 5: Critério de julgamento e tomada de decisão baseado na NHO 10.

Fonte: Fundacentro – NHO 10/2013.

Além disso, de acordo com a ISO 5349, os valores de exposição diária de aceleração $Aren$ podendo-se desenvolver a síndrome de Raynaud em 10% dos trabalhadores expostos em determinação da exposição por número de anos, pode ser modelada fazendo-se uma correlação envolvendo a aceleração de exposição diária através da equação 9.

$$D_y = 31,8 [Aren]^{1,06} \quad (9)$$

Onde D_y é a duração total, em anos, da exposição necessária para ocorrência do branqueamento dos dedos.

EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Para a execução da medição de vibração, adota-se um sistema composto por um sensor de vibração (acelerômetro), um integrador que transforma a medida em sinal elétrico e um amplificador.

Os transdutores de vibração do tipo aceleração, conhecidos como acelerômetros são usados para medir a exposição a vibração e podem ser do tipo piezoresistivos (corpo inteiro) trabalhando em baixa frequência e piezoelétricos (mãos e braços) trabalhando em frequências mais altas.

Para a correta configuração dos equipamentos, devem-se seguir as orientações da norma NHO 10/2013 correspondente para mãos e braços e a NHO 09/2013 referente a corpo inteiro.

3 METODOLOGIA

3.1 MOTIVAÇÃO DA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO HUMANA

Como já contextualizado, este trabalho visa avaliar a exposição ocupacional de alguns trabalhadores ao agente físico vibração, devido ao contato com equipamentos industriais inerentes as suas atividades diárias de trabalho. A empresa aonde se desenvolveu o trabalho de análise de vibração foi a empresa B do seguimento de caldeiraria pesada. Pretende-se determinar os níveis de vibração a que estão expostos os trabalhadores e, a partir dos resultados de análises, propor medidas para minimizar os impactos na saúde e produtividade. Essa situação foi o estudo de caso do presente trabalho e teve por base seguir a normalização brasileira responsável pela regulamentação e controle do agente vibração.

A legislação brasileira prevê, através da Norma Regulamentadora NR – 15, Anexo 08, que as atividades e operações que exponham os trabalhadores sem proteções adequadas às vibrações localizadas e de corpo inteiro serão caracterizadas como insalubres através de avaliações quantitativas. Desse contexto foi promovida uma avaliação de vibração humana em alguns setores da empresa e realizou-se o levantamento de dados quantitativos para o cálculo do agente vibração, servindo de diagnóstico do ambiente de trabalho desses colaboradores.

Os procedimentos empregados nas coletas e análises foram baseados nas normas NHO 09 e NHO 10 da Fundacentro. Sendo essas duas normas com fundamentação baseadas por suas vezes nas normas ISO 2631/97 e 5349/01. Elas tratam da vibração de corpo inteiro e localizada e ambos os casos são analisados neste trabalho a partir da avaliação quantitativa desse agente em equipamentos de transporte de carga e de processo de fabricação. Para os resultados de vibração, que estão acima do limite segundo as normas supracitadas, são citadas medidas preventivas e corretivas para reverter o quadro de insalubridade oferecendo ao colaborador melhores condições de trabalho e saúde laboral.

3.2 EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS ALVOS DO ESTUDO E TIPOS DE VIBRAÇÃO ANALISADAS

Analisou-se a vibração humana em alguns colaboradores da empresa B, que trabalham rotineiramente com lixadeiras em atividades de acabamento de peças fabricadas pela empresa e empilhadeira responsável por transporte de material na área industrial.

3.2.1 VIBRAÇÃO LOCALIZADA

Para a análise da exposição a vibração localizada no que se refere a mãos e braços, realizaram-se medições das acelerações nas mãos dos trabalhadores para quatro lixadeiras distintas. A primeira delas tem 4 polegadas de diâmetro de disco e é empregada em atividade de acabamento de peças. A segunda possui 9 polegadas de diâmetro de disco e é aplicada em esmerilhamento de peças. A terceira possui 7 polegadas de diâmetro de disco e é aplicada no acabamento para a preparação de montagem. A quarta e última lixadeira é do tipo alta frequência aplicada no lixamento de peças para o preparo de pintura.

A Figura 6 apresenta o colaborador utilizando a primeira lixadeira de 4 polegadas (A) e outro colaborador utilizando lixadeira de 9 polegadas (B).



