

A engenharia mecânica na engrenagem do Recôncavo

Edilberto Andrade Silva
Gilmar Emanuel Silva de Oliveira
Ivanoé João Rodowanski
Janina Betania Alves da Silva
(Organizadores)

A engenharia mecânica na engrenagem do Recôncavo

REITOR

Fábio Josué Souza dos Santos

VICE-REITOR

José Pereira Mascarenhas Bisneto

SUPERINTENDENTE

Rosineide Pereira Mubarack Garcia

CONSELHO EDITORIAL

Leila Damiana Almeida dos Santos Souza

Leilane Silveira D'Ávila

Luciana da Cruz Brito

Maurício Ferreira da Silva

Paula Hayasi Pinho

Paulo Henrique Ribeiro do Nascimento

Rafael dos Reis Ferreira

Rosineide Pereira Mubarack Garcia (Presidente)

Rubens da Cunha

SUPLENTES

Carlos Alfredo Lopes de Carvalho

Marcílio Delan Baliza Fernandes

Tatiana Polliana Pinto de Lima

COMITÊ CIENTÍFICO

(Referente ao Edital nº. 001/2020 EDUFRB – Coleção Sucesso
Acadêmico na Graduação da UFRB)

Edilberto Andrade Silva

Gilmar Emanuel Silva de Oliveira

Ivanoé João Rodowanski

Jania Betania Alves da Silva

EDITORA FILIADA À



Associação Brasileira
das Editoras Universitárias

Edilberto Andrade Silva
Gilmar Emanuel Silva de Oliveira
Ivanoé João Rodowski
Janina Betânia Alves da Silva
(Organizadores)

A engenharia mecânica na engrenagem do Recôncavo



Editora UFRB
Cruz das Almas - Bahia
2023

Copyright©2023 by Edilberto Andrade Silva, Gilmar Emanuel Silva de Oliveira,
Ivanoé João Rodowanski e Jania Betania Alves da Silva

Direitos para esta edição cedidos à EDUFRB

Projeto gráfico, capa e editoração eletrônica

Antonio Vagno Santana Cardoso

Revisão e normatização técnica

Ivanoé João Rodowanski

A reprodução não-autorizada desta publicação, por qualquer meio, seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.

E57

A engenharia mecânica na engrenagem do Recôncavo /
Organizadores: Edilberto Andrade Silva... [et al]._ Cruz
das Almas, BA: EDUFRB, 2023.
230p.; il.

Este Livro Eletrônico é parte da Coleção Sucesso
Acadêmico na Graduação da UFRB, Vol. XL.

ISBN: 978-65-88622-31-5.

1.Engenharia mecânica – Análise. 2.Engenharia
mecânica – Ciências dos Materiais. 3.Recôncavo (BA).
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de
Ciências Exatas e Tecnológicas. II.Silva, Edilberto
Andrade. III.Oliveira, Gilmar Emanuel Silva de.
IV.Rodowanski, Ivanoé João. V.Silva, Jania Betania Alves
da. VI.Título.

CDD: 621

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela
Elaboração – Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

Livro publicado em 12 de junho de 2023



Editora UFRB

Rua Rui Barbosa, 710 – Centro
44380-000 Cruz das Almas – Bahia/Brasil

Tel.: (75) 3621-7672

editora@reitoria.ufrb.edu.br

www.ufrb.edu.br/editora

Sumário

Apresentação

*Edilberto Andrade Silva, Gilmar Emanuel Silva de Oliveira,
Ivanoé João Rodowanski, Jania Betania Alves da Silva* 9

Método de anodização de corpos de prova de alumínio

*Douglas Jamson Pereira da Silva,
Ivanoé João Rodowanski* 15

Hidrociclone para separação de fécula e manipueira

*Caique Solon Lima Alves dos Santos,
Ivanoé João Rodowanski* 27

Extrusora para filamentos de PET para impressão 3D

*Paulo Victor dos Santos Pereira, Altino Araújo Soares Neto,
Ivanoé João Rodowanski* 41

Bancada didática de balanceamento de sistemas rotativos

*Abdon Tapia Tadeo,
Jose Antônio da Silva Junior* 55

Avaliação de resíduo industrial para reutilização

*Dannywill Medeiros dos Santos, Lucas Guimarães Cardoso,
Janja Betania Alves da Silva* 69

Atenuador de impacto de baixo custo para fórmula SAE

*Yan Andrade Neves,
Janja Betania Alves da Silva* 83

Fotoelasticidade na flexão de viga coroad e plana

*Lucas Rocha Melo,
Vanio Vicente De Souza* 93

Determinação de coeficientes aerodinâmicos em aerofólios

*Gabriel Oliveira Fiuza,
Felipe Andrade Torres* 107

Análise biomimética de <i>winglets</i> múltiplos e perfil NACA 0012	
<i>Ana Hellen Carvalho dos Santos,</i>	
<i>Vânio Vicente Santos de Souza</i>	123
Estabilidade de perfil bio-inspirado (família <i>asteraceae</i>)	
<i>Tatiane dos Santos Ferreira,</i>	
<i>Vânio Vicente Santos de Souza</i>	139
Método francês de diagnóstico na manutenção de uma fábrica de injeção de polímeros	
<i>Tamiles Emily Nascimento Matos,</i>	
<i>Vânio Vicente Santos de Souza</i>	155
Análise ergonômica em uma empresa de Cruz das Almas/BA	
<i>Viviane dos Santos Pedreira,</i>	
<i>Gilmar Emanuel Silva de Oliveira</i>	171
Manutenção preventiva: abordagem de melhoria em EPP	
<i>Gabriela Soares Santos,</i>	
<i>Edilberto Andrade Silva</i>	185
Plano gerencial para empresa de manutenção industrial	
<i>Nilton de Jesus de Oliveira Júnior,</i>	
<i>Edilberto Andrade Silva</i>	197
Plano de adequação à NR-12 numa empresa agroalimentícia	
<i>Sillas Souza Oliveira,</i>	
<i>Edilberto Andrade Silva</i>	213
Sobre os autores	227

Apresentação

*Edilberto Andrade Silva,
Gilmar Emanuel Silva de Oliveira
Ivanoé João Rodowanski
Janina Betania Alves da Silva*

Caro leitor, é uma satisfação lhe apresentar esta obra. Ela reúne uma miscelânea de trabalhos acadêmicos realizados pelos estudantes de graduação do Bacharelado em Engenharia Mecânica, e seu primeiro ciclo, chamado Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas, cursos oferecidos pelo Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizada na cidade de Cruz das Almas, estado da Bahia.

Os trabalhos aqui apresentados contemplam atividades de pesquisa, estágio e trabalhos de conclusão de curso (TCC), sob orientação dos docentes que compõem a área de conhecimento de Sistemas Mecânicos (SIMEC), foram realizados entre os anos de 2014 e 2021.

O primeiro capítulo, “Método de anodização de corpos de prova de alumínio”, é fruto de um trabalho de conclusão de curso do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), elaborado entre outubro de 2018 e fevereiro de 2019, na cidade de Feira de Santana, e aborda um processo industrial conhecido como anodização. O foco do trabalho foi a aplicação da anodização sulfúrica em corpos de prova de alumínio comercial, utilizando materiais acessíveis, como solução de bateria, água destilada, cátodo de cobre e uma fonte de computador.

O segundo capítulo, “Hidrociclone para separação de fécula e manipueira”, apresenta o resultado de um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Engenharia Mecânica realizado na UFRB no ano de 2019, que teve como finalidade a construção e avaliação de um dispositivo separador de fases do tipo hidrociclone. Foram construídos dois equipamentos, ambos têm a finalidade de separar fécula de mandioca e manipueira, um com menor diâmetro afim de otimizar o mecanismo de separação, construídos com corpo de garrafa PET

e materiais de baixo custo para viabilizar a utilização na agricultura familiar. Para a realização dos testes foi necessário o *start-up* da operação com água para ajuste dos vórtices responsáveis por parte da separação, após esse ajuste, testes comparativos com amostras de massa e de nível foram realizados, a fim de validar a utilização do equipamento.

O terceiro capítulo, “Extrusora para filamentos de PET para impressão 3D”, é fruto de um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Engenharia Mecânica, realizado na UFRB no ano de 2019, com temática voltada para proposta de uma máquina de reciclagem sustentável. O capítulo apresenta o desenvolvimento de um equipamento extrusor para fabricar filamentos para impressão 3D mais acessível, de baixo custo.

O quarto capítulo, “Bancada didática de balanceamento de sistemas rotativos”, é resultado de um trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica da UFRB, realizado no ano de 2014. Aborda o balanceamento dinâmico de sistemas rotativos, por conta da prevenção de danos gerados por fadiga em estruturas associadas, sendo que o desbalanceamento de componentes rotativos nas máquinas, gera forças variantes no tempo e conseqüentemente tensões variantes no tempo, com uma frequência igual ao da rotação do eixo. O objetivo do trabalho foi construir uma bancada didática que permita visualizar o efeito do desbalanceamento, assim como, o balanceamento dinâmico em um plano, permitindo dessa forma a simulação do comportamento dinâmico de sistemas mecânicos existentes.

O quinto capítulo, “Avaliação de resíduo industrial para reutilização”, apresenta um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas da UFRB, realizado em junho de 2015, onde é abordada a reutilização de resíduos de uma indústria de calçados da região do Recôncavo da Bahia. O estudo teve como objetivo caracterizar o resíduo de EVA (Etileno Acetato Vinila) de uma empresa de calçados da região do Recôncavo Baiano, e através dos resultados obtidos avaliar o potencial de aplicação desse resíduo como revestimento\isolamento acústico e térmico.

O sexto capítulo, “Atenuador de impacto de baixo custo para fórmula SAE”, é referente a um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas da UFRB, realizado em 2017. Aborda o estudo de um dispositivo obrigatório de segurança, utilizado em veículos de competição,

chamado de atenuador de impacto. O regulamento da competição e outros modelos de atenuadores apresentados por equipes da competição foram revisados para que fosse proposto um projeto novo e de baixo custo. Construiu-se um protótipo do projeto com geometria baseada em um tronco de pirâmide utilizando chapas de aço, com custo bastante reduzido. O protótipo foi ensaiado no teste quase estático (máquina de ensaios universal).

O sétimo capítulo, “Fotoelasticidade na flexão de viga coroada e plana”, foi resultado de um trabalho de conclusão de curso da Engenharia Mecânica da UFRB, realizado em 2018. Descreve um estudo baseado na fotoelasticidade de diferentes vigas. O trabalho mostra a construção de um polariscópio plano de transmissão com posterior determinação do perfil da distribuição de tensões-deformações através das franjas isocromáticas em vigas curva simples (V_1 e V_2) e vigas coroadas (C_1 e C_2).

O oitavo capítulo, “Determinação de coeficientes aerodinâmicos em aerofólios”, é fruto de um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas da UFRB, realizado no ano de 2017. O objetivo do trabalho descrito neste capítulo foi determinar os coeficientes aerodinâmicos básicos de escoamentos, em diferentes condições, atuando sobre aerofólios recorrentemente utilizados em aeronaves de transporte. Com base nos princípios da mecânica dos fluidos e no uso da ferramenta de CFD, foi possível avaliar modelos de perfis simétrico e assimétrico. Os perfis escolhidos foram o NACA 0012 (simétrico) e NACA 4412 (assimétrico), de acordo com o método dos volumes finitos (MVF).

O nono capítulo, “Análise biomimética de winglets múltiplos e perfil NACA 0012”, é resultado de um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas da UFRB, realizado no ano de 2020. Apresenta resultados de estudos de componentes aerodinâmicos bio-inspirados em aves. Para o trabalho apresentado neste capítulo foram projetados e testados, em um túnel de vento de 7,68 m/s, três *winglets* múltiplos em escala reduzida, inspirados na ponta de asa de aves planadoras.

O décimo capítulo, “Estabilidade de perfil bio-inspirado (família *asteraceae*)” apresenta o resultado de um trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica da UFRB, realizado no ano de 2019. Onde é abordado um estudo sobre biomimética e sistemas bio-inspirados. Para conceber o estudo,

apresentado neste capítulo, foi dimensionado e confeccionado um túnel de vento vertical de baixa velocidade com diâmetro de 125 mm, quatro perfis bio-inspirados e três laminadores de fluxo a partir de canudos plásticos. Os resultados foram obtidos através de registros fotográficos, filmagens e medição da velocidade do fluxo de ar.

O décimo primeiro capítulo, “Método francês de diagnóstico na manutenção de uma fábrica de injeção de polímeros” traz um estudo proveniente de um trabalho de conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica da UFRB, realizado em 2018, onde é analisado o gerenciamento da manutenção em uma fábrica de injeção de plásticos, utilizando a metodologia de diagnóstico da manutenção industrial denominado Método Francês buscando propor melhorias ao processo. Para a descrição do estado de manutenção da empresa, iniciou-se o mapeamento de processos, com análise do contexto produtivo e a utilização da ferramenta de investigação comumente implementada por outras pequenas e médias empresas.

O décimo segundo capítulo, “Análise ergonômica em uma empresa de Cruz das Almas/BA” aborda o estudo realizado para um trabalho de conclusão do curso de Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas da UFRB, realizado em 2019, e teve como objetivo principal a análise da conjuntura ergonômica numa fábrica de confecção localizada no município de Cruz das Almas, Bahia. O método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso, por possibilitar resultados satisfatórios, do tipo qualitativo, se adequando exatamente ao tipo de dados coletados, realizados in loco. Foram utilizados para a investigação dos fatores de riscos ergonômicos o Método Ovako Working Posture Analysing System, um *Checklist* baseado na Norma Regulamentadora 17 – Ergonomia e um levantamento do fluxo operacional.

O décimo terceiro capítulo, “Manutenção preventiva: abordagem de melhoria em EPP”, apresenta um estudo aplicado a uma indústria de pequeno porte, desenvolvido durante a atividade de estágio supervisionado no período de maio a julho de 2016, e teve como objetivo a elaboração de um plano de manutenção preventiva para os principais equipamentos da empresa. O conhecimento das rotinas da empresa, objeto de estudo deste capítulo, foi a coleta de informações dos equipamentos e suas condições operacionais fundamentaram a construção do plano, que apresenta as especificações

técnicas juntamente com as recomendações e procedimentos necessários para a manutenção preventiva da unidade fabril.

O décimo quarto capítulo, “Plano gerencial para empresa de manutenção industrial” apresenta os resultados de um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Engenharia Mecânica da UFRB, realizado entre os meses de fevereiro e julho de 2019 em Salvador. O objetivo do estudo é identificar demandas da organização para a elaboração de um plano gerencial para alavancagem dos resultados de uma empresa de manutenção industrial de pequeno porte, por meio de melhorias como a padronização e otimização de processos, com a aplicação de ferramentas da qualidade, do gerenciamento de rotina e melhoria contínua. Nele foi utilizada uma pesquisa bibliográfica e descritiva, tendo como método o estudo de caso, onde foi realizado um levantamento de dados dentro da organização. Foi realizada uma análise do contexto da empresa, para em seguida definir objetivos, metas e plano de ação. Como resultado foram estabelecidas as diretrizes de um novo sistema de gestão, que visa permitir um maior controle dos processos e da qualidade dos serviços prestados, a fim de manter empresa competitiva dentro do seu mercado.

O décimo quinto e último capítulo, “Plano de adequação à NR-12 numa empresa agroalimentícia” foi elaborado a partir de um trabalho de conclusão de curso do Bacharelado em Engenharia Mecânica da UFRB, desenvolvido entre os meses de maio e junho de 2018, onde é descrito o processo de elaboração do plano de adequação à norma regulamentadora de segurança no trabalho em máquinas e equipamentos (NR-12), para uma empresa agro alimentícia do estado da Bahia. As propostas apresentadas visam o atendimento à NR-12 publicada pela Portaria MTb nº 326/2018, que tem como abrangência garantir a saúde e integridade física dos trabalhadores. Para esse trabalho foram avaliados 36 máquinas e equipamentos nas áreas agrícola e industrial, foram identificadas 93 não conformidades sendo 70% na área agrícola.

Para finalizar a apresentação desta obra, alguns leitores, certamente devem ter ficado curiosos por conta da origem do título desta obra “A engenharia mecânica na engrenagem do Recôncavo”. A engrenagem é um componente mecânico essencial em muitos mecanismos, seja em equipamentos industriais ou automobilísticos, ela deve atender a parâmetros rigorosos de projeto e condições específicas de funcionamento para desempenhar seu papel

adequadamente. O mau funcionamento desse componente, causa danos sérios ao equipamento e prejuízos consideráveis à produtividade.

Os organizadores desta obra acreditam que o Curso de Engenharia Mecânica da UFRB é a engrenagem que faltava para o correto funcionamento e alavancamento das atividades industriais do Recôncavo da Bahia, que há muitos anos sofria com a falta de mão de obra técnica e suporte intelectual adequado para as operações industriais na região. Muitos dos capítulos seguintes mostram como essa engrenagem vem funcionando.

Método de anodização de corpos de prova de alumínio

Douglas Jamson Pereira da Silva

Ivanoe João Rodowanski

Introdução

De acordo com Davis (1993), o alumínio é o terceiro metal mais abundante da Terra, sendo seu uso em grande expansão, devido a fatores econômicos e técnicos. Por ser muito reativo, é de difícil obtenção de seus minérios. A bauxita, embora apresente algumas dificuldades, tais quais elevado ponto de fusão e baixa condutividade elétrica, apresenta-se como um minério viável comercialmente.

O alumínio resiste à oxidação contínua, pois quando a superfície é exposta à atmosfera, este se combina com o oxigênio formando um filme de óxido de alumínio com alta aderência que impede a continuação da oxidação com taxas elevadas. Uma vez danificada a camada gerada naturalmente por exposição à atmosfera, a superfície metálica exposta é imediatamente reoxidada, formando novamente uma fina camada, aderente e incolor de óxido de alumínio (FONTANA, 2007). Embora o alumínio e suas ligas apresentem boa resistência à corrosão sob atmosferas de baixa agressividade, para uso industrial esse filme não proporciona longa proteção (MENDOZA; CORVO, 2000). Consequentemente, medidas de proteção se tornam necessárias para atender as exigências do mercado quanto à vida útil do material.

O alumínio anodizado tem as mais diversas aplicações, podendo ser utilizado desde aparelhos domésticos e eletrônicos pessoais, até aplicações na indústria aeroespacial. A anodização do alumínio é um dos melhores métodos de preparação de um revestimento protetor sobre o mesmo. Decorrente das inúmeras aplicações decorativas, de proteção e para a engenharia, cada vez mais novas patentes e trabalhos de divulgação científica tem aparecido na literatura (REGONE, 2004). O principal objetivo da anodização é a proteção do material em relação aos agentes externos, protegendo-o contra a corrosão, abrasão e intemperismo (DOMINGUES, 2003).

Ademais, através desse processo é possível eliminar irregularidades oriundas de processos anteriores, tais como a laminação, usinagem, estampagem e extrusão. O revestimento anódico por ser fortemente aderente ao substrato é uma superfície adequada para receber vários processos de pinturas. Materiais a base de alumínio, que recebem uma pintura para poderem ser utilizados em ambientes fortemente corrosivos, devem sofrer uma anodização prévia (REGONE, 2004).

Este capítulo descreve um trabalho que teve como objetivo realizar o processo de anodização em corpos de prova de alumínio com materiais facilmente obtidos no cotidiano, a fim de elucidar a real possibilidade de anodizar corpos de prova constituídos de alumínio e obter resultados comparáveis ao processo de anodização que a indústria usa em larga escala.

Em razão dos potenciais benefícios advindos da anodização, relevância da temática e considerando o pouco aporte bibliográfico disponível sobre a mesma, esse trabalho buscou contribuir para a literatura, bem como demonstrar que não se trata de um processo de demasiada complexidade, tão pouco de exclusividade das grandes indústrias.

Método

Para a realização do experimento foi testada a anodização sulfúrica do alumínio natural série 1000, também conhecido como comercialmente puro, foi utilizado corante de tecido como pigmento para coloração. A amostra de alumínio utilizado para o experimento, foi uma chapa comercial de 1,0 mm, padronizado em corpos de prova de dimensão 50mm x 50mm. Como solução para criar a camada de óxido no corpo de prova, foi utilizada uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água destilada (H_2O), com 15% de concentração de ácido sulfúrico, suficiente para criar uma camada porosa capaz de absorver o pigmento. A alternativa escolhida para composição desta solução foi utilizar solução de bateria e água destilada, que são produtos facilmente encontrados em pequenos volumes no comércio local e atendem aos requisitos do processo de anodização.

Para que o processo de anodização possa ocorrer, é necessário que exista um cátodo no recipiente ligado ao polo negativo da fonte de energia elétrica

(SARTOR, 2006). Neste experimento, o cátodo é constituído de cobre, nas dimensões de 100mm x 25,4mm x 4,76mm, foi localizado na região inferior do recipiente onde se encontrava a solução. Como fonte de corrente elétrica e tensão para o processo de anodização, foi utilizada uma fonte de computador, tipo ATX, com 550W de potência máxima. Neste experimento, foram utilizadas as saídas cujas tensões são 5V e 12V, ambas disponíveis na fonte.

A anodização é um processo de oxidação forçada, com parâmetros eletroquímicos controlados, aplicados ao alumínio e suas ligas, com a finalidade de protegê-lo contra a ação de agentes oxidantes externos e eliminar irregularidades superficiais originadas por processos anteriores, proporcionando à superfície alta resistência à abrasão, corrosão e intempéries, além de conferir aspecto decorativo, facilitando a manutenção dos padrões idealizados nos projetos (SILVA, 1991).

Com intuito de monitorar a temperatura da solução de ácido sulfúrico e também da solução de corante de tecido para a coloração do corpo de prova, foi utilizado um termômetro digital da marca Mundial, cuja faixa de medição é de -50°C a 300°C, suficiente para as temperaturas que foram alcançadas durante o experimento. Para monitoramento e registro dos valores de corrente que foi aplicada ao corpo de prova durante o experimento foi utilizado um multímetro digital da marca EDA modelo DT830B, cuja incerteza é de $\pm 2,0\%$.

Como pigmento para o corpo de prova, foi utilizado corante de tecido, classificado como pigmento orgânico, solúvel em água e compatível com a proposta do trabalho. Segundo Martins (2005), utilizam-se corantes orgânicos, tais quais anilinas, solúveis na água e que tenham grande solidez à luz. Estes produtos químicos entram nos poros da camada de óxido (não colmatados) por absorção. Ademais, foi utilizado um Micrômetro analógico para medir a espessura da camada de óxido criada durante o processo de anodização. No processo de anodização, a solução de ácido sulfúrico e água destilada foi colocada em um vasilhame de polietileno, devido ao polietileno não reagir quimicamente com a solução, e conseqüentemente não interferir no processo de formação da camada de óxido (SARTOR, 2006).

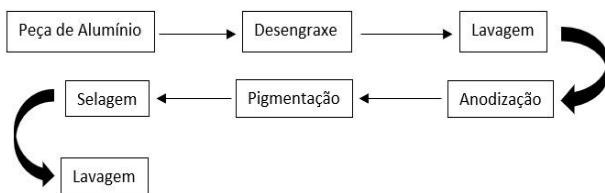
Para a etapa do processo de tingimento do corpo de prova em alumínio, foi utilizado uma panela metálica convencional capaz de suportar a temperatura alcançada durante o processo de tingimento e selagem do corpo

de prova. Também foi utilizado um fogão doméstico para aquecer a panela até as temperaturas necessárias ao processo de tingimento do corpo de prova, que compreende a etapa de preparação da solução de corante e água destilada e também a etapa de selagem o corpo de prova após o tingimento.

Como descrito anteriormente, o objetivo deste trabalho consistiu em realizar o processo de anodização com materiais comumente encontrados no cotidiano, como a fonte de computador, vasilhame de polietileno, além de uma chapa de alumínio natural, que é comumente encontrada em comercio de ferragens. Uma representação gráfica do procedimento seguido no processo de anodização é mostrada no fluxograma da Figura 1.

Como primeira etapa de todo o processo, foi necessário o chamado desengraxe da peça, que consiste em uma limpeza da camada existente no material, visando retirar impurezas que possam estar na superfície do corpo de prova. Esta etapa do processo foi realizada utilizando uma lixa e lã de aço. Para avaliação da anodização, foi realizado o acompanhamento da corrente elétrica que fluiu da fonte para o corpo de prova, visto que o valor de corrente tende a baixar enquanto a camada de óxido está sendo criada na superfície do alumínio. Quando esta camada estiver completamente formada, ela cria um efeito isolante sobre a peça, ou seja, a camada impede que a peça venha a conduzir eletricidade.

Figura 1 - Fluxograma do processo de anodização.



Fonte: Silva, D.J.P. e Rodowanski, I.J. (2019).

A fim de medir espessura da camada de óxido formada durante o processo de anodização, foi utilizado um micrômetro analógico externo, com a finalidade de verificar se a camada criada nesse processo seria tão espessa quanto camadas criadas em processos de produção industrial de larga escala. Já para o processo de coloração, foi utilizado o termômetro a fim de evitar que a temperatura da solução, que tem a finalidade de tingir a camada de óxido criada no corpo de prova, seja alta demais a ponto de selar a camada de óxido, antes de a mesma ser tingida.

Após o processo de tingimento, o corpo de prova foi encaminhado para o processo de selagem, onde foi imerso em água destilada a 100°C, de modo que, os poros da camada sejam fechados e retenham a pigmentação de forma permanente. Finalizada a etapa de selagem, foi realizada a medição das dimensões do corpo de prova com um micrômetro, com o intuito de medir a espessura da camada de óxido que foi formada durante o processo de anodização. Também foi realizada a inspeção visual para análise da pigmentação obtida, sendo avaliada a uniformidade e tonalidade da pigmentação na superfície do corpo de prova.

Primeiramente, foi montado o recipiente com o cátodo de cobre em seu interior, ainda sem nenhum dos componentes da solução eletrolítica. A ligação para o polo negativo da fonte foi realizada através de uma garra ligada a um fio, sendo este conectado diretamente a um polo negativo disponível em um dos soquetes da fonte, como retratado na Figura 2.

Em seguida, foi preparada a solução eletrolítica para a realização do processo de anodização, sendo esta solução composta por duas partes de água para uma parte de solução de bateria, aproximando a solução dos 15% de concentração de ácido sulfúrico. Após depositada no recipiente, a solução de 1200ml é composta por 800ml de água e 400ml de solução de bateria, como mostrado na Figura 3 (A).

Figura 2 - Início da ligação da fonte ao cátodo.



Fonte: Silva, D.J.P e Rodowanski, I.J. (2019).

Após a solução já estar no recipiente, foi iniciada a preparação do corpo de prova para iniciar o processo de anodização do mesmo. A etapa inicial de preparação do corpo de prova consiste em desengraxar o mesmo, processo que tem por objetivo deixar sua camada superficial o mais uniforme possível a fim de receber a camada de óxido que é resultado do processo de anodização. Este

processo foi inicialmente realizado com lã de aço e detergente, como mostrado na Figura 3 (B) e posteriormente foi utilizada lixa Carborundum A100 para melhor acabamento da superfície do corpo de prova.

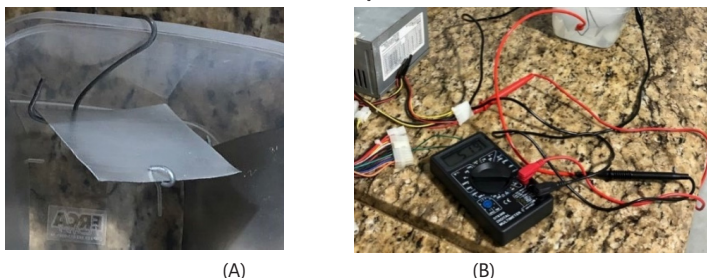
Figura 3 - Início da mistura dos componentes da solução eletrolítica (A), e processo de desengraxe do corpo de prova (B).



Fonte: Silva, D.J.P e Rodowanski, I.J. (2019).

Logo após o desengraxe, a peça foi lavada e colocada em um suporte construído para manter a mesma distante do cátodo, mostrado na Figura 4 (A). O material escolhido para este suporte foi o arame recozido, que possui condutividade elétrica satisfatória e não interage quimicamente com o corpo de prova, não influenciando assim na criação da camada de óxido. Para o monitoramento da corrente fornecida durante o processo, o multímetro foi ligado em série com o polo positivo da fonte, facilitando o processo de leitura do valor da corrente elétrica durante todo o processo de anodização. Em seguida, foi ligada a fonte, dando início ao processo de anodização. Na Figura 4 (B), é mostrado a ligação elétrica em série que foi realizada entre o multímetro, a fonte e o recipiente, assim que foi iniciado o processo de anodização.

Figura 4 - Corpo de prova montado no suporte confeccionado em arame recozido (A), e início do processo de anodização (B)



Fonte: Silva, D.J.P e Rodowanski, I.J. (2019).

Logo no início do processo, percebeu-se que havia bastante borbulhamento devido à movimentação dos íons de hidrogênio entre o cátodo e o ânodo, sinal de que a anodização se iniciou corretamente, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Borbulhamento no recipiente onde ocorre o processo de anodização.



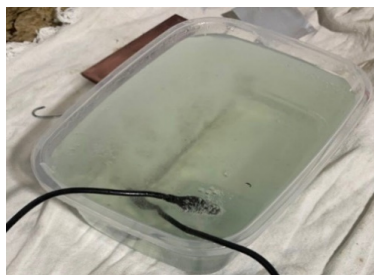
Fonte: Silva, D.J.P. e Rodowanski, I.J. (2019).

Transcorrido certo tempo, percebeu-se uma diminuição no borbulhamento, como mostrado na Figura 6 (A), e a diminuição na corrente elétrica (observado no *display* do multímetro) fornecida pela fonte, dois sinais que indicam que a camada estava sendo formada corretamente, já que a camada de óxido criada pelo processo tem propriedades dielétricas. Com o transcorrer do tempo, percebeu-se que a quantidade de bolhas diminuíra consideravelmente, como pode ser visto na Figura 6 (B) e a corrente elétrica indicada pelo multímetro apresentou valor próximo ao nulo, indicando que a camada foi completamente criada, sendo encerrada essa etapa do processo.

Figura 6 - Diminuição no borbulhamento da solução (A), e finalização do processo de anodização, onde poucas bolhas são visíveis (B).



(A)



(B)

Fonte: Silva, D.J.P. e Rodowanski, I.J. (2019).

Finalizada a criação da camada porosa de óxido, foi iniciada a fase de tingimento do corpo de prova. Em um recipiente foi depositada água destilada e misturada ao pigmento, sendo aquecida até a temperatura de aproximadamente 60°C, para que a tintura penetre os poros da camada de óxido sem risco de que os poros sejam fechados antes do devido momento. Preparada a solução de tingimento, a peça foi retirada da solução eletrolítica e lavada em água destilada para retirada do ácido sobre a superfície da mesma, antes de ser inserida na solução de tingimento, como mostra a Figura 7.

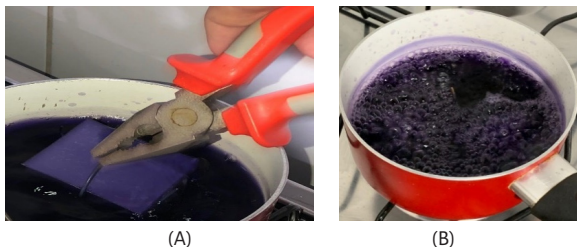
Figura 7 - Início do processo de tingimento do corpo de prova.



Fonte: Silva, D.J.P e Rodowanski, I.J. (2019).

Após inserido na solução de tingimento, foi necessário manter o corpo de prova em movimento na solução, mexendo-o durante cerca de 15 minutos até a obtenção do tom desejado, como mostrado na Figura 8 (A). Após atingida a tonalidade desejada, foi iniciado o processo de selagem, onde o recipiente que continha a solução de tingimento foi aquecido até os 100°C, como mostrado na Figura 8 (B), com o intuito de fechar os poros da camada de óxido que foi criada previamente no processo de anodização e assim reter a pintura obtida durante o processo de tingimento de forma permanente.

Figura 8 - Corpo de prova obtendo o tom de pigmentação desejado (A), e processo de selagem da camada de óxido a 100°C (B).



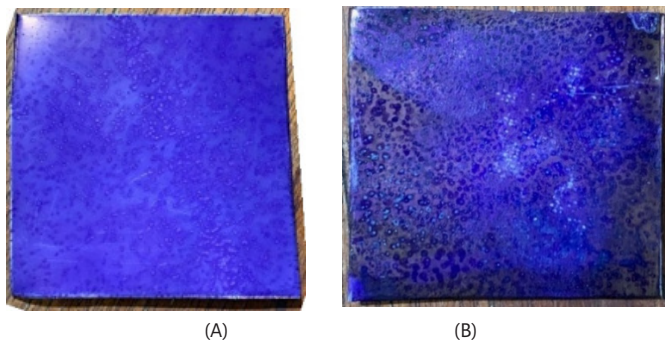
Fonte: Silva, D.J.P e Rodowanski, I.J. (2019).

Após 10 minutos à temperatura de 100°C , o processo de selagem foi finalizado e aconteceu a retenção permanente da pigmentação na superfície, uma vez que os poros da camada de óxido criada no processo de anodização foram fechados.

Resultados e discussão

O primeiro processo de anodização foi conduzido utilizando a saída da fonte que fornecia 5V de tensão. Sendo finalizado o processo utilizando 5V, foi utilizada a saída da fonte cuja tensão é de 12V e foi repetido todo o procedimento experimental relatado anteriormente. Após retirada e lavada a peça, o resultado visual para a anodização na tensão de 5V pode ser visto na Figura 9 (A).

Figura 9 - Resultado da anodização utilizando tensão de 5V(A), e resultado da anodização utilizando tensão de 12V(B).

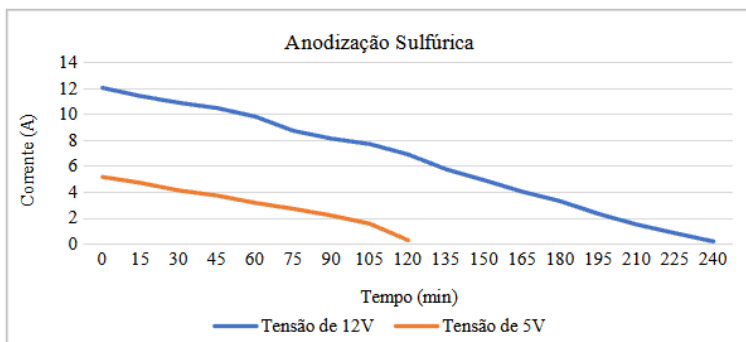


Fonte: Silva, D.J.P. e Rodowanski, I.J. (2019).

A anodização do corpo de prova na tensão de 5V teve duração de duas horas a partir do momento que foi ligada a fonte, assim não considerando o tempo de preparação inicial do processo. O valor da corrente elétrica que fluía no processo era registrado a cada quinze minutos, gerando a curva inferior (laranja) no Gráfico 1. Após o processo ser realizado utilizando a tensão de 12V, o corpo de prova foi retirado e lavado em água destilada, o resultado é mostrado na Figura 9 (B). Já para a tensão de 12V, o processo de anodização durou três horas contadas a partir do momento que a fonte foi ligada, não sendo contabilizado o tempo de

preparação inicial do processo. O valor da corrente elétrica que fluía no processo era registrado a cada quinze minutos, gerando a curva superior (azul) no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Corrente elétrica em função do tempo do processo de anodização utilizando as tensões de 5V e 12V.



Fonte: Silva, D.J.P. e Rodowanski, I.J. (2019).

Quanto à espessura da camada, foi tomada a medida da espessura do corpo de prova logo após o processo de desengraxe, e o valor medido foi de 0,99mm. Logo após finalizar o processo de anodização utilizando a tensão de 5V, foi tomada novamente a medida da espessura do corpo de prova, sendo o valor aferido de 1,02mm. De forma análoga foi tomada a medida da espessura do corpo de prova após finalizado o processo de anodização utilizando a tensão de 12V, e o valor aferido foi de 1,01mm. Assim, tem-se que a espessura da camada de óxido formada durante o processo de anodização utilizando a tensão de 5V foi de 15 μ m e a espessura da camada de óxido formada durante o processo de anodização utilizando a tensão de 12V foi de 10 μ m.

Conclusão

Após o estudo dos métodos tradicionais de anodização e pesquisa dos materiais, bem como a seleção dos corpos de prova mais adequados aos testes, foi constatado que para o processo de anodização ser realizado, foi necessário preparar a superfície da peça através do processo de desengraxe, logo após ocorrendo a imersão na solução eletrolítica composta por ácido sulfúrico e água destilada, para então ocorrer a pigmentação e selagem dos poros da camada criada durante o processo.

A partir dos resultados obtidos, foi possível analisar e constatar que a camada criada durante o processo, tanto para a tensão de 5V quanto para a tensão de 12V, é tingível e é possível obter coloração satisfatória da mesma em ambas as situações. Analisando visualmente e de forma qualitativa a camada que foi criada após o processo, utilizando tensão de 5V, foi observado que este apresentou boa uniformidade. Já a camada que foi criada no processo que utilizou a tensão de 12V mostrou-se menos uniforme, isso foi resultado da excessiva corrente elétrica à qual o corpo de prova foi exposto, a camada criada apresentou aparência como se estivesse sido “queimada”, mesmo que ainda assim tenha recebido coloração. Com relação à espessura de camada, os resultados obtidos utilizando as tensões de 5V e 12V foram satisfatórios e dentro do que é praticado pela indústria.