Figura 6: 1ª e 2ª lixadeiras analisadas no estudo de caso. Lixadeira de 4 polegadas (A) e lixadeira de 9 polegadas (B).

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

A Figura 7 apresenta o terceiro colaborador utilizando a terceira lixadeira de 7 polegadas (A) e outro colaborador utilizando a quarta lixadeira do tipo alta frequência (B).



Figura 7: 3ª e 4ª lixadeiras analisadas no estudo de caso. Lixadeira de 7 polegadas (A) e lixadeira do tipo alta frequência (B).

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Todas as lixadeiras apresentam bom estado de conservação e manutenção e possuem tempo aproximado de uso de 1 a 2 anos. Quanto ao regime de trabalho dos colaboradores, todos eles dedicam aproximadamente 05:20 horas (320 min) de trabalho diário ao manuseio desses equipamentos. O tempo total da jornada de trabalho desses trabalhadores de 08:00 horas (480 min) diária, ou seja, desenvolvem outras atividades complementares além da típica tarefa, nos quais ficam expostos à vibração localizada. O trabalho é do tipo habitual e intermitente, em pé e com relativo esforço físico. Além disso, nenhum dos colaboradores havia registrado queixas e antecedentes médicos até o momento relacionados à vibração quanto a operação cotidiana dos equipamentos.

3.2.2. VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

A análise de vibração de corpo inteiro realizada em um colaborador foi realizada enquanto ele utilizava uma empilhadeira para fazer o transporte de material, além de carga e descarga do mesmo. O equipamento proporciona efeito vibracional por todo o corpo do trabalhador, sendo assim, um caso na qual a vibração de corpo inteiro se aplica muito bem. A Figura 8 apresenta a empilhadeira durante a realização de tarefas pelo colaborador.



Figura 8: Empilhadeira utilizada no estudo de caso.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

A empilhadeira alvo do estudo de caso é utilizada por aproximadamente nove anos pela empresa. Possui boas características de conservação e manutenção. Quanto ao regime de trabalho do colaborador que opera essa máquina, ele dedica aproximadamente 05:20 horas (320 min) de trabalho diário ao manuseio desse equipamento. O tempo total da jornada de trabalho desse colaborador é de 08:00 horas (480 min) diária, ou seja, desenvolve outras atividades complementares além da típica tarefa na qual fica exposto à vibração de corpo inteiro. O trabalho é do tipo habitual e intermitente, sentado sem relativo esforço físico. Além disso, o colaborador nunca havia registrado queixas e antecedentes médicos até o momento quanto à operação cotidiana do equipamento.

3.3. COLETA DE DADOS PARA O ESTUDO DE CASO

As amostras de vibrações em todos os equipamentos supracitados foram coletadas ao término de novembro de 2014, por um período de uma semana. Uma empresa especializada ficou responsável pelas coletas e tratamento dos dados e posterior confecção de um laudo técnico, no qual esse presente trabalho se baseia.

Utilizou-se um dosímetro de vibrações VIB, para as medições de vibrações ocupacionais de mãos e braços e de corpo inteiro. Esse instrumento está de acordo com as normas ISO 5349 e 2631, Fundacentro (NHO 09 e 10), Diretiva Europeia e ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). O medidor de vibração VIB é do tipo portátil, ergonômico e leve para realizar a medição de dados captados pelos acelerômetros, tratamento do sinal e a transferência de dados armazenados. Esse equipamento coleta níveis de vibração nos eixos X, Y e Z e realiza o cálculo da dose

diária de exposição Aren. O dosímetro conta com o software dB Maestro que auxilia na transferência, análise e emissão de resultados das medições. Por auxílio de um notebook, os dados foram coletados e analisados no software supracitado. Importante ressaltar que o instrumento de medição estava dentro do período de validade de calibração.

3.3.1. METODOLOGIA DE COLETA PARA VIBRAÇÃO LOCALIZADA

Para a avaliação de mão e braço, os acelerômetros triaxiais foram montados em um adaptador e posicionado no ponto onde a energia é transmitida às mãos. Esse esquema de montagem permitiu a coleta dos dados das acelerações para os colaboradores que operavam os quatro tipos de lixadeiras apresentadas. A Figura 9 apresenta acelerômetros triaxiais semelhante aos que foram utilizados (A) e o adaptador de montagem e posicionamento dos acelerômetros no equipamento (B).

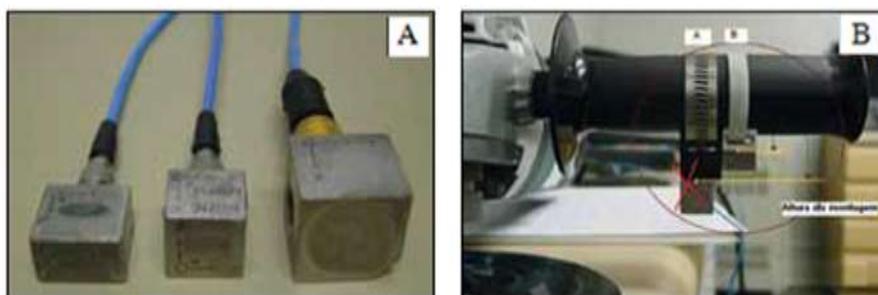


Figura 9: Acelerômetros triaxiais (A) e adaptador para montagem dos acelerômetros no equipamento (B).

Fonte: Fundacentro - NHO 09/2013.

A coleta de dados realizada por meio do dosímetro seguiu os padrões da ISO 5349/2001, a qual estabelece medição de vibração para mãos e braços nas frequências de terças de oitavas compreendidas entre 6,3 e 1.250 Hz. O instrumento através de seu sistema interno pondera as acelerações nas frequências respectivas, dentro da faixa de 5 a 1500 Hz, ou seja, atendendo a norma supracitada. Além disso, o dosímetro apresenta a aceleração ponderada global que apresenta os valores corrigidos em função da sensibilidade, e são exatamente esses valores de acelerações medidos nos eixos X, Y e Z que foram usados para cálculo do Are e Aren. Avalia-se também a estimativa de tempo em anos para que 10 % dos trabalhadores expostos à vibração adquiram a síndrome de Raynoud (dedo branco).

3.3.2. METODOLOGIA DE COLETA PARA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

No caso de medição de corpo inteiro foi utilizado o acelerômetro de assento montado no banco onde o operador permanece sentado ao utilizar o equipamento. Esse esquema de montagem permitiu a

coleta dos dados das acelerações para o colaborador que operava a empilhadeira. A Figura 10 apresenta o acelerômetro de assento semelhante ao que foi utilizada (A) e a montagem do mesmo no assento (B).

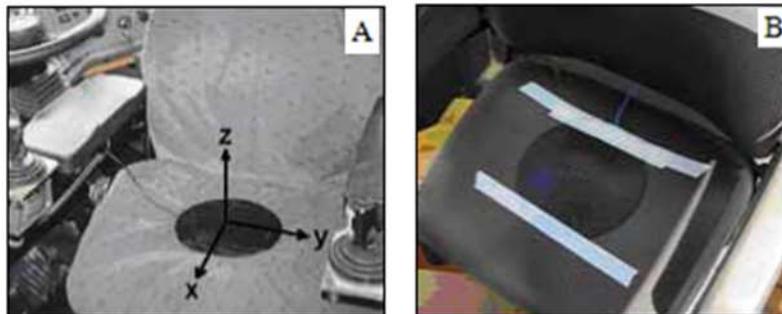


Figura 10: Acelerômetro de assento (A) e montagem do mesmo (B).

Fonte: Fundacentro - NHO 10/2013.

Na avaliação do corpo inteiro a faixa de frequência analisada foi de 0,5 a 80 Hz conforme a ISO 2631/2010, sendo que a região de maior sensibilidade do ser humano é de 4 a 8 Hz para o eixo longitudinal Z e 1 a 2 Hz para os eixos transversais X e Y.

Durante a medição da vibração, o dosímetro multiplica a aceleração pela ponderação correspondente a cada frequência, pois a resposta do corpo humano à vibração não é linear em todas as frequências. Isso se justifica porque é necessário corrigir as respostas de sensibilidade nas diferentes frequências. A avaliação do efeito da vibração sobre a saúde deve ser feita independentemente em cada eixo, devendo ser considerado o maior valor das acelerações ponderadas nas frequências medidas nos três eixos do assento. Então, dos dados coletados das acelerações nos eixos X, Y e Z, são utilizados as acelerações ponderadas, as quais são utilizadas para os cálculos do A_{re} e A_{rn} . Analisa-se também o do fator de crista das acelerações para a determinação do valor da dose de vibração VDV.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. RESULTADO PARA VIBRAÇÃO LOCALIZADA

Realizaram-se as medições de vibrações nos três eixos para os casos de utilização dos quatro tipos de lixadeiras. A Figura 11 apresenta a tela de registros das vibrações do software dB Maestro, ao longo do intervalo de medições para os três eixos, no caso da lixadeira de alta frequência.