Portanto, pode-se concluir que utilizando materiais de fácil aquisição, e comuns no cotidiano, foi possível realizar a anodização em corpos de prova de alumínio, obtendo resultados satisfatório tanto em relação à espessura de camada quanto na qualidade de pigmentação utilizando a tensão de 5V. Devido à corrente elétrica excessiva, o resultado da pigmentação da camada criada no processo utilizando a tensão de 12V, mostrou-se insatisfatório em termos de sua qualidade visual quando comparado com o resultado obtido com a tensão de 5V disponível na fonte, no entanto a espessura da camada obtida esteve dentro dos padrões esperados.

Referências

DAVIS, J. R. **Aluminum and aluminum alloys**. Materials Park, OH: ASM International, 1993.

DOMINGUES, L.; FERNANDES, J. C. S.; FERREIRA, M. G. S. **Anodização não poluente de ligas de alumínio**. v. 22, p. 6, 2003.

FONTANA, A. **Utilização de polianilina como revestimento protetor contra corrosão das ligas de alumínio 2014f, 2024 t3 e 7075 o**. Dissertação (Mestrado em Ciências, Físico-Química) Universidade de São Paulo - Instituto de Química de São Carlos, p.112, São Carlos, 2007.

MARTINS, Laura. **Anodização e coloração de peças de alumínio**. Universidade do Porto. p. 14, Porto, 2005. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/143403342.pdf> Acesso em: 01 out. 2018.

MENDOZA, Antonio R.; CORVO, Francisco. Outdoor and indoor atmospheric corrosion of non-ferrous metals. **Corrosion Science**, v.42, p. 1123-1147, 1 jul. 2000.

REGONE, Natal Nerimio. **Anodização de Ligas de Alumínio por Corrente Pulsada**. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Mecânica -Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP,[s.p.], Campinas, 2004.

SARTOR, Morgana Nuernberg. **Utilização do resíduo de anodização do alumínio como matéria-prima para o desenvolvimento de produtos cerâmicos**. Dissertação (mestrado em Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina. p. 77, Florianópolis, 2006.

SILVA, J.R.A. **Apostila-seminários em princípios da impedância ac**. UNICAMP-IM328. 19 de abril de 1991.

Hidrociclone para separação de fécula e manipueira

Caique Solon Lima Alves dos Santos

Ivanoe João Rodowanski

Introdução

Os hidrociclones são equipamentos de separação que podem ser utilizados para separar diversos tipos de substâncias, seja para a separação de sólido/líquido ou sólido/gás, nas mais diversas aplicações. A separação líquido/líquido não é muito comum devido a pequena diferença de densidade entre os mesmos. Uma exceção é a indústria petrolífera que utiliza o equipamento para separar óleos de diferentes densidades (ALVES, 2012). O mecanismo de separação desse dispositivo é o mesmo das centrífugas, realizado pela sedimentação centrífuga.

São dispositivos de construção simples, por não utilizarem partes móveis internas como as centrífugas. São caracterizados pelo baixo custo de fabricação, manutenção e operação, além de necessitarem de espaço reduzido nas plantas industriais, apresentam grande versatilidade para separação de partículas de diferentes tamanhos (FREITAS, 2009).

Por sua versatilidade, o equipamento também pode ser utilizado na separação entre a fécula de mandioca e a manipueira. A fécula de mandioca é um particulado de cor branca, com baixa solubilidade em água fria, quando misturado a água forma uma suspensão leitosa que se deposita rapidamente, permitindo assim a sua separação. Quando misturado a água aquecida entre 60 e 75°C, forma uma substância gelatinosa denominada goma ou grude. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (FERREIRA *et al*, 2001), a manipueira é um resíduo proveniente da fabricação de farinha ou de fécula de mandioca, constituído da água da raiz misturada a água utilizada no processo produtivo da farinha, ou da fécula de mandioca.

A manipueira pode ser utilizada para diversas aplicações como: fabricar vinagre, sabão, alimentação bovina, combate de pragas e controle de carrapatos. Por possuir ácido cianídrico, que é uma substância tóxica, algumas precauções devem ser tomadas antes de sua utilização. Para o uso como alimentação animal

é necessário aguardar um período para a sua utilização, já para o controle de pragas é preciso diluir a substância em água.

Na produção artesanal de fécula de mandioca, a separação entre a fécula e a manipueira é realizada através de peneiras e do processo de decantação da fécula, esse processo demanda tempo, além de uma exposição maior do produtor ao ácido cianídrico. Diante disso, o trabalho aqui apresentado, teve como objetivo a construção e avaliação de um hidrociclone para separar fécula de mandioca e manipueira, tendo como premissa de projeto a utilização de garrafa feita de Politereftalato de Etileno (PET) para construção do corpo do equipamento e outros materiais de baixo custo para as demais necessidades construtivas.

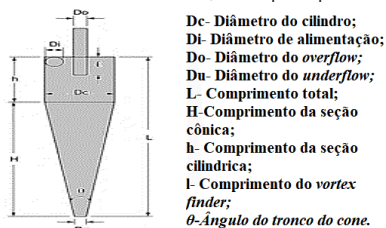
A construção do hidrociclone possibilitou testar a eficiência do equipamento na separação entre a fécula e a manipueira. Para isso, foram realizadas análises de comparação de massas de amostras, análises visuais de nível e cálculo de eficiência. Ainda, verificou-se a viabilidade da construção do separador de fases com materiais de baixo custo ou recicláveis.

Método

Descrição e princípio de funcionamento

O hidrociclone é definido como um dispositivo de separação de substâncias sólidas, líquidas ou gasosas, formado por uma parte cônica ligada a uma parte cilíndrica na qual existe uma entrada tangencial para a suspensão de alimentação. Na parte superior do hidrociclone está posicionada uma saída para a suspensão diluída, chamada de *overflow*, e na parte inferior há uma saída de suspensão concentrada chamada de *underflow* (JANK, 2016). A Figura 1 mostra o esquema de um hidrociclone convencional com suas principais medidas geométricas.

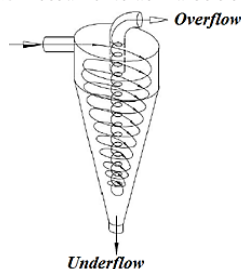
Figura 1 – Vista lateral de um hidrociclone, e seus principais dimensões.



Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowanski, I. J. (2019).

O mecanismo de separação é o mesmo das centrífugas, realizado pela sedimentação centrífuga, onde partículas em suspensão são submetidas a um campo centrífugo que provoca a separação do fluido. Quando um hidrociclone é alimentado tangencialmente com uma suspensão sólido-líquida, líquida-líquida ou sólido-gasoso, ocorre a formação de um vórtice descendente dentro do equipamento. Isso faz com que as partículas de maior densidade sejam projetadas contra a parede e levadas até a saída inferior (*underflow*) para serem expelidas, e as partículas de menor densidade são arrastadas para o centro do equipamento formando um vórtice ascendente saindo pela saída superior (*overflow*). (CRUZ, 2010). A figura 2 ilustra esse mecanismo.

Figura 2 – escoamento do hidrociclone.



Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowanski, I. J. (2019).

Método de dimensionamento

Dimensionamento e Requisitos de Projeto

Para o dimensionamento e construção do hidrociclone foi necessário cumprir seu principal requisito de projeto, que era ser produzido em garrafa de polietileno tereftalato (PET), reciclada. Foram selecionadas garrafas de refrigerante Fanta pois, o formato do corpo dessa garrafa é bem semelhante ao formato do corpo de um hidrociclone, contendo as partes cilíndrica e cônica bem definidas. Duas garrafas foram utilizadas, com volumes de 1 e 2 litros cada, a garrafa com volume de 1L possui um diâmetro menor, o que em teoria faz com que a força centrífuga aumente a partir do decréscimo do raio e conseqüentemente resulte num melhor desempenho na separação de partículas com menor tamanho. A garrafa com volume de 2L facilita a visualização dos vórtices, além de abrigar um volume maior de substância para a separação.

Além do hidrociclone, todos os materiais utilizados para o seu funcionamento como: reservatórios, conexões, tubulações, bomba, suportes entre outros, ou foram de baixo custo ou foram materiais recicláveis.

Definição das dimensões

A tabela 1 apresenta as dimensões dos hidrociclones. As dimensões do hidrociclone H1 são referentes ao protótipo que tem volume de 2L e as dimensões do hidrociclone H2 são referentes ao protótipo que possui volume de 1L.

Tabela 1 – Dimensões dos hidrociclones feitos com garrafa PET H1(2L) H2(1L).

Dimensão	H1 mm	H2 mm
Dc- Diâmetro do cilindro	100	80
Di- Diâmetro do duto de alimentação	25	25
Do- Diâmetro de saída do overflow	25	25
Du- Diâmetro de saída do underflow	13	13
L- Comprimento total	320	260
h-Comprimento da seção cilíndrica	220	180
H- Comprimento do tronco de cone	100	80
l- Comprimento do vortex finder	77	77
Ângulo do cone	220,55°	18,97°

Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowski, I. J. (2019).

As dimensões dos corpos dos hidrociclones são as mesmas das garrafas PET de 1 e 2L, os diâmetros de alimentação e de saída do *overflow* foram baseados no diâmetro nominal de uma tubulação de 25 mm, pois é uma medida facilmente encontrada nas lojas que comercializam tubulações além de possuir baixo custo. O diâmetro de saída do *underflow* foi determinado empiricamente, pois segundo Svarovsky (1992), a maioria das unidades comerciais são fornecidas com essa dimensão variável. Isso se deve ao fato de que o tamanho ótimo de abertura não pode ser fixado de forma exata e, um ajuste correto dessa dimensão é vital para se obter a melhor operação do hidrociclone. Nas diversas operações, o diâmetro do *underflow* é melhor ajustado após o *star-up* da operação.

Em ambos os hidrociclones, o comprimento do *vortex finder* foi projetado de maneira que fosse maior que o diâmetro de alimentação. Isso é necessário, pois segundo Silva (2014), quando o *vortex finder* tem seu comprimento reduzido, poderá ocorrer a formação de um curto circuito de partículas no hidrociclone, ou

seja, as partículas que entram pelo duto de alimentação podem ser direcionadas diretamente para o *overflow*.

Seleção e aquisição dos materiais

Para fornecer a vazão necessária para a utilização do hidrociclone foi utilizada uma bomba periférica. A tabela 3 apresenta as especificações desse equipamento.

A tabela 4 apresenta os materiais utilizados e os custos relacionados a eles. Os materiais escolhidos foram adquiridos na cidade de Cruz das Almas.

Tabela 3 – Especificações da bomba utilizada nos testes.

Vazão (Q)	180 litros / hora
Altura manométrica máxima	22 metros de coluna d' água
Potência do motor	1/2 cv
Altura de sucção máxima	8 metros de coluna d' água
Diâmetro de entrada	1 polegada
Tensão nominal	127 V

Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowski, I. J. (2019).

Tabela 4 – Lista de materiais e custo de aquisição.

Material	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Total
Adaptador pvc soldável 32 mm	2	1,00	2,00
Bucha pvc redução 32 mm x 25 mm	2	0,90	1,80
União pvc soldável 25 mm	2	8,00	16,00
Joelho pvc 90° 25 mm	5	0,50	2,50
Válvula pvc esfera soldável 25 mm	1	9,00	9,00
Durepoxi	1	7,20	7,20
Fita veda rosca	1	2,00	2,00
Adesivo plástico	1	2,50	2,50
Adaptador pvc flange caixa	1	5,60	5,60
Tubo pvc soldável 25 mm	6	2,00	12,00
Bomba periférica	1	125,00	125,00
Bobona 20 litros	2	15,00	30,00
Bobona 50 litros	1	35,00	35,00
Fécula de mandioca kg	7	4,50	31,50
Abraçadeira galvanizada 150 mm	1	0,00	0,00
Garrafa PET 1 litro	1	0,00	0,00
Garrafa PET 2 litro	1	0,00	0,00
Luva soldável	2	0,50	1,00
Total			283,1

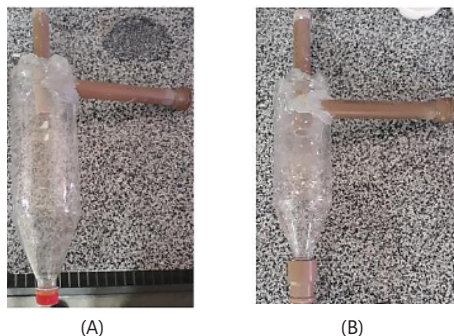
Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowski, I. J. (2019).

Montagem do hidrociclone

A utilização de garrafa PET para produção dos hidrociclones H1 e H2 além de reduzir os custos do projeto, facilitou a montagem de ambos equipamentos, pois o corpo do hidrociclone é composto de uma parte cilíndrica e outra cônica assim como o corpo da garrafa PET. Logo o processo de montagem de ambos consistiu em posicionar as saídas do *underflow* e *overflow*, como também posicionar a entrada do duto de alimentação da mistura fécula/água.

Para ambos os hidrociclones o duto de alimentação possui 25 milímetros de diâmetro e um comprimento de 200 milímetros. A ponta do duto de alimentação recebeu um ajuste visando proporcionar o escoamento tangencial do fluxo dentro do equipamento. A entrada de alimentação foi posicionada lateralmente na parte cilíndrica 40 milímetros abaixo do topo no hidrociclone H1 e 35 milímetros abaixo do topo no H2. As figuras 3(A) e 3(B), respectivamente, apresentam os hidrociclones H1 e H2 após a construção.

Figura 3 – Hidrociclone H1(A) e Hidrociclone H2(B) construído para o experimento.



Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowanski, I. J. (2019).

Regulagem do fluxo do hidrociclone

O processo de regulagem do fluxo consistiu no dimensionamento do diâmetro de saída do *underflow* através da visualização da intensidade do vórtice ascendente. Utilizando água na operação, diâmetros que variavam entre 8 e 16 milímetros foram testados, a fim de selecionar o diâmetro que apresentasse a maior intensidade do vórtice ascendente. Após uma análise visual da intensidade do vórtice, o diâmetro de saída do *underflow* foi fixado em 13 milímetros. Esse

processo foi realizado nos dois hidrociclones, e a tampa da garrafa foi utilizada como a saída do *underflow*. A Figura 4 apresenta o vórtice ascendente central produzido no hidrociclone H1.

Figura 4 – Vórtice ascendente formado no Hidrociclone H1



Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowanski, I. J. (2019).

Produção da mistura fécula / água

Por questões logísticas não foi possível a utilização da suspensão de mandioca beneficiada. A solução encontrada foi a utilização de fécula de mandioca diluída em água, afim de obter uma substância com características físicas semelhantes a suspensão de fécula e manipueira.

Segundo (FERREIRA *et al*, 2001) embora haja variedades de mandioca com mais de 30% de fécula, como já citado, a experiência industrial aconselha adotar 23 a 25% como média de riqueza, ao longo de uma safra é comum certas partes de raízes de mandioca serem entregues à fábrica com menos de 10% de fécula. Com base nessa informação, a proporção da suspensão foi produzida utilizando 300 gramas de fécula de mandioca para cada litro de água, afim de gerar uma suspensão equivalente. A densidade da suspensão produzida foi aproximadamente 1,080 g/ml.

Testes de separação da mistura fécula/água

Procedimentos experimentais

Os ensaios experimentais dos hidrociclones H1 e H2 seguiram os seguintes procedimentos operacionais:

- ✓ Preparação de 20L da mistura fécula/água na proporção de 1L de água para 300g de fécula de mandioca;
- ✓ Abastecimento do reservatório da mistura;
- ✓ Escorva da bomba com a mistura;
- ✓ Acionamento da bomba para *star-up* da operação;
- ✓ *Stop* da operação após o bombeamento do volume total produzido da mistura.

Procedimentos Avaliativos

Uma vez encerrado os procedimentos apresentados anteriormente, para avaliar a eficiência dos hidrociclones foram utilizados dois procedimentos. O primeiro consistiu na utilização de uma proveta para coleta de 2 amostras de 1000 ml cada, uma do reservatório do *overflow* e outra do reservatório do *underflow*. Ambas as amostras eram pesadas em uma balança para pequenas massas com precisão de 1g e a diferença de massa entre as duas amostras foi utilizada para avaliação da eficiência de separação dos dois dispositivos.

O segundo procedimento consistiu em despejar as amostras coletadas em reservatórios com volume e geometria iguais, aguardar o processo de decantação da fécula de mandioca e realizar uma análise comparativa visual de qual reservatório de teste possuía maior nível de fécula precipitada. Apesar de não ser um método avaliativo de precisão, forneceu uma boa percepção da efetividade de separação do hidrociclone, pois espera-se que o nível de fécula presente no *underflow* seja maior que o presente no *overflow*.

Uma balança de gancho foi utilizada para analisar a quantidade de suspensão presente nos reservatórios do *overflow* e do *underflow*. Essa análise foi realizada com intuito de avaliar a quantidade de fluxo que estava sendo direcionada para ambos. A precisão da balança fornecida pelo fabricante é de 200g.

Resultados e discussão

Quantidade de suspensão nos reservatórios

Para o hidrociclone H1 foi encontrada uma massa de 16,45 quilos para o reservatório *underflow* e 8,27 quilos para o *overflow*. Para o hidrociclone H2 essas medidas foram de 18,25 e 6,67 quilos respectivamente.

Em ambos os hidrociclones, o fluxo se direcionou com maior intensidade para o *underflow*, pois apesar da abertura do *overflow* ser quase duas vezes maior que a abertura do *underflow*, a suspensão é densa e se beneficia da posição vertical de funcionamento do hidrociclone forçando o fluxo para a saída do *underflow*.

A massa de suspensão presente no *underflow* do hidrociclone H2 é maior que a presente no H1. Isso se deve ao fato que como o diâmetro do cilindro de H2 é menor do que o diâmetro de H1, a força centrífuga é maior, o que favorece o direcionamento do fluxo mais denso para a saída *underflow*.

Análise comparativa de massas

As massas das amostras coletadas com a proveta de 1000 mL para o hidrociclone H1 foram de 1,072 kg para o *underflow* e 1,064 para o *overflow*. Para o hidrociclone H2 os valores foram 1,086 e 1,075 kg para o *underflow* e *overflow* respectivamente.

Para o hidrociclone H1 a massa da amostra coletada no *underflow* é sensivelmente maior que a coletada no *overflow*, 8g a mais para cada amostra da proveta. Isso indica que uma pequena parte das partículas mais pesadas foi direcionada para o *underflow*, o que é coerente com o princípio de funcionamento do equipamento.

Adotando a proporção de 300 gramas de fécula para cada amostra coletada com a proveta e analisando a massa do *underflow*, a efetividade relativa de separação referente a comparação das massas das amostras de 1000 mL da suspensão está próxima dos 3%. A baixa efetividade de separação indica que o diâmetro da partícula da fécula de mandioca, que varia entre 3 a 32 μm , está próximo ao diâmetro de corte do hidrociclone H1. Ou seja, as partículas têm 50% de chance de serem captadas pelo *underflow* e 50% de serem captadas pelo *overflow*.

Assim como no hidrociclone H1, a massa da amostra coletada no *underflow* do hidrociclone H2 é sensivelmente maior que a coletada no *overflow*, 11 gramas a mais para cada amostra da proveta, registrando um aumento em relação ao hidrociclone H1. Isso indica que uma porção maior das partículas mais pesadas foram direcionadas para o *underflow*, corroborando com o princípio de funcionamento do equipamento.

Realizando a mesma análise com o hidrociclone H1, e adotando a proporção de 300g de fécula para cada amostra coletada com a proveta,

analisando a massa do *underflow*, a efetividade relativa de separação do equipamento está próxima dos 4%. A baixa efetividade de separação indica que o diâmetro da partícula da fécula de mandioca que varia entre 3 a 32 μm , está próximo ao diâmetro de corte do hidrociclone H2. Assim como no hidrociclone H1, as partículas têm 50% de chance de serem captadas pelo *underflow* e 50% de serem captadas pelo *overflow*.

A efetividade do hidrociclone H2 é maior que a efetividade do hidrociclone H1, pois o diâmetro do cilindro do equipamento H2 é menor que o diâmetro do equipamento H1. Isso proporciona uma maior força centrífuga, aumentando a efetividade de separação do hidrociclone além de permitir a separação de partículas menores.

Análise comparativa visual

As Figuras 6 e 7 mostram o resultado do processo de decantação da fécula de mandioca em recipientes com geometria idêntica para o processo de comparação visual de nível. Os recipientes da esquerda são amostras coletadas do *underflow* e os da direita amostras coletadas do *overflow*. Como citado na Seção 2.6.2 deste trabalho, conclui-se que, esse método, apesar de não fornecer uma avaliação quantitativa, possibilita uma percepção visual da efetividade de separação do hidrociclone.

Figura 6 – Nível de fécula decantada no hidrociclone H1.



Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowski, I. J. (2019).

Figura 7- Nível de fécula decantada no hidrociclone H2.

Fonte: Santos, C.S.L.A. e Rodowanski, I. J. (2019).

Para o hidrociclone H2, o recipiente da esquerda, que contém a amostra do *underflow*, apresenta um nível de fécula decantada ligeiramente maior que o recipiente da direita (*overflow*). Esse resultado indica que as partículas mais pesadas da suspensão foram direcionadas para o *underflow* devido ao mecanismo de separação do equipamento. Para o hidrociclone H1, a diferença entre os níveis de decantação é visualmente imperceptível. Essa semelhança nos volumes precipitados é reflexo da pequena diferença de massas das amostras da proveta de 1000 mL.

Resultados de eficiência η

Utilizando a equação: $\frac{C_{wu} W_u}{C_w W}$, onde C_{wu} é a concentração mássica das partículas expelidas pelo *underflow*, W_u a vazão mássica da corrente do *underflow*, C_w é a concentração mássica das partículas na alimentação e W a vazão mássica da corrente de alimentação. Assumindo a proporção da suspensão de 300g de fécula de mandioca e 1000mL de água, além de utilizar valores de vazão e densidade fornecido na seção 2.5 deste trabalho, foi possível calcular valores aproximados da eficiência. A eficiência encontrada para o hidrociclone H1 foi de 68% e para o H2 foi 83%.

A eficiência η relaciona tanto os sólidos arrastados pela separação de fluxo quanto aqueles separados devido a ação do campo centrífugo, ou seja, todos os mecanismos de separação são levados em consideração. Apesar de ser um importante dado que indica o correto funcionamento dos mecanismos de

separação, não é muito preciso, justamente por considerar todos os mecanismos de separação. O diâmetro menor do hidrociclone H2 proporcionou um valor maior de eficiência em relação ao hidrociclone H1.

Conclusão

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a construção e avaliação de 2 hidrociclones com diferentes geometrias, ambos atendendo as premissas construtivas, que eram: a construção do corpo do equipamento utilizando garrafa PET e a utilização de materiais e equipamentos de baixo custo necessários para a operação dos dispositivos.

Os resultados encontrados referentes a comparação das massas e dos níveis das amostras coletadas no *underflow* e no *overflow* foram considerados abaixo do esperado, mesmo com a efetividade relativa de separação variando entre 3 e 4%. É necessário destacar que no processo industrial são utilizadas baterias de separadores centrífugos para otimizar a obtenção da fécula. Com base nesta informação, a instalação de um sistema de recirculação do *overflow* otimizaria a efetividade dos hidrociclones, viabilizando seu uso nas feccularias artesanais.

Os hidrociclones H1 e H2 apresentaram eficiência h acima de 50%, o que indica que tanto o mecanismo de separação fluxo quanto o mecanismo de ação do campo centrífugo é satisfatório. Os dois hidrociclones produzidos podem ser utilizados para separar outros tipos de particulados que possuam partículas maiores que as da fécula de mandioca.

O hidrociclone H2 apresentou resultados de separação melhor que o H1, pois possui um diâmetro de cilindro menor que o diâmetro do hidrociclone H1. Isso proporciona um maior campo centrífugo otimizando seu mecanismo de separação. Uma bomba com maior vazão melhoraria os resultados do hidrociclone H1, aumentando o seu campo centrífugo.

Todos os objetivos desse estudo foram cumpridos de forma satisfatória, porém como citado anteriormente, um sistema de recirculação do *overflow*, assim como a utilização de uma bomba com maior vazão, viabilizaria a utilização dos hidrociclones em feccularias artesanais.

Referências

AGUILERA, G. F.; ARISMENDY, J. E. **Development of a hydrodynamic model of a hydrocyclone including the simulation of air-core effect, using the finite volume method.** HOLOS, [S. l.], v. 3, p. 184–192, 2014. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1824>. Acesso em: 5 out. 2019.

ALVES, J. V. B. **Hidrociclone para a separação do óleo residual de águas em refinarias.** Dissertação (mestrado em engenharia de processos químicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CRUZ, O. C. ZANINI.J.R. Eficiência de um hidrociclone de geometria “rietema” para pré-filtragem de Água para irrigação. **Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, v.30, n.4, p.637-645, jul./ago. 2010.

FERREIRA, Waldemar de Almeida. *et al.* **Manipueira:** Um adubo orgânico em potencial. Folheto – Embrapa Amazônia Oriental, Belém, 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/403315/1/OrientalDoc107>. PDF Acesso em: 15 set. 2019.

FREITAS, A. G. B. D. **Modelagem e simulação do tratamento de água oleosa usando hidrociclones.** Dissertação (mestrado em engenharia química) Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufsf/5058/1/ANDREA_GONCALVES_BUENO_FREITAS.pdf. Acesso em: 12 set. 2019.

JANK, Anna.*et al.* Hydrocyclones for the separation of impurities in pretreated biowaste. Elsevier, **Waste Management.**[S.l.], v. 64, , p.12-19, jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.001>. Acesso em: 8 set. 2019.

SVAROVSKY. **Hydrocyclones Analysis and Applications.** Saint Martin d’ Heres: Springer-Science+Business Media, B.

Extrusora para filamentos de PET para impressão 3D

Paulo Victor dos Santos Pereira

Altino Araújo Soares Neto

Ivanoe João Rodowanski

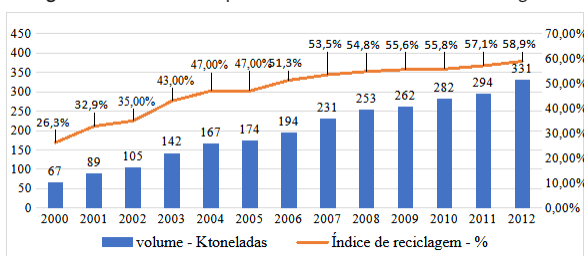
Introdução

Com o desenvolvimento dos polímeros e as suas características, como leveza, flexibilidade, resistência boa resistência mecânica, além do seu baixo custo de produção, entre outras, tornou-se o seu uso muito difundido nas indústrias (PIATTI; RODRIGUES, 2005). O polímero é composto por unidade básica chamada de mero, que se repete em cadeias pelas das ligações covalentes, geralmente, até formarem as moléculas grandes, chamada de macromoléculas (JR, 2010). Sendo que a forma mais importante de se classificar um polímero é através das suas propriedades mecânicas, podendo ser classificados como: termoplásticos, termofixos, elastômetros e fibras (GORNI, 2003).

Entre os polímeros mais utilizados estão os termoplásticos, pois são moldáveis a quente, obtendo o formato desejado que é mantido durante o seu resfriamento. E Como a sua estrutura química se mantém inalterada durante esse processo, podem-se ser moldados várias vezes, sendo possível a sua reciclagem (PEREIRA; MACHADO; SILVA, 2002). Mas, apesar dos benefícios que advém dos polímeros, os mesmos causam um grande impacto ao meio ambiente devido a sua estabilidade estrutural, levando-se muito tempo para se degradar.

Uma solução encontrada para mitigar o dano ambiental é a reciclagem, ao utilizar isso, as empresas também diminuem o seu custo de produção, atendem consumidores cada vez mais conscientes e a normas ambientais, tornando-as empresas mais competitivas. Isso se reflete no crescimento da reciclagem do PET no Brasil, conforme mostrado no gráfico da Figura 1, boa parte do PET reciclado advém de catadores e cooperativas (FORMIGONI; SANTOS; MEDEIROS, 2014).

Figura 1 - Histórico Comparativo - Volume e índice de reciclagem.



Fonte: Pereira, P.V.S. et al. adaptado de ABIJET (2013).

Desde o surgimento da impressora 3D, o seu uso tornou-se muito difundido pois ela consegue imprimir objetos complexos projetados em CAD (*computer Aided Design*) através da deposição sucessiva de camadas, usando-se polímeros geralmente em formato de filamento contido fornecido em forma de bobina (VOLPATO, 2007). Como é um processo de adição de material, seu uso diminui-se o tempo de produção e custo de um produto, e gerando menos resíduos (CASAGRANDE, 2013). Isto é refletido no aumento de 289% nas vendas de impressoras 3D pessoais no ano de 2011 (WOHLERS, 2010).

A produção de filamento para impressão 3D é realizada a partir de um processo de transformação de plásticos mais utilizado na indústria, chamado de extrusão. Consistindo basicamente no aquecimento do polímero dentro de um cilindro que é forçado por roscas "sem fim", uma ou duas, que transportam, misturam, compactam e liberam gases provenientes do processo. Sendo que há uma matriz na saída que molda o polímero no formato desejado, que em seguida é calibrado, resfriado, cortado ou enrolado (ABIPLAST, 2014). E a temperatura ideal para extrudar o PET (polietileno tereftalato) é 245 °C (LOCKER, 2018).

Este capítulo apresenta o trabalho do processo de desenvolvimento de uma extrusora para filamentos para impressão de 3D de baixo custo, utilizando como matéria prima garrafas PET.

Materiais e método

Para o desenvolvimento e construção da extrusora fez inicialmente um levantamento dos materiais necessários, se possuíam custo acessível e se estavam disponíveis no comércio local. Sendo que os materiais usados na confecção do sistema mecânico são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Materiais utilizados na parte mecânica.

Materiais	Dimensões
Trado manual Mathieson®	5/8 x 18" Irwin iw513
Tubo industrial galvanizado	19,05 mm 3/4"
Luva galvanizada	1/2"
Bucha de redução	1/2" macho X 1/4" fêmea
Plug macho rosca	1/4"
Espigão macho rosca	1/4" x 1/4"
Motor Bosch FPG	12V
Fonte	FX 450 LPJ2-20

Fonte: Pereira, PV.S. *et al.* (2019).

Para a montagem do sistema de aquecimento, foi utilizado os materiais elétricos e eletrônicos apresentados na Tabela 2, que mostra também a finalidade de cada item.

Tabela 2 - Componentes usados no sistema de aquecimento.

Materiais	Finalidade
Fita de níquel cromo	Resistência elétrica para o aquecimento da extrusora.
SSR	Faz o chaveamento da tensão sobre a resistência elétrica.
Manta cerâmica	Isolamento elétrico e térmico.
Cabo de energia adaptado	Conectar a rede elétrica 127 V.
Cabos elétricos	Ligação entre a saída do SSR, interruptor e conector cerâmico.
Cabo de impressora	Conexão entre o Arduino e a entrada USB do computador.
Interruptor	Liga e desliga o sistema de aquecimento.
Conector cerâmico	ligação entre o SSR, e o interruptor e a fita de níquel cromo.
Cabos jumpers	Conectar o Arduino, módulo max6675 do termopar e SSR.
Termopar tipo k com módulo max6675	Sensor de temperatura
Caixa de sapatos	Acomodar o Arduino, SSR e módulo max6675.
Arame	Utilizado para fixar a manta cerâmica.
Fita de Kapton	Usado como isolante elétrico.
Multímetro	Verificar a continuidade da resistência e o isolamento elétrico.

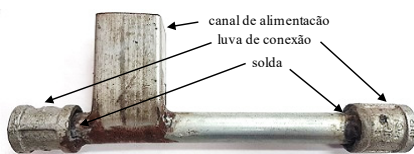
Fonte: Pereira, PV.S. *et al.* (2019).

Montagem da estrutura mecânica

Um componente mecânico importante de uma extrusora tradicional, é o parafuso de Arquimedes responsável por movimentar a matéria prima. Para fazer o parafuso de extrusão do dispositivo, optou-se pelo uso de um trado manual para madeira.

Para confecção do corpo do canhão do sistema de extrusão, mostrado na Figura 2, utilizou um tubo industrial galvanizado com comprimento de 200mm e $\frac{3}{4}$ " de diâmetro. Nas extremidades do corpo do canhão foram adicionadas luvas rosqueadas galvanizadas, facilitando a desmontagem, manutenção e limpeza. Realizando uma abertura no corpo do canhão, para ser utilizado como canal de alimentação, deixando uma cavidade onde soldou-se um perfil metálico retangular que serve como canal de entrada da matéria-prima.

Figura 2 - Canal de alimentação da extrusora.



Fonte: Pereira, P.V.S. et al. (2019).

A matriz utilizada na extremidade da extrusora, responsável por dar formato ao filamento para impressão 3D desejado é um *plug* macho com rosca junto a bucha de redução macho x fêmea, onde realizou-se um furo com o diâmetro do filamento, como mostra Figura 3 (A).

Fixando-se em seguida as extremidades do corpo do canhão em suportes de alumínio por meio de abraçadeiras fabricadas a partir de chapas de alumínio. Na Figura 3 (B), é mostrada a montagem da extremidade traseira do canhão.

Figura 3 - Plug macho $\frac{1}{4}$ " rosqueado junto a bucha de redução macho x fêmea $\frac{3}{4}$ " (A); Suporte do canhão da extrusora com mancal de deslizamento utilizando bucha de redução de $\frac{3}{4}$ " (B).



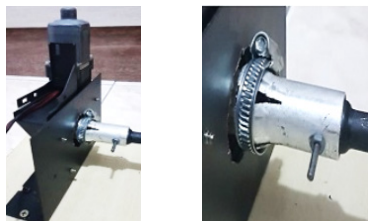
Fonte: Pereira, P.V.S. et al. (2019).

Para o acoplamento do motor que rotaciona o parafuso de Arquimedes, confeccionou-se um suporte utilizando uma chapa de aço no formato de L, onde o motor é fixado, e o suporte por sua vez, é fixo na base da estrutura do equipamento, mostrado na Figura 4 (A). Sendo empregado um tubo de alumínio para a união entre a transmissão de movimento, torque, do motor para o eixo do

parafuso de Arquimedes da extrusora, fixando todo o conjunto com abraçadeira e um parafuso com rosca, mostrado na Figura 4 (B).

O sistema de transmissão de movimento é realizado através de um motor com redução do tipo rosca sem fim, encontrado em levantadores de vidro automotivos e sua alimentação é através de uma fonte de computador.

Figura 4 - Suporte do motor (A); acoplamento de transmissão de torque do motor ao eixo do parafuso (B).



(A)

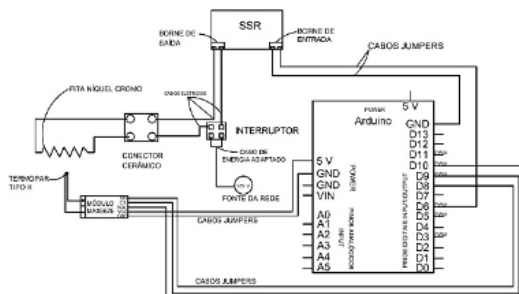
(B)

Fonte: Pereira, PV.S. et al. (2019).

Montagem do circuito eletroeletrônico

O circuito elétrico/eletrônico da extrusora montada é mostrado na Figura 5, executa duas funções básicas, aquecer e controlar a temperatura no sistema.

Figura 5 – Circuito eletroeletrônico de controle térmico da extrusora.

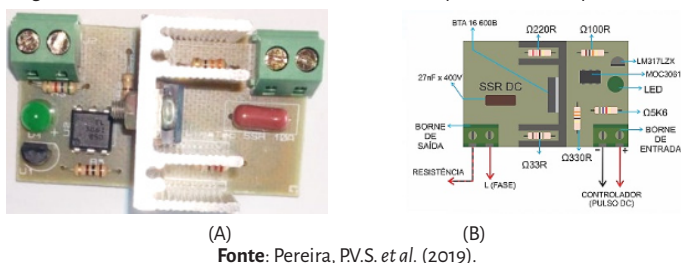


Fonte: Pereira, PV.S. et al. (2019).

Uma resistência de níquel cromo é responsável por fornecer calor ao corpo da extrusora. Para controlar a temperatura de extrusão, é necessário dispositivo eletrônico que realize o acionamento modulado do circuito de aquecimento. Esse dispositivo eletrônico é chamado de relé de estado sólido SSR (*Solid State*

Relay), que é um dispositivo que causa uma mudança rápida em um circuito elétrico, tendo um tempo de resposta muito rápido, quando ele recebe uma tensão, uma chave dentro do SSR é fechada, ocorrendo o chaveamento da carga (GUERRA, 2006). Para este trabalho, a frequência do chaveamento é próxima de 60 Hz, devido a características do transistor utilizado no SSR. A Figura 6 (A) mostra o modelo de SSR utilizado enquanto na Figura 6 (B) é mostrada uma representação esquemática dos componentes eletrônicos deste.

Figura 6 – Relé de estado solido SSR utilizado (A); esquemático do dispositivo (B).



Para determinar a quantidade de temperatura entregue ao sistema é utilizado um sensor temperatura tipo termopar, acoplado no corpo no extrusor próximo a matriz de saída. Sendo o termopar conectado a um circuito microcontrolador “Arduino” através de um modulo de condicionamento de sinal max6675. Em função da quantidade de temperatura medida pelo termopar, um programa em linguagem C, pré-programado no microcontrolador, determina a intensidade de acionamento da resistência elétrica enviando sinal de controle ao SSR em modulação por largura de pulso ou PWM (*Pulse Width Modulation*), que é um método que codifica digitalmente um sinal analógico no formato de uma onda quadrada usando a porta de saída de um microprocessador (GUERRA, 2006). A variação entre o tempo ligado e desligado da onda é chamado de duty cycle, Figura 7, sendo que essa variação é expressa no microcontrolador entre os valores 0 (totalmente desligado) e 255 (totalmente ligado).

Figura 7 – Representação gráfica de um sinal por modulação por largura de pulso.



Fonte: Pereira, P.V.S. et al. (2019) adaptado de MECAWEB (2018).

Processo de montagem final da extrusora

Realizou-se um furo na extremidade do corpo do tambor da extrusora onde o termopar é acoplado. Inicialmente optou-se pela utilização da fita de Kapton® como isolante elétrico para isolar a resistência elétrica de níquel-cromo em relação ao corpo metálico, porém, o fabricante da mesma recomenda sua aplicação em situações com temperaturas máximas de até 400 °C, temperatura teoricamente superior a necessária para extrudar PET, que é em torno de 250 °C.

Em sequência, foi utilizado uma manta cerâmica para envolver o tubo de aço onde é instalado a resistência de níquel cromo, isolando eletricamente o tubo metálico da resistência elétrica. Sendo necessário este processo para impedir que a corrente elétrica da resistência passe para o tubo e, conseqüentemente, cause fuga de corrente para os componentes metálicos. Em seguida, a resistência foi enrolada em forma de helicóide no entorno do tubo de aço de modo que os espaços entre as voltas fossem mínimos, aumentando a superfície de contato entregando maior potência por unidade de comprimento do tubo, esse processo é apresentado na Figura 8. Foi utilizado um multímetro para verificar a continuidade da resistência para checar a existência de alguma possível fuga elétrica para as partes metálicas, o que não se constatou.

Figura 8 - Montagem do isolamento elétrico e da resistência com manta cerâmica.

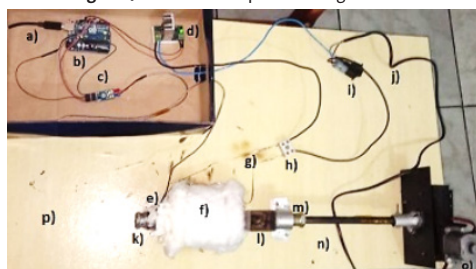


Fonte: Pereira, P.V.S. *et al.* (2019).

A resistência é concentrada na extremidade do tubo para que a fonte de calor fique mais concentrado na saída do extrusor, de modo que, o PET que vem do canal de alimentação (funil), e está mais viscoso em relação ao que se encontra dentro da resistência, ajude-o a empurrar o PET mais fluido em direção ao bico da extrusora. Posteriormente, aplicou-se outra camada de manta cerâmica, sobre a resistência, para impedir que a resistência se mova, ao mesmo tempo isolar elétrica e termicamente o sistema.

Na etapa final do processo, é realizado a montagem do sistema elétrico com a integração entre a resistência de aquecimento com os demais componentes. Sendo que, para uma melhor visualização, acomodou-se alguns componentes em uma caixa, o módulo max6675 e conector cerâmico foram fixados na base para garantir uma melhor estabilidade durante o processo. Na Figura 9 é mostrado o sistema completo montado, onde pode ser observado: a) Cabo USB; b) placa microcontrolada Arduino; c) Módulo max6675; d) SSR; e) Termopar tipo k; f) Manta cerâmica; g) Fio de níquel cromo; h) Conector cerâmico; i) Interruptor *On/Off*; j) Cabo de energia 127V; k) Luva $\frac{3}{4}$ "; l) corpo do extrusor com tubo aço $\frac{3}{4}$ "; m) Mancal com bucha de redução $\frac{3}{4}$ "; n) eixo do Trado; o) Motor; p) base de MDF.

Figura 9 – Extrusora após montagem final.

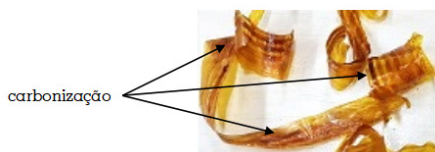


Fonte: Pereira, P.V.S. et al. (2019).

Resultados e discussão

Durante os testes de extrusão com o isolamento de Kapton instalado, observou-se que a elevação da temperatura apresentou um início de fumaça proveniente da fita de Kapton, indicando sua parcial queima, após a parada do experimento e a retirada da fita para verificação, o resultado é mostrado na Figura 10, onde é possível visualizar sinais de carbonização.

Figura 10 – Aspecto visual da fita de Kapton após os testes de aquecimento.

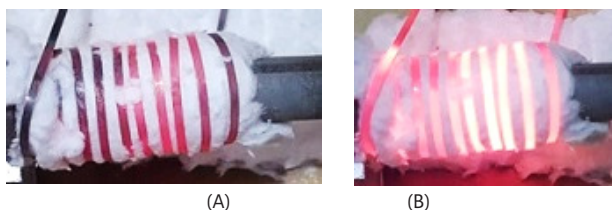


Fonte: Pereira, P.V.S. et al. (2019).

Em função do resultado do teste realizado com isolamento de Kapton, fez-se necessário substituí-lo por outro material, e optou-se pelo uso da manta cerâmica como isolante elétrico, após se constatar, com um auxílio de um multímetro, que a manta tem uma baixa condutividade elétrica e resiste facilmente a temperaturas superiores a 1000 °C.

Inicialmente realizou-se o teste sem a cobertura da manta cerâmica sobre a resistência, para observar visualmente o seu comportamento, como é mostrado na Figura 11 (A), verificando se a manta cerâmica atenderia os requisitos necessários para o processo de extrusão. Observou-se nesse teste que a temperatura atingiu a ordem de 320 °C no sensor termopar instalado na extremidade do corpo da extrusora, sendo essa temperatura mais do que suficiente para extrudar o PET. Um fato observado durante os testes, foi que, a partir de determinada faixa do *duty cycle* do PWM, a resistência aquece muito rapidamente, enrubescendo todo o comprimento, vide a Figura 11 (B), isso mostra que a resistência atinge uma temperatura muito superior a mensurada pelo termopar. A temperatura da resistência enrubescida não foi mensurada, mas estima-se que tenha superado 700 °C.

Figura 11 - Teste inicial usando a manta cerâmica (A); Aquecimento excessivo da resistência (B).



Fonte: Pereira, P.V.S. et al. (2019).

Esse aquecimento excessivo é indesejado, pois a manta cerâmica é isolante térmico e dificulta a troca térmica da resistência com o meio, dessa forma a potência elétrica entregue a resistência deve ser limitada, de forma que, o calor seja lentamente transferido através do caminho de menor resistência térmica, que é em direção ao corpo da extrusora. Se o calor gerado não fluir, ficando retido na manta, poderá causar a fusão da resistência, danificando-a. Para evitar esse aquecimento excessivo e repentino, optou-se por fazer um pré-aquecimento do sistema.

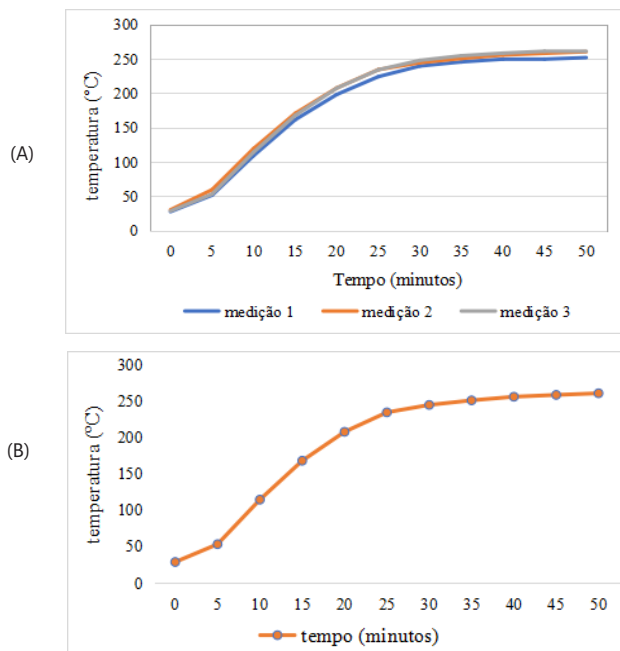
Foram realizados diversos testes para descobrir qual o valor do *duty cycle* do PWM que fornece uma temperatura segura para o processo de extrusão. Para isso, definiu-se um valor inicial de aproximadamente 20% da potência entregue, ou

seja, 50 unidades de PWM, em uma escala que vai de 0 a 255, no código fonte, sendo esse valor incrementado de 10 em 10, obtendo-se assim, medidas de temperatura ao longo do tempo. Após vários testes, encontrou-se que o melhor valor do PWM para o processo de extrusão é de 105, aproximadamente 40% de potência elétrica.

Como o aumento da temperatura é um processo lento, então para otimizá-lo, alterou-se no código fonte o valor do PWM para 110 até atingir a temperatura de 229 °C, sem afetar a integridade da resistência níquel-cromo. Ao atingir esta temperatura, a partir dos 25 minutos, o próprio código fonte muda o valor para 105 do PWM, e tem assim, uma variação suave da temperatura.

Realizou-se três medições de temperatura durante o aquecimento da extrusora, mostradas no gráfico da Figura 12 (A) que apresenta a curva de aumento da temperatura em função do tempo, e observa-se um comportamento muito próximo entre elas, tendo uma variação lenta da temperatura a partir dos 230 °C. Dos valores das três medições, obteve-se uma curva da média, mostrado no gráfico da Figura 12 (B).

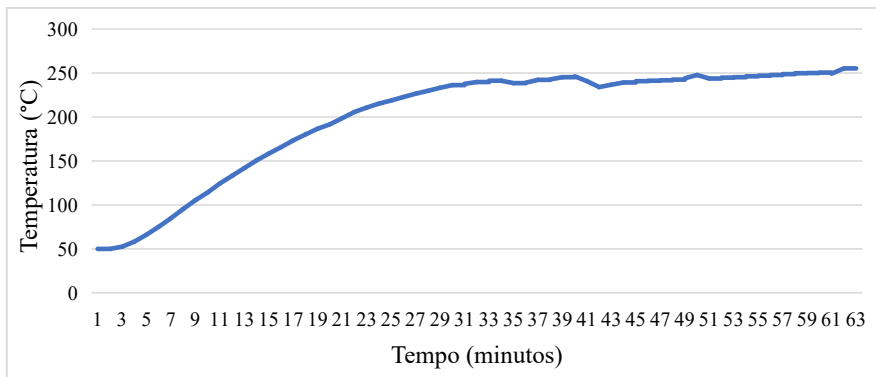
Figura 12 - Comportamento do aquecimento em 3 testes (A); média das 3 curvas (B).



Fonte: Pereira, P.V.S. *et al.* (2019).

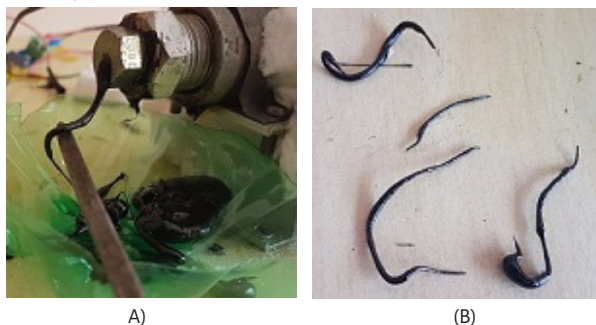
Após certo tempo de aquecimento a temperatura do sistema se estabiliza, aí pode-se dar início a realização de extrusão, inserido material, PET previamente cortado em formato granular, no bocal de alimentação da extrusora e acionar do motor que rotaciona o parafuso de Arquimedes. A Figura 13 mostra a curva de temperatura durante o pré-aquecimento e extrusão de certa quantidade de PET, é possível observar pelo gráfico, que a partir dos 40 minutos, com a temperatura de 246 °C, adiciona-se o PET e começa então o processo de extrusão. E nota-se que logo em seguida a temperatura diminui, pois, o calor é transferido ao PET e quando é cessada a alimentação do material, a temperatura volta a subir. Enquanto o PET é adicionado, a temperatura mantém-se na faixa em que é possível extrudar o PET.

Figura 13 - Variação da temperatura durante o processo de extrusão.



Fonte: Pereira, P.V.S. *et al.* (2019).

Durante esse processo, conseguiu-se realizar a extrusão do PET através do bocal obtendo filamentos do PET, no entanto eles não foram extensos, como pode ser observado na Figura 14, isso porque, se faz necessário um acessório de resfriamento do filamento ligeiramente após a saída pela matriz. A temperatura extrusão necessita de controle de modo a manter o bico em uma temperatura que mantenha o plástico em uma viscosidade específica e característica para o material em extrusão. Estudos posteriores devem ser realizado a fim de determinar a temperatura e viscosidades ideais, a fim de manter o material, em condições favoráveis a extrusão do filamento.

Figura 14 - Extrusão de filamento PET (A); Filamentos obtidos (B).

Fonte: Pereira, P.V.S. *et al.* (2019).

Outros fatores também influenciaram no tamanho reduzido dos filamentos obtidos, um deles, se deve ao fato de ter ocorrido interrupções durante o processo de extrusão, causada pela subalimentação de matéria prima, ou seja, houve pouca matéria prima sendo colocada no bocal de entrada da extrusora para a velocidade de rotação do parafuso. O problema da subalimentação foi solucionado, adicionando uma quantidade maior de PET em relação aos testes anteriores, conseqüentemente, ocorreu um vazamento, de forma que, o material não saiu somente pelo orifício da matriz, mas também pelo furo realizado na luva de conexão, responsável por alocar o termopar utilizado para medição da temperatura do processo, mostrado na Figura 15. A adição de um sistema de controle de velocidade no motor do parafuso, não implementado, resolveria o problema causado pelo excesso de alimentação de material. No entanto o orifício de alocação do termopar deveria ser isolado, ou melhor vedado, para evitar vazamentos futuros.

Figura 15 - Local de vazamento do material.

Fonte: Autor (2019).

Conclusão

A realização do trabalho permitiu projetar, especificar componentes acessíveis para montar uma extrusora de baixo custo. Com os testes realizados conseguiu-se obter filamentos de PET, mesmo que eles não tenham sido contínuos, devido à complexidade para extrudar este polímero, pois segundo a literatura, o PET puro não obtém filamentos com precisão, sendo necessário procedimentos para que ocorra uma correta transformação durante o processo de extrusão, em que as etapas do procedimento são: secagem, desumidificação e cristalização.

Apesar de necessitar ajustes futuros, e das dificuldades encontradas, tanto para a construção da extrusora como do entendimento do processo de extrusão, este trabalho apresentou um equipamento portátil e de baixo custo, em torno de R\$ 250,00, pois partes dos materiais obteve-se através de doações e reciclagem, e desse modo, tem-se um modelo de extrusora que pode ser utilizado para o processo de reciclagem do PET, através da fabricação dos filamentos, que podem ser utilizados posteriormente em uma impressora 3D, contribuindo assim, para a diminuição do impacto ambiental. A extrusora montada, deve passar por melhorias em seus parâmetros de controle térmico e vazão e com estas melhorias pode servir de base para ser utilizada em pesquisas e aulas acerca do processo de extrusão de polímeros.

Referências

ABIPET. **Nono Censoda Reciclagem de PET no Brasil**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>. Acesso em 23 Out. 2019.

ABIPLAST. **Processo de Transformação para Materiais Plásticos**. São Paulo, 2014. Disponível em: http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf. Acesso em 03 Set. 2019.

CADAGRANDE, M. V. S. **Projeto de um Cabeçote de Extrusão de uma Máquina de Prototipagem Rápida FDM**. 111f. Monografia de Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

FORMIGONI, A.; SANTOS, S. C.; MEDEIROS, B. T. Logística reversa e sustentabilidade para a melhoria da cadeia: uma abordagem no panorama da reciclagem PET no

Brasil. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade** - RMS, São Paulo, v.4, n.3, p.108-125, 2014.

GORNI, A. A. Introdução aos plásticos. **Revista plástico industrial**, 2003. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/intropol.html>. Acesso em 10 Ago. 2019.

GUERRA, L. N. D. A. **Uso de compensador PID no controle da taxa de variação de temperatura em um forno elétrico a resistência**. 52 f. Monografia de Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

JR, S. V. C. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3ª ed. São Paulo, Artliber Editora, 2010.

LOCKER, A. **PETG filament 3D printing**. Disponível em: <https://all3dp.com/1/petg-filament-3d-printing/#section-petg-filament-explained-and-compared>. Acesso em 13 Nov. 2019.

MECAWEB. PWM - **Modulação por Largura de Pulso**. Disponível em: http://www.mecaweb.com.br/electronica/content/e_pwm. Acesso em 10 Nov. 2019.

PEREIRA, R. D. C. C.; MACHADO, A. H.; SILVA, G. G. (Re) conhecendo o PET. **Química Nova na Escola**, n.15, p. 3-5, 2002.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos**: características, usos, produção e impactos ambientais. Maceió, Edufal, 2005.

VOLPATO, N. **Prototipagem rápida**: tecnologia e aplicações. 1ª ed. São Paulo, Edgar Blucher, 2007.

WOHLERS, T. **Recent trends in additive manufacturing**. In. Proceedings of 17th European Forum on Rapid Prototyping and Manufacturing. Paris, 2012.

Bancada didática de balanceamento de sistemas rotativos

*Abdon Tapia Tadeo
Jose Antônio da Silva Junior*

Introdução

Um rotor é tudo que gira em torno de seu próprio eixo. As turbinas, compressores, redutores e as demais máquinas rotativas possuem eixos rotativos apoiados em mancais de deslizamento, ou rolamento. Os mancais são elementos utilizados como apoios fixos aos elementos girantes (eixos), assegurando a movimentação relativa entre as superfícies com baixo nível de atrito. A estrutura de suporte, é toda a parte que compõe a máquina rotativa destinada a sustentar e proteger todo o conjunto.

A existência de vibração em máquinas rotativas devido à excentricidade é bastante comum, sendo que a mesma gera o desbalanceamento da máquina, e conseqüentemente, a vibração da mesma no regime de operação. A existência de desbalanceamento é uma condição inerente a todo equipamento rotativo, é preciso apenas que seja detectado quando ele passa seu valor limite. A norma ISO 1940, estabelecida pela “*International Organization for Standardization*”, faz recomendações relativas à qualidade do balanceamento de corpos rotacionais rígidos, efetuando uma relação do desbalanceamento residual permissível como função da velocidade máxima de serviço.

A construção de uma bancada didática serve como instrumento de aprendizagem dos alunos de disciplinas como dinâmica das máquinas e vibrações mecânicas e estruturais. Permite agregar ao conhecimento teórico, o conhecimento prático, mostrando os fenômenos envolvidos nas vibrações das estruturas e máquinas, e os parâmetros que influenciam a magnitude das mesmas, assim como, os mecanismos de atenuação e redução dos níveis de vibração. Neste contexto, que se situa o projeto e construção da bancada didática de balanceamento em um plano como objetivo do trabalho aqui apresentado. O projeto e construção de uma bancada didática envolve várias etapas que estão

relacionadas com as diversas componentes curriculares, que fazem parte da matriz curricular do curso de engenharia mecânica.

A bancada de balanceamento dinâmico é uma necessidade do *Laboratório de Vibrações e Acústica*, pois permitirá a complementação prática de componentes curriculares do curso de engenharia mecânica, os sistemas mecânicos a ser reproduzidos pela bancada são denominadas Rotor-Mancal.

Na literatura encontram-se informações sobre a explanação do fenômeno, métodos de balanceamento e projetos de bancadas que permitam simular, verificar e testar os métodos de correção do fenômeno, assim como, o teste de novas alternativas de solução de problemas de desbalanceamento, que serviram de embasamento para a realização do trabalho: Dedini F. (1993), e Da Silva S. (2004).

Dinâmica de rotores

A previsão do comportamento de rotores através de modelos matemáticos é relativamente bem sucedida quando comparado com medições experimentais, os estudos mais frequentemente realizados são: previsão das velocidades críticas; modificações de projeto de forma a alterar as velocidades críticas; prever as frequências naturais das vibrações torcionais; balanceamento de rotores; prever as frequências de vibração nas instabilidades dinâmicas; e modificações de projeto para eliminar instabilidades dinâmicas, Pereira (2005).

O modelo massa/mola (a massa é rígida) com um grau de liberdade, é considerado como o mais simples exemplo para análise de vibração de rotores. A primeira velocidade crítica de um sistema rotor/mancais pode ser aproximada por um modelo massa/mola, da forma:

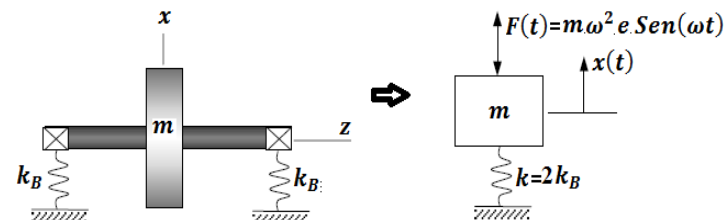
$$N_1 = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}; rpm \quad (1)$$

Onde, k é a rigidez efetiva do rotor para o primeiro modo e m é a massa efetiva.

Ao comparar um rotor a um mancal e perceber que o rotor é rígido tendo como referência a rigidez do mancal, pode-se utilizar a massa do disco e do eixo como a massa efetiva, e a rigidez de todos os mancais trabalhando em paralelo como a rigidez efetiva, como mostra a Figura 1.

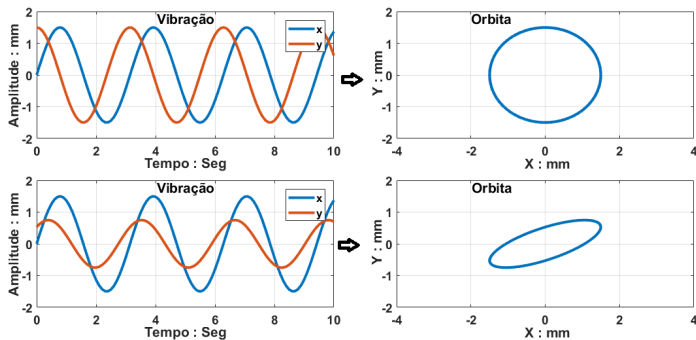
Deve ser salientado que este modelo simples não pode ser utilizado em análises mais complexas de dinâmica de rotores, pois o modelo é limitado para o movimento em uma única direção, ao passo que, um rotor executa movimentos em duas direções ortogonais, x e y , formando uma órbita de diferentes formas. A forma da órbita depende das amplitudes e das fases entre os movimentos em, x e y , conforme apresenta a Figura 2.

Figura 1- Modelo massa-mola de rotor.



Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020) adaptado de Pereira (2005).

Figura 2 - Combinações dos movimentos em x e y produzindo órbitas: circular, elíptica.

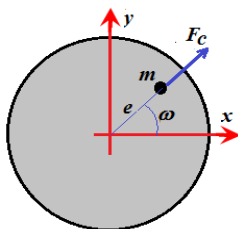


Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020).

Desbalanceamento de Rotores: O desbalanceamento pode ser definido como sendo distribuição assimétrica de massa em um rotor. Isto faz com que o principal eixo de inércia não coincida com o eixo de rotação. Essa massa desbalanceada quando gira, produz forças centrífugas que são transmitidas aos mancais do equipamento. Uma vez transmitidas, essas forças danificam os componentes diminuindo assim a sua vida útil. A força centrífuga que causa a vibração do rotor mostrada na Figura 3, é gerada pela excentricidade do centro de gravidade e pela sua rotação.

A força centrífuga pode ser definida como: $F_c = m \cdot e \cdot \omega^2$. Onde: e é o centro de rotação do rotor; m é a massa de desbalanceamento; e é a excentricidade (ponto de massa desbalanceada) ou a distância do centro de gravidade ao eixo de rotação do rotor; ω é a velocidade angular do rotor (rad/s).

Figura 3 - Efeito da força centrífuga no rotor.



Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020).

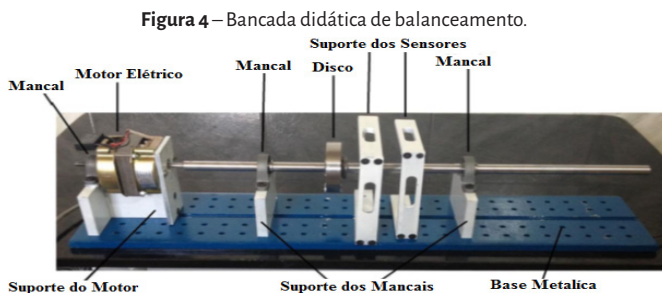
As fontes mais comuns de desbalanceamento são: configuração assimétrica; fundição e/ou usinagem excêntricas; inclusões e/ou vazios em peças forjadas ou fundidas; mancais e/ou acoplamentos não concêntricos; distorções permanentes térmicas ou por esforços; incrustações, desgaste ou corrosão.

O desbalanceamento manifesta-se através de forças dinâmicas aplicadas nos mancais pelo rotor. Qualquer que seja a técnica usada para balancear é necessário determinar as resultantes dessas forças dinâmicas e promover sua anulação ou redução. É preciso determinar com certa exatidão os módulos e as direções das resultantes. Técnicas de balanceamento estático e dinâmico apresentadas nos textos de vibrações mecânicas de Rao (2008).

Bancada didática de balanceamento

A bancada didática de balanceamento projetada e construída consiste em: uma base ou fundação móvel de aço aonde são fixados os outros componentes do sistema tais como: um motor elétrico monofásico responsável pelo acionamento e seu sistema de suporte. Mancais de rolamento com seus respectivos sistemas de fixação. Eixos com seus sistemas de montagem. Disco que representara o rotor e aonde serão fixadas massas para induzir o desbalanceamento, assim como, as massas balanceadoras. Suporte para a fixação ou montagem dos sensores de proximidade e outros sensores que podem ser acelerômetros, sensores

óticos, para monitorar a vibração, a rotação da bancada. Os sensores devem ser acompanhados por condicionadores dos mesmos, ligados a uma placa de aquisição instaladas num computador, para visualizações e manipulações das mesmas, visando as diversas análises existentes na dinâmica de rotores (balanceamento, órbitas, vibração, etc.). A configuração da bancada projetada e construída é mostrada na Figura 4.



Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020) adaptado de Da Silva Jr (2015).

A bancada apresenta uma distribuição dos componentes do sistema “Rotor–Mancal” na bancada. A seguir, descreve-se, cada um dos componentes da bancada especificando os critérios utilizados na concepção dos mesmos, descrevendo as características básicas dos mesmos, assim como, a função dos mesmos dentro da bancada didática. A concepção da bancada didática, está baseada na bancada de dinâmica de rotores de Dedini F. (1993), e Da Silva, S. (2004).

Base Metálica ou Fundação: Tem como função servir de fixação dos suportes dos mancais, do motor elétrico, assim como, da estrutura de suporte dos sensores. Neste sentido, a mesma deve possibilitar o posicionamento variável de cada um desses componentes na bancada, permitindo com isto mudar a configuração do sistema, segundo o interesse da análise além de permitir o alinhamento dos componentes montados sobre a bancada, viabilizada por um guia central (canal ou rasgo). Todas as estruturas de suporte dos mancais, motor elétrico e dos sensores deveram ter um encaixe com a mesma forma do guia central da base metálica. Para permitir um espaçamento variável entres os mancais, e o motor elétrico, a base metálica deve ter uma sequência de furos ao longo do comprimento da base e ao longo da largura da mesma para permitir

a montagem de suportes maiores, a fim de dar versatilidade na montagem da bancada. O material da base metálica é o de aço-carbono com as seguintes dimensões: comprimento de 700.00 mm, largura de 150.00 mm, e espessura de 12.70 mm. A base metálica é mostrada e indicada na Figura 4, os detalhes construtivos da fundação, encontra-se, no trabalho Da Silva Jr (2015).

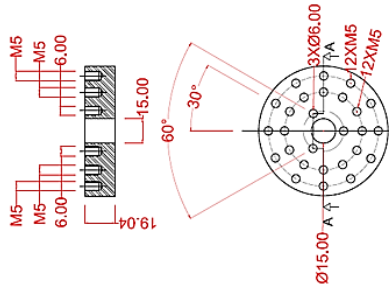
Mancais: Optou-se, pelos mancais de rolamento porque são mais utilizados para maiores velocidades e menor atrito, permitindo o movimento relativo suave entre duas ou mais partes sendo mais compactos e de fácil montagem. O diâmetro interno dos mancais é determinado pelo diâmetro do eixo do rotor. Foram selecionados mancais de rolamento disponíveis no mercado, com diâmetros interno de 15 mm e de 10 mm. O mancal de 15 mm é utilizado para apoiar o eixo do rotor, e o mancal de 10 mm é utilizado para apoiar o eixo do motor elétrico. Além disso, deve-se prever a fixação dos mesmos aos suportes dos mancais, por meio de parafusos e acessórios que permitam ter a mesma altura e alinhamento com o centro do eixo dos componentes do sistema mecânico. Os mancais são ilustrados na Figura 4. A estrutura de suporte permite a fixação dos mancais de rolamento. Portanto, proporcionara o ajuste correto da altura dos mancais, a fim de, que o disco (rotor) fique apoiado, corretamente alinhado, permitindo-o girar livremente. Também, permite a fixação do mesmo na base metálica da bancada com correto alinhamento. O suporte dos mancais é mostrado na Figura 4, os detalhes construtivos da fundação, encontra-se, no trabalho Da Silva Jr (2015).

Eixos: São elementos mecânicos utilizados para suportar um ou mais elementos girantes. O eixo selecionado é maciço e apresenta uma seção transversal circular, com degraus ou apoios para ajuste das peças nele montadas. Suas extremidades são chanfradas para evitar rebarbas, e suas arestas internas são arredondadas para evitar a concentração de tensões localizadas. O material do eixo é o aço-carbono com a superfície cromada com diâmetro de 15 mm e aproximadamente 560 mm de comprimento. O mesmo serve para montar o disco (rotor), de modo bi apoiado ou em balanço, a depender da configuração da montagem na bancada, além disso, está acoplado ao motor elétrico que lhe transmitirá a rotação. O eixo é fixado na direção radial, através de um sistema de fixação de parafusos que o fixam ao mancal. O motor elétrico é acoplado diretamente ao eixo, por meio de uma cavidade com chaveta instalada no eixo,

sem a utilização de acoplamentos mecânicos. O motor elétrico possui um eixo com diâmetro de 8 mm, enquanto que o diâmetro do eixo da bancada é de 15 mm, de forma que foi possível acoplá-los diretamente. O eixo é mostrado na Figura 4, os detalhes construtivos da fundação, encontra-se, no trabalho Da Silva Jr (2015).

Disco (Rotor): Representa o rotor das máquinas rotativas, o mesmo é montado sobre o eixo, onde é fixado, além disso, permite a fixação de massas de balanceamento através de furos rosqueados distribuídos uniformemente na face do disco, para poder realizar o balanceamento ou induzir o desbalanceamento. Foram realizados 12 furos rosqueados M5 a uma distância de 24 mm do centro e 12 furos rosqueados M5 a uma distância de 34 mm do centro. Os furos dispostos radialmente estão separados uns dos outros por um ângulo de 30° . O material do disco é o aço-carbono com diâmetro externo de 80.00 mm, diâmetro interno de 15.00 mm e espessura de 19.04 mm. O disco é mostrado na Figura 5.

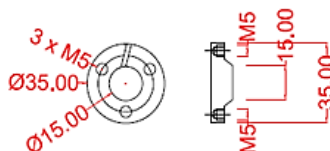
Figura 5 - Disco da Bancada Didática, detalhes construtivos.



Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020), adaptado de Da Silva Jr (2015).

O disco ainda possui um acessório de fixação utilizado para fixar o rotor ao eixo por meio dos 3 furos rosqueados M5, separados um dos outros por um ângulo de 120° a uma distância de 12.5 mm do centro. O acessório de fixação é uma bucha (guia) partida conforme a Figura 6.

Figura 6 - Acessório de fixação do disco, detalhes construtivos.



Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020), adaptado de Da Silva Jr (2015).

Motor elétrico: Os motores de corrente alternada são os mais utilizados, sendo escolhido um motor elétrico monofásico (tensão de alimentação 127V), com 3 velocidades de rotação, de um ventilador comercial para o qual, idealizou-se, a fixação do suporte dele a base metálica. A configuração geométrica do motor elétrico e seu suporte, possibilitam a fixação desses a base metálica da bancada. O motor elétrico é mostrado na Figura 4. O suporte do motor elétrico, proporciona o ajuste correto da altura do motor elétrico, de maneira que esse esteja corretamente alinhado e seja conectado ao eixo do rotor, permitindo que o motor transmita movimento rotativo ao eixo. O suporte do motor elétrico é mostrado na Figura 4, os detalhes construtivos da fundação, encontra-se, no trabalho Da Silva Jr (2015).

Suporte dos sensores: São acessórios que permitem a montagem de sensores de proximidade, sensores óticos, a fim de medir as vibrações no disco, no eixo do rotor da bancada, nas direções horizontal e vertical simultaneamente, além disso, permitem um ajuste na posição dos sensores para poder viabilizar a utilização de discos e eixos de diferentes diâmetros. O suporte também permite a fixação do mesmo na base metálica. O suporte do sensor do rotor (disco) e do eixo é mostrado na Figura 4, os detalhes construtivos da fundação, encontra-se, no trabalho Da Silva Jr (2015).

Resultados e discussão

A análise experimental foi possível com a construção da bancada didática, que permitiu diversos tipos de montagens, considerando a variação do tamanho e posição do rotor (disco), dos suportes dos mancais a sua distribuição, no referente ao espaçamento entre eles e em relação ao rotor, da estrutura de suporte dos sensores acompanhando a posição do rotor, e ao longo do eixo. Conseqüentemente, obtemos diversas configurações do sistema “Rotor-Mancal”, o que implica em um comportamento dinâmico vibratório correspondente a cada configuração, e também níveis de vibração variados ao longo do sistema para cada configuração. Em seguida, foram realizadas análises sobre a indução do desbalanceamento, realizando o deslocamento da massa de teste ao longo do rotor (disco), utilizando os furos roscados individualmente ou em forma conjunta, observando-se, os níveis de vibração transversal nos mancais de rolamento, verificando-se, com isto, a ver-

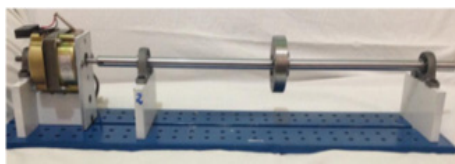
satilidade de induzir o desbalanceamento, assim como, a correção ou diminuição, através da introdução de massas de correção.

Configurações da bancada didática

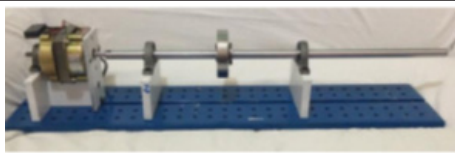
A bancada didática permite a variação das posições dos suportes dos mancais de rolamento, do suporte do motor elétrico de acionamento do sistema, e das estruturas dos suportes dos sensores de medição de vibração, para o rotor e para o eixo, como mostrado na Tabela 1.

Nas configurações da bancada apresentadas quanto menor seja o espaçamento entre os mancais, teremos uma configuração mais rígida, portanto as frequências naturais dos mesmos serão maiores, e quando o rotor estiver mais próximo de um mancal mais esse será carregado, devido as forças do desbalanceamento presentes no disco. Na Tabela 2, é incluído nas montagens da bancada, as estruturas de suportes dos sensores de medição de vibração, nas diversas posições ao longo do sistema mecânico.

Tabela 1 - Variação das posições dos mancais de rolamento.



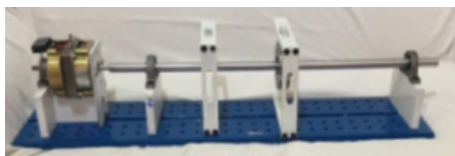
Eixo do rotor bi-apoiado nos mancais, disposição dos mancais ao longo da bancada, disco no meio do espaçamento entre mancais.



Eixo do rotor bi-apoiado nos mancais, parte do eixo do rotor em balanço, mancal direito mais próximo do meio da base metálica.

Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020), adaptado de Da Silva Jr (2015).

Tabela 2 - Variação das posições das estruturas de suporte dos sensores de medição.



Eixo bi-apoiado, estrutura de suporte de sensor do rotor na posição do disco, e do sensor do eixo entre o mancal esquerdo e o disco.

Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020), adaptado de Da Silva Jr (2015).

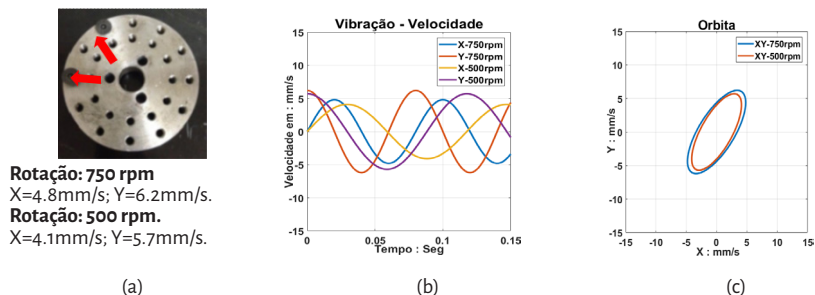
Vibração induzindo via desbalanceamento: Os materiais e equipamentos com os quais se contou para a realização desta análise são: Uma balança digital SF-400 de capacidade de até 7 kg e sensibilidade de 1 g (Figura 14 (a)). Caneta de Vibração “Pen CMAS 100- SL” (Figura (b)). Arruelas lisas de aço baixo carbono (DIN 125, Tipo A – Dimensão nominal M5). Parafusos Allen com cabeça chata (DIN 7991, M5x20), a ilustração dos mesmos, encontra-se, no trabalho Da Silva Jr (2015). E a bancada didática composta por base metálica, mancais, eixo, disco, motor elétrico, suporte, conforme Figura 4. Foram realizadas as medições do nível de velocidade de vibração nas direções **X** e **Y** nos mancais de rolamento, na parte fixa dos mesmos, pois o sensor de vibração é de contato.