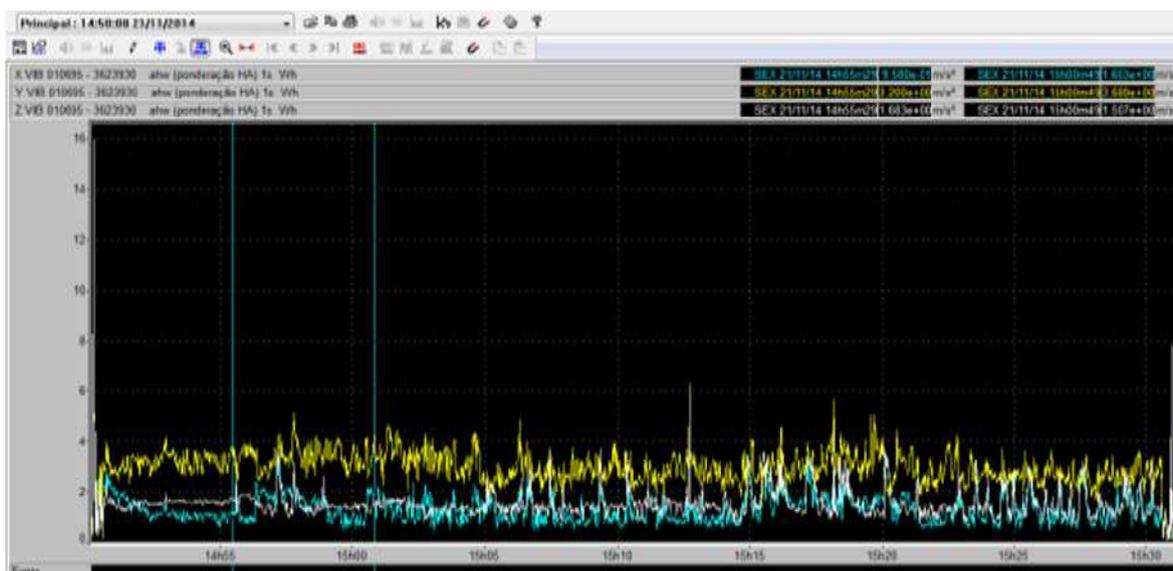


Figura 11: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de alta frequência.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Nota-se a variação das vibrações instantâneas a cada instante de tempo, sendo assim necessária a identificação das acelerações ponderadas nos três eixos. O software utilizado pelo equipamento de medição de vibração armazenou os dados das vibrações e calculou as acelerações ponderadas nos três eixos. Esses dados das acelerações ponderadas foram fundamentais para os cálculos dos parâmetros para avaliação quantitativa do efeito da vibração sobre o colaborador. As Figuras 12, 13 e 14 apresentam as telas de registro das acelerações para as demais lixadeiras.

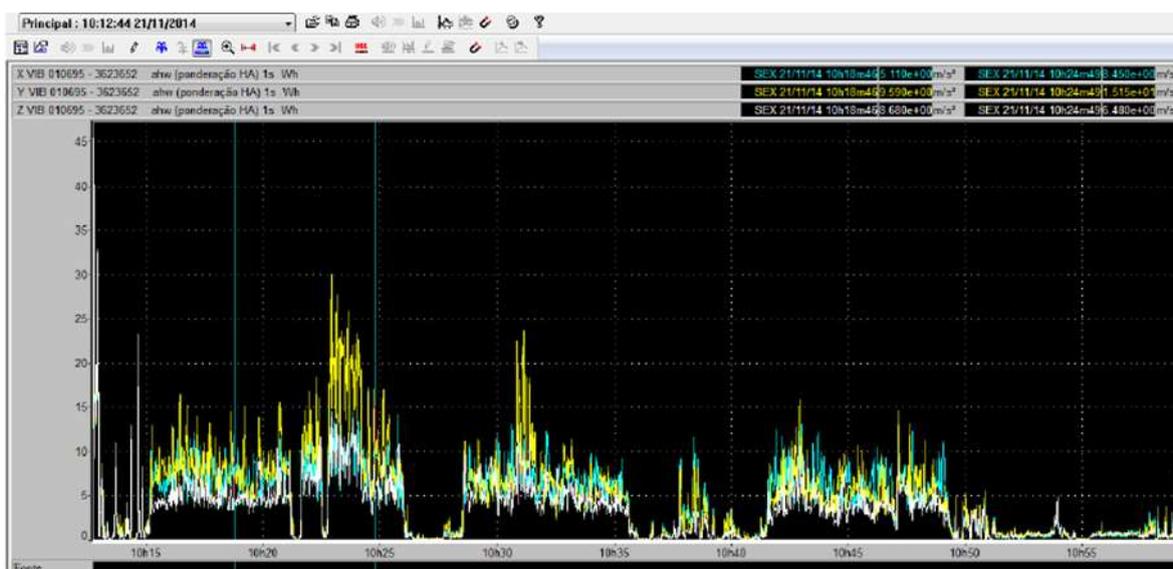


Figura 12: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de 9 polegadas.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.



Figura 13: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de 7 polegadas.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

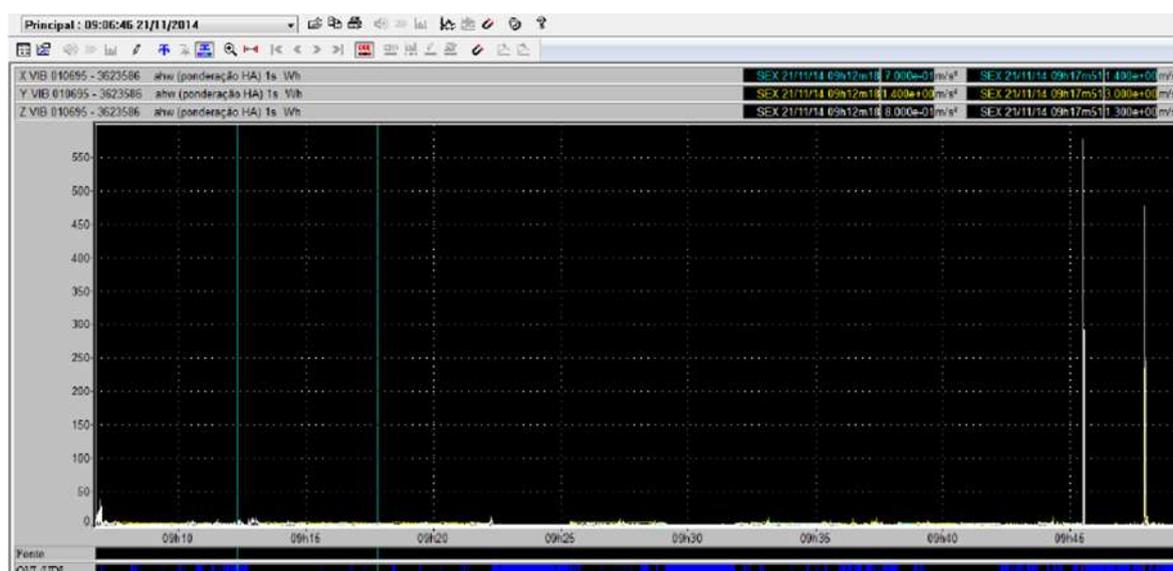


Figura 14: Tela de registro das acelerações nos três eixos para o caso da lixadeira de 4 polegadas.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

Para o caso da lixadeira de 4 polegadas, o gráfico de registros das acelerações está com a escala pequena, não sendo possível perceber em detalhes as oscilações das vibrações. Porém os gráficos dos outros registros estão com a escala grande e permitem analisar em detalhes as oscilações das vibrações.

As acelerações ponderadas e os tempos de medições nos quais ocorreram as coletas das informações de vibrações para todas as lixadeiras são apresentados na Tabela 1. Esses dados permitiram a realização dos cálculos dos parâmetros de análise de vibração dados pelas equações 6, 7 e 8, são eles:

aceleração total, aceleração resultante de exposição *Are* e aceleração resultante de exposição normalizada *Aren*, respectivamente. No caso do cálculo do *Aren* utiliza-se ainda a informação do tempo de exposição à vibração de 05h:20 para uma jornada de trabalho diária de 08h:00.