Foram acopladas massas de desbalanceamento ao rotor (disco) a fim de induzir o desbalanceamento. A posição da massa de desbalanceamento, foi variada radialmente ao longo do rotor (disco) a fim de analisar o efeito do desbalanceamento, cada massa de desbalanceamento é de 2,0 g, foram coletadas para três velocidades de rotação do eixo, as velocidades de vibração nas direções **X** e **Y**. A massa do parafuso e das arruelas para induzir o desbalanceamento foram previamente mensuradas, assim como, suas posições angulares e excentricidade no rotor (disco) foram determinadas. O sensor de vibração apresentou algumas oscilações, pois o sensor não possui uma fixação estável com o mancal em contato, contudo o fenômeno da indução do desbalanceamento pode ser observado, conforme descrito em cada um dos casos.

Caso 1

Massas de desbalanceamento de 2,00 g cada uma, posicionadas a 30° e 90° respectivamente, em relação a referência vertical **Y**, e com uma excentricidade de 34,00 mm ambas as massas. A Figura 7 (a) apresenta a posição das massas no disco, assim como, as duas velocidades de rotação do eixo, e os valores das amplitudes das velocidades de vibração em **X** e **Y**. A Figura 7 (b) mostra a variação das velocidades de vibração nas direções **X** e **Y** para cada uma das rotações. A Figura 7 (c) apresenta a curva descrita em termos de velocidade de vibração, pelo eixo do sistema, na posição do mancal, para cada rotação do eixo.

Figura 7 – Velocidades de vibração no mancal de rolamento para o Caso 1.



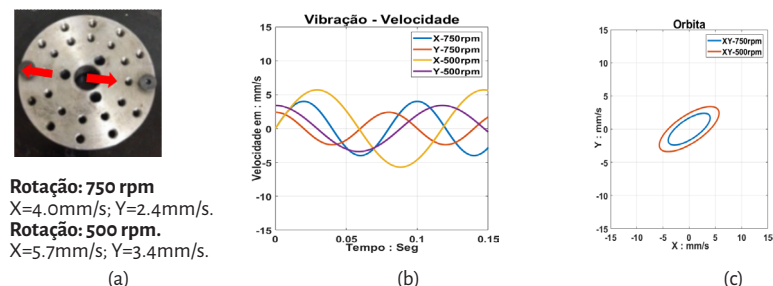
Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020).

Caso 2

Massas de desbalanceamento de 2,00 g cada uma, posicionada a 90° e -90° respectivamente, em relação a referência vertical Y, e com uma excentricidade de 34,00 mm para ambas as massas. A Figura 8 (a) apresenta a posição das massas no disco, assim como, as duas velocidades de rotação do eixo, e os valores das amplitudes das velocidades de vibração em X e Y. A Figura 8 (b) mostra a variação das velocidades de vibração nas direções X e Y para cada uma das rotações. A Figura 8 (c) apresenta a curva descrita em termos de velocidade de vibração, pelo eixo do sistema, na posição do mancal, para cada rotação do eixo.

Observa-se, dos resultados uma variada gama de possibilidades de induzir o desbalanceamento, e conseqüentemente, um variado comportamento dinâmico vibracional do mesmo sistema mecânico, devido as amplitudes das velocidades de vibração nas direções X e Y observadas, assim como, pela forma e tamanho, das orbitas descritas pelo eixo na posição do mancal de rolamento.

Figura 8 – Velocidades de vibração no mancal de rolamento para o Caso 2.



Fonte: Tadeo, A.T. e Junior, J.A.S. (2020).

Conclusões

Este capítulo apresentou a construção de uma bancada didática de balanceamento de sistemas rotativos em um plano. Onde foram apresentadas teorias relacionadas ao estudo da dinâmica de rotores, ao desbalanceamento, e ao balanceamento de rotores.

O desenvolvimento da bancada didática permitiu visualizar a importância de conceitos como: projeto de máquinas, vibrações, dinâmica de rotores, desbalanceamento de sistemas rotativos, conceitos estes que foram necessários para a construção e implementação da bancada didática de balanceamento.

A bancada didática desenvolvida permite a montagem dos componentes: rotor (disco); suporte dos mancais; e suporte dos sensores de forma versátil e variada. A disposição dos componentes fica a critério do usuário e em função do objetivo de análise.

A bancada didática desenvolvida permitiu a simulação ou indução de desbalanceamento de rotores em 1 plano, o disco permite a colocação de massas de testes para corrigir o efeito do desbalanceamento e também para induzi-lo. A quantidade de desbalanceamento irá depender do valor e da posição da massa no disco.

A importância desta área de pesquisa, assim como, as limitações encontradas possibilitam a proposição para trabalhos futuros, bem como, a capacitação de engenheiros nos campos dos conhecimentos acima citados.

Referências

DEDINI, F. G., **Identificazione dei cuscinetti e della fondazione di rotori**: Metodologia e Risultati sperimentali. 1993. 120p. Tese (Dottorato Di Ricerca Meccanica Applicata) - Dipartimento di Meccanica, Politecnico di Milano, Milan, 1993.

THE INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1940-1**: Mechanical vibration – Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state, 2ª ed. Switzerland, 2003.

PEREIRA, J. C. **Introdução à Dinâmica de Rotores**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em: http://www.grante.ufsc.br/download/Dinamica%20de%20Rotores/DIN-ROT_VF-Apostila-JCarlos.pdf. Acesso em: 21 jul. 2020.

RAO, S. S. **Vibrações Mecânicas**. Tradução: Arlete Simille. 4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 425p. Título original: Mechanical vibration. 4ª ed. americana.

Da SILVA, S. E. L. **Análise teórico-experimental de uma bancada didática para balanceamento estático e dinâmico de rotores**. 2004. monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2004.

Da SILVA Jr, J. A. **Bancada didática de balanceamento de sistemas rotativos em um plano**. 2015. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, 2015.

Avaliação de resíduo industrial para reutilização

Dannywill Medeiros dos Santos

Lucas Guimarães Cardoso

Jania Betania Alves da Silva

Introdução

O EVA (poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)]), é um copolímero empregado na fabricação de brinquedos infantis, tatames de academias e principalmente na indústria calçadista na forma de placas expandidas que dão origem a palmilhas, entressolas e solados. A indústria de calçados tem grande produção anual, conforme a Abicalçados (ABICALÇADOS, 2017), em 2016 foram produzidos no Brasil 935 milhões de pares. Dentre os principais resíduos sólidos gerados por este segmento industrial, as borrachas recebem destaque, os quais são normalmente encaminhados às centrais de armazenamento permanente devido à dificuldade de reaproveitamento no processo produtivo (FLACH, 2017).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2013), o consumo de resinas termoplásticas no Brasil em 2012 foi de 6,66 milhões de toneladas, sendo que o EVA representa cerca de 3% deste montante, ao que corresponde 200 mil toneladas.

A reciclagem desse resíduo tem impactos ambientais e econômicos, e uma das alternativas é o reaproveitamento através da utilização como forma de manta prensada para ser usada como revestimento/isolamento acústico, mas para isso é necessário caracterizar o material e avaliar suas propriedades de absorção e isolamento do som.

É importante lembrar que tudo na natureza tem propriedades acústicas, mas a capacidade de absorção varia em função do material (NAKAMURA, 2006). Para Catai (2006), os materiais acústicos são divididos em dois grandes grupos, os convencionais e os não convencionais. Materiais convencionais são os materiais de vedação de uso comum dentro da construção civil, os materiais não convencionais são materiais oriundos de inovações desenvolvidos especialmente para isolar acusticamente em diferentes ambientes que estão expostos a altos níveis de ruídos.

A absorção acústica por meio de materiais absorvedores porosos ou fibrosos é admitida como mecanismo resistivo. Nesse tipo de material a energia sonora é dissipada por atrito, por meio do movimento das moléculas de ar no seu interior, durante a passagem da onda acústica. Um material considerado como bom absorvente de som deve permitir que as moléculas do ar penetrem e se movimentem no seu interior (BISTAFA, 2006).

A região do Recôncavo da Bahia a 151,4 km da capital Salvador, é conhecida por conter um número expressivo de indústrias do setor calçadista. Uma dessas indústrias produz em média 160 kg de resíduo de EVA mensalmente, aproximadamente duas toneladas por ano, sendo assim uma grande preocupação para a empresa o destino a ser dado a esse resíduo, já que o mesmo fica armazenado na fábrica e só pouco mais de 3% é reaproveitado no processo de produção.

Diante deste cenário o presente estudo teve como objetivo caracterizar o resíduo de EVA proveniente de uma indústria de calçados da região do Recôncavo Baiano, e através dos resultados obtidos avaliar o potencial deste para aplicação como revestimento/isolamento acústico e térmico.

Metodologia

Material

O material utilizado é proveniente de retalhos de placas expandidas usadas pela indústria de calçados, o qual foi nomeado de: EVA resíduo moído, manta de EVA moído e EVA virgem, todos produzidos pela própria indústria de calçados.

A Figura 1 mostra os *pellets* de EVA virgem, produzido e utilizado pela indústria, que são fundidos e injetado em matriz (moldes) para obter formas desejadas para a fabricação de artefatos (calçados).

A Figura 2 apresenta o resíduo de EVA proveniente de placas expandidas, moído pela fábrica de calçados, por isso o nome resíduo de EVA moído.

A manta prensada de EVA resíduo (Figura 3), utilizada na fábrica de calçados para otimizar o armazenamento do resíduo gerado na fabricação de palmilhas, entressolas e solados, entre outros, uma vez que o resíduo gerado ainda não possui um reaproveitamento significativo no processo de produção.

Figura 1: Pellets de EVA virgem produzido e utilizado na indústria de calçados.



Fonte: Santos, D.M. *et al* (2015).

Figura 2: Resíduos de EVA moído da indústria de calçados.



Fonte: Santos, D.M. *et al* (2015).

Figura 3: Manta prensada de EVA resíduo.



Fonte: Santos, D.M. *et al* (2015).

Métodos

Análise termogravimétrica (TGA)

É uma técnica de análise térmica na qual a variação da massa da amostra é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma variação controlada de temperatura. Esta técnica foi aplicada

ao EVA para a determinação dos teores de material remanescente e o teor de acetato de vinil (VAC), permitindo conhecer as alterações que o aquecimento pode provocar no EVA, estimando desta forma as reações de decomposição/degradação na amostra da manta de EVA. O equipamento utilizado para as análises de TGA foi o modelo TGA-50, da marca *Shimadzu*. As amostras foram submetidas à taxa de aquecimento de 20°C/min, da temperatura de 23 a 1000°C, sob atmosfera de nitrogênio (N₂) (50 mL/min). A massa da amostra foi de aproximadamente 10 mg.

Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) foi realizada em um instrumento universal *Peekin Elmer*, modelo DSC7. Cerca de 8-10 mg de amostra pré-condicionados (60%UR, 25°C) foi hermeticamente selada em cadinho de alumínio, para prevenir a evaporação da água durante a varredura. Um cadinho de alumínio vazio, serviu como referência. A varredura foi realizada, nas temperaturas de 23 a 600 °C, com uma taxa de 20°C/min e 10 mm de N₂/min. Foi determinada a T_m (Temperatura de fusão ou melting) a partir da curva gerada na varredura do resíduo de EVA.

Análise morfológica do EVA virgem, resíduo moído, e da manta prensada

Amostras de EVA virgem, EVA resíduo moído, EVA manta foram analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo Jeol JSM-5800. As amostras para análise foram obtidas a fratura criogênica em nitrogênio líquido na direção transversal. Utilizou-se metalização com ouro previamente às análises de MEV (Figura 4).

Figura 4: Amostras de EVA metalizados com ouro antes da análise de MEV.



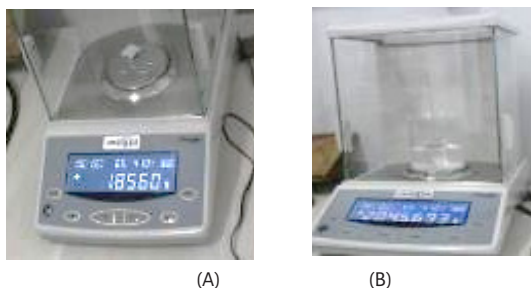
Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Caracterização da manta prensada do resíduo de EVA

Densidade

A densidade ou massa específica (ρ) demonstra a relação entre a unidade de peso do material ensaiado em relação ao peso da unidade de água. O ensaio para a determinação da densidade foi realizado no Laboratório de Química da UFRB - Cruz das Almas seguindo a norma regulamentadora ASTM D792-2013, que representa o método do deslocamento segundo o princípio de Arquimedes (empuxo). O equipamento de ensaio consiste em utilizar uma balança analítica com precisão de $\pm 0,0001$ g, usando um arame metálico com espessura de aproximadamente 25 mm para imergir o corpo de prova no líquido contido em um béquer. O líquido utilizado no ensaio foi a água destilada, que apresenta densidade de $1,00 \text{ g/cm}^3$ a (25°C) , o ensaio consiste em medir a massa seca do corpo de prova (ao ar) como mostra a Figura 5(A), e em seguida medir a massa do corpo de prova imerso no líquido (água destilada) como mostra a Figura 5(B). Foram utilizados 5 corpos de provas com dimensão 20×20 mm de acordo com a ASTM D792-13.

Figura 5: (A) Peso da massa seca do corpo de prova proveniente da manta de EVA; e (B) Peso do conjunto béquer com água destilada, arame e o corpo de prova.



Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Dureza

A dureza da amostra (manta de EVA) foi executada seguindo a norma ASTM D2240-05 no Laboratório de Ensaio Mecânicos da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizado no campos da cidade de Cruz das Almas - Bahia, com o uso de um durômetro *Shore A* digital, equipamento da

marca *Wulstest*, modelo GS 1000. Realizou-se medidas na superfície da amostra de EVA (dureza externa) e no interior da amostra após corte de sua secção transversal denominada de dureza interna (Figura 6).

Figura 6: Ensaio de dureza da manta prensada de EVA



Fonte: Santos., D.M. *et al.* (2015).

Resultados e discussão

Caracterização do resíduo

Densidade

A Tabela 1 fornece os valores obtidos experimentalmente no ensaio de densidade. O resultado médio da massa específica da amostra de resíduos do EVA no formato de manta prensada.

Tabela 1: Resultado da massa específica do resíduo de EVA.

Item	Repetição				
ms [g]	1,91	1,89	1,86	1,82	1,86
m [g]	204,88	204,01	203,94	203,89	204,01
m' [g]	204,88	204,75	204,66	204,57	204,51
ml [g]	0,74	0,74	0,71	0,67	0,68
[g/cm ³]	0,38	0,39	0,38	0,37	0,37
Valor médio da massa específica ρ (g/cm ³)					0,38

Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

A massa específica indica o volume que o resíduo pode ocupar em áreas de destinação, podendo aumentar ou não o seu custo de descarte e transporte,

uma vez que uma menor quantidade de material será transportada em um mesmo volume.

Dureza

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados dos ensaios de dureza média *Shore A* do EVA virgem e do EVA manta, foi possível observar que o EVA virgem apresentou uma dureza média de aproximadamente 72,9% maior em relação ao EVA manta. Para Prestes (2013), isso se dá pela quantidade de poros, o EVA resíduo apresenta uma maior quantidade em comparação com o EVA virgem. Ainda para o mesmo autor, a quantidade de poros influencia diretamente na massa específica dos mesmos, que teoricamente a manta apresentará uma menor massa específica que o EVA virgem, tornando-se um material mais leve pela concentração do número de poros, o que corrobora com os dados da sessão 4.1 deste trabalho.

Tabela 2: Ensaio de dureza da EVA virgem.

Amostra	Repetição					Média	DPM
1	0,25	0,24	0,23	0,5	0,24	0,24	0,008367
2	0,24	0,23	0,24	0,25	0,22	0,24	0,011402
3	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,24	0,008367
4	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,24	0,008367
5	0,22	0,23	0,22	0,25	0,24	0,23	0,013038
6	0,23	0,25	0,23	0,22	0,24	0,23	0,011402
Dureza Média						0,24	±0,009884

Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Tabela 3: Ensaio de dureza em manta da EVA resíduo.

Amostra	Repetição					Média	DPM
1	0,07	0,06	0,06	0,09	0,08	0,072	0,013038
2	0,07	0,05	0,06	0,06	0,07	0,062	0,008367
3	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06	0,062	0,008367
4	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,010000
5	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,064	0,005477
6	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06	0,064	0,008944
Dureza Média						0,065	±0,00903

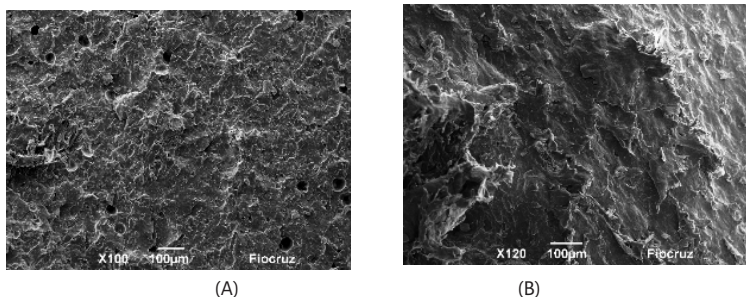
Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Prestes *et al.* (2013) ao avaliar a dureza e a densidade do resíduo de EVA cinza obtiveram dureza média $22,8 \pm 0,6$ e densidade $0,22 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ que são relativamente próximo dos resultados obtidos neste trabalho.

Análise morfológica

As Figuras 7 (A) e (B) mostra micrografias da superfície e da superfície de fratura de pellets, respectivamente, com diferentes magnitudes.

Figura 7: Micrografia (A) superfície do pellet, (B) superfície de fratura do pellet com ruptura criogênica.

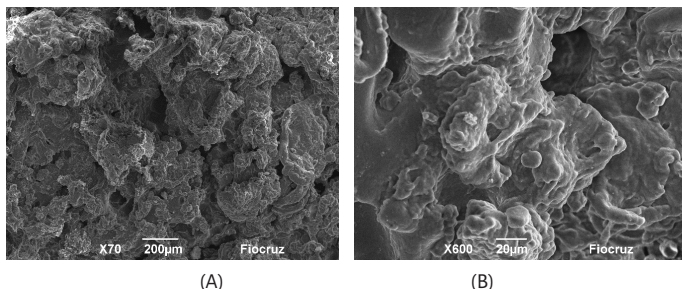


Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

A partir das micrografias acima podemos perceber claramente a irregularidade da superfície dos *pellets*, e através da micrografia com ruptura criogênica visualizamos a presença de poros ao longo da superfície do mesmo. Quando um material possui irregularidades em sua superfície, as ondas que se propagam até ele, encontram obstáculos e sofrem o fenômeno conhecido como difusão sonora, conhecida como dispersão do som, ou seja, as ondas se espalham ao invés de retornarem em linha reta (CAETANO, 2015).

As Figuras 8 (A) e (B) apresenta a micrografia do resíduo de EVA com aumento de X70 e X600, assim como nos *pellets* é nítida a presença de poros no resíduo, no entanto são maiores e em maior quantidade.

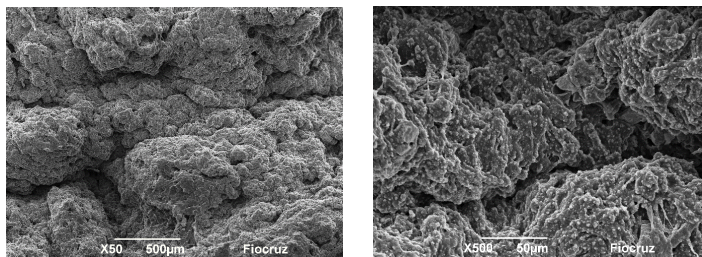
Figura 8: Micrografias do resíduo de EVA.



Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Nas Figuras 9 (A) e (B) são apresentadas micrografias da superfície da manta do resíduos de EVA moído, com aumento de X50 e X500 respectivamente, podemos visualizar claramente a irregularidade e a presença de poros na mesma.

Figura 9: Micrografias da manta de EVA.

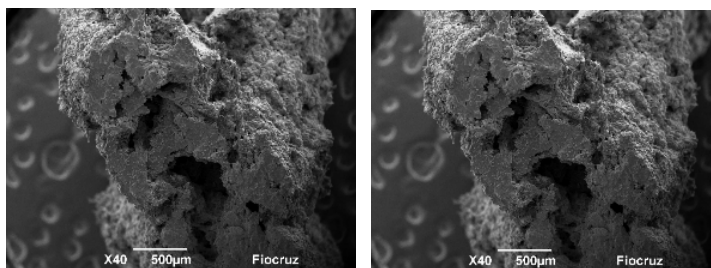


(A) (B)

Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

A análise da superfície de fratura da manta de resíduos EVA (Figura 10) também se identificou a presença da irregularidade da superfície, poros e lacunas, que segundo Zattera (2005) é bastante comum neste tipo de material.

Figura 10: Micrografias da superfície de fratura da manta de EVA com ruptura criogênica.



(A) (B)

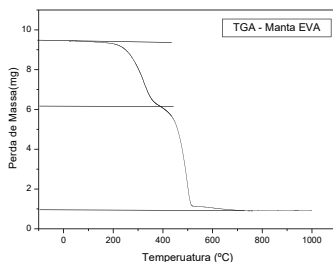
Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Ao analisar as imagens obtidas através da microscopia de varredura da manta e do resíduo de EVA com e sem ruptura criogênica, observa-se a presença de lacunas, poros e irregularidade no material. Conforme Giesbrecht (2007), a presença de poros influencia diretamente na absorção acústica dos materiais, para que isso ocorra, os poros devem estar conectados, ou seja, deve-se garantir que o ar consiga passar entre os mesmos, para que isso ocorra. Isso explica o motivo no qual as espumas de controle de ruídos têm um elevado nível de porosidade.

Análise termogravimétrica (TGA)

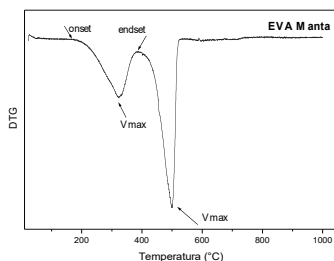
As Figuras 11 e 12 mostram as curvas TG e DTG da amostra de EVA resíduo (manta). É possível observar dois eventos de degradação em faixas de temperatura seguidas, a primeira entre 181,48 a 384,92 °C, com velocidade máxima de perda de massa (V_{max}) em 324 °C, o segundo evento aconteceu entre as temperaturas de 395,35 a 536,84 °C, com velocidade máxima de perda de massa (V_{max}) em aproximadamente em 499 °C. O primeiro está relacionado a degradação do acetato de vinila (VAC), formando ácido acético, com perda de massa de aproximadamente $m_1 = 3,24$ mg que é equivalente a 34,32% da massa total, o segundo evento refere-se a degradação da parte olefinas do copolímero, como perda de massa de $m_2 = 4,22$ mg que equivale a 44,78% da massa total. A massa residual é dada pelo total de 100% subtraindo-se a somatória dos percentuais das etapas de degradação. Também pode ser extraído destas análises a porcentagem de cargas inorgânica de resíduos, que neste trabalho foi de $m_3 = 1,12$ mg equivalente a 11,77%, resultados similares foi relatado por Zattera (2005).

Figura 11: Curva da Análise Termogravimétrica (TGA) da manta de EVA.



Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Figura 12: Curva DTG da análise termogravimétrica da manta de EVA.



Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Zattera (2005) através da análise termogravimétrica do EVA virgem observou-se duas etapas de degradação, a primeira em torno de 330 a 450 °C e uma segunda na faixa de temperaturas entre 450 e 520 °C. Para o EVA resíduo, pode-se observar adicionalmente uma terceira etapa de degradação (680 a 750 °C), a qual está relacionada possivelmente à degradação de carga inorgânica presente no resíduo.

Tabela 4: Temperaturas referentes aos eventos de perda de massa da manta de EVA.

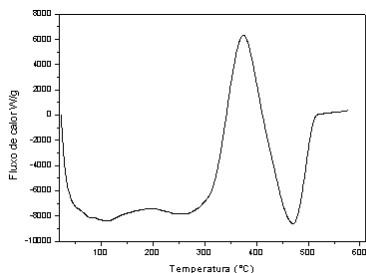
	1º Evento	2º Evento
Temperatura inicial (°C)	181,48	395,35
Temperatura final (°C)	384,92	536,84
Perda de massa (mg)	3,24	4,22
Perda de massa (%)	34,32	44,78

Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A Figura 13 apresenta a curva obtida através da análise de DSC da manta de EVA.

Figura 13: Curva de Calorimetria Exploratória Diferencial da manta de EVA.



Fonte: Santos, D.M. *et al.* (2015).

Através da curva de DSC podemos obter os seguintes parâmetros, temperatura de fusão cristalina (T_m), que é a temperatura em que durante o aquecimento, desaparecem as regiões cristalinas com a fusão dos cristalitos, elas afetam propriedades como volume específico e entalpia. A entalpia de fusão (ΔH) é a energia necessária para fundir um mol de uma substância ou elemento químico e o grau de cristalinidade (χ). Os picos endotérmicos sobrepostos centrado a cerca de 45 e 70 °C respectivamente correspondem

a de fusão de cristais (T_m) de tamanho diferentes, um amplo pico exotérmico 110 - 210°, corresponde à decomposição térmica de peróxido (degradação em ácido acético), e um segundo pico endotérmico em aproximadamente 470°C, referente a degradação do olefínica do copolímero, os resultados da curva de DSC corroboram com os encontrados pela análise TGA, onde foi possível observar dois eventos de perda de massa, referentes a estes dois picos observados na curva de DSC da manta de EVA.

Conclusão

O trabalho apresentado neste capítulo, buscou caracterizar o resíduo de EVA, oriundo de uma fábrica de calçados da região do Recôncavo Baiano, para avaliar o potencial para seu reaproveitamento como revestimento\isolamento acústico. A microscopia mostrou a irregularidade da superfície, com presença de poros e lacunas tanto nos pellets, EVA resíduo e na manta de EVA. As medidas de densidade e dureza mostraram resultados interessantes, já que o material apresentou baixa densidade e baixa dureza, sendo esses resultados atribuídos a grande quantidade de poros e lacunas, como confirmado nas micrografias. As análises térmicas mostraram perdas de massa em faixas de temperaturas distintas, com dois eventos observados através da análise termogravimétrica e da calorimetria diferencial exploratória. O EVA estudado pode ser considerado um material alternativo como revestimento\isolamento acústico, já que a partir das análises realizadas foram constatadas características semelhantes aos materiais não convencionais utilizados em diversos ambientes como isolante e absorvedores acústicos.

Referências

ABICALÇADOS. **Relatório Anual 2016**. Abicalçados: Novo Hamburgo, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST, **A Indústria Brasileira da Transformação de Material Plástico- Perfil 2012**, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2240-05. **Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness**. Estados

Unidos, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D792. **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. Estados Unidos 2013.

BISTAFA, Sylvio. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

CAETANO, M. J. L. **Fenômenos Físicos que Afetam a Propagação do Som**. Disponível em: http://ctborracha.com/page_id=1667. Acesso em: 01 mai. 2015.

CATAI, R. E; PENTEADO, A. P; DALBELLO, P. F. **Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 2006.

FLACH, M. V.; SEIBT, E.; SCHNEIDER, E. L.; DE LIMA, V.; SOLDI, V.; ROBINSON, L. C.; BIANCHIN, L.; JAHNO, V. D. Reciclagem de Resíduos da Indústria Calçadista e Avaliação da Degradação em Solo. **Virtual Química**, 2017, v. 9, n. 6, p. 2178-2192.

GIESBRECHT, P. K. **Incerteza na medição das características acústicas dos materiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

NAKAMURA, J. Conforto acústico. **Revista Técnica**, 106^a Edição, Ano XIV, 2006.

PRESTES, S. M. D. **Reaproveitamento de resíduos de EVA reticulado através de reciclagem química**. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia dos Materiais) Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2013.

ZATERRA, A. J. FERREIRA, C.A.; ZENI, M; BIANCHI, O. Caracterização de resíduos de copolímeros de Etileno-Acetato de Vinila – EVA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p. 73-78, 2005.

Atenuador de impacto de baixo custo para fórmula SAE

Yan Andrade Neves
Janina Betania Alves da Silva

Introdução

Segundo Case, Matthews e International (2017) a competição fórmula SAE (*Society of Automotive Engineers*), também conhecida como formula *student*, surgiu nos Estados Unidos nos anos de 1980, como uma continuação para a *Mini-Indy*, competição de corrida no asfalto usando um motor pequeno *Briggs & Stratton de 5 hp*. No Brasil, a competição teve sua primeira edição no ano de 2003 e, desde então, a competição ocorre anualmente, geralmente nos meses de outubro ou novembro. Segundo SAE *International* (2017), sociedade que cria as regras da competição, durante 3 dias as equipes são avaliadas em testes de segurança, provas estáticas e provas dinâmicas.

As regras preveem uma série de requisitos necessários de segurança para o carro na área estrutural, além das regras que contemplam o veículo em condições normais, existem regras específicas para casos de colisão frontal, colisão lateral e capotamento. Uma das exigências do regulamento é o atenuador de impacto.

O atenuador de impacto é um item requerido a todas as equipes para que possam competir. Ele se encontra na parte frontal do carro e tem o objetivo de absorver parte da energia que seria transferida ao piloto em caso de uma batida ou impacto que o veículo venha sofrer.

O modelo de atenuador padrão possui um custo alto, além de não existir fornecedores no Brasil, sendo necessário a importação, que acaba elevando os custos. A maioria das equipes, geralmente, possuem poucos recursos financeiros, o que dificulta a importação do atenuador padrão e/ou a construção de um modelo novo utilizando materiais nobres como: espumas poliméricas, fibra de carbono, alumínio *honeycomb*, entre outros.

Os pontos principais do regulamento para a competição fórmula SAE nos anos de 2017-2018, estão dispostos a seguir. As regras estão disponíveis no livro de regras do fórmula SAE na parte T3.20.

1. A frente do *bulkhead* (anteparo) frontal deverá conter um conjunto do atenuador de impacto, consistido no atenuador de impacto e a placa anti-intrusão.

2. O atenuador deverá ter pelo menos 200x100x200 mm e ser ligado de forma segura a placa anti-intrusão ou diretamente ao *bulkhead* frontal.

3. A placa anti-intrusão deverá:

a. Ter 1,5mm para aço sólido ou 4,0 mm para alumínio sólido.

b. Está ligada com segurança ao *bulkhead* frontal.

c. Nenhuma parte da placa anti-intrusão deverá curvar-se mais que 1 polegada.

4. Dados requisitados do atenuador de impacto:

a. Dados de ensaios provando que a conjunto do atenuador de impacto, quando montado na parte frontal de um veículo de massa total igual a 300 kg e impactando uma barreira sólida com velocidade de impacto de 7,0 metros/segundo, desacelera o veículo a uma taxa que não excede 20 g de média e 40 g de pico. A energia absorvida no evento deve ser igual ou exceder 7350 Joules.

Um atenuador de impacto pode ser construído de diversos materiais diferentes como espuma polimérica, fibra de carbono, *honeycomb* de alumínio, chapas de aço e alumínio, entre outros.

Segundo Lebrão (2008) as principais características da fibra de carbono são, elevados valores de resistência à tração, módulo de elasticidade elevado e baixa massa específica, quando comparado com outros materiais de engenharia, isso propicia o seu uso em aplicações que envolvem redução de massa. Um modelo de atenuador de fibra de carbono é apresentado no trabalho de Obradovic, Boria e Belingardi (2012).

Segundo Azevedo *et al.* (2009) as espumas poliméricas são constituídas por uma fase sólida de uma matriz polimérica e por uma fase gasosa derivada de um agente de expansão. De acordo com Pereira (2013) algumas classes de espuma possuem a principal característica favorável para absorção de impacto: curvas de tensão versus deformação com longos trechos de deformação constante. Potabatti (2016) apresentou em seu trabalho um atenuador de impacto feito de espuma polimérica.

Segundo Pereira (2013) estruturas *honeycomb*, ou colmeia, são materiais modernos utilizados na indústria aeronáutica e outras que precisam de

materiais com alto nível de exigência. Essas estruturas são recomendadas para construções sanduíche, são utilizadas como alma em conjunto com outros materiais, dando origem aos compósitos, assim como em aplicações de absorção de impacto. A grande capacidade de absorção de energia e desaceleração constante demonstram que o *honeycomb* de alumínio é uma opção bastante interessante para a construção do atenuador. Prazeres (2016) realizou um estudo de desenvolvimento de um atenuador no formato de alvéolos e obteve resultados satisfatórios.

Chapas de aço e alumínio são obtidas através de um processo de conformação mecânica chamado laminação. Esse processo é realizado com o uso de rolos que reduzem a espessura de um tarugo inicial de metal fundido até a espessura desejada. Um exemplo de atenuador construído com base em chapas foi apresentado por Prazeres (2016).

Diante deste cenário, o objetivo do estudo apresentado nesse capítulo, foi o desenvolvimento de um atenuador de impacto, de baixo custo, utilizando materiais mais acessíveis e de fácil disponibilidade (chapas de aço) para competir na fórmula SAE.

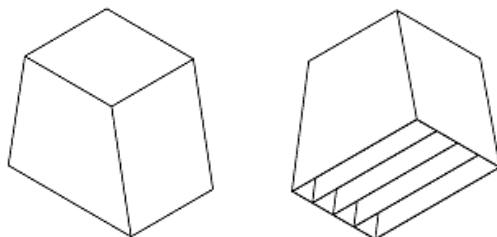
Metodologia

Material

O trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um atenuador de impacto de baixo custo para ser utilizado por equipes iniciantes, que disponham de pouco recurso financeiro, por isso é importante a compreensão a respeito do material e da geometria que será escolhida, levando em consideração o custo e para facilitar o acesso e montagem. Tais fatores de escolha podem apresentar desvantagens, a maior delas é o peso elevado do material, visto que em um carro de competição se busca ao máximo a redução do peso.

O material escolhido foi chapas de aço de 1mm e a geometria baseada em um tronco de pirâmide com reforços internos (figura 1). Para evitar a flambagem excessiva dos reforços internos, a estrutura interna do atenuador foi preenchida com espuma de poliuretano expansível (PU). O custo total de construção foi de aproximadamente de R\$ 43,00. O modelo final pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Geometria final utilizada no trabalho.



Fonte: Neves, Y. A. e Silva, J. B. A. (2017).

Método

Para a avaliação do atenuador, foi realizado o teste quase-estático como pede o regulamento da SAE para a competição (SUTHERLAND e SOARES 2012).

Para o teste utilizou-se a *Electronic Universal Testing Machine* (Máquina de ensaio universal eletrônica) modelo WDW-100E vendida pelo *TIME Group Inc*.

O teste quase-estático é o teste de compressão usado para testar o atenuador de impacto com o intuito de prever seu comportamento no caso de uma batida. Através dele é possível obter dados como energia absorvida, aceleração máxima e aceleração média que serão comparados aos exigidos pelo regulamento para verificar se estão válidos ou não para serem usados durante a competição.

Como parâmetro do teste foi utilizada velocidade de compactação de 100 mm/min, de acordo com a metodologia proposta por Prazeres (2016).

O resultado do teste é uma curva força x deformação que será utilizado para obter-se as acelerações média, máxima e a energia absorvida. A aceleração média pode ser calculada através da equação 1.

Equação 1: Sendo $A_{média}$ a aceleração média, $F_{média}$ a força média, M a massa e g a aceleração gravitacional.

$$A_{média} = \frac{F_{média}}{Mg} \quad (1)$$

A aceleração máxima pode ser encontrada através da equação 2

Equação 2: Sendo $A_{máxima}$ a aceleração máxima, $F_{máxima}$ a força máxima, M a massa e g a aceleração gravitacional.

$$A_{máxima} = \frac{F_{máxima}}{Mg} \quad (2)$$

Já a energia total absorvida é representada pela área abaixo da curva força x deformação e pode ser calculada através da equação 3:

Equação 3: Sendo E a energia absorvida, F a força e x_1 e x_n a deformação inicial e final, respectivamente.

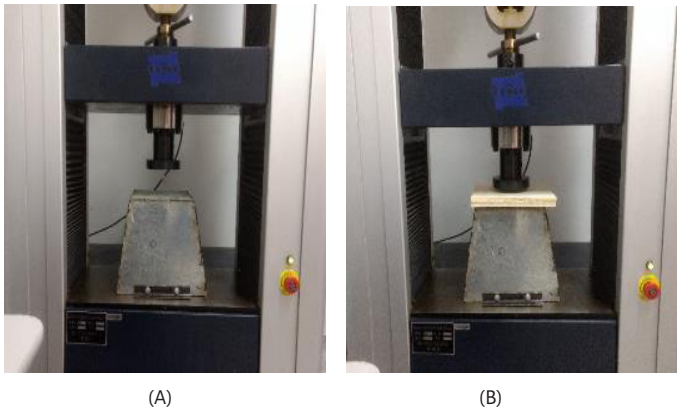
$$E = \int_{x_1}^{x_n} F dx \quad (3)$$

Os valores de massa e aceleração da gravidade são conhecidos. O primeiro é dito no regulamento da SAE e vale 300 kg, já o segundo é conhecido e vale 9,81 m/s².

Resultados e discussão

A Figura 2 mostra o teste ao qual o atenuador de impacto desenvolvido foi submetido, como a célula de carga da máquina era menor que a secção do atenuador, colocou-se duas placas de compensado de 10 mm com o objetivo de tentar distribuir a força, como pode ser visualizado na Figura 2 (B).

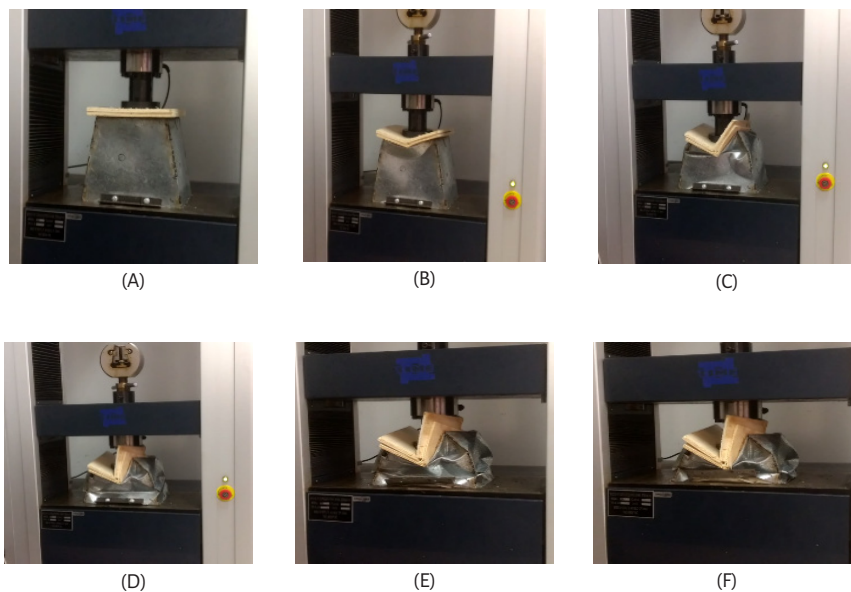
Figura 2: (A) Atenuador montado para o teste, (B) placas de compensado utilizadas para distribuição da força.



Fonte: Neves, Y. A. e Silva, J. B. A. (2017)

Logo no início do ensaio as placas de compensado mostraram-se pouco resistentes a quantidade de força aplicada durante o teste e se romperam. O teste seguiu normalmente até cerca de 225 mm de deformação. As imagens das etapas do teste podem ser observadas nas Figuras 3 (A) a (F).

Figura 3: (A) a (F) sequência de mostra imagens durante a realização do teste.



Fonte: Neves, Y. A. e Silva, J. B. A. (2017)

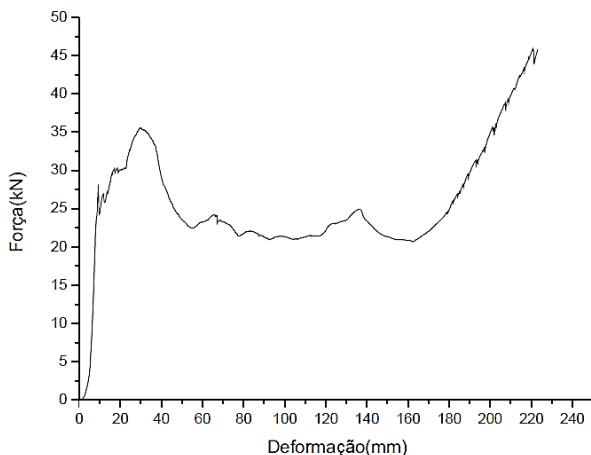
O atenuador após teste pode ser observado na Figura 4(A) e (B).

Figura 4: (A) e (B) Imagens do atenuador após o teste.



Fonte: Neves, Y. A. e Silva, J. B. A. (2017).

Com o resultado do teste foi possível dar início ao tratamento dos dados. Foi gerado um gráfico com uma curva tensão x deformação com os dados do ensaio, apresentado na Figura 5.

Figura 5: Curva força x deformação obtido após o teste.

Fonte: Neves, Y. A. e Silva, J. B. A. (2017).

Através da curva foi possível obter os valores de força média e força máxima. Os valores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Força média e máxima obtidas durante o teste.

Descrição	Valor
Força média	25,64 kN
Força máxima	45,92 kN

Fonte: Neves, Y. A. e Silva, J. B. A. (2017).

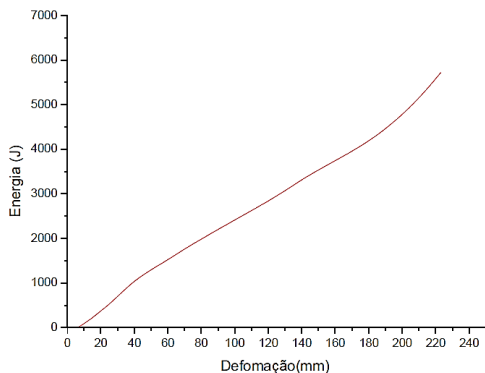
Com os resultados obtidos e através das equações 1 e 2 foi possível calcular as acelerações máxima e média. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Aceleração média e máxima obtidas.

Descrição	Valor
Aceleração média	8,71 g's
Aceleração máxima	15,60 g's

Fonte: Neves, Y. A. e Silva, J. B. A. (2017).

O cálculo da energia absorvida, que é calculada a partir da área abaixo da curva força x deformação, foi realizado com o auxílio do software gratuito. A curva da energia absorvida pode ser vista na Figura 6. O valor final de energia absorvida está expresso na Tabela 3.

Figura 6: Curva de energia x deformação.

Fonte: Autor (2017).

Tabela 3: Energia total absorvida durante o teste.

Descrição	Valor
Energia absorvida	5721,13 J

Fonte: Neves. Y. A. e Silva. J. B. A. (2017).

Com os valores obtidos foi possível realizar uma comparação com os valores exigidos no regulamento, na Tabela 4 mostra a comparação.

Tabela 4: Comparação dos dados obtidos com os valores exigidos pela competição.

Descrição	Valor obtido	Valor exigido
Aceleração média	8,71 g's	< 20 g's
Aceleração máxima	15,60 g's	< 40 g's
Energia absorvida	5721,13 J	>7350 J

Fonte: Neves. Y. A. e Silva. J. B. A. (2017).

Vemos que ambas as acelerações foram abaixo das máximas, porém, a energia absorvida não alcançou o mínimo exigido. Portanto o atenuador não está apto a ser utilizado na competição. Alguns fatores que podem ter influenciado no comportamento apresentado pelo atenuador desenvolvido e conseqüentemente no valor da energia absorvida. Como já mencionado anteriormente, a área da célula de carga do equipamento onde foi realizado o ensaio era menor que a do atenuador, tentou-se contornar essa limitação com a utilização de placas de compensado, porém, esses materiais não suportaram os carregamentos do teste, e logo no início se romperam. Ou seja, a força estava sendo aplicada em uma área menor que a total disponível pelo atenuador,

com isso, parte da estrutura não sofreu uma deformação completa. Como pode ser visto na Figura 4(b), a parte central do atenuador sofreu uma grande compactação, porém, as laterais não. Isto implica que menos energia foi necessária para deformar o atenuador. Outro fator que pode ter influenciado no desempenho do teste foi a ausência de fixação do atenuador. Com isso a base do atenuador, que deveria ser fixa, acabou extravasando e servindo de “escape” para todo material que estava na estrutura interna do atenuador, ou seja, parte do material que deveria ter sido compactado acabou “escorregando”, pelas laterais. O resultado deste efeito pode ser visualizado na Figura 4(b). Acredita-se que esse efeito tenha influência menor que o apresentado anteriormente.

As limitações do equipamento (máquina universal de teste) disponível para o teste e o meio utilizado para contornar essas limitações (adaptador), não foram eficientes. Uma forma de solucionar estas limitações são: uma célula de carga com as dimensões próximas a do atenuador, e/ou a utilização de um adaptador com um material mais resistente como base de fixação sob medida para a máquina.

Conclusão

O estudo apresentado nesse capítulo teve como objetivo o desenvolvimento de um projeto (protótipo de um atenuador de impacto de baixo custo), construção e teste do mesmo. Para atingir esse objetivo foram realizadas uma série de etapas, como: O levantamento dos custos de materiais acessíveis; A criação de um protótipo modelo; Foi realizado o teste quase estático com o protótipo, apesar de algumas limitações do equipamento, o que não permitiu condições ideais para o ensaio; Com o tratamento dos dados obtidos foi possível gerar um gráfico da curva força x deslocamento; e a partir dessa foi possível obter todos os dados necessários para o cálculo dos parâmetros exigidos no regulamento. A aceleração se mostrou dentro dos limites, porém, a energia absorvida foi abaixo do mínimo exigido. Foi analisado algumas limitações do equipamento que podem ter influenciado no teste. Apesar do atenuador desenvolvido não ter cumprido os requisitos exigidos, o referente estudo mostra informações relacionadas a criação de um atenuador de impacto para fórmula SAE. Portanto essas informações (resultados obtidos)

podem servir de base para o desenvolvimento de um novo protótipo mais eficiente. A partir desse estudo, trabalhos futuros podem vir a ser realizados, sejam em testes em máquinas de maior porte ou na avaliação da relação dos reforços internos do atenuador, com foco na otimização desses.

Referências

CASE, DEAN; MATTHEWS, RON; INTERNATIONAL, SAE. **History of Formula SAE**. Disponível em: <https://www.fsaeonline.com/page.aspx?pageid=c4c5195a-60c0-46aa-acbf-2958ef545b72>. Acesso em: 09 ago. 2017.

LEBRÃO, G. W. Fibra de carbono. **Revista Plástico Sul**, Porto Alegre, n.91, dez., 2008. Disponível em: <http://maua.br/files/artigos/artigo-fibra-de-carbono-prof.-guilherme.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2017.

OBRADOVIC, JOVAN; BORJA, SIMONETTA; BELINGARDI, GIOVANNI. Lightweight design and crash analysis of composite frontal impact energy absorbing structures. **Composite Structures**, Porto, v. 94, n. 2, p.423-430, jan. 2012.

AZEVEDO, J. B. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas de espumas de EVA/EPDM. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, p.38-44, 2009.

PEREIRA, LUIZ OTAVIO DA COSTA MARCELO. **Projeto de um atenuador de impacto para o protótipo da equipe de Fórmula SAE da UFRJ**. 2013. 102 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

POTABATTI, NIKHIL S. **Design and physical testing of impact attenuator for formula sae racecar**. International Journal of Science, Engineering and Technology Research. Online, p. 357-360. jan. 2016.

PRAZERES, HENRIQUE DE MONTALVÃO DOS. **Desenvolvimento de um atenuador de impacto para um veículo de fórmula student**. 2016. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2016.

SUTHERLAND, L.S.; SOARES, C. GUEDES. The use of quasi-static testing to obtain the low-velocity impact damage resistance of marine GRP laminates. **Composites**. Lisboa, p. 1459-1467. jan. 2012

Fotoelasticidade na flexão de viga coroadada e plana

Lucas Rocha Melo
Vanio Vicente De Souza

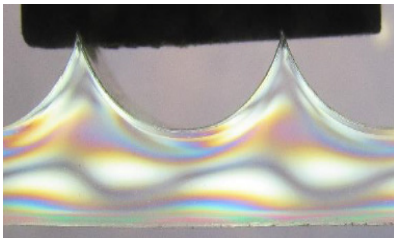
Introdução

A fotoelasticidade foi descoberta em 1912 por David Brewster e consiste em um fenômeno óptico observável em alguns materiais transparentes, que ao serem submetidos a uma luz polarizada, retratam níveis de tensão similares aos quais o material foi submetido, durante variação de tensões em sua estrutura interna (SCHIAVON, 2010) e por muito tempo, foi uma importante ferramenta para determinar a distribuição de tensões, em um corpo de prova, de maneira quantitativa e qualitativa (ALCÂNTARA, 2006).

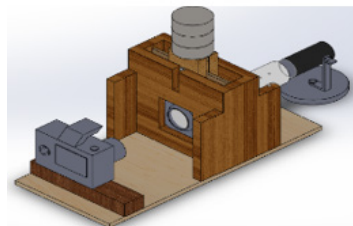
A técnica é utilizada no campo de verificação de soluções numéricas em estudos de tensões em geometrias diversas para otimização de formas, realizadas por programas computacionais, e pode ser interpretada qualitativa e quantitativamente, podendo ainda ser classificada como de transmissão, plana ou tridimensional (SOUZA, 2011).

Ao serem aplicados esforços em um material isotrópico, David Brewster observou em seus experimentos, que este se transforma em anisotrópico de forma proporcional à deformação causada em sua estrutura, quanto maiores às tensões, maior o grau de anisotropia, proporcionando a implementação de uma técnica experimental para analisar tensões em materiais poliméricos com anisotropia óptica. Um exemplo deste fenômeno é ilustrado na figura 1 (A).

Figura 1- Material submetido à flexão sob luz polarizada (A) e polariscópio utilizado para obtenção (B).
1 – Câmera; 2 - Corpo de prova e pesos(carga); 3 - Fonte de luz; 4 - Lente polarizada.



(A)



(B)

Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Na maioria dos estudos de comportamento mecânico dos materiais, a distribuição de tensões pode ser analisada com a técnica da fotoelasticidade (SCHIAVON, 2010). O método apresenta vantagens quanto à determinação das tensões-deformações de uma estrutura mecânica carregada com geometria complexa aproximando a forma do corpo real aos resultados experimentais permitindo comparações com outros métodos de análise.

Ao submeter um corpo de prova anisotrópico à tensão, quando a luz incidida sobre ele é branca e atravessa filtro polarizador, uma série de cores (espectros de onda eletromagnética) será decomposto e evidenciado. Cada uma das cores corresponde a um valor de δ da equação (1), portanto, cada cor predominante em determinada faixa do material corresponderá a uma mesma diferença de tensão entre os planos principais (SCHIAVON, 2010), essa diferença é proporcional a deformação do material.

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{1}{c \cdot h} \cdot \delta \quad (1)$$

Onde:

$\sigma_1 - \sigma_2$ = Diferença entre as tensões principais máxima e mínima do material;

h = Constante de Planck; c = Velocidade da luz e δ = comprimento de onda.

Essa proporção é chamada de Ordem de aparecimento da franja isocromática e é dada pela equação (2) e representada em números ordinais, 1, 2, 3... n ($n \in \mathbb{Z}$), enquanto a constante óptica determina quantitativamente o nível de tensão de uma franja.

Logo, a diferença entre as tensões principais pode ser calculada em função de variáveis de fácil obtenção (ARAÚJO, 2006).

$$(\sigma_1 - \sigma_2) - n \quad (2)$$

Onde:

n é a ordem da Franja isocromática

Se a diferença entre as tensões principais ($\sigma_1 - \sigma_2$) for nula, a região apresentará uma cor escura. Caso contrário, serão observadas regiões coloridas, onde cada uma das cores possui uma característica correspondente para cada diferença entre as tensões principais. Quando a diferença representar um número inteiro, a cor evidenciada será a púrpura. Na Tabela 1 são mostrados os valores das diferenças entre tensões principais correspondentes a algumas das cores do espectro.

As franjas de interferência luminosas produzirão franjas escuras (luz monocromática) ou coloridas e, a partir das figuras formadas, será possível analisa-las e medi-las a fim de determinar quais os pontos mais críticos para a geometria do material (SOUZA, 2011).

Tabela 1: Relação da ordem de franja com algumas cores.

Cor	Ordem de Franja (N)	Retardação Relativa (nm)
Preto	0	0
Cinza	0,20	160
Branco	0,45	260
Amarelo Pálido	0,6	345
Laranja	0,8	460
Vermelho Opaco	0,9	520
Roxo (tom de passagem)	1,00	575
Azul Escuro	1,08	620
Azul Verde	1,22	700
Verde/Amarelo	1,39	800
Laranja	1,63	935
Vermelho-Rosa	1,82	1050
Roxo (tom de passagem)	2,00	1150
Verde	2,35	1350
Verde Amarelo	2,50	1440
Vermelho	2,65	1520
Transição Vermelho-Verde	3,00	1730

Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019) adaptado de Ferreira & Bermudes (2004).

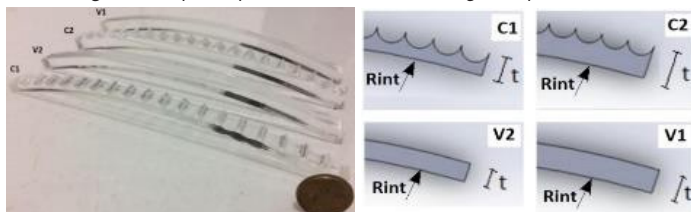
Metodologia

A metodologia utilizada para obtenção dos parâmetros fotoelásticos dos corpos de prova submetidos ao carregamento foi iniciada através da construção de um polariscópio plano de transmissão com posterior ensaio de flexão das vigas bi-apoiadas (corpos de prova C1, C2, V1, V2) mostrados na Figura 2 e submetidos a carga de flexão centralizada, aquisição de imagens e tratamento de imagens com o objetivo de representação das tensões com relação as faixas de cores através de paleta RGB, seguido das avaliação comparativas das variações de tensão em 87 pontos distintos - cada ponto corresponde a um pixel da imagem - da seção dos corpos de prova com o objetivo de quantificar as distribuições de tensão em ambos.

O material utilizado para a fabricação dos quatro corpos de prova ensaiados foi o PMMA (Polimetil-Metacrilato). Os raios de curvatura da face

inferior são iguais a 300mm em todos os corpos de prova. As demais dimensões estão explanadas na tabela 2. Os perfis coroados C1 e C2 tem a catenária superior constituída de perfis parabólicos determinados pela equação $y = 0,2901x^2 - 2,9232x + 311,41$ ($R^2 = 0,9978$).

Figura 2- Corpos de prova coroados (C1 e C2) e vigas simples (V1 e V2).



Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

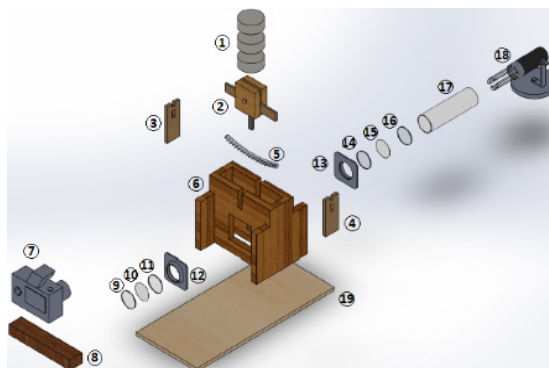
Tabela 2- Dimensões características dos corpos de prova.

Corpo de Prova	Altura (t) – mm	Espessura (h) – mm	Área Transversal (mm ²)	Perímetro - mm	Raio Interno () - mm
Coroado 1 (C1)	8,92	10	940,59	490,99	300
Coroado 2 (C2)	12,91	10	1709,97	496,63	300
Viga Simples 1 (V1)	9,00	10	1683,64	392,14	300
Viga Simples 2 (V2)	8,92	10	1415,16	388,44	300

Fonte: MELO, L. R. e SOUZA, V. V. (2019).

O polariscópio foi construído em uma bancada de madeira, usada como suporte para câmara de propagação da luz e apoios para corpos de prova e apoio para cargas. A figura 3 mostra a vista explodida do polariscópio construído e suas partes.

Figura 3- Vista explodida do projeto do Polariscópio.



Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019)

Conforme vista explodida da figura 3, o projeto do polariscópio é composto por: Blocos padronizados (1); Apoio dos blocos (2); Apoio dos corpos de prova (3); Apoio dos corpos de prova (4); Corpo de prova coroados(5) ; Câmara de ensaios (6); Câmera fotográfica (7), Apoio de nivelamento da câmera (8), Lente de proteção do filtro polarizador (9), Filtro polarizador (10), Lente de proteção do filtro polarizador (11), Suporte das lentes e do filtro (12), Suporte das lentes e do filtro (13), Lente de proteção do filtro polarizador (14), Filtro polarizador (15); Lente de proteção do filtro polarizador (16), Tubo PVC de propagação da luz (17); Lâmpada fluorescente (18); Apoio da bancada (19).

As franjas que representam as tensões no corpo de prova foram obtidas mediante a utilização de dois filtros polarizadores (itens 10 e 15 da Fig.3). O primeiro filtro (item 15), posicionado depois da fonte luminosa, projeta a luz branca (onda eletromagnética) segundo os eixos que correspondem às tensões principais para um dado ponto. Essas tensões são visualizadas a partir da aquisição de imagens posterior ao segundo filtro, o analisador.

Os corpos de prova são posicionados na região central a câmara de ensaio (item 6 da Fig.3). Duas aberturas laterais possibilitam o encaixe de um suporte quadrangular de filtro polarizador (circular e com diâmetro igual a 25 mm), posicionados antes e depois do corpo de prova.

A direcionamento da luz foi realizado por tubo PVC branco com 25 mm de diâmetro interno (item 17 da Fig.3). Em uma de suas extremidades, foi posicionado um suporte para lâmpada responsável pela emissão da luz (item 18 da Fig.3). A outra extremidade foi acoplada ao suporte do filtro polarizador com posterior câmara para coleta de dados (item 13 da Fig.3).

Os pesos (item 1 da Fig.3), foram os responsáveis pela aplicação da carga no centro das vigas corpos de prova (item 5 da Fig.3), sendo V1 e V2 vigas curvas com superfície plana ou C1, C2 coroadas. Na figura 3 o item 2 refere-se ao suporte dos pesos e tem o objetivo de concentrar a carga no ponto médio dos corpos de prova.

Por fim, a coleta de dados foi realizada através de aquisição de imagens das franjas com comprimentos de onda (cores) distintas para cada tipo de corpo de prova e carregamento sendo evidenciadas suas variações devidas as desconformidades geométricas nos corpos de prova. Como parâmetro global de com-

paração das variações de tensão e de deformação obtiveram-se as médias das tensões em duas seções distintas (1 e 2) em cada corpo de prova, no caso do perfil coroadado C1 (Figura 1.a) as seções foram a do pico central da viga e a do vale enquanto a do perfil curvo plano foi a seção central de carregamento e uma segunda em mesma posição a do corpo coroadado, ver Figura 4, 5, 6 e 7.

O estudo comparativo poderia ser realizado em mais seções, haja vista que as imagens coletadas possibilitam um estudo em todo comprimento dos corpos de prova, mas esse estudo limitou-se a investigar a região da seção central (maior carregamento) e a adjacente referente ao primeiro vale do perfil coroadado (menor área de carregamento submetida a maior carga em C1 e C2).

Para submeter o corpo de prova aos esforços, foi fabricado um modelo de madeira (Item 2 da figura 3), de massa igual a 0,198 kg, onde foram apoiados os blocos padronizados.

As dimensões e massas dos respectivos pesos padrões utilizados nos ensaios estão indicados na tabela 3. Para efetuar as medições de altura e diâmetro, foi utilizado um paquímetro Digimess de 200mm com resolução de 0,02mm. Para quantificar a massa dos blocos, utilizou-se uma balança digital, modelo SCALA 20/1, faixa de medida de 0,001 kg a 19,000 kg e resolução de 0,001 kg.

Tabela 3- Medidas dos blocos de aço.

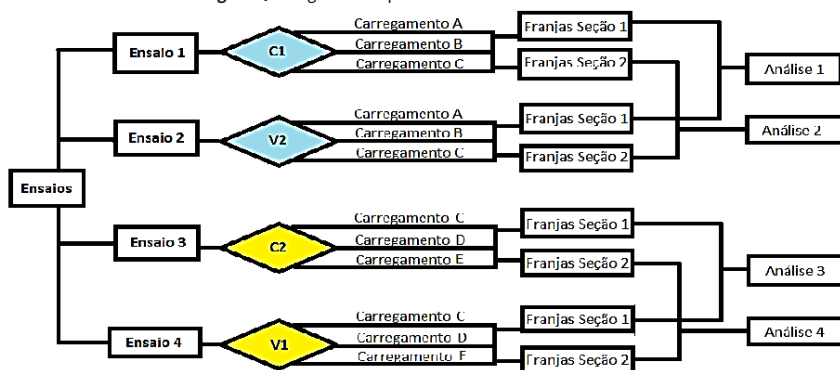
Bloco	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Massa (kg)
A	69,92	29,16	0,872
B	69,60	29,14	0,864
C	69,84	29,08	0,867
D	69,90	28,96	0,866
E	69,72	29,00	0,861

Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Ensaio

Nas etapas foram ensaiados corpos de prova de material acrílico cortados a laser. Na Figura 4, está representada esquematicamente as etapas de execução e análises comparativas dos ensaios.

Figura 4: Diagrama esquemático de ensaios e análises.



Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Foram realizados quatro ensaios de flexão no regime elástico do material, sendo o primeiro e segundo deles com os corpos de prova C1 e V2, respectivamente, enquanto o terceiro e o quarto consistiram em deformar C2 e V1 respectivamente por meio da aplicação dos carregamentos indicados na tabela 4.

Tabela 4: Carregamentos aplicados nos ensaios (C1 e V2) e (C2 e V1).

Etapas/Valor (N)	Ensaio 1(C1)	Ensaio 4(V2)	Ensaio 2(C2)	Ensaio 3(V1)
A (P1)	10,49	10,49	*NR	*NR
A+B (P2)	18,97	18,97	*NR	*NR
A+B+C(P3)	27,47	27,47	27,47	27,47
A+B+C+D (P4)	*NR	*NR	35,97	35,97
A+B+C+D+E (P5)	*NR	*NR	44,42	44,42

*NR-Não realizado

Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

A parametrização das cores do espectro Fotoelástico das tensões foi realizada a partir das imagens capturadas pela câmera fotográfica *Canon PowerShot SX520 HS* semiprofissional 4608 x 3456 pixels e evidenciaram a distribuição de tensões ao longo dos corpos de prova, no entanto, se fez necessário a aplicação de um método capaz de quantificar o comportamento dessas tensões ao longo das seções 1 e 2.

Em um *software Microsoft Paint* versão 1709, os tons obtidos nas imagens foram reduzidos do formato “.PNG” para “.bmp” com 256 cores, a partir do qual

se tornaram viáveis a visualização do espectro em RGB. Posteriormente foram quantificadas em tabela de dados as distribuições de azul, vermelho e verde ao longo de cada camada do espectro de cores ao longo das seções 1 e 2 dos corpos de prova. O método de quantificação dos espectros foi repetido nos quatro corpos de prova C1, C2, V1, V2.

Com a disponibilidade de espectros de cores e distribuição de franjas e espectros de cores parametrizados pode-se relacionar a variação das cores esforços aplicados nos corpos de prova. Foi realizada uma comparação entre os dois resultados como estudo comparativo do comportamento da distribuição de tensões ao longo das respectivas estruturas analisadas.

A relação comparativa com as tensões foi realizada a partir da criação de faixas de cores próximas às mostradas, e seus respectivos perfis de distribuição, que quantifica a proporção de tons RGB, o número de franja e seu valor de δ , ver Figuras 5, 6, 7 e 8.

Das figuras processadas, analisaram-se duas seções (1 e 2 das Figuras 5, e 7) nos corpos de prova para identificar e quantificar o perfil de cores e suas intensidades RGB ao longo de 1 pixel de seção da imagem. Com os respectivos valores de delta (1- 2 da equação 1) definidos para cada cor, foram construídos gráficos das figuras 6 e 8 para melhor visualização do comportamento da variação das tensões em cada corpo de prova.

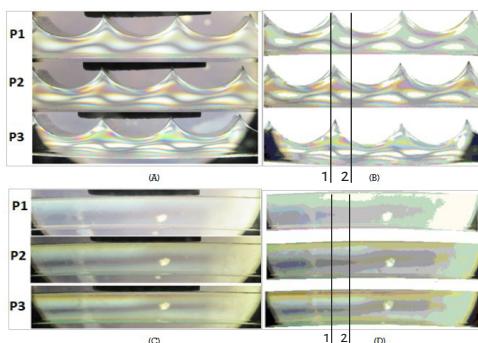
Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios de flexão 1 e 2 e os processamentos de imagem são mostrados na figura 5 mostra a progressão na formação de franjas no corpo de prova C1 sobre a ação de carregamentos (apoio + bloco A, A+B e A+B+C), cujos valores são detalhados na tabela 4.

O processamento de imagem dos corpos de prova C1(coroado) e V2(Liso) se encontram mostrados respectivamente nas figuras 5.b e 5.d, respectivamente. A figura 5.a e 5.c apresentam a imagem obtida pela máquina fotográfica para os corpos de prova C1 e V2.

No gráfico da figura 6, é mostrada a distribuição de tensões para o carregamento de 27,47N em C1 e V2, na seção 2.

Figura 5: Ensaios 1 e 2 ;(a) Imagem obtida Corpo de prova C1e (b) Processamento de imagem seção 1 e 2 de C1; (c) Imagem obtida Corpo de prova V2e (d) Processamento de imagem seção 1 e 2 de V2



Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Os valores médios e máximos de σ , retirados do gráfico da figura 6, para os dois corpos de prova em questão, estão devidamente identificados na tabela 5.

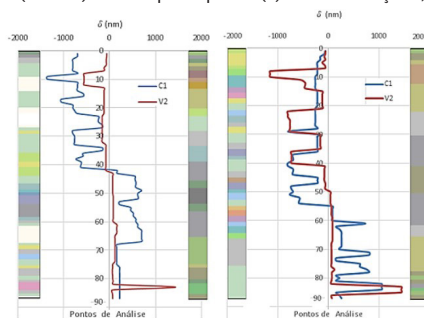
Tabela 5: Valores médios e máximos de σ para o gráfico 2.

Corpo de Prova	C1(S1)	V2(S1)	C1(S2)	V2(S2)
(nm)	368,79	285,34	523,85	142,59
(nm)	1050	1440	1350	1440

Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Os resultados encontrados pelas franjas eletromagnéticas nas seções 1 e 2 dos corpos de prova C1(Coroado) e V2(Viga simples) submetidas ao carregamento P3 (A+B+C =27,47 N) encontram-se na figura 6. Os valores das ordenadas representam os pixels analisados ao longo da altura da seção dos corpos de prova.

Figura 6: Ensaios 1 e 2 (C1 e V2) com corpo de prova. (a) Análise 1-seção 1; (b) Análise 2-seção 2.

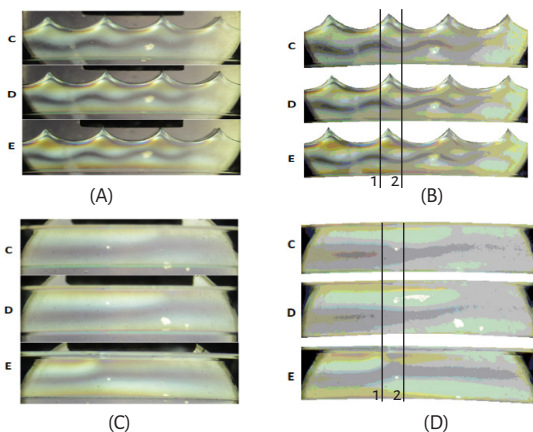


Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Os resultados dos ensaios de flexão 3 e 4, bem como o processamento de imagem são mostrados na figura 7. É possível observar a progressão na formação de franjas no corpo de prova C2 e V1 sobre a ação de carregamentos (apoio + bloco A, A+B e A+B+C), cujos valores são detalhados na tabela 6.

O processamento de imagem “.bmp” 256 cores dos corpos de prova C2(coroadado) e V1(Liso) se encontram mostrados respectivamente nas figuras 7.b e 7.d, respectivamente. A figura 7.a e 7.c representam as imagens obtidas pela máquina fotográfica para os corpos de prova C2 e V1.

Figura 7: Ensaio 3 e 4; (a) Imagem obtida Corpo de prova C2; (b) Processamento de imagem seção 1 e 2 de C2; (c) Imagem obtida Corpo de prova V1e (d) Processamento de imagem seção 1 e 2 de V1.



Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

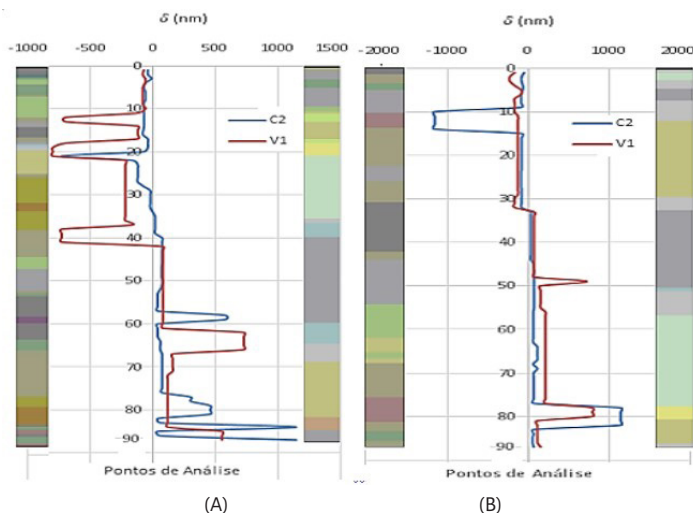
Os valores médios e máximos de δ , retirados do gráfico da figura 8, para os dois corpos de prova em questão, estão devidamente identificados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores médios e máximos de para o gráfico 2.

Corpo de Prova	C2 (S1)	V1(S1)	C2 (S2)	V1(S2)
(nm)	124,53	246,95	195,69	177,13
(nm)	1150	800	1150	800

Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Na Figura 8, é mostrada a distribuição de tensões para o carregamento de 44,42N nos corpos de prova C2 e V1, na seção 1 e 2, submetida ao maior carregamento A+B+C+D+E (P5=44,42N). Os valores das ordenadas representam os pixels analisados ao longo da altura da seção dos corpos de prova.

Figura 8: Ensaios 3 e 4 (C2 e V1) com corpo de prova. (a) Análise 3-seção 1; (b) Análise 4-seção 2

Fonte: Melo, L. R. e Souza, V. V. (2019).

Os gráficos das Figuras 6 e 8 são construídos com os valores de (nm) em função da porcentagem da altura do corpo de prova (%t), ou seja, os valores da ordenada não se refere a uma dimensão milimétrica.

As distribuições das tensões atuantes nas respectivas estruturas de C1, V2, C2 e V1 foram parametrizadas e quantificadas de forma indireta, a partir de conversões nos formatos de imagens obtidas nos ensaios de flexão.

Através das imagens obtidas dos ensaios, observou-se, em todas elas, a formação de regiões em tons de cinza, que representam os eixos neutros dos corpos de prova, possibilitando a visualização da separação das zonas de tração das zonas de compressão no material.

Na Seção 1 de C1 e V2 a linha neutra acontece em aproximadamente 50% de t, enquanto na seção 2 ocorre em 40% de t, enquanto os corpos de prova C2 e V1 apresentam eixo neutro na seção 1 em 40% de t e na seção 2 em 55% de t.

O método utilizado não determina quantitativamente as tensões existentes nos corpos de prova, mas evidencia as variações de tensões propiciando inclusive determinar, através das ordens das franjas os estados de tensão, se compressão ou tração, principalmente quando visível a franja 0 (zero) de cor preta que indica a posição da linha neutra com valor de $(\sigma_1 - \sigma_2) = 0$.

Pode-se resumir o comportamento global das variações da tensão através das Figuras 6 e Figura 7, as análises evidenciam maiores tensões de tração dos corpos de prova com exceção da seção 2 de V2 indicando influência da variação da superfície de vigas nas tensões adjacentes.

A avaliação das tensões médias são somente comparativas e não representam as variações de deformação nas seções transversais. As tensões de compressão dos perfis coroados se apresentam maiores que a viga curva comum, com exceção apenas do corpo de prova coroadado C2 seção 2.

A presença de maiores tensões de compressão e distribuição mais uniforme das tensões de tração nos corpos de prova coroados C1 e C2, indicam possibilidades de modificação das superfícies de estruturas tensionadas com o objetivo de reduzir quantidade de material para regimes de tensões variáveis e que sejam desejáveis em um componente mecânico.

Conclusão

Nos corpos de prova C1 e C2, a região de maior concentração de tensões de compressão está situada nas seções de maior comprimento, próximas das cristas, visto que o perfil de cores proporcionais à distribuição de tensões, corresponde aos maiores valores de n (Ordem) do espectro da Figura 4.

O corpo de prova C1 apresentou, para uma carga de 27,47N, distribuição de tensões 29,24% maior do que a média de V2 na seção 1 e 267,38% maior do que V2 na seção 2.

Estes resultados comprovam baixa eficiência de C1 para absorver tensões quando se comparada a V2 cujo parâmetro de comparação é a área das seções frontais dos dois corpos de prova, que possuem valores iguais.

Quando comparados os corpos de prova C2 e V1, os quais possuem as mesmas áreas de superfície, nota-se na Figura 6 que, na seção 1, região onde C2 apresenta maior área de seção transversal, a distribuição de tensões em C2 se apresenta 98,30% menor do que no mesmo trecho de V1. Enquanto na seção 2, onde a área de seção transversal de C2 é menor do que a de V1, a distribuição de tensões em C2 se mostra apenas 10,47% maior do que a de V1.

Na seção 2, C2 apresenta homogeneamente valores de tensões menores em torno da linha neutra com relação a V1 e apresenta, na seção 1, uma

diminuição de 98,30% em relação às tensões que atuam em V1; Único ensaio que mostra vantagens da geometria coroada, podendo motivar estudos específicos de utilização dessas formas coroadas não usuais.

O método de obtenção de um estudo comparativo entre dois corpos de prova utilizando um polariscópio linear se mostrou funcional para determinação das variações de tensões, principalmente quando o limitante são as geometrias não usuais como as do trabalho. A partir do método podem ser desenvolvidos ensaios mais complexos e adaptações tecnológicas como instrumentação da aquisição e leitura de dados mais autônoma, bem como, a leitura automática das tensões explicitadas pelas franjas através da tradução computacional das imagens.

Referências

ALCÂNTARA, Ronan Machado, **Estudo da distribuição das tensões provenientes de molas helicoidais utilizadas na verticalização de molaes pelo método da Fotoelasticidade de Transmissão Plana**, 2006.

FERREIRA A. L. S & BERMUDES R. L. Projeto de Graduação. **Análise fotoelástica: construção e utilização de um polariscópio plano de transmissão**. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Vitória – ES, 2004.

MARTINS, Geraldo de P. **Fotoelasticidade** – Primeiros passos. Publicação CTD944/2005. Belo Horizonte, 2005.