Tabela 1: Resultados das medições de vibração localizada

Equipamento	Acelerações ponderadas (m/s ²)			Tempo de medição (min)	Aceleração Total (m/s ²)	<i>Are</i> (m/s ²)	<i>Aren</i> (m/s ²)	Tempo máximo de exposição (min)	<i>D_y</i> (anos)
	X	Y	Z						
Lixadeira 4"	12,44	9,60	15,40	42,60	22,00	22,00	17,96	24,79	1,49
Lixadeira 7"	3,49	6,70	5,00	28,00	9,06	9,06	7,40	146,22	3,81
Lixadeira 9"	5,70	6,88	4,71	46,45	10,10	10,10	8,25	117,64	3,40
Lixadeira Alta Frequência	1,48	3,02	1,64	41,12	3,74	3,74	3,06	857,12	9,73

Segundo as considerações técnicas da norma NHO 10 apresentadas na tabela da Figura 5, o valor máximo de *Aren* para a exposição de vibração se enquadrar dentro de valores aceitáveis é de até 2,5 m/s², acima disso requer que sejam tomadas medidas preventivas. Já com relação ao limite de exposição, o valor é de 5 m/s², ou seja, acima disso é considerado condição insalubre e necessidade imediata de medidas corretivas. Conclui-se que as lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas os colaboradores apresentaram exposição a acelerações acima do limite de exposição da norma supracitada, necessitando de tomada de medidas corretivas imediatas, sendo o caso da lixadeira de 4 polegadas o mais crítico de todos os outros casos. Para o caso da lixadeira de alta frequência a exposição a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas.

Ainda com relação a análise dos dados da Tabela 1, estimaram-se os tempos máximos de exposição diária dos colaboradores operando as lixadeiras nas condições de exposição de vibrações atuais e de jornada de trabalho. Conclui-se que os tempos permitidos, isto é, o qual estaria abaixo do limite de exposição, são abaixo do tempo atual de trabalho exposto a vibração para os casos das lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas, principalmente para a operação da lixadeira de 4 polegadas, a qual apresenta maior criticidade de exposição de vibração ao colaborador. Analisando-se o caso da lixadeira de alta frequência, o tempo diário de operação do equipamento poderia ser maior que o tempo atual de trabalho. Logo o trabalhador poderia operar o equipamento por um tempo maior do que o habitual

sem estar em situação de insalubridade por vibração, logicamente, se atendendo na realização de medidas preventivas para a saúde laboral do colaborador.

Segundo análise do valor do *Aren* aplicado a estimativa de produzir a síndrome do dedo branco em 10 % das pessoas expostas à vibração para determinado tempo em anos é apresentado também na Tabela 1, com base na utilização da equação 9. Nota-se que em menos de 4 anos de exposição essa estimativa ocorrerá em três das lixadeiras, exceto a de alta frequência, a qual leva cerca de quase 10 anos.

4.2. RESULTADO PARA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO

Realizaram-se as medições de vibrações nos três eixos para os casos de utilização da empilhadeira. A Figura 15 apresenta a tela de registros das vibrações do software dB Maestro ao longo do intervalo de medições para os três eixos.