SCHIAVON, José Antônio. **Aplicação da técnica da fotoelasticidade na análise de fundações por estacas helicoidais**. Universidade de São Paulo – USP, 2010.

SOUZA, Joelmir Mariano de., **Estudo do Ensaio de Determinação da Tenacidade à Fratura em Deformação Plana (KIC) em PMMA e Análise das Tensões Desenvolvidas por Fotoelasticidade**. Tese de Doutorado em Engenharia – USP. São Paulo, 2011.

MARTINS, Filipe. **Análise da possibilidade de crescimento subcrítico de descontinuidades durante a realização de testes hidrostáticos em vasos de pressão e seus possíveis efeitos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRS. Dissertação de Mestrado, 2009.

Determinação de coeficientes aerodinâmicos em aerofólios

Gabriel Oliveira Fiuza
Felipe Andrade Torres

Introdução

A análise aerodinâmica de aerofólios sempre foi de grande importância para a evolução da indústria aeronáutica, tanto comercial quanto militar, e o uso da Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics* - CFD na língua inglesa) neste tipo de aplicação alavancou o aprimoramento dos projetos, tornando os resultados cada vez mais satisfatórios. Segundo Versteeg *et al.* (2007) desde a década de 1960, a indústria aeroespacial integrou as técnicas de dinâmica dos fluidos computacional para design e manufatura de aviões e motores a jato, pois com o avanço dos modelos matemáticos desenvolvidos ao longo dos anos, tornou-se possível realizar simulações com maior grau de complexibilidade, à exemplo de simulações de aeronaves em modelagem tridimensional. Porém, o estudo de perfis aerodinâmicos em 2D também é essencial para, de uma forma geral, definir quais serão os padrões de esforços aplicados nas asas das aeronaves, evitando assim falhas de projeto, que porventura podem acarretar fatalidades.

A dinâmica dos fluidos computacional trabalha com base no método dos volumes finitos (MVF), que discretiza o domínio de escoamento definido em um número finito de volumes de controle (VC) sendo que para cada VC, são aplicadas as equações governantes de conservação. Estas equações definem a conservação de energia, massa e momentum do sistema, dando origem a soluções que descrevem o comportamento de parâmetros importantes para a análise aerodinâmica, à exemplo dos coeficientes de arrasto e sustentação, e os números de Reynolds (Re) e Mach (Ma).

Considerando que a análise de aerofólios é largamente empregada na indústria aeronáutica, o estudo apresentado nesse capítulo teve como objetivo principal avaliar por meio da CFD o comportamento dos coeficientes de arrasto e sustentação em perfis simétrico e assimétrico submetidos a diferentes situações. Os

perfis simétricos são aqueles que podem ser divididos por uma linha reta horizontal em duas partes iguais, e os assimétricos são aqueles que não podem ser divididos por uma linha reta horizontal em duas partes iguais.

Após aplicação da metodologia apresentada, obtém-se os coeficientes de arrasto e sustentação dos perfis aerodinâmicos NACA¹ 0012 e NACA 4412, NACA, que são comumente utilizados para aeronaves, para avaliar o comportamento desses coeficientes em função da variação do número adimensional de Mach e do ângulo de incidência α e determinar a influência da malha sobre os resultados.

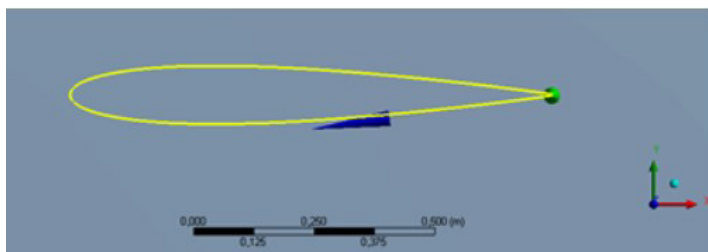
Método

A metodologia na qual o trabalho foi realizado encontra-se dividida em quatro etapas: modelagem dos perfis, metodologia matemática e numérica, e por fim, a geração da malha. Em seguida, estas etapas foram aplicadas em um *software* para então serem realizadas as simulações com base em CFD.

Modelagem dos perfis

Foram utilizados dois tipos de perfis aerodinâmicos, um simétrico e outro assimétrico. O perfil simétrico selecionado foi o NACA 0012. Este perfil possui espessura máxima de 12% da corda, localizada a 30% dessa a partir do bordo de ataque. O perfil NACA 0012 foi construído como apresentado na Figura 1, através da plotagem de 120 pontos com origem no bordo de ataque e fim no bordo de fuga, que tem 0.25% da corda. Nesse trabalho, este perfil foi denominado de perfil A.

Figura 1: Perfil A (NACA 0012).

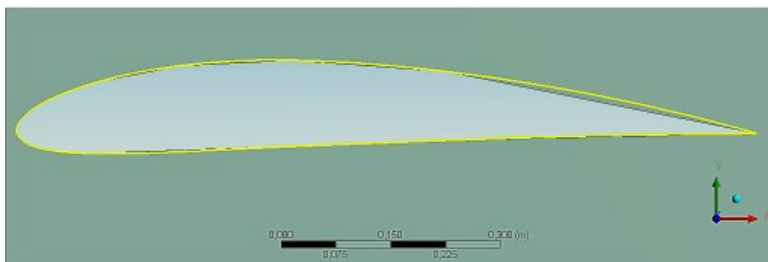


Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) Adaptado de Zingg (1992).

¹ NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) em português Comitê Nacional para Aconselhamento sobre Aeronáutica, agência antecessora da NASA.

O perfil assimétrico utilizado foi o NACA 4412, com espessura máxima de 12% da corda, localizada a 29.04% desta. A construção desse aerofólio foi realizada através da plotagem de 36 pontos com origem no bordo de ataque, como mostrado na Figura 2. Neste capítulo, esse foi denominado de perfil B.

Figura 2: Perfil B (NACA 4412) modelado.



Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Shock (2002).

Metodologia matemática

O *software* utilizado foi configurado com base no modelo das equações de Navier-Stokes para as conservações de massa, energia e momentum. Essas equações são operadas em conjunto aos modelos de turbulência estabelecidos (Spalart-Allmaras e k- SST). Com base nestes modelos são decompostos os campos de velocidade e pressão em suas componentes médias e flutuantes geradas pela hipótese de Reynolds.

De uma forma bem objetiva, com intuito de definir apenas os principais parâmetros que dão origem as equações, Beck (2010) demonstrou que as equações de Navier-Stokes têm origem a partir da Equação 1 apresentada abaixo.

$$\frac{d}{dt} \int_V W dV + \oint [F - G] \cdot da = \int_V H dV \quad (1)$$

A partir desta equação, obtém-se as equações de conservação, sendo estas então aplicadas pelo *software* para cada volume de controle determinado pela malha pré-definidas nas condições deste estudo.

Metodologia numérica

O *software* utiliza como base o Método dos Volumes Finitos. Neste método, o domínio do escoamento é dividido em um número finito de volumes de controle que serão as células da malha definida. Estas últimas, por sua vez, são quadriláteras. A escolha da malha com esta característica de célula se deu em decorrência da simplicidade da construção da mesma. Além disto, pelos fatores adaptativos aos perfis aerodinâmicos, facilitando assim a convergência final dos resultados. As células quadriláteras da malha se ligam através de nós que são encontrados nos centroides da forma geométrica das células, sendo que neles, os valores das variáveis serão calculados, onde as variáveis na superfície das células são obtidas por interpolação, em função dos valores calculados no nó (Gonçalves, 2007). Portanto, para cada volume de controle, são aplicadas as equações de conservação por método iterativo, aumentando assim a precisão do resultado.

A esses volumes de controle, foram aplicadas condições de contorno para o melhor funcionamento da modelagem da malha. As condições de contorno foram: velocidade de entrada no sistema, definição dos planos de simetria e paredes sem deslizamento, a pressão de saída do sistema e a por fim, a determinação que o escoamento é livre nos contornos.

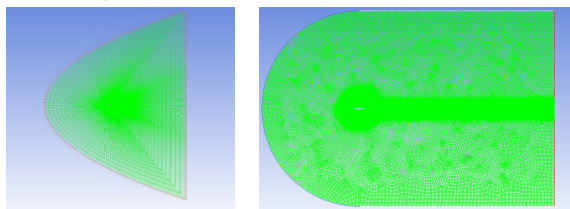
Geração da malha

Para os perfis A e B foram selecionadas malhas de células quadriláteras, pois estas malhas possuem como característica a boa adaptação às superfícies do aerofólio. Consequentemente, facilita a realização dos cálculos e reduz a complexidade em relação a malha de células triangulares. A malha foi definida através dos parâmetros apresentados na Tabela 1. As malhas geradas com base nos parâmetros apresentados na Tabela 1 são retratadas na Figura 3.

Tabela 1: Parâmetros das malhas aplicadas aos perfis A e B.

Perfil	Refinamento	Centro de relevância	Menor face [m ²]	Maior face [m]	Nº de células	Nº de nós	Nº de faces
A	Proximidade e curvatura	Refinado	9.215601e-06	2.818219e+00	36800	37030	73830
B	Proximidade e curvatura	Refinado	4.871278e-05	1.744657e-01	124346	124834	249180

Fonte: Fiuza, G. O. E Torres, F. A. (2016) adaptado de Zingg (1992) e Shock (2002).

Figura 3: Malhas geradas para o perfis A (a) e B (b).

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Zingg (1992) (a) e Shock (2002) (b).

Resultados e discussão

Os resultados obtidos foram comparados com os experimentos e simulações realizadas por McCroskey (1987), Zingg (1992), Coakley (1987) e Shock (2002), sendo que os três primeiros obtiveram resultados para o aerofólio NACA 0012 e o último para o NACA 4412. A partir dessas comparações são discutidos como os valores de coeficiente de sustentação (C_L) e coeficiente de arrasto (C_D) variam de acordo com parâmetros como ângulo de incidência e número de Mach, e também de acordo com os modelos de turbulência atribuídos. A Tabela 2 destaca as características básicas dos trabalhos realizados pelos autores da literatura consultada.

Tabela 2 : Características dos trabalhos dos autores citados.

Literatura	Ano	Tipo de análise	Perfil NACA	Coefficientes Determinados
Zingg	1992	CFD	0012	C_D e C_L
Coakley	1987	CFD	0012	C_D e C_L
McCroskey	1987	Experimental	0012	C_D
Shock	2002	CFD	4412	C_D e C_L

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptada de Zingg (1992), Coakley (1987), McCroskey (1987) e Shock (2002).

A validação dos resultados obtidos por meio da metodologia aplicada ao perfil A (NACA 0012), tem como base os dados fornecidos por Zingg (1992), McCroskey (1987) e Coakley (1987). Foram realizadas seis simulações com o perfil A, no intuito de comparar com os resultados obtidos pela literatura, com objetivo de determinar a precisão dos procedimentos. Sendo assim, cada simulação foi realizada com base nas condições estabelecidas por cada literatura consultada, como apresentado na Tabela 3:

Tabela 3: Parâmetros para simulações do perfil A (NACA 0012).

Autor	P_{∞} [Pa]	T_{∞} [K]	c_{∞} [m/s]	Ma_{∞}	U_{∞} [m/s]	\mathcal{R}	μ [Pa.s]	ρ [kg/m ³]	
Zingg	0	99529.97	298.47	346.19	0.16	55.39	3.50e6	1.789e-5	1.162
	6	99529.97	298.47	346.19	0.16	55.39	3.50e6	1.789e-5	1.162
	12	99529.97	298.47	346.19	0.16	55.39	3.50e6	1.789e-5	1.162
McCroskey	0	97875.36	297.04	340.11	0.223	75.72	3.00e6	1.855e-5	1.225
Coakley	0	47456	241.55	311.44	1.1	342.59	1.30e7	1.789e-5	0.684
	1.5	73048	283.24	337.26	0.7	236.08	1.19e7	1.789e-5	1.225

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptada de Zingg (1992), Coakley (1987), McCroskey (1987) e Shock (2002).

Na Tabela 4, são definidos os valores de referência de pressão e temperatura comuns à literatura consultada e que foram assumidos pelos autores em seus trabalhos.

Tabela 4: Valores de referência utilizados.

p_0 [Pa]	T_0 [K]
101325	300

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptada de Zingg (1992), Coakley (1987), McCroskey (1987) e Shock (2002).

Os resultados obtidos pelas simulações realizadas com o perfil A, são apresentadas na Tabela 5. À partir destes resultados obtidos de C_D , notou-se que em escoamentos subsônicos (<1), os resultados têm uma divergência percentual ($\Delta\%$) maior que para os resultados realizados para regimes de escoamento transônico (1) e supersônico (>1).

Tabela 5: Resultados obtidos para Coeficiente de Arrasto (C_D).

Regime de esc.	Obtido	Zingg $\alpha=0^\circ$	Zingg $\alpha=6^\circ$	Zingg $\alpha=12^\circ$	McCroskey $\alpha=0^\circ$	Coakley $\alpha=0^\circ$	Coakley $\alpha=1.5^\circ$	$\Delta(\%)$
Sub.	8.88e-3	6.90e-3	-	-	-	-	-	28.7
Sub.	1.1 e-2	-	9.40e-3	-	-	-	-	16.7
Sub.	1.97e-2	-	-	1.8e-2	-	-	-	9.29
Sub.	8.56e-3	-	-	-	9.6e-3	-	-	10.8
Super.	1.04e-1	-	-	-	-	1.029e-1	-	0.75
Trans.	8.13e-3	-	-	-	-	-	8.10e-3	0.39

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptada de Zingg (1992), Coakley (1987), McCroskey (1987) e Shock (2002).

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5, é possível observar uma maior divergência para os valores de C_D obtidos para o perfil A submetidos a um regime de escoamento subsônico. É possível justificar este comportamento

devido ao fato de a malha construída para este trabalho e o modelo de turbulência associado a essa, o modelo $k-\omega$ SST, apresentarem dificuldade em identificar as forças cisalhantes e viscosas. Tais forças são determinadas nas paredes do aerofólio e definem o valor final obtido de C_D . No escoamento subsônico, a velocidade é baixa, promovendo assim baixas variações de turbulência. Como consequência, os resultados não apresentaram boa precisão, como ocorrido nos regimes supersônico e transônico (ver Tabela 6). Analisando-se os resultados de coeficiente de sustentação (C_L) obtidos, observou-se que as divergências em relação aos dados levantados na literatura são inferiores à 5%, como apresentado na Tabela 6.

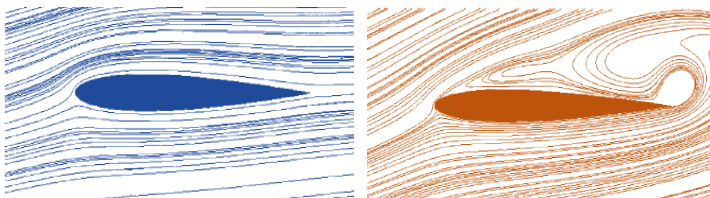
Tabela 6: Resultados obtidos para coeficiente de sustentação (C_L).

M_∞	C_L Obtido	Zingg	Zingg.	Coakley.	$\Delta\%$
0.16	6.4068e-1	6.50e-1	-	-	1.43
0.16	1.2131	-	1.240	-	2.16
0.7	2.4066e-1	-	-	2.53e-1	4.9

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptada de Zingg (1992) e Coakley (1987).

Essa pequena divergência nos valores de C_L encontrados para simulações com o perfil A ocorre devido aos ângulos de incidência serem maiores que zero. Desta forma, as forças de pressão agindo sob a superfície inferior do aerofólio começam a ficar melhor definidas, tendo maior área de contato do que quando o perfil está a zero grau. A Figura 4 ilustra o perfil A submetido a diferentes ângulos de incidência, 7° em (a) e 16° em (b), onde é possível perceber que as linhas de corrente no intradorso ficam mais próximas e mais bem definidas, em virtude de uma inclinação maior. Desta forma, geram as forças de pressão citadas. Assim, como o coeficiente de sustentação é expresso em função das forças de pressão, os resultados serão mais precisos, causando assim uma maior proximidade aos valores obtidos pela literatura.

Figura 4: Linhas de corrente em volta de um perfil NACA 0012 a angulações diferentes. (a) NACA 0012 a 7° , (b) NACA 0012 a 16° .



Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Shock (2002).

Para analisar o comportamento dos coeficientes em função da variação do ângulo de incidência, foram usados os parâmetros definidos por Zingg (1992) para as inclinações à 0°, 6° e 12°, com a adição de outros quatro ângulos para a obtenção de uma melhor curva final.

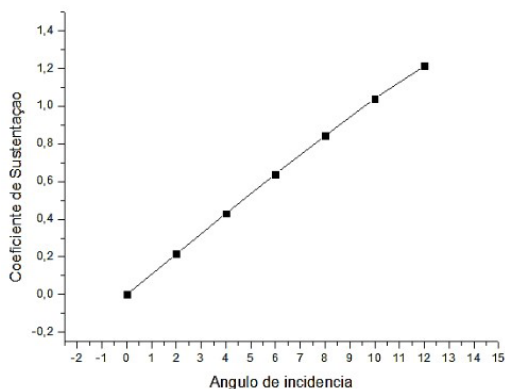
Os resultados obtidos de C_L e C_D , variando entre os ângulos de incidência (α) de 0 a 12 graus, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Variações dos coeficientes em função da variação de α .

α (°)	C_D	C_L
0	8.8819e-3	7.6199e-4
2	9.0640e-3	2.1511e-1
4	9.7463e-3	4.3013e-1
6	1.0971 e-2	6.4068e-1
8	1.2887e-2	8.4326e-1
10	1.5546e-2	1.0417
12	1.9673e-2	1.2131

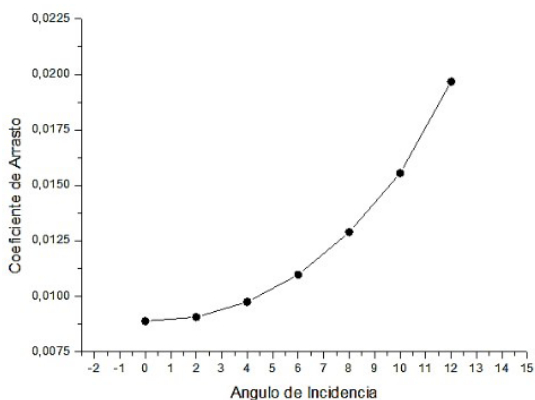
Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Zingg (1992).

Analisando a Tabela 7, pode ser observado que entre os ângulos de incidência de 0 a 2 graus, os valores de C_L apresentam um aumento muito mais acentuado com relação à variação obtida nos valores entre 2 a 12 graus. Esse comportamento diferente, ocorre em decorrência de que a zero grau, a força de sustentação será muito pequena, pois as áreas de contato das forças de escoamento com o intradorso do perfil não são bem definidas, fazendo com que qualquer alteração em α , C_L aumente consideravelmente. Sendo assim, foi identificado um aumento na pressão estática quando se variou o ângulo α , fazendo com que as forças de pressão estática (forças normais), também aumentem no intradorso do perfil, gerando assim maiores coeficientes de sustentação. Essa variação pode ser percebida através da observação do gráfico apresentado na Figura 5.

Figura 5: Curva gerada de acordo com os valores de CL em função do ângulo de incidência α .

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016).

As forças de cisalhamento se comportam de maneira paralela ao sentido do escoamento imposto ao perfil. Para ocorrer um aumento acentuado destas forças e por consequência, o aumento do coeficiente de arrasto neste perfil aerodinâmico, a velocidade desse deve ser aumentada, fazendo com que o número de Mach também aumente. Como na variação dos ângulos de incidência, o número de Mach foi mantido constante, foi observada uma pequena variação no C_D . O gráfico apresentado na Figura 6 representa a pequena variação do coeficiente de arrasto.

Figura 6: Curva gerada de acordo com os valores de C_D em relação ao ângulo de incidência α .

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016).

Na análise do comportamento dos coeficientes em função da variação do número de Mach, foram utilizados os experimentos de Coakley (1992) com número de Mach igual a 1.1 e Zingg (1992) com número de Mach igual a 0.16, com a adição de outros seis números de Mach, variando o regime de escoamento entre subsônico, transônico e supersônico, para a obtenção de uma melhor curva. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Variação dos coeficientes em função do número de Mach.

Regime de escoamento	Número de Mach (Ma)	C_D	C_L
Subsônico	0.16	8.8819e-3	7.6199e-4
	0.2	8.5573e-3	1.0084e-5
	0.4	7.7696e-3	7.7949e-6
Transônico	0.7	7.6562e-3	1.2080e-6
	0.8	1.5514e-2	1.0487e-5
	0.9	1.1279e-1	2.4814e-4
Supersônico	1.1	1.0367e-1	1.3507e-3
	1.5	1.0054e-1	1.6601e-5

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Zingg (1992) e Coakley (1992).

Analisando a Tabela 9, nota-se que quando em regime de escoamento subsônico, o perfil A apresenta decréscimos tanto nos valores de coeficiente de arrasto, quanto nos valores do coeficiente de sustentação, sendo que o segundo diminui mais acentuadamente. Em virtude do aumento do número de Mach, a um ângulo zero grau, as linhas de corrente que atuam no intradorso ficam menos concentradas, gerando assim menores pressões estáticas.

Tabela 9: Resultados obtidos para diferentes modelos de turbulência.

Modelo de Turbulência	C_L	C_D
k- ω SST	1.6912e-1	8.5603e-3
Spallart Allmaras	1.7064e-1	8.7849e-3
Δ %	0.8	0.8

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de McCroskey (1987).

Através de análises no *software*, observou-se que a média da pressão estática atuante no intradorso do perfil A, diminui consideravelmente, pois quando $Ma = 0.2$, a pressão sob o perfil é de aproximadamente $9.74e+4$ Pa, e quando $Ma = 1.5$, a pressão será de $1.68e+4$ Pa. Sendo assim, o coeficiente de sustentação será maior em regime subsônico, e menor em regime supersônico.

No que diz respeito ao coeficiente de arrasto, notou-se na Tabela 9, que esse tem grande variação em relação com seus valores em regime subsônico e supersônico.

As simulações realizadas permitem determinar que a geração de turbulências pelo perfil A é determinante para a variação do seu coeficiente de arrasto. Segundo Raymer (1999), quando a velocidade do aerofólio for suficientemente alta, os efeitos de compressibilidade se tornam importantes e o coeficiente de arrasto passa a depender fortemente do número de Mach. Sendo assim, quando o regime de escoamento é subsônico, a variação do coeficiente de arrasto será baixa. Entretanto, quando o regime de escoamento é supersônico, ocorre o contrário, pois as turbulências geradas pelo aumento do número de Mach irão influenciar no aumento acentuado do valor de C_D .

O comportamento irregular da variação dos valores de C_D e C_L observado para o regime transônico acontecem devido à transição entre os regimes subsônico e supersônico ser muito instável. Segundo Raymer (1999), quando um avião alcança a velocidade sônica ($Ma = 1$), segue-se um forte estrondo sonoro e a maior diferença de pressão passa para a frente da aeronave. Ao atingir $Ma = 1$, denomina-se que a barreira de som foi quebrada. Essa quebra gera concentrações de pressão e turbulências que contribuem para a variação dos coeficientes de arrasto e sustentação do perfil aerodinâmico em questão.

Os parâmetros dos experimentos realizados por McCroskey (1987) foram utilizados para a análise da influência entre os valores dos coeficientes de arrasto e sustentação se comportam quando é alterado o modelo de turbulência. Desta forma, os modelos utilizados foram o $k-\omega$ SST e o Spallart Allmaras, resultando nos valores do C_D e C_L apresentados na Tabela 10. A diferença básica entre estes dois modelos é que o modelo Spallart Allmaras consiste em uma formulação com uma equação de dissipação a menos que o $k-\omega$ SST.

A Tabela 9 mostra que a divergência percentual de valores obtidos através dos dois modelos de turbulência é muito pequena, sendo inferior a 1%, demonstrando assim que apesar do modelo Spallart Allmaras ser menos robusto que o modelo $k-\omega$ SST, isso não implica em falta de precisão no resultado final.

Os valores de divergência dos valores obtidos por modelos de simulação e os valores experimentais de C_D obtidos em McCroskey (1987), pode ser evidenciada através da Tabela 10.

Tabela 10: Valor da divergência de C_D dos modelos de turbulência em relação ao coeficiente obtido por McCroskey (1987).

Modelo de turbulência	k- ω SST	Spallart Allmaras
$\Delta\%$	10.8	8.5

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de McCroskey (1987).

De acordo com a Tabela 10, comparando com o valor de C_D obtido por McCroskey (1987), observa-se que o modelo Spallart Allmaras apresentou menor divergência para a simulação do perfil A. É possível explicar esta diferença entre os modelos Spallart Allmaras e o modelo k- ω SST, devido ao fato de o modelo de turbulência Spallart Allmaras não considerar os efeitos de parede durante a simulação. O mesmo não ocorre com o modelo k- ω SST, o qual avalia todas as dissipações de energia do sistema. Como a simulação do perfil simétrico NACA 0012 (perfil A) tem baixa complexidade, o modelo Spallart Allmaras se adapta melhor para a análise e simulação, porém para situações mais complexas, observa-se que o modelo k- ω SST é o mais indicado. A Tabela 11 apresenta os resultados dos coeficientes obtidos para o perfil B, variando em função do ângulo. Estes resultados estão baseados na metodologia adotada em Shock (2002). Sendo assim, cada simulação foi realizada em função das respectivas condições estabelecidas pelos autores.

Tabela 11: Parâmetros adotados por Shock (2002) em suas simulações.

α [°]	P_∞ [Pa]	T_∞ [K]	Ma_∞	U_∞ [m/s]	Re	μ [Pa.s]	ρ [kg/m ³]
0	100135	297.15	0.13	43.71	3.00e6	1.79e-5	1.225
12,5	100135	297.15	0.13	43.71	3.00e6	1.79e-5	1.225
25	100135	297.15	0.13	43.71	3.00e6	1.79e-5	1.225

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Shock (2002).

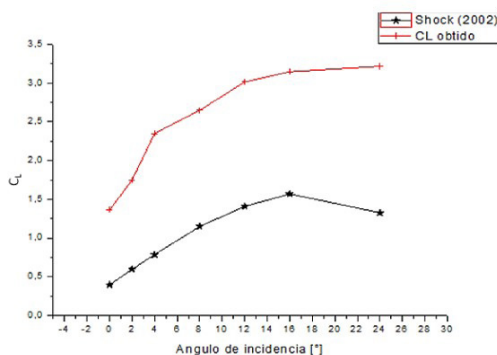
Foram realizadas três simulações com o perfil B, no intuito de comparar com os resultados obtidos por Shock (2002). A divergência entre os resultados obtidos e os determinados em Shock (2002) são apresentados na Tabela 12.

Com base na Tabela 12, os resultados obtidos foram muito divergentes dos valores encontrados por Shock (2002). Era esperado que o comportamento da curva entre o coeficiente de sustentação obtido e a variação do ângulo fosse semelhante. Através da Figura 7, é possível evidenciar a diferença entre os valores de C_L obtidos neste estudo e por Shock (2002) para os ângulos de incidência entre zero a 24 graus.

Tabela 12: Divergência dos resultados obtidos com os apresentados por Shock (2002).

α [°]	C_L (Shock,2002)	C_L Obtido	
0	0.394323	1.3614	245.2
2	0.595212	1.7489	193.8
4	0.786113	2.3504	198.9
8	1.1477	2.6478	130.7
12	1.40865	3.0153	114.1
16	1.5689	3.1476	100.6
24	1.3257	3.2164	142.6

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Shock (2002).

Figura 7: Diferença das curvas do valor obtido para C_L e do valor encontrado por Shock (2002) em função do ângulo de incidência.

Fonte: Fiuza, G. O. e Torres, F. A. (2016) adaptado de Shock (2002).

É possível explicar estas diferenças devido às turbulências geradas no sistema. Como a geometria assimétrica provoca mais turbulências que o perfil simétrico, o perfil B dá origem a vórtices no escoamento. Além deste fator, a malha construída para a simulação do perfil B não se adaptou da melhor forma à sua superfície, dificultando a realização dos cálculos e contribuindo assim, para as divergências de resultado. Portanto, estes dois aspectos aumentam assim a complexidade da simulação, fazendo com que a malha também tenha dificuldade em se adaptar ao comportamento do escoamento e consequentemente de realizar os cálculos.

Conclusão

O trabalho apresentado neste capítulo, teve como objetivo avaliar por meio da CFD o comportamento dos coeficientes de arrasto e sustentação

em perfis simétrico e assimétrico submetidos a diferentes situações. Foram avaliados dois perfis aerodinâmicos, um simétrico (NACA 0012) e outro assimétrico (NACA 4412). Os coeficientes de arrasto (C_D) e de sustentação (C_L) foram simulados utilizando a ferramenta de CFD com base nos modelos $k-\omega$ SST e Spallart Almaras. Os resultados foram então comparados à literatura para os respectivos perfis.

A, foi submetido a diferentes ângulos de incidência, a um número de Mach, constante. Sendo assim, foi possível notar que as inclinações maiores que zero grau, o coeficiente de sustentação tem grande variação em relação ao coeficiente de arrasto, porém o coeficiente de arrasto não tem grande variação pois o número de Mach não varia. Com intuito de verificar uma variação acentuada no coeficiente de arrasto, foram realizadas simulações com o perfil A sujeito a diferentes números de Mach, variando o regime de escoamento entre subsônico, transônico e supersônico. Nestas simulações, foi possível observar que o coeficiente de arrasto aumenta consideravelmente seu valor no regime supersônico. Além disto, destaca-se que o coeficiente de arrasto diminui sob essa condição, sendo evidenciada também uma irregularidade na variação dos coeficientes no regime transônico. Para este caso, os valores de C_D e C_L apresentaram um aumento imprevisível, voltando ao seu comportamento normal apenas quando já em regime supersônico.

Determinando a exatidão do modelo de turbulência aplicado a malha do presente trabalho, foram realizadas simulações do perfil A às condições de McCroskey (1987) onde o modelo de turbulência inicial, $k-\omega$ SST, foi alterado para o modelo Spallart Allmaras., evidenciando então que ambos os modelos poderiam ter sido usados neste trabalho para as simulações envolvendo o perfil A.

Com relação às simulações realizadas com o perfil B, os resultados obtidos tiveram divergências maiores que 100%, tornando problemática a validação dos valores de coeficiente de arrasto e sustentação com os dados da literatura. Assim, foi realizada uma análise de erro das simulações, apresentando um comparativo entre os resultados obtidos neste trabalho e os fornecidos em literatura. Concluiu-se que as flutuações na convergência, geradas por formações de vórtices foram o problema raiz deste procedimento, pois como as simulações foram realizadas com o perfil B, o escoamento desse está propício a mais irregularidades que o escoamento envolvendo o perfil A.

O trabalho apresentado neste capítulo contribui então para o estudo de escoamentos em perfis aerodinâmicos vastamente utilizados na indústria aeronáutica. A análise do comportamento dos perfis A (NACA 0012) e perfil B (NACA 4412), submetidos a diferentes situações, contribuiu para a avaliação de eficiência de modelos matemáticos utilizados para a realização das simulações, e se as mesmas são, ou não adequadas.

Referências

BECK, Paulo Arthur. **Análise metodológica de simulações de escoamentos turbulentos sobre seções de perfis aerodinâmicos**. Orientador: Adriane Prisco Petry. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

COAKLEY, THOMAS. **Numerical simulation of viscous transonic airfoil flows**. In: 25th AIAA Aerospace Sciences Meeting, 1987, Reno: USA, 1987.

BECK, Paulo Arthur. **Análise metodológica de simulações de escoamentos turbulentos sobre seções de perfis aerodinâmicos**. Orientador: Adriane Prisco Petry. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Matemática Aplicada, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2007.

MCCROSKEY, W. J. **A Critical Assessment of Wind Tunnel Results for the NACA 0012 Airfoil**. Moffett Field, Calif. :National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center, 1987.

RAYMER, D. P. **Aircraft design: a conceptual approach**, 5ª ed. United States: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012.

SHOCK, R. A.; MALLICK, S.; CHEN, H; YAKHOT, V.;ZHANG, R. Recent Results on Two-Dimensional Airfoils Using a Lattice Boltzmann-Based Algorithm. **Journal of Aircraft**, v. 39, n. 3, p. 434-439, 2002.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method**, 2ª ed. Glasgow: Pearson Education, 2007.

ZINGG, D. W. Grid studies for thin-layer Navier-Stokes computations of airfoil flowfields. **AIAA American Institute of Aeronautics and Astronautics**, v. 30, n. 10, p. 2561-2564, 1992.

Análise biomimética de winglets múltiplos e perfil NACA 0012

*Ana Hellen Carvalho dos Santos
Vânio Vicente Santos de Souza*

Introdução

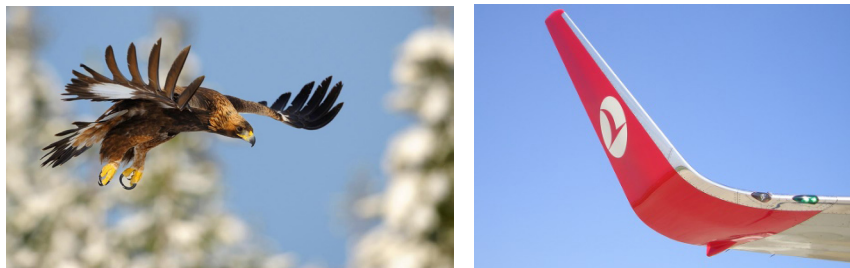
O estudo e a compreensão do modo como a natureza otimiza materiais e estruturas para atingir, simultaneamente, elevada rigidez, resistência e tenacidade, bem como eficiência estrutural, é um caminho para se obter significativos avanços em engenharia. A percepção de que eficiência e otimização são forças motrizes tanto em biologia quanto em engenharia leva à chamada "abordagem biomimética": o estudo, compreensão e aplicação das soluções da natureza à engenharia.

Quando se estuda Biomimética voltada a Aviação, deve-se lembrar de Leonardo da Vinci, considerado um dos maiores Engenheiros e Humanistas da Renascença. Da Vinci sempre utilizou observações da natureza para suas criações técnicas e artísticas, ou seja, buscava inspiração nela para seus designs. Ele não tinha acesso às tecnologias e metodologias que existem atualmente, mas sua capacidade de observação e seu fascínio pela natureza geraram belas e eficientes inovações. Como exemplo, desde o período de 1487 ele já analisava o voo dos pássaros para criar uma máquina que alçasse voo.

A biomimética é a área que estuda os princípios criativos e estra-tégias da natureza, visando a criação de soluções para os problemas atuais da humanidade, unindo funcionalidade, estética e sustentabilidade. O princípio da biomimética é utilizar a natureza como um exemplo e fonte de inspiração. A natureza deve ser consultada, e não domesticada, reforçando a ideia da sustentabilidade. E tem sido usada em diversos ramos, como por exemplo, na engenharia, na química, biologia, medicina, arquitetura e no ramo de transportes (MORALES, A.V. e CECOTTE, M.,2018).

Uma forma de reduzir o arrasto induzido relacionado ao vórtice de ponta de asa na aerodinâmica são os winglets, inspirados na ponta das asas das aves planadoras, como águias, cegonhas e gaviões.

Figura 1: A) Ave Planadora o Carcará (*Caracara plancus*), B) Winglet da asa de um Avião.



(A)

(B)

Fonte: a) Michael, 2020 e b) Wiktionary, 2020.

Os *winglets* são mecanismos aerodinâmicos utilizados nas pontas das asas de aeronaves geralmente verticais. Uma de suas propriedades geométricas, consiste em possuir grande comprimento referente à sua corda, que é a maior distância entre o bordo de ataque e o bordo de fuga da asa. Os *winglets* reduzem o arrasto induzido que é gerado pela asa quando em alta sustentação (ANDRSON, 2016).

De acordo com Whitcomb (1976), conclusões anteriores indicam que para estes mecanismos utilizados na ponta da asa de aeronaves em perspectivas verticais, os *winglets*, funcionem perfeitamente, forças laterais devem ser efetivamente geradas.

Fox (2006) confirmou o estudo de Whitcomb, observando que dois fatores importantes são, a produção destas forças laterais podem ajudar a reduzir o arrasto induzido além de gerar sustentação adicional a asa. Ou seja, ele afirma que quando um *winglet* possui ângulo de ataque negativo a força lateral presente, se inclina relativamente para a frente, possuindo um componente paralelo à direção do fluxo de escoamento e oposto ao arrasto, contribuindo para reduzi-los. Como os *winglets* geralmente são colocados em ângulo com a asa da aeronave, a força lateral gerada também possui um componente vertical, o que contribui para um pequeno aumento na sustentação.

Essas forças são fundamentais para restringir a formação de circulação induzida do fluxo ao redor da ponta da asa. Estudos do escoamento de fluido na área da ponta da asa, com e sem *winglets*, evidenciam que a difusão

vertical do vórtice gerado pela asa é o efeito do *winglet* que diminui o arrasto, e consequente escoamento induzido gerado que flui do intradorso para o extradorso da asa por sua ponta é bloqueado pelos *winglets*. Além disso, vórtices menores significam menos resistência ao ar, permitindo que o avião consuma menos combustível.

Ao aplicar o *winglet* na ponta da asa, essas forças necessárias para reduzir a circulação induzida do fluxo e o aumento de peso do componente, levarão à geração de momentos fletores na asa, esse fato demanda uma estrutura mais reforçada da mesma.

Segundo Hoerner (1985), os *winglets* aplicados à asa fizeram com que estas atingissem reduções de até 30% no arrasto induzido, 7% de economia de combustível e 5% de redução na distância de decolagem da aeronave em comparação com a asa sem *winglets*, provando que sua aplicação em asas já existentes é extremamente interessante (Tradução nossa).