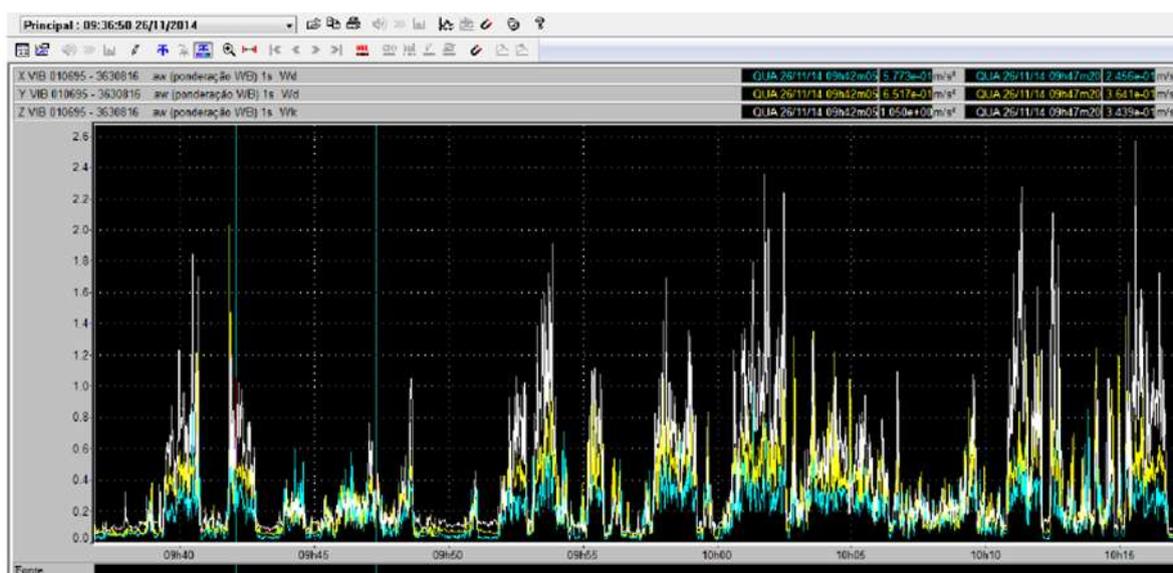


Figura 15: Tela de registro das acelerações nos três eixos para a empilhadeira.

Fonte: Acervo técnico da empresa, 2014.

As acelerações ponderadas e os tempos de medições, nos quais ocorreram as coletas das informações de vibrações para todas as lixadeiras, são apresentados na Tabela 2. Esses dados permitiram a realização dos cálculos dos parâmetros de análise de vibração dados pelas equações 1, 2 e 3, são eles: aceleração total, aceleração resultante de exposição *Are* e aceleração resultante de exposição normalizada *Aren*, respectivamente. No caso do cálculo do *Aren*, utiliza-se ainda a informação do tempo de exposição à vibração de 05h:20 para uma jornada de trabalho diária de 08h:00.

Tabela 2: Resultados das medições de vibração de corpo inteiro

Equipamento	Acelerações ponderadas (m/s ²)			Tempo de medição (min)	Aceleração Global (m/s ²)	Are (m/s ²)	Aren (m/s ²)	Tempo máximo de exposição (min)
	X	Y	Z					
Empilhadeira	0,25	0,35	0,53	40,38	0,80	0,80	0,65	902,56

Segundo as considerações técnicas da norma NHO 09 apresentadas na tabela da Figura 3, o valor máximo de *Aren* para a exposição de vibração se enquadrar dentro de valores aceitáveis é de até 0,5 m/s², acima disso requer que sejam tomadas medidas preventivas. Já com relação ao limite de exposição, o valor é de 1,1 m/s², ou seja, acima disso é considerada condição insalubre e necessidade imediata de medidas corretivas. Pela análise dos resultados cálculos, a exposição a vibração na utilização da empilhadeira, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas.

Ainda com relação a análise dos dados da Tabela 2, estimou-se o tempo máximo de exposição diária do colaborador operando a empilhadeira nas condições de exposição de vibração atual e de jornada de trabalho. Conclui-se que o tempo permitido, isto é, o qual estaria abaixo do limite de exposição, poderia ser maior que o tempo atual de trabalho exposto a vibração. Logo o trabalhador poderia operar o equipamento por um tempo maior do que o habitual, sem estar em situação de insalubridade por vibração, logicamente, se atendendo na realização de medidas preventivas para a saúde laboral do colaborador.

Segundo a análise do fator de crista das acelerações para a determinação do valor da dose de vibração VDV, calculados pelo software do dosímetro baseado nas equações 4 e 5, obteve-se um valor de fator de crista inferior a 9,1 m/s^{1,75} na qual está na faixa técnica aceitável. A Tabela 3 apresenta os resultados encontrados para os valores de crista.

Tabela 3: Resultados para fator de crista.

Equipamento	Fator de crista (m/s ^{1,75})			Valor máximo (m/s ^{1,75})
	X	Y	Z	
Empilhadeira	6,38	4,78	5,50	6,38

Como o máximo valor do fator de crista é inferior ao limite de exposição, não há necessidade de considerar o valor da dose de vibração *VDV*, pois segundo o critério de avaliação da tabela da Figura 3 da norma NHO 09, o valor da aceleração supracitada está dentro da faixa aceitável.

4.3 ADOÇÃO DE MEDIDAS

Conforme discutido, as situações de vibração localizada e de corpo inteiro, para os casos de utilização de três lixadeiras (4, 7 e 9 polegadas) é necessária tomada de medidas corretivas imediatas, pois os níveis de vibração nos quais os trabalhadores estão expostos são acima do limite de tolerância. Já para a lixadeira de alta frequência, classificada como vibração localizada e para a empilhadeira classificada como vibração de corpo inteiro, necessita-se de adoção de medidas preventivas para melhoria da saúde laboral dos trabalhadores que operam esses equipamentos, pois as análises das vibrações indicaram exposição a valores acima do nível de ação e abaixo do limite de exposição.

4.3.1 MEDIDAS PREVENTIVAS

- Realizar monitoramento periódico da exposição;
- Realizar treinamento quanto aos riscos decorrentes da exposição à vibração e a forma correta de utilização dos equipamentos para ficarem menos expostos às vibrações;
- Realizar vigilância focada aos efeitos da exposição à vibração;
- Nas exposições as vibrações localizadas devem ser estabelecidas praticas adequada de trabalho que permitam manter aquecidas as mãos;
- Criar procedimento de trabalho e métodos alternativos para reduzir a exposição a vibrações;
- Controle médico dos trabalhadores expostos a vibração conforme determina a NR-07- Programa de Controle Medico de saúde ocupacional.

4.3.2 MEDIDAS CORRETIVAS

- Realizar manutenção nos equipamentos existentes no setor;
- Realizar estudo para melhoria no processo ou melhoria no equipamento;
- Reduzir o tempo de exposição a vibração promovendo rodízios e pausas;
- A calibração de pneus da empilhadeira contribui para diminuição das vibrações transmitida;

- Utilização de luvas anti vibração para utilização das lixadeiras.

5 CONCLUSÃO

Ao fim das avaliações da vibração ocupacional dos trabalhadores, constatou-se que com a utilização das lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas, os colaboradores apresentaram exposição a acelerações acima do limite de exposição da norma NR 15- Anexo 8, necessitando de tomada de medidas corretivas imediatas, sendo a lixadeira de 4 polegadas o cenário mais crítico. Algumas medidas corretivas propostas foram: manutenção nos equipamentos existentes no setor, redução do tempo de exposição a vibração promovendo rodízios e pausas, criar procedimento de trabalho e métodos alternativos para reduzir a exposição a vibrações, entre outras medidas. Para o caso da lixadeira de alta frequência a exposição a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas.

Com base nos resultados dos tempos máximos de exposição diária dos colaboradores operando as lixadeiras nas condições de exposição de vibrações atuais e de jornada de trabalho, pode-se concluir que os tempos permitidos estão abaixo do tempo atual de trabalho exposto a vibração para os casos das lixadeiras de 4, 7 e 9 polegadas, principalmente para a operação da lixadeira de 4 polegadas, a qual apresenta maior criticidade de exposição de vibração ao colaborador. Analisando-se o caso da lixadeira de alta frequência, o tempo diário de operação do equipamento poderia ser maior que o tempo atual de trabalho.

Já em relação a análise dos resultados calculados, referentes a utilização da empilhadeira, constatou-se que a vibração, embora abaixo do limite de exposição, está acima do nível de ação, requerendo tomadas de medidas preventivas, entre elas: monitoramento periódico da exposição, treinamentos quanto aos riscos decorrentes da exposição à vibração, controle médico dos trabalhadores, entre outras.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentar 15: Atividades e operações insalubres – Anexo 08: Vibração, 2014;
- FUNDACENTRO. Norma de higiene ocupacional: NHO 09 - Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico. São Paulo: Fundacentro, 2013;
- FUNDACENTRO. Norma de higiene ocupacional: NHO 10 - Avaliação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços: procedimento técnico. São Paulo: Fundacentro, 2013;
- GONÇALVES, F. B; CATAI, R. E. Avaliação da vibração e ruído ocupacionais no fresamento de pisos industriais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Brasil Espacios. Vol. 36, 2015;
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Guia para medição e avaliação da exposição humana a vibrações de corpo inteiro - ISO 2631. Genebra: ISO, 1997;
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Guia para medição e avaliação da exposição humana a vibrações transmitidas à mão - ISO 5349. Genebra: ISO, 2001;
- SALIBA, T. Manual prático de avaliação e controle de VIBRAÇÃO. São Paulo: LTR, 2013.