Ao analisar-se mais precisamente a asa de alguns pássaros nota-se que durante o vôo, as penas na ponta das asas dessas aves se dobram para cima, ou seja, se tornam o que denomina-se de *Winglets* Múltiplos, Figura 01.

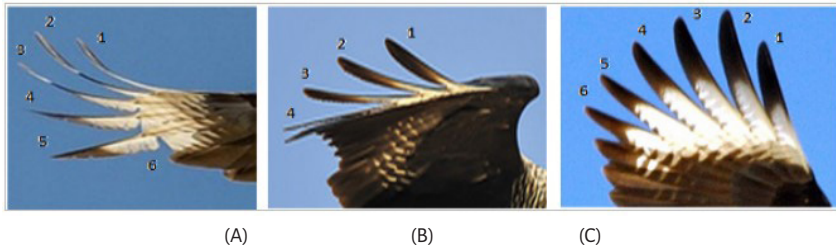
O presente capítulo tem como objetivo comparar as linhas de corrente de *Winglets* Múltiplos em um túnel de vento de pequeno porte instalado na UFRB (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA), os perfis apresentam diversas variações angulares, que são comparadas com um Perfil Naca 0012 utilizado em aviões e VANTs de *Aerodesign*.

Métodos

A construção do *Winglet* Múltiplo para teste em túnel de vento, foi obtida através da projeção ortogonal da posição da borda das penas durante o voo de um Carcará (*Caracara plancus*), nativo da América do Sul.

Foi então constatado que um total de seis penas compõe a ponta de sua asa, ilustrada na Figura 2. As projeções superior e frontal foram elementos motivadores para a construção do perfil de teste. Para melhor adequação da nomenclatura a ser utilizada na descrição das inclinações de cada pena foram nomeadas as penas na ordem da Figura 2.C e 6.A.

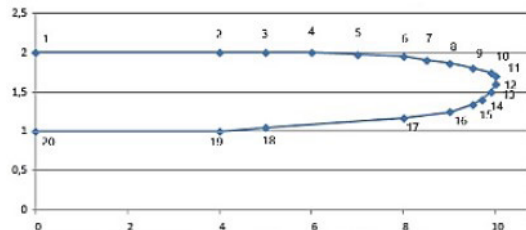
Figura 2: Análise a partir da asa de um Caracara Plancus e numeração teórica das penas de sustentação do perfil do winglet. Vista Frontal (A); Vista lateral (B); Vista Inferior (C).



Fonte: Adaptado de: A) e C) Argerich, 2009 e B) Barreto, 2010.

Ressalta-se que as penas de uma ave não possuem formatos iguais, então para aproximação da semelhança geométrica utilizou-se a pena número 2 da Figura 2.C, gerando-se 20 pontos utilizando o Microsoft Office Excel 2007, foi possível a construção de uma figura inspirada semelhante ao perfil da pena 2 da asa, como ilustrado na Figura 3 e baseado nos pontos do Quadro 1.

Figura 3: Construção do Perfil a partir da análise da pena 2 da Figura 2.c



Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

Quadro 1: Dados para concepção do perfil de “pena” utilizado para construção do winglet da Figura 3.

Ponto	x	y	Ponto	x	y
1	0	1	11	9,9	1,74
2	4	1	12	9,5	1,8
3	5	1,05	13	9	1,86
4	8	1,17	14	8,5	1,9
5	9	1,25	15	8	1,95
6	9,5	1,34	16	7	1,97
7	9,7	1,4	17	6	2
8	9,9	1,5	18	5	2
9	10	1,6	19	4	2
10	10	1,7	20	0	2

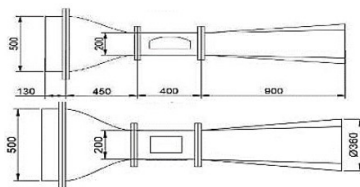
Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

O túnel de vento utilizado para os testes utilizando o perfil NACA 0012 e o *Winglet* Múltiplo proposto, foi construído por Café L.A. (2018).

Na Figura 4 é possível ver as principais dimensões estabelecidas para o projeto.

Para a medição da velocidade do vento no túnel foi utilizado um Anemômetro de turbina marca Anemometer, Figura 5 A, que além de realizar a medição em três velocidades distintas para o perfil da asa e para o *winglet*, também realiza a medição da temperatura do ar. A faixa de medição da velocidade do Ar é de 0 A 30 m/s, 0 ~ 90 km/h, no instrumento utilizado. Resolução de 0,1 m/s.

Figura 4: Vista lateral e frontal do túnel de vento utilizado nos ensaios dos perfis



Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020). adaptado de Café (2018).

A câmera utilizada para captura das fotos e vídeos registrados no ensaio foi uma Go PRO Hero 6, que possui como principais características, a possibilidade de capturar em até 240 fps, em Full HD (1080p). Isso fez com que fosse possível obter dados de vídeos em câmera lenta de forma mais precisa, com imagens mais estáticas e sem perda de quadros, e imagens capturadas e registradas em segundos, o que contribuiu para uma melhor análise dos dados.

Figura 5: a) Anemômetro e b) Seção de teste do túnel de vento.



(A)

(B)

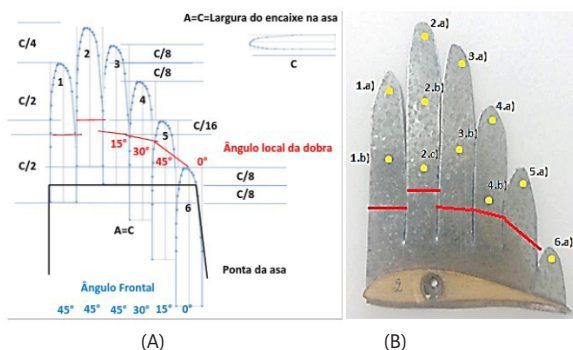
Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

A Seção de teste é o local do túnel de vento onde os corpos de prova a serem testados foram posicionados para análise experimental. As paredes dessa região são propícias para a visualização das linhas corrente, sem que haja interferências e/ou perturbações no escoamento. A dimensão da seção de teste é de 200 mm de altura, 400 mm de comprimento e 200 mm de largura mostrada na Figura 5B, é composto de um visor de vidro, localizado na parte frontal para a visualização dos testes de escoamentos.

A seção de teste contou com um sistema de iluminação a base de fita Led e controle de coloração da luz, o que possibilita identificar a cor que mais se adequa a visualização das linhas de corrente. A cor utilizada no experimento para melhor visualização foi a de luz amarelada.

Quanto a parametrização para fabricação dos perfis utilizados foi originada de uma adaptação entre a forma e disposição das penas da ponta de asa com cinco “dedos” (itens 1, 2, 3, 4, 5 da figura 6). A largura da asa foi utilizada como elemento de parametrização (C), de acordo a semelhança com a ponta de asa da ave, o principal objetivo é que o valor de C seja a medida da ponta de asa do VANT (Veículo aéreo não tripulado) a ser montado o artefato (na figura 6, $A=C$ e A é a largura da ponta para conexão). A figura 6 A refere-se ao desenho do perfil planificado, contendo suas respectivas distâncias e ângulos que serão inseridos após o corte. A figura 6 B refere-se ao corte do perfil em uma chapa de zinco O28, tomando todas as medidas de comprimento e largura existentes na figura 6A em função de (C).

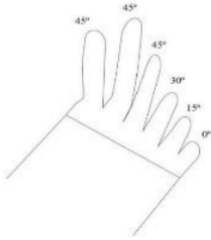
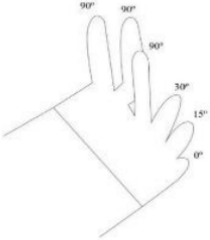
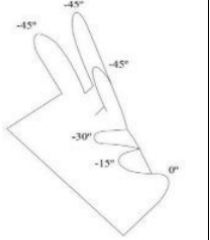
Figura 6: a) Parâmetros para Construção do Perfil (Planificado) e b) modelo físico cortado em chapa de zinco O28 antes das dobras angulares e posições de fixação das linhas de sinalização de fluxo.



Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

Para o corte do perfil planificado, foram consideradas “penas” com perfis iguais a pena 2, da Figura 6 A, visto que é a maior pena, como aproximação e se assemelhou a geometria após a análise das Penas do Carcará. Após o corte do perfil planificado, foram inseridos os ângulos referentes a cada ponta do *winglet*, mostrado no Quadro 2.

Quadro 2: Ângulos utilizados em cada *Winglet* (JC1, JC2 e JC3).

<i>Winglet</i> Múltiplo JC1.	<i>Winglet</i> Múltiplo JC2.	<i>Winglet</i> Múltiplo JC3.
		
$\theta_1=45^\circ; \theta_2=45^\circ; \theta_3=45^\circ;$ $\theta_4=30^\circ; \theta_5=15^\circ; \theta_6=0^\circ$	$\theta_1=90^\circ; \theta_2=90^\circ; \theta_3=90^\circ;$ $\theta_4=30^\circ; \theta_5=15^\circ; \theta_6=0^\circ$	$\theta_1=-45^\circ; \theta_2=-45^\circ; \theta_3=-$ $45^\circ; \theta_4=-30^\circ; \theta_5=-15^\circ;$ $\theta_6=0^\circ$

Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

Para poder ser testado no túnel de vento, se fez necessário reduzir na escala 1:2 o perfil de ponta da asa do avião da Equipe de Aerodesign da UFRB, com o intuito de poder simular o *winglet* em pesquisa futura.

O perfil NACA 0012 em escala reduzida 1:2, foi cortado em uma máquina de CNC, em uma placa de madeira e utilizado como acoplador dos *winglets* de ensaio, ver Figura 6.

O modelo escolhido de perfil aerodinâmico bidimensional para a análise de escoamento foi o NACA 0012. O aerofólio NACA 0012 é um perfil simétrico padronizado com espessura máxima de 12% do valor de sua corda. O perfil de teste foi o mesmo utilizado no trabalho Ferreira (2017), a partir da plotagem de 120 pontos com origem no bordo de ataque e fim no bordo de fuga e modelado no ANSYS; Para sua fabricação utilizou-se uma impressora 3D, o material utilizado para confecção foi o polímero PLA (Ácido Polilático). O comprimento da corda tem 100 mm, a espessura máxima é 12 mm e uma largura de 90mm.

Para a construção dos três modelos de perfis *winglets* JC1, JC2 e JC3, procedeu-se com dobramento do perfil da Figura 6 B. As dobras são indicadas em 6 A. As três primeiras penas possuem ângulos de ataque maiores, entre e 40

e 60° . Já as penas 4 e 5 possuem ângulo de ataque menores. Na pena 06 o ângulo de ataque é zero nos três perfis. Em todos os *winglets* o dado acima foi utilizado para a construção dos ângulos, ou seja, foi construído um único perfil de *winglet* que quando submetido a dobramento de cada pena modificou-se o perfil em três modelos de *winglet* a nomear JC1, JC2 e JC3. Os parâmetros de cada modelo testado encontram-se no Quadro 2, destacando-se as medidas dos ângulos com relação a corda α_1 (Pena 1), α_2 (Pena 2), α_3 (Pena 3), α_4 (Pena 4), α_5 (Pena 5) e α_6 (Pena 6 igual a zero em todos os perfis).

Para iniciar os testes no túnel de vento, foi necessário realizar um furo na parede lateral do mesmo, com intuito de acoplar a base de sustentação do *winglet* e do Perfil NACA 0012 e mantido ângulo de ataque de 15 graus para todos os testes efetuados.

Figura 7: Teste sendo realizado na seção do túnel de vento com o perfil de NACA 0012 e câmera para registro de imagens.



Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

Após toda estrutura montada, iniciou-se os testes no túnel de vento. O primeiro teste realizado foi na vista lateral do túnel, e teve como resultados as imagens do Quadro 3. Os testes consideraram o registro fotográfico com variações de tempo de 0,01s; 0,05s; 0,10s; 0,15 s e 0,20 com objetivo de captar tendência a regime permanente podendo ser considerado como 5 réplicas em eventos separados, antes de iniciar as tomadas consecutivas o túnel de vento permaneceu ligado por tempo de no mínimo 1 minuto para que houvesse estabilização e a medição de velocidade do vento incidente em todas as tomadas foi de 7,68 m/s medidos no centro do túnel de vento imediatamente a frente

do perfil testado. Aferiu-se que temperatura ambiente registrada no local, nos momentos de todos os testes era 31° C.

O segundo teste foi realizado a partir da vista superior, para obter o comportamento das linhas de corrente e vorticidades a partir da vista superior, essa medição possibilitou comparar o surgimento de vórtice na ponta da asa do perfil NACA0012, assim como formação de cone variação de pressão e vórtices principalmente nos perfis JC2 e JC3. O segundo teste com tomada por vista superior foi executado com os mesmos intervalos de tempo do primeiro teste (0,01s; 0,05s; 0,10s; 0,15 s e 0,20) e teve como resultados as imagens do Quadro 4.

Um terceiro teste foi executado para o perfil NACA0012 com tomada lateral e um quarto teste para vista superior do mesmo perfil NACA0012.

Após a execução de todos os testes relacionados aos modelos JC1, JC2, JC3 e NACA0012 com ângulo de ataque de 15 graus, procedeu-se com separação das imagens nos tempos de 0,01s; 0,05s; 0,10s, 0,15 s e 0,20s. A montagem das imagens estão mostradas no Quadro 3 para JC1, JC2 e JC3 para vistas laterais, Quadro 4 para JC1, JC2 e JC3 para vistas superiores e Quadro 5 para vistas laterais e superiores do NACA0012.

A direção do fluxo foi explicitada a partir da fixação de 11 linhas de lã de costura cor branca, nos pontos mostrados na Figura 6 B e com comprimentos iguais de 18 cm cada. O recurso evidenciou as linhas de corrente nos perfis, servindo de parâmetro para visualização de vorticidade, destacada pelo enrolamento das linhas, ver Quadro 4, perfis JC2 e JC3 mais especificamente.

Os ensaios dos perfis foram realizados em 4 etapas na seguinte ordem:

Etapa 01 (Vistas Frontais winglets): Dobramento para obtenção de JC1 seguido de ensaio de JC1, dobramento de JC1 para obtenção de JC2 e Ensaio de JC2, dobramento de JC3 e ensaio de JC3;

Etapa 02 (Vistas frontais Perfil NACA0012): ensaio do perfil NACA0012;

Etapa 03 (Vistas superiores winglets): Dobramento para obtenção de JC1 seguido de ensaio de JC1, dobramento de JC1 para obtenção de JC2 e Ensaio de JC2, dobramento de JC3 e ensaio de JC3;

Etapa 04 (Vistas superior Perfil NACA0012): ensaio do perfil NACA0012;





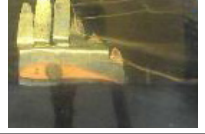







As tomadas das imagens frontais não foram realizadas no mesmo momento das em vista superior.

Resultados e discussão

Os resultados dos ensaios foram divididos na análise das imagens nos Quadros 3 (Vista frontal dos corpos de prova JC1, JC2 e JC3), Quadro 4 (Vista superior dos perfis JC1, JC2 e JC3) e Quadro 5 (Perfil NACA0012 vista frontal e superior). O Quadro 3 mostra as imagens frontais de JC1, JC2 e JC3 com perfis na seção de teste e submetidos a velocidade de vento de 7,68 m/s. A sequência de imagens segue linha do tempo de 0,01s; 0,05s; 0,10s; 0,15 s e 0,20s, ou seja, cada perfil foi fotografado 5 (cinco) vezes em um intervalo de 0,2 s. Considera-se variação de tempo suficiente para avaliação da movimentação das linhas de corrente considerando a velocidade na seção de teste e tamanho dos corpos de prova.

Para melhor visualização das linhas de corrente dos perfis foi necessário captação de imagens da vista superior, devido à necessidade de estudo comparativo com perfil de asa NACA0012. A vista superior deveria evidenciar que a existência das “penas” dos perfis de *winglet* diminuem a vorticidade de asa típica dos perfis de asa usuais. A vista frontal evidencia as variações de pressão no perfil ensaiado.

Quadro 3: Teste dos perfis de *Winglets* Múltiplos na vista lateral. Linhas de tempo de aquisição- 0,01s; 0,05s; 0,10s; 0,15 s e 0,20s.

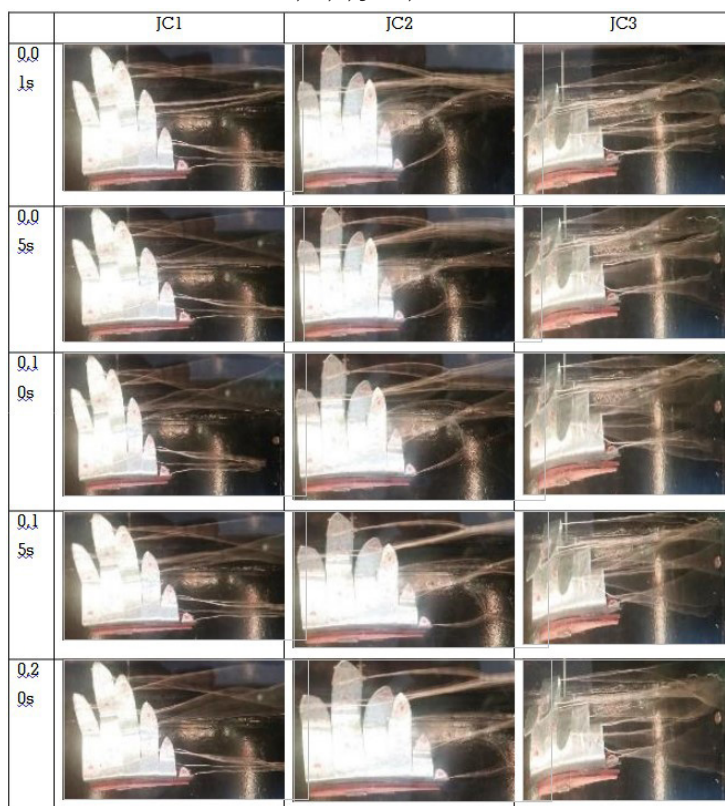
	JC1	JC2	JC3
0,01s			
0,05s			
0,10s			
0,15s			



Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

No quadro 4 são mostradas as tomadas superiores dos perfis dos *winglets* JC1, JC2 e JC3 com evidente formação de vorticidade nas linhas de corrente dos perfis JC2 e JC3 com enrolamento das linhas das “penas” 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6 em pares. O perfil JC1 apresenta pouca variação lateral das linhas sem enrolamento, ou seja, baixa vorticidade.

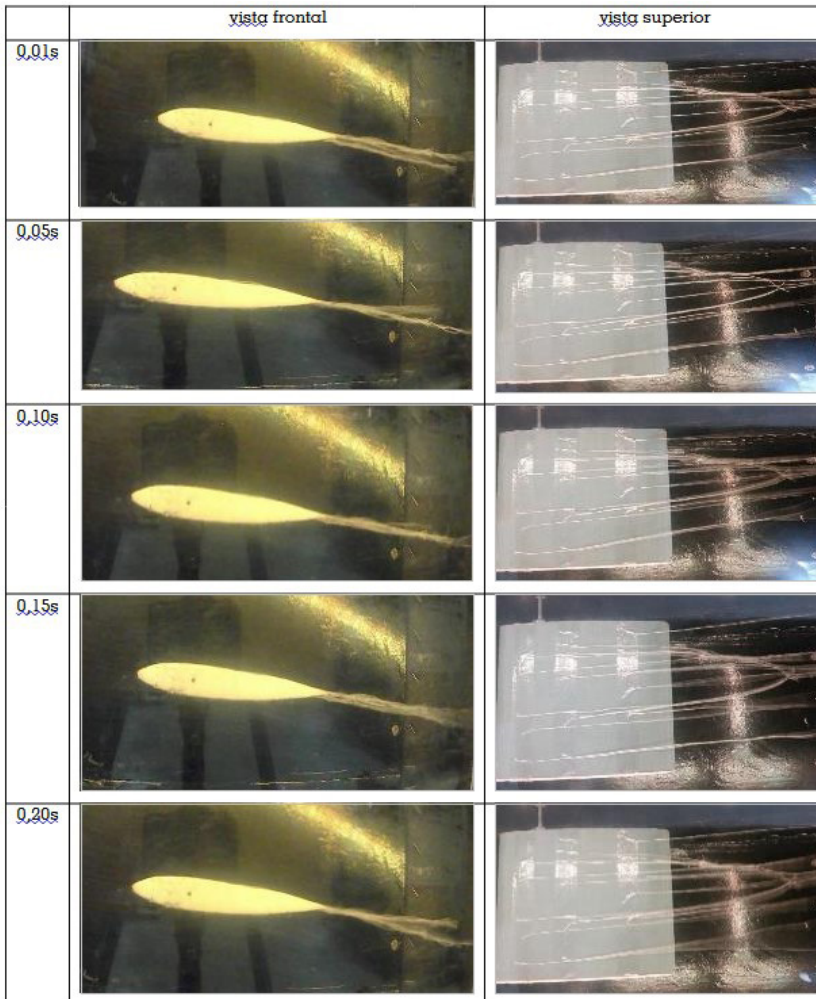
Quadro 4: Teste dos perfis de *Winglets* múltiplos na vista superior. Linhas de tempo de aquisição- 0,01s; 0,05s; 0,10s; 0,15 s e 0,20 s.



Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

No quadro 5, são mostradas as tomadas frontais e superiores do perfil NACA0012. Pode-se verificar a especialidade técnica de baixíssimo arraste e camada limite surgindo após o perfil, no entanto a vista superior evidencia enrolamento (vorticidade) das linhas de sinalização a partir de $\frac{1}{4}$ da borda, Comportamento pouco presente no perfil JC1.

Quadro 5: Teste do perfil NACA 0012 na vista lateral e vista superior. em 0,01s; 0,05s; 0,10s; 0,15 s e 0,20 s.



Fonte: Santos, A. H. C. e Souza, V. V. (2020).

Conclusões

No estudo foram testados em um único perfil de *Winglet* com diferentes variações angulares por dobramento, e um perfil NACA 0012. Os dobramentos propiciaram reaproveitamento de um único corpo de prova para os três perfis de *winglets*.

As tomadas frontais e superiores associadas foram um recurso eficiente na visualização das linhas de corrente e determinação de vorticidade.

A utilização de linhas sinalizadoras fixadas nos perfis foi eficiente na determinação do comportamento de vorticidade nas superfícies dos corpos de prova.

Verificou-se que o perfil JC1 apresentou menor vorticidade na ponta da asa como mostrado na vista superior do Quadro 4 em comparação com o perfil NACA0012 que apresentou enrolamento das linhas sinalizadoras a partir de $\frac{1}{4}$ (um quarto) da borda do perfil. Esse resultado torna-o o mais propício para utilização em ponta de asa, evidenciando que com os ângulos apropriados os *winglets* geram forças laterais que contribuem na redução do arrasto induzido.

O Perfil JC3 apresentou mais vórtice de asa em ambas as análises realizadas através da visualização das linhas de corrente, nas vistas lateral e superior. Se mostrando de menor eficiência que o NACA0012 e o perfil JC1, aumentando sobremaneira o arrasto induzido na asa.

Faltou ao estudo uma análise quantitativa das linhas de corrente como o cálculo das áreas dos cones de pressão ou a geração de expressões matemáticas de representação dos comportamentos aerodinâmicos, etapa possível em momento futuro, a partir das imagens.

O perfil JC2 apresentou comportamento intermediário entre JC1 e JC3.

Quando se compara a sustentação dos perfis se torna evidente que o NACA0012 é muito especializado para sustentação visível através das vistas laterais que evidenciam notável deslocamento da camada limite para o fim do perfil (demonstrando grande aproveitamento de energia em sustentação), o perfil JC1 provoca perda de sustentação apesar de contribuir para diminuição de vorticidade na ponta da asa, o comportamento é evidente quando observa-se o comportamento do Quadro 3, a presença do cone de pressão acontece fortemente nos perfis JC1 e JC2, com menor intensidade no JC3. A presença do cone demonstra que parte da energia de sustentação passa a ser absorvida

na queda de pressão, ou seja, representa perda de energia. A associação entre uma asa de perfil NACA0012 e ponta de asa formada por JC1 diminuiria substancialmente esse comportamento.

Considera-se que é viável utilização de conjunto duplo (NACA0012 + JC1) para melhoria de eficiência de um VANT em pesquisas futuras.

A metodologia de visualização da corrente fluida utilizando linhas em diversos pontos do corpo mostrou-se satisfatória e tornou visível a formação dos vórtices preferenciais através do enrolamento do novelo em velocidades de teste de 7,68 m/s.

Referências

ANDERSON, J. **Fundamentals of aerodynamics**. McGraw-Hill Companies. 6 th edition, 2016.

ARGERICH, Luis. **Caracara Plancus (Carancho)**. Wikimedia Commons. Buenos Aires, 2009. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Caracara_Plancus_\(Carancho\)_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Caracara_Plancus_(Carancho)_2.jpg). Acesso em: 21 de jan. de 2020.

BARRETO, George Hamilton Paes. **Gavião Carcará**. Tutuamunha, 2010. Disponível em: https://www.flickr.com/photos/george_hamilton/6138843920. Acesso em: 21 de jan. de 2020.

CAFÉ, A, Laysa. **Projeto e construção de um túnel de vento subsônico do tipo sucção**. 2018. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2018.

FERREIRA, S, Tatiane. **Análise Comparativa de Linhas de Corrente de Perfil NACA0012 em Túnel de Vento**. 2017. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2017.

FOX, R.W.; MCDDONALD, A. T. PRITCHARD, P. J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 6ª ed. LTC, Rio de Janeiro, 2006.

HOERNER, S. F. **Practical Information on Aerodynamic and Hydrodynamic Lift**. 2. Ed. 1985.

MICHAEL, Vladimir Kogan. **Golden Eagle in flight**. ID da foto 365194895. Livre de direitos. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/golden-eagle-flight-365194895> acesso em: 21 jan. 2020.

MORALES, A.V.; Cecotte, M. **Incorporação da biomimética na gestão de projetos de inovação tecnológica**: análise de uma experiência corporativa. 2018.

WHITCOMB, R. T. A Design **Approach and Selected Wind-Tunnel Results at High Subsonic Speeds for Wing-tip Mounted Winglets**. **NASA Technical Note D8620**. NASA Langley Research Center, Hampton, Va, 1976.

WIKTIONARY. **Winglet da asa de um Avião**. Licença: CC BY-SA 3.0. Disponível em: <https://en.wiktionary.org/wiki/winglet>. Acesso em: 31 de jan. de 2020.

Estabilidade de perfil bio-inspirado (família asteraceae)

Tatiane dos Santos Ferreira
Vânio Vicente Santos de Souza

Introdução

A natureza tem oferecido uma gama de soluções para manutenção da vida que são comumente utilizados pelo homem como fonte de inspiração para desenvolvimento científico, tecnológico e soluções sustentáveis.

Nesse contexto, a Biomimética surge com a proposta de utilizar a natureza como mentora, medida e modelo para inovar em projetos, produtos, processos, serviços e sistemas (BENYUS, 2003). É uma ciência cujo conhecimento pode ser aplicado em diversos domínios, tais como na engenharia, biologia, design, administração, medicina, futurismo e tecnologia, etc.

Benyus (2003 p.10) denomina a Biomimética como uma imitação consciente da genialidade da vida, e acrescenta que:

Numa sociedade acostumada a dominar ou “melhorar” a natureza, essa respeitosa imitação é uma abordagem inteiramente nova, uma verdadeira revolução. Diferentemente da Revolução Industrial, a Revolução Biomimética inaugura uma era cujas bases assentam não naquilo podemos extrair da natureza, mas no que podemos aprender com ela.

A biomimética inspira solução aerodinâmica aplicada a diversos fins. Cummins *et al.* (2018) defende a teoria que o mecanismo de voo utilizado por sementes de dente-de-leão pode ser a chave para uma nova forma de voar. O mesmo acrescenta que a sustentação das sementes de dente-de-leão é beneficiada por uma bolha de ar que permite um voo estável.

Pertencente à família *Asteraceae*, do gênero *Taraxacum*, o dente-de-leão é uma semente denominada voadora e, flutuam no ar devido a uma estrutura semelhante a de um paraquedas, mas ao contrário deste, essa estrutura apresenta lacunas, ou seja, uma estrutura plumada. Tal fato permite o ar fluir em

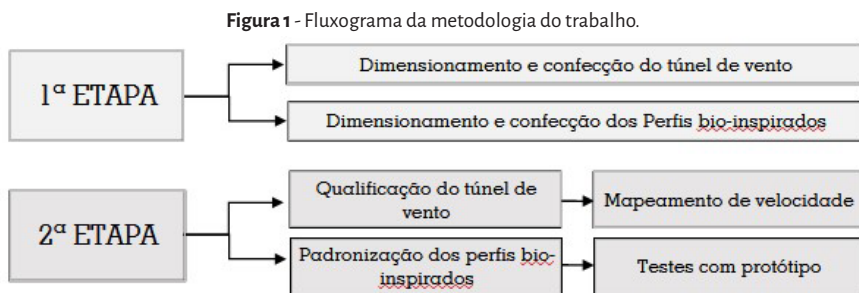
torno e através dos filamentos, gerando um vórtice. O ar no interior do vórtice, ao girar continuamente, gera uma bolha de baixa pressão, e esta bolha suga a semente do dente-de-leão para cima (CUMMINS *et al*, 2018).

Apoiado nos preceitos da biomimética e inspirado na pesquisa desenvolvida citada acima, o estudo apresentado neste capítulo buscou investigar e analisar a estabilidade de perfis bio-inspirados utilizando um túnel de vento vertical de baixa velocidade como aparato experimental.

O dimensionamento e a construção do túnel de vento vertical se fizeram necessários, assim como, a definição e confecção dos tipos de perfis bio-inspirados a serem testados. O desenvolvimento desse trabalho possibilita explorar uma gama de conceitos fundamentais, partindo da Biomimética e suas aplicações, a Mecânica dos Fluidos, a Aerodinâmica e áreas relacionadas. O ponto em comum entre todas essas ciências é sem dúvida, a natureza e os seus comportamentos.

Metodologia

A metodologia do trabalho consiste em duas etapas principais, de acordo com fluxograma exibido na Figura 1.



Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

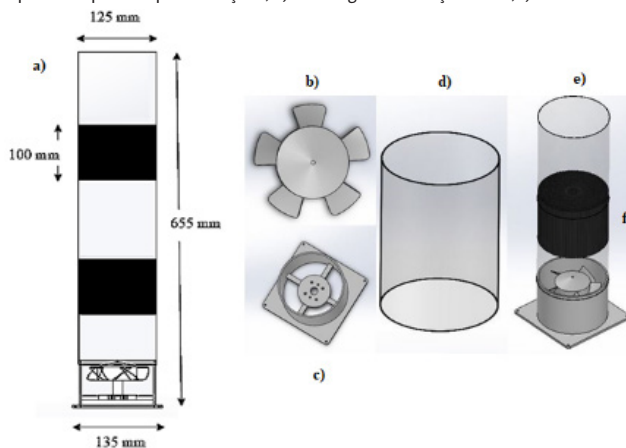
A primeira etapa do trabalho foi a de dimensionamento e confecção do túnel de vento vertical e dos perfis bio-inspirados.

Para a construção do túnel de vento, adotou-se o modelo de baixa velocidade e de circuito aberto. As escolhas pelas características foram baseadas em critérios de baixo custo e facilidade de construção. A baixa velocidade, 1,2 m/s,

simula velocidades dos ventos de baixa intensidade que impostos as sementes *Asteraceae* geram sustentação aerodinâmica.

Para a construção utilizou-se um exaustor axial do fabricante AirFan, linha C modelo C12RH (R – mancais de rolamentos e H – maior potência) para gerar o fluxo de ar, e um tubo de plástico transparente seccionado em três partes desmontáveis para o corpo do túnel vertical e 510 tubos menores de plástico com diâmetro de 3 mm em cada colmeia com comprimento de 100 mm cada (feitas por canudos para alimentação) com o objetivo de estabelecer escoamento laminar nas seções. A estrutura é de pequeno porte por se tratar de um túnel de vento didático, leve e funcional. Inicialmente a estrutura foi desenhada em software Solidworks® de licença estudantil, a dimensões e componentes são mostrados na Figura 2.

Figura 2 - Projeto túnel de vento vertical. a) Montagem do túnel de vento vertical com as dimensões principais; b) Detalhe da palheta do exaustor; c) Detalhe do corpo do exaustor; d) Detalhe do tubo plástico transparente que compõe as seções; e) Montagem das seções 1 e 2; f) Colmeia central.



Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

A etapa de construção iniciou-se após o dimensionamento do túnel de vento considerando as vazões fornecidas pelo exaustor e a seção necessária para dimensão das sementes. Por se tratar um de uma estrutura de pequeno porte, a construção do túnel de vento vertical foi relativamente simples. A montagem foi realizada por encaixes, as colmeias tem dupla função, alinhar fluxo e de suporte ligação por interferência entre as seções, após agrupadas as seções foram

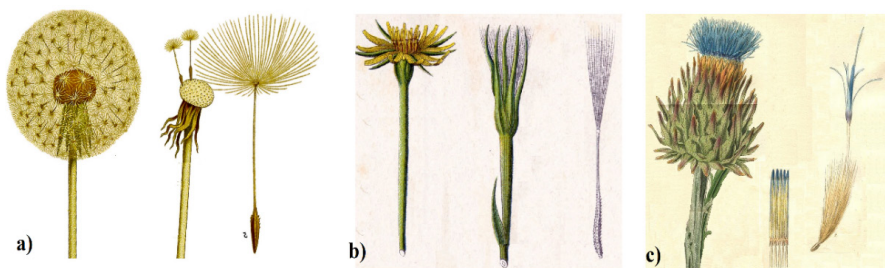
acopladas no bocal de saída do exaustor, na posição intermediária montou-se uma tela plástica de polietileno com malha cuja especificação de 1,5 mm x 5,0 mm e o diâmetro do fio é 0,23 mm.

Para concepção dos perfis bio-inspirados foi utilizado como referência o estudo desenvolvido por Cummins *et al.* (2018) com respeito ao mecanismo de voo do dente-de-leão (*T.officinale*), semente pertencente à família Asteraceae, possibilitando o conhecimento primário do universo das sementes voadoras, o estudo mostra sua geometria como um modelo aerodinâmico otimizado. Na mesma direção existe a biomimética propagada como “ciência inovadora e inspirada na natureza”, que enaltece a natureza por fornecer modelos de projeto e processos funcionais, mecanismos e *designs* para novas criações.

O estudo de referência apresenta a formação de um anel de vórtice de baixa pressão acima do papus da semente de dente-de-leão, e induziu um questionamento a esse estudo: “É possível que um perfil inspirado na geometria do dente-de-leão e de maior escala apresente um comportamento semelhante?”. Apesar do comportamento aerodinâmico do vórtice de pressão não estar completamente presente, tal fato, norteou o objetivo geral deste trabalho.

Um perfil é dito bio-inspirado quando sua criação é motivada pela geometria de um elemento biológico. Os perfis proposto foi bio-inspirado em sementes da Família Asteraceae, nas espécies *T.officinale*, *T. dubius* e *C. cardunculu*. As espécies possuem papus plumados semelhantes geometricamente a paraquedas, apesar de não possuírem áreas de sustentação preenchidas, mas somente filamentos, como pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Sementes da Família Asteraceae em suas fases de formação.



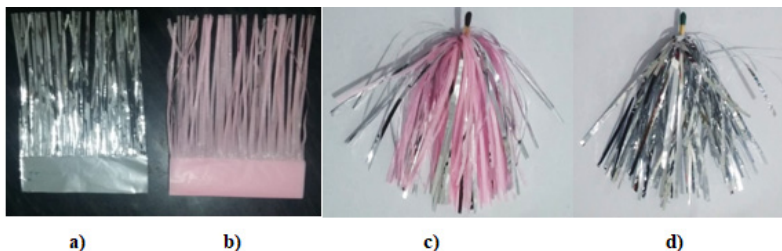
Fonte: a) *Taraxacum officinale* – adaptado de Köhler. *Medizinal-Pflanzen-135* (1887). b) *Taraxacum dubius* – adaptado de Johann Georg Sturm, pintor Jacob Sturm, *Deutschlands Flora in Abbildungen*. (1906). c) *Cynara cardunculus* - adaptado de William Curtis. *Botanical Magazine*, No. 2862, Londres, 1828.

A geometria da semente é basicamente um corpo com filamentos eriçados presos a um filete com uma concentração de massa em sua ponta. Um protótipo foi construído sem considerar o dimensional, com o objetivo de obter as primeiras impressões para o experimento. Utilizou-se folha de papel seda gramatura 18 g/m² e plástico 20 g/m², para confeccionar a região dos filamentos e um palito de madeira para o filete. A obtenção dos primeiros resultados com o protótipo construído viabilizou a réplica dos modelos testados no túnel de vento.

Estabeleceu-se duas configurações de perfis com base no protótipo, a utilização com e sem filete, variando o material e a quantidade e comprimento de filamentos. Os tipos de perfis utilizados no trabalho se encontram listados: dois corpos feitos de plástico sem filete (P1 - Perfil 1) e com filete (P2 - Perfil 2), um corpo apenas de papel seda sem filete (P3 - Perfil 3) e um corpo mesclado papel seda e plástico com filete (M1 - Perfil 4). Manteve-se o uso do papel seda e uma folha plástica com os respectivos cortes ilustrados na Figura 4.

A quantidade de filamentos em cada folha variava entre 40 a 43, com base no protótipo, estabeleceu-se dois comprimentos para o filamento de 65 e 70 mm, duas composições de papus uma com 86 filamentos (igual protótipo) e a outra com 120 filamentos. A confecção para 86 e 120 filamentos contou com a utilização de duas folhas com 43 fios e três folhas com 40 fios, respectivamente. As folhas foram colocadas uma sobreposta a outra, a parte retangular foi enrolada, unindo-as em um único centro. Após isso, o centro foi colado, e aparado o tamanho no intuito de manter apenas a região plumada. Esse foi o procedimento construtivo para todos os corpos de prova, sendo que dois deles, um filete de madeira com comprimento de 15 mm acoplado ao centro. A configuração dos perfis com filete é ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Material utilizado e perfis com filete, a) Perfil plástico planificado; b) Perfil em papel planificado; c) corpo M1; d) Corpo P2.



Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

O diâmetro formado pela área plumada é considerado importante na confecção dos modelos, acredita-se que a área transversal de filamentos radiais interage com meio de forma a propiciar sustentação. Para a padronização dos perfis, medidas dimensionais e pesagens foram realizadas. Por se tratar de corpos de prova pequenos e leves, utilizou-se uma balança analítica BIOSCALA com resolução de 0,0001g, conforme mostrado na Figura 5. A informação dimensional dos perfis juntamente com imagens que evidenciam o diâmetro formado pelos filamentos radiais estão inseridos no Quadro 1.

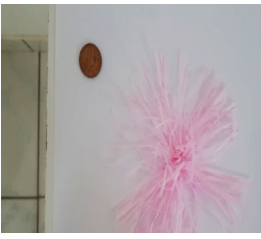

Figura 5 - Balança analítica usada na pesagem dos perfis e filetes.



Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

Quadro 1 - Dados dimensionais dos perfis bio-inspirados.

PERFIL	ILUSTRAÇÃO	INFORMAÇÕES
PERFIL 1 (P1)		<p>Filamentos Material: Plástico Peso: 0,3537g Diâmetro: 145 mm Quantidade: 86 Largura: 1 mm Comprimento: 70 mm</p>
PERFIL 2 (P2)		<p>Filamentos Material: Plástico Peso: 0,4758g Diâmetro: 145 mm Quantidade: 86 Largura: 1 mm Comprimento: 70 mm</p> <p>Filete Material: Madeira Peso: 0,0658g Largura: 1 mm Comprimento: 15 mm</p>

<p>PERFIL 3 (P3)</p>		<p>Filamentos Material: Papel Seda Peso: 0,4336g Diâmetro: 130 mm Quantidade: 120 Largura: 1 mm Comprimento: 65 mm</p>
<p>PERFIL 4 (M1)</p>		<p>Filamentos Material: Papel Seda + Plástico Peso: 0,4758g Diâmetro: 135 mm Quantidade: 86 Largura: 1mm Comprimento: 65 mm Filete Material: Madeira Peso: 0,0329g Largura: 1 mm Comprimento: 15 mm</p>

Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

A segunda etapa iniciou-se com a qualificação e o mapeamento de velocidades no túnel de vento. O controle de velocidade do túnel de vento foi efetuado através de um *dimmer*, possibilitando testar as velocidades de 1,2 m/s, 1,4 m/s, 1,8 m/s, 2,2 m/s e definir a mais propícia para a realização dos testes e obtenção de sustentação nos perfis. O ventilador AirFan foi ligado a uma tensão de 127 V com rotação de 3050 rpm segundo fabricante.

As medidas foram realizadas de duas maneiras, com e sem a utilização de colmeias. Sem a utilização de colmeias, foram selecionados dois pontos para a tomada de velocidade, no 1º caso, um ponto na saída do ventilador a 260 mm de distância do ponto de referência (PR) (ver Figura 6), e no 2º caso, localizado na saída do túnel a 630 mm de distância em relação a PR.

Com a utilização da colmeia, realizaram-se medidas de velocidade na saída de cada seção, totalizando três medições ao longo da seção de teste do túnel de vento. A primeira encontra-se a uma distância de 260 mm, o segundo a 440 mm e o último a 630 mm (ver Figura 6), medida também com relação ao PR. Durante a coleta de medidas de velocidade, fez-se o uso de um anemômetro digital da marca ANEMOMETER.

Os ensaios com os perfis foram realizados após 2 minutos para que o fluxo apresentasse comportamento estável e plenamente desenvolvido no interior do

túnel, com posteriores medições de velocidade no centro da área de cada seção, cujo ponto de referência é partir da base do ventilador (PR). Na Figura 6 encontra-se ilustrado os pontos de medição e na Tabela 1 encontram-se os resultados encontrados.

Figura 6 - Pontos de tomada de velocidade.



Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

Tabela 1 - Dados de velocidade.

Configuração	Posição	Velocidade
Com colmeia	S1 (Saída da Seção 1)	2,2 m.s ⁻¹
	S2 (Saída da Seção 2)	1,4 m.s ⁻¹
	S3 (Saída da Seção 3)	1,2 m.s ⁻¹
Sem colmeia	SV (Saída do Ventilador)	2,2 m.s ⁻¹
	S3 (Saída da Seção 3)	1,8 m.s ⁻¹

Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

A segunda parte da segunda etapa do trabalho foi a de submeter os perfis às velocidades de fluxo no túnel de vento. Os perfis foram localizados no túnel na seção 3, as análises foram realizadas com base nos registros fotográficos e filmagens. Verificando-se o perfis bio-inspirados testados, esses apresentaram algum mecanismo de voo, identificando assim, as principais características de forma em cada caso de estabilidade dos perfis com o fluxo.

Resultados e discussão

Na Tabela 2 encontram-se os dados de velocidade nas duas configurações definidas na metodologia para o mapeamento de velocidade.

A diminuição da velocidade em cada seção acontece devido a utilização das colmeias que impõem perda de carga ao longo do comprimento total do túnel de vento. Considerando a configuração com utilização de colmeia e, com os valores de velocidade de escoamento obtidos, pode-se calcular a vazão ($Q_{seção}$) na saída de cada seção do túnel vento e, é dado pela equação (1):

$$Q_{seção} = A V_{seção} \quad (1)$$

Onde, $V_{seção}$ é a velocidade de escoamento na seção transversal em $m.s^{-1}$ e A é a área da seção transversal em m^2 . O cálculo de vazão será realizado apenas para a seção S3 do túnel de vento cuja área é igual $0,012271 m^2$ e a velocidade da seção é equivalente a $1,2 m.s^{-1}$, obtém-se uma vazão de $0,014726 m^3.s^{-1}$.

O número de Reynolds é um parâmetro adimensional que representa a relação entre a inércia e as forças viscosas em um fluido. O presente estudo contou com o cálculo de dois números de Reynolds, um com relação ao fluxo em torno de todo o papus do perfil e o outro de um filamento individual. Utilizou-se o cálculo do de todos os perfis bio-inspirados, os valores podem ser consultados abaixo na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de Re no papus e filamento.

Perfil Bio-Inspirado		
Perfil 1 (P1)	11136	5376
Perfil 2 (P2)	11136	5376
Perfil 3 (P3)	9984	4992
Perfil 4 (M1)	10368	4992

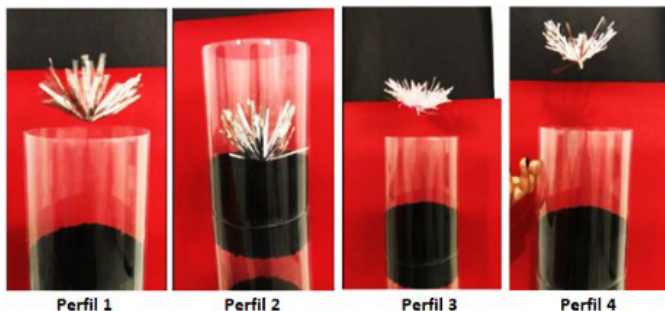
Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

Os testes de estabilidade aerodinâmica dos perfis no túnel de vento foram registrados, analisando seus comportamentos de sustentação e suas formas finais dos filetes após estabilidade. Na Figura 7, apresenta-se evidência da sustentação dos quatro perfis testados e seus respectivos momentos de

estabilidade. Cada perfil testado apresentou um comportamento específico. Os perfis 1, 3 e 4 foram suspensos pelo fluxo de ar, ao atingir uma determinada altura ocorre uma estabilização, já o perfil 2 permaneceu em repouso, sem indícios de elevação.

O perfil 1 (P1) confeccionado em plástico, apresentou um comportamento peculiar, observou-se um posicionamento central, sem oscilações na altura e um movimento rotacional em torno do seu próprio centro. O teste com o perfil 1 foi realizado em triplicata, apresentando mesmos resultados de sustentação. A proveniência do movimento rotacional pode ser ocasionada pela possível influência do ventilador, o sentido preferencial de rotação foi o horário, ou o surgimento de torque provocado pelo somatório das forças impostas pelo fluxo nos filetes que tem formato reduzido de pás, esse somatório nunca será equilibrado, haja vista que as inclinações de cada filete não são controladas no perfil.

Figura 7 - Teste com 4 perfis bio-inspirados.



Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

As filmagens possibilitaram a estimativa de rotações realizadas pelo perfil por um segundo. Marcou-se um ponto como referência para a contagem de voltas, em um vídeo com duração de 13 segundos foram contabilizadas 40 voltas, o equivalente a 3,0 rps (revolução por segundo). Com erro de 5% de rps, a partir da média de três repetições.

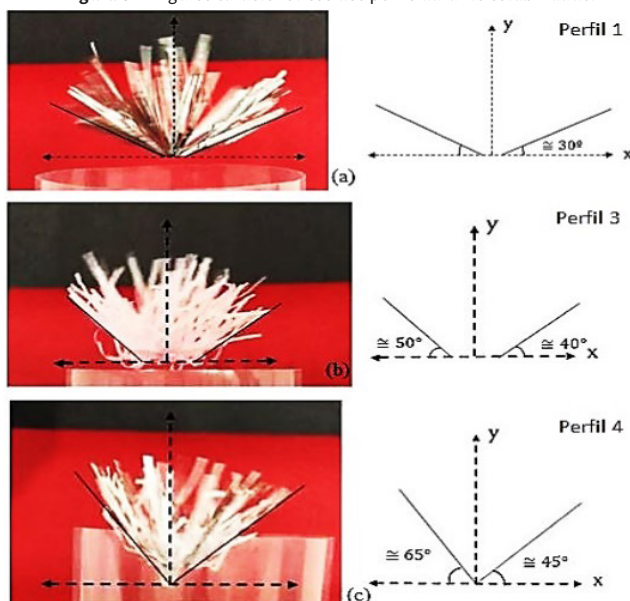
O perfil 2 (P2) confeccionado também em plástico e acrescido de um filete, não apresentou estabilidade. Esse fato pode ser explicado pela relação de massa versus empuxo, não ocorreu uma igualdade entre as forças não satisfazendo a condição de equilíbrio entre o perfil e o fluido. O perfil permaneceu em repouso e não apresentou movimento rotacional, logo, não se fez necessário o cálculo de rps.

O perfil 3 (P3) confeccionado em papel seda é o único com 120 filamentos, apresentou um resultante de rotação semelhante ao perfil 1, estabilidade e um lento movimento circular. O corpo de prova atingiu uma determinada altura e permaneceu planando, ver resultados na Figura 9.

O perfil 4 (M1) de constituição mesclada com 86 filamentos preso a um filete. Verificou-se que a estrutura, assim como o perfil 2, estava muito pesada (ver Quadro 1). Para conseguir estabilidade, se fez necessário reduzir radialmente pela metade o filete. Realizando o teste com o novo peso, constatou-se que essa redução foi suficiente para se chegar a uma condição de estabilidade.

Durante as análises dos perfis, uma característica observada foi a ângulo gerado pela região dos filamentos, observou-se um ângulo preferencial para cada perfil. O mapeamento dessas angulações foi efetuado a partir das imagens frontais durante a estabilidade, foram traçados eixos coordenados e marcado o ângulo formado entre o eixo e o filamento limítrofe. O método utilizado e os desenhos dos ângulos característicos dos perfis 1, 3 e 4 encontram-se exibidos na Figura 8.

Figura 8 - Ângulos característicos dos perfis durante estabilidade.



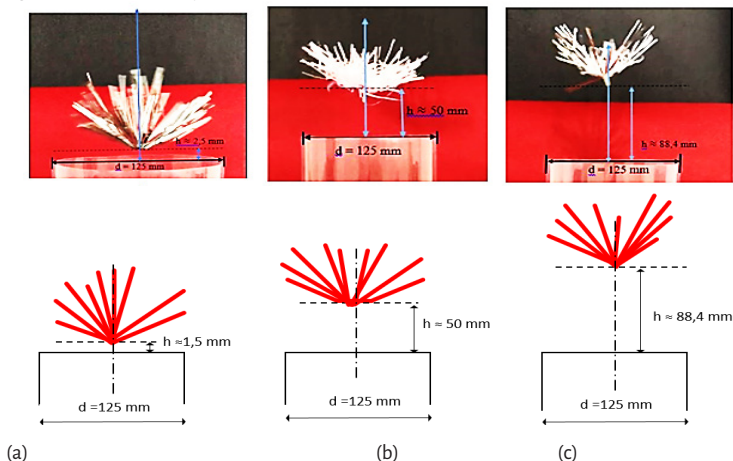
Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

Na Figura 8 é notória faixa de angulação que possibilita a estabilidade do perfil. Em (a) percebe-se uma simetria e formação de ângulo com o eixo coordenado imaginário de aproximadamente 30° graus, diferentemente de (b) e (c) que o registro não favoreceu essa correspondência de ângulos, e variou entre aproximadamente 40° a 65° graus. Acredita-se que esse ângulo formado seja um fator determinante para a condição de estabilidade, e está susceptível a variação quando ocorrer mudanças de material e velocidade de fluxo.

Foram observados também as alturas alcançadas pelos perfis, onde percebeu-se uma variação, o perfil 4 chegou a uma elevação de 88,4 mm a maior alcançada, o perfil 1 e 3 com 2,5 mm e 50 mm, respectivamente. Em virtude da impossibilidade de meios de medição no ato do teste, as tomadas de alturas foram realizadas por meio de análise das imagens, onde, utilizou-se o valor do diâmetro (único conhecido) como referência para determinar a escala da imagem, e utilizá-la como referência para determinar a distância da elevação.

Uma reta com o mesmo comprimento do diâmetro de 125 mm foi traçada verticalmente formando um ângulo de 90° graus com a área transversal da seção 3. Ao lado dessa reta, uma outra foi traçada, correspondendo a altura alcançada pelo perfil. Por analogia chegou-se a um valor aproximado da altura alcançada na estabilidade. Os resultados das alturas de estabilidade aerodinâmicas de cada perfil são mostrados na Figura 9.

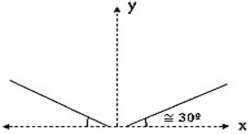
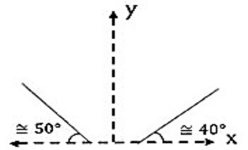
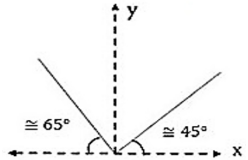
Figura 9 - Alturas alcançadas pelos perfis durante estabilidade a) Perfil 1; b) Perfil 3; c) Perfil 4.



Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

Com o objetivo de se obter uma visão ampla acerca dos resultados obtidos, os dados foram reunidos e inseridos no Quadro 2. Essa conjuntura possibilitará uma análise comparativa dos comportamentos e desempenhos dos perfis testados.

Quadro 2 – Comparativo dos resultados obtidos para os perfis 1,2,3 e 4.

Perfil	Material	Massa	Re	Altura	Comportamento Observado	Gráfico
1	Plástico sem filete	0,3537g	11136	2,5 mm	Estabilidade Movimento rotacional	
2	Plástico com filete	0,4758g	11136	-	Sem estabilidade Sem movimento rotacional	Sem gráfico
3	Papel seda sem filete	0,4336g	9984	50 mm	Estabilidade Sem movimento rotacional	
4	Mesclado com filete	0,4758g	10368	88,4 mm	Estabilidade Movimento rotacional (lento)	

Fonte: Ferreira, T. S. e Souza, V. V. (2020).

Conclusão

A proposta de analisar estabilidade de perfis bio-inspirados em túnel de vento vertical foi atendida. O túnel de vento vertical foi dimensionado, confeccionado, testado e considerado válido para o tipo de estudo a qual foi proposto, essa validade é atestada através dos resultados obtidos de estabilidade de perfis bio-inspirados e de geometrias definida usuais, além da visualização de linhas de corrente.

A utilização dos três laminadores (colmeias de tubo) de fluxo ao longo do comprimento do túnel foi de extrema importância, além de auxiliar com uma

perda de carga favorável, contribuiu para um fluxo mais laminar reduzindo de forma considerável a turbulência inerente do escoamento. O uso de colmeias em quantidade (duas) é uma configuração nova, essa metodologia não foi encontrada em nenhuma literatura nacional.

Os perfis 1, 3 e 4 confeccionados e inspirados na geometria das espécies de semente *T.officinale*, *T. dubius* e *C. cardunculu*, cuja massa estão entre 0,3g a 0,5g, quando submetidos a uma velocidade de $1,2 \text{ m.s}^{-1}$ apresentaram estabilidade, com exceção do perfil 2. Os dados expostos no Quadro 2, mostraram o tipo do material, o peso, o ângulo formado, são fatores que influenciam os corpos alcançarem ou não estabilidade.

O Quadro 2, permite que um comparativo entre a altura e o ângulo. Os gráficos evidenciam que quanto maior for o ângulo formado com o eixo x maior será a altura alcançada pelo perfil, obviamente, considerando os parâmetros no qual os testes foram realizados. Outro ponto, a respeito dos ângulos, é que os perfis apresentaram estabilidade numa faixa de ângulos de 30° a 60° graus (simétricos ou não), acredita-se que essa angulação deve ser considerada em caso de réplica do perfil.

O número de Reynolds variou de aproximadamente 10000 a 11000 no papus e 4900 a 5400 nos filamentos, essa faixa classifica o escoamento do ar em ambos como turbulento.

Os testes com o perfil 2 não foram satisfatórios, a relação massa versus empuxo não propiciaram estabilidade, as forças atuantes (empuxo e resistência) foram superiores a força peso, considerando os parâmetros a qual foram submetidos. Atribui-se a esses perfis dessa geometria como não aerodinâmicos.

A descoberta de Cummins *et al.* (2018) a respeito do mecanismo de voo do dente-de-leão por meio da formação de um anel de vórtice separado acima do papus, induziu a responder questionamento exposto na metodologia: “É possível que um perfil inspirado na geometria do dente-de-leão apresente um comportamento semelhante?”. Sim, é possível. Os testes mostraram que ao “perturbar” a região da possível localização do vórtice, o perfil perdia sustentação. Tal fato permite concluir que a estabilidade alcançada pelo perfil de geometria similar esteja associada a um vórtice, comportamento semelhante ao da semente de dente-de-leão. Infelizmente, por indisponibilidade de equipamentos não foi possível registro visual desse vórtice.

Em virtude dos resultados satisfatórios e funcionalidade da geometria do perfil bio-inspirados 1,3 e 4, atribui-se ao protótipo o título de semente sintética. O estudo comprova, que corpos com pouca área transversal disponível, formada por filamentos eriçados, também propiciam estabilidade. Essa estabilidade é justificada por Cummins *et al.* (2018) em sua literatura, como resultante de um “efeito parede”, que nada mais é que, uma interação dos filamentos que reduz passagem do fluxo e permite a semente planar.

Referências

BENYUS, Janine M. **Biomimética – Inovação inspirada pela natureza.** Ed. Pensamento Cultrix Ltda, 2003.

CUMMINS, Cathal *et al.* **A separated vortex ring underlies the flight of the dandelion.** Nature 562, October 2018.

Método francês de diagnóstico na manutenção de uma fábrica de injeção de polímeros

Tamiles Emily Nascimento Matos

Vânio Vicente Santos de Souza

Introdução

Dentre as atividades inerentes ao engenheiro mecânico estão as que se relacionam ao gerenciamento da manutenção dos equipamentos mecânicos e das equipes responsáveis pelas manutenções corretivas, preventivas e preditivas. Diante dessa necessidade, muitas são as técnicas de gestão utilizadas para maximização dos custos e eficácia da produção mecânica (BORLIDO, 2017).

Nos últimos anos, a manutenção deixou de ser uma atividade de correção para se tornar um instrumento de gestão. É um desafio para as pequenas e médias empresas emergir novas técnicas organizacionais e desenvolver sistemas de gerenciamento eficientes e suficientemente fortes para os padrões estabelecidos pela nova formação econômica da sociedade (AMASAKA, 2007 *apud* MOREIRA, 2011).

A interpretação dos fluxos de processo e funcionamento do setor de manutenção de uma empresa é aconselhada antes de tomar qualquer decisão de gestão. Pontuar a situação da empresa, no que diz respeito à organização e gestão atual da sua manutenção e quais os objetivos a seguir são precisamente pontos críticos para que não se corram sérios riscos de incompatibilizar os procedimentos formais internos com os exigidos pelo programa de diagnóstico. Segundo VIANA (2017), muitos são os fatores de sucesso para a gestão de manutenção, citando doze deles que são utilizados na literatura.

O método de diagnóstico denominado método francês, segundo Costa (2001), é uma ferramenta de autodiagnóstico que permite caminhar no sentido do método da Gestão da Qualidade Total. Procura-se beneficiar a empresa com este estudo através do diagnóstico realizado, registrando propostas de melhorias de gestão da manutenção industrial e ferramentas que venham aumentar sua produtividade e atenuar problemáticas ali encontradas.

A fábrica italiana estudada atua no mercado de injeção de matérias plásticas com foco na produção de vasos de plantas para hortas, viveiros e jardins. Fundada a mais de 40 anos, a empresa italiana atende os setores de floricultura e viveiros e encontra-se bem solidificada no mercado nacional e internacional. A manutenção na empresa encontra-se em desenvolvimento, com a chegada de novas máquina injetoras surgiu a necessidade de iniciar procedimento de manutenções preventivas além das funções relacionadas a reparos, reformas e pequenos projetos já administrados pelo setor de manutenção.

O trabalho abordado neste capítulo tem como objetivo a aplicação do método francês de diagnóstico para qualificar a manutenção industrial através do estudo de caso. Para obtenção dos dados foram utilizados referenciais bibliográficos e informações coletadas na empresa.

Para melhor compreensão, o estudo de caso foi iniciado com uma análise histórica do tema e as metodologias e ferramentas aplicadas no ramo de manutenção. A importância do estudo de caso é destacada a partir da investigação do estado atual da manutenção na empresa, a fim de sanar deficiências do setor de manutenção e propor melhorias do ambiente fabril.

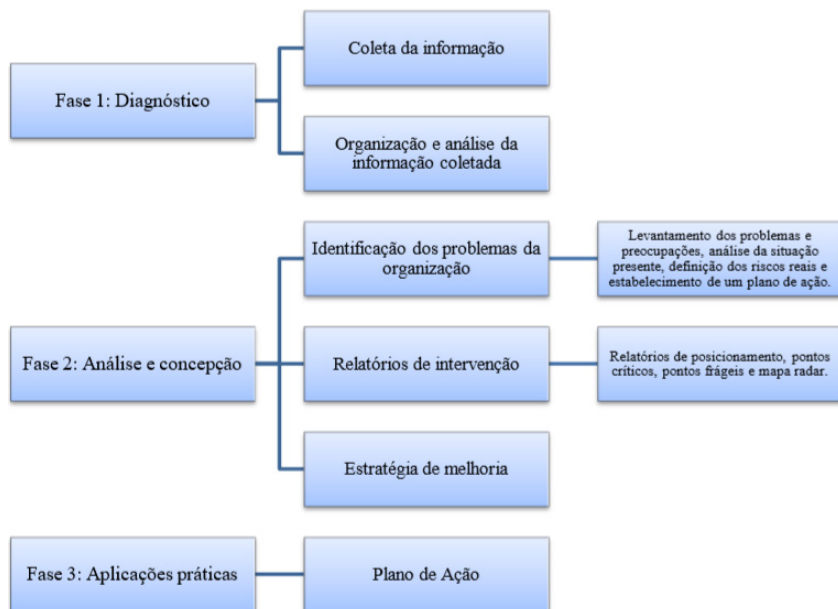
Método

O diagnóstico do estado da manutenção industrial em empresas contribui para a abordagem da caracterização da manutenção e serve para auxiliar e sanar problemas naquele ambiente, segundo Costa (2001). Segundo o autor, o método francês é o mais vocacionado para pequenas e médias empresas e podendo ser aplicado diretamente por pessoal interno da organização. A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas do diagnóstico e o mapeamento de dados utilizado na aplicação do método francês de diagnóstico de manutenção.

O método francês de diagnóstico do estado de manutenção industrial, segundo o autor, fundamenta-se em uma investigação na qual é realizada uma sequência de inquéritos cuja avaliação das respostas indica o posicionamento da empresa em relação ao setor analisado. O autor também relata em sua pesquisa que este diagnóstico tem como missão, contribuir para o desenvolvimento da pesquisa, melhoria da produtividade e garantia da qualidade do setor, enquadrando-se assim, como nova missão de muitas empresas que pretendem reduzir a preponderância da manutenção corretiva para uma manutenção

cujo componente de planejamento seja mais significativo. O método descrito foi aplicado num grande número de pequenas e médias empresas de diversos setores de atividades, como automobilístico, eletricidade, fundição, papel e outros, de dimensões diferentes, desde 50 até 1200 pessoas.

Figura 1. Etapas indicadas para execução do diagnóstico.



Fonte: Matos, T. E. N. e Souza, V. V. (2019).

A utilização do método de diagnóstico pretende ser uma contribuição para o processo de melhoria da gestão da manutenção e, ainda, ser uma ferramenta de análise para apoio à empresa, como por exemplo, identificar o posicionamento dos diversos estágios da gestão da manutenção com vista à sua reorganização e promoção da melhoria constante das suas atividades. Este instrumento prático foi concebido de modo a ser utilizado diretamente por responsáveis técnicos das organizações na apreciação da eficácia da utilização dos seus equipamentos e instalações e na aplicação de medidas de melhoramento. A evolução da manutenção é um passo delicado, conforme afirma o autor, já que normalmente as pequenas e médias empresas não dispõem de estruturas necessárias para tal evolução. Seguem-se as etapas do método:

Preparação do diagnóstico

Costa (2001) aponta que uma das principais etapas para a auditoria da manutenção é a preparação do diagnóstico através da coleta de informações. A realização dessa etapa dependerá da eficiência do diagnóstico. A coleta de informações inclui e não está limitada ao agrupamento de documentos em circulação, relatórios técnicos e históricos, coleta de informações sobre produção e manutenção, análise de sistema de planejamento, documentos e procedimentos do setor, exame do quadro de pessoal e entrevistas de todos os responsáveis pelas funções alcançadas com esse diagnóstico.

Elaboração do diagnóstico

O diagnóstico é composto de 8 questionários a serem preenchidos pelos responsáveis técnicos ou por técnicos consultores externos à empresa. O método francês subdivide as etapas base de gestão da manutenção e as reagrupa nos oito estágios considerados essenciais na evolução da função manutenção, mostrados no Quadro 1.

Quadro 1. Subdivisão método francês.

Fichas de diagnóstico	Identificação	Perguntas
Gestão dos equipamentos	A	15
Manutenção de 1º nível	B	8
Gestão de stocks e peças de reserva	C	14
Gestão de trabalhos	D	12
Análise FMDS	E	13
Análise de custos	F	10
Base de dados	G	9
Planificação e Prevenção	H	12

Fonte: Matos, T. E. N. e Souza, V. V. (2019), adaptado de Costa (2001).

As fichas de diagnóstico são utilizadas em função da situação atual na empresa, nelas são identificadas na parte superior por um cabeçalho que designa o estágio correspondente, ilustrado pela Figura 2. Em uma zona intermediária se situa a grade com as perguntas e colunas reservadas as suas respectivas respostas. As possibilidades de respostas encontram-se nas colunas e deve ser respondida com uma só opção, caso não seja possível respondê-la, não se deve preencher nenhuma das opções.

Figura 2 - Ficha de diagnóstico – parte superior.

A. Gestão dos Equipamentos						
		Perguntas	Sempre	Quase Sempre	Quase Nunca	Nunca
A resposta mais adequada à situação atual dentro da situação apresentada.	101	Existe um inventário por seção, linha, ... dos equipamentos				X
	102	Esse inventário está atualizado (modificações, ajustes, acessórios...)				X
	103	Existe uma codificação que desagrupa o equipamento e até as peças de substituição				X
	104	Para cada equipamento, conhecem-se as condições de bom funcionamento	X			
	105	Para cada equipamento, conhecem-se as condições de intervenção		X		
	106	Para cada equipamento, conhecem-se as peças de substituição necessárias		X		

Fonte: Matos, T. E. N. e Souza, V. V. (2019), adaptado de Costa (2001).

A Figura 3 apresenta a possibilidade de respostas e a atribuição do grau de importância, funcionando como um critério de eliminação. As opções de respostas sempre, quase sempre, quase nunca e nunca estão associadas a uma pontuação que podem ser equivalentes a 1 ponto, 0,7 pontos, 0,3 pontos e 0 pontos, respectivamente.

Figura 3 - Possibilidade de respostas e grau de importância.

Verde	Resposta adequada
	Esta resposta é sempre desejável
Amarelo	Resposta excepcional
	Só algumas respostas é que deverão ser deste tipo, devendo a empresa melhorá-las logo que possível.
Vermelho	Resposta crítica
	A empresa nunca deverá ter este tipo de resposta, sendo as primeiras a ser revistas.

Fonte: Matos, T. E. N. e Souza, V. V. (2019), adaptado de Costa (2001).

A parte inferior da ficha de diagnóstico é reservada para determinar a pontuação obtida, classificação por categoria e critérios de eliminação atingidos ao final do preenchimento do inquérito, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Ficha de diagnóstico - parte inferior.

Pontuação	Resposta	Resultado	Perguntas a rever
5,9	9 de 15	OK	
	3 de 5	Eliminado (3>2)	102, 109, 111
	3 de 5	Eliminado	101, 103, 108
5,9	Pontos (P)	→	Categoria
			1 13,0 < P <= 15,0
			2 11,3 < P <= 13,0
			3 6,0 < P <= 11,3
			4 0 < P <= 6,0

Fonte: Matos, T. E. N. e Souza, V. V. (2019), adaptado de Costa (2001).

A partir das respostas obtidas, interpretativas do estado atual da manutenção, cada ficha de diagnóstico atinge determinada pontuação. A pontuação está dividida em quatro categorias que permitem identificar duas situações mais positivas do estado da gestão da manutenção na organização e duas mais negativas. Das mais positivas, a categoria 1 é sinônimo do bom funcionamento da empresa e a categoria 2 traduz um posicionamento razoável sendo o limite inferior desta categoria o valor mínimo de aceitação para aplicação sustentada de um sistema de gestão da manutenção. Das situações mais negativas, a categoria 3 indica que existem aspectos a serem melhorados na empresa, enquanto a categoria 4 traduz um mau desempenho da gestão da manutenção, logo será necessária uma intervenção ampla de reorganização daquele estágio.

Costa (2001) relata que a avaliação das fichas de diagnóstico permite determinar o estado da manutenção da empresa e após o preenchimento do diagnóstico constrói-se o gráfico de posicionamento através do Mapa Radar para visualização das áreas de necessidade de intervenção. Em seguida, o funcionamento do método de diagnóstico cria lista de recomendações para a gestão do setor de manutenção, preparar relatórios, apresentá-los à diretoria, rever, aprovar e distribuir o relatório final.

As fases do diagnóstico

Costa (2001) explica que após a realização do diagnóstico, executam-se a análise das fases do diagnóstico: Levantamento dos problemas e preocupações com a descrição das principais dificuldades sentidas pela gestão e seus colaboradores e identificação das

zonas de fraquezas; Análise da situação presente com avaliação de forma global dos pontos de fraqueza detectados; Definição dos riscos reais com a definição e avaliação dos riscos reais que pressupõem uma fixação prévia dos objetivos; Estabelecimento de um plano de ação com a perspectiva da planificação do trabalho com vista a realização do projeto de modernização e inclui fases como concepção e aplicação prática.

Resultados e discussão

Durante os primeiros meses de investigação foi possível perceber que o Setor de Manutenção oferecia oportunidades para melhoramentos na sua gestão e organização. Observou-se o ambiente fabril durante esse período e procurou-se compreender a estruturação do setor de manutenção, conhecer a equipe envolvida, os recursos materiais disponíveis, verificar as rotinas e controles que existiam e ouvir os colaboradores. Alguns problemas podem ser listados e contribuem como indicadores para o diagnóstico.

a) Registros, históricos e inventários: Inexistência de sistema com registro e arquivo de dados relacionados às máquinas, quaisquer tipos de solicitação ou instruções de trabalho são realizadas verbalmente, a empresa não possui nenhum tipo de identificação nas máquinas, inventário de máquinas desatualizado e falta de manuais dos fabricantes ou em péssimas condições de uso.

b) Procedimentos e planejamento na manutenção: Ausência de controle de duração das intervenções de manutenção, quem as realizou e não se documenta os problemas ocorridos ou as soluções para esses problemas, utiliza-se preferencialmente a manutenção corretiva, não foi evidenciada presença de um plano organizado e documentado de manutenção preventiva e a prioridade das execuções dos serviços baseiam-se na solução imediata, sem a preocupação nos custos associados.

c) Indicadores de desempenho: Inexistência dos indicadores de desempenho do setor de manutenção.

d) Custo de manutenção: Somente controle do custo de sobressalente comprado e serviço terceirizado e falta de controle em relação a custos dos serviços, horas de trabalho ou peças utilizadas.

e) Controle de estoque/armazém: Não havia qualquer tipo de controle de estoque formal de sobressalentes, o estoque dessas peças é realizado dentro

da oficina e não existe nenhuma forma de identificação da máquina que será destinada.

Os resultados podem ser melhores descritos em etapas listadas: Diagnóstico do estado da manutenção atual, Relatórios de intervenção, Estratégia de melhoria, Plano de ação e Discussão.

Diagnóstico do estado da manutenção atual

A investigação através da execução do método de diagnóstico do estado da manutenção procura estruturar e aplicar ferramentas de gerenciamento da manutenção através da informatização e segundo modelos de garantia da qualidade, além de interpretar melhor seu funcionamento de suas ações dentro do setor analisado. Ainda que todo o processo seja delicado, uma vez que normalmente pequenas e médias empresas não possuem interesse na mudança da gestão das atividades e estrutura necessária, o autodiagnóstico a ser realizado permite direcionar o caminho a seguir para a melhoria do setor. O funcionamento do seguinte método, segundo Costa (2001), no que concerne a estrutura da auditoria de manutenção referente à coleta da informação, organização e análise da informação coletada e identificação dos problemas da organização.

Na coleta da informação, a auditoria começa com a imersão no ambiente a ser diagnosticado, o conhecimento da rotina de trabalho e métodos e ferramentas que auxiliem na análise. Além disso, necessitasse ter conhecimento sobre a metodologia a ser utilizada. Na organização e análise da informação coletada, o diagnóstico é iniciado com o preenchimento das respostas dos questionários. Em função das respostas obtidas, interpretativas do estado atual de manutenção, obtêm-se determinadas pontuações. A partir da avaliação da pontuação obtida são elaborados os relatórios relacionados ao resultado obtido para cada estágio da avaliação e o mapa radar o qual é possível visualizar graficamente as principais áreas onde é necessário intervir.

Ao fim com a aplicação do método, foi identificada como problema a situação atual do estado da gestão da manutenção, nesse caso, inicia-se um processo de reorganização e melhoria do departamento de manutenção. Logo, fez-se necessária a caracterização das quatro fases do diagnóstico relativo à identificação do problema.

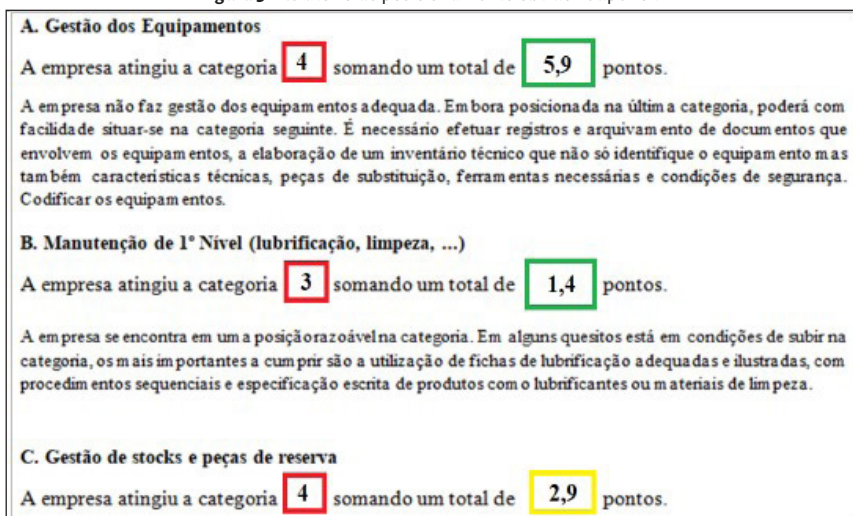
Relatórios de intervenção

A descrição dos resultados obtidos pode ser observada a partir dos seguintes relatórios:

A. Relativamente ao posicionamento por critérios de eliminação: para os resultados contabilizados em um total de 93 questões foram obtidos 21 respostas em zonas vermelhas e 31 respostas em zonas amarelas.

B. Relativamente ao posicionamento por categorias atingidas: O relatório de posicionamento, figura 5, apresenta claramente a situação dos estágios e as categorias que foram atingidas. Para os resultados contabilizados dos oito estágios considerados adequados para a gestão adequada de manutenção industrial, a empresa estudada não atingiu os valores mínimos na maioria dos estágios, exceto o estágio H (Planificação e Prevenção) considerado razoável.

Figura 5 - Relatório de posicionamento obtido - Superior.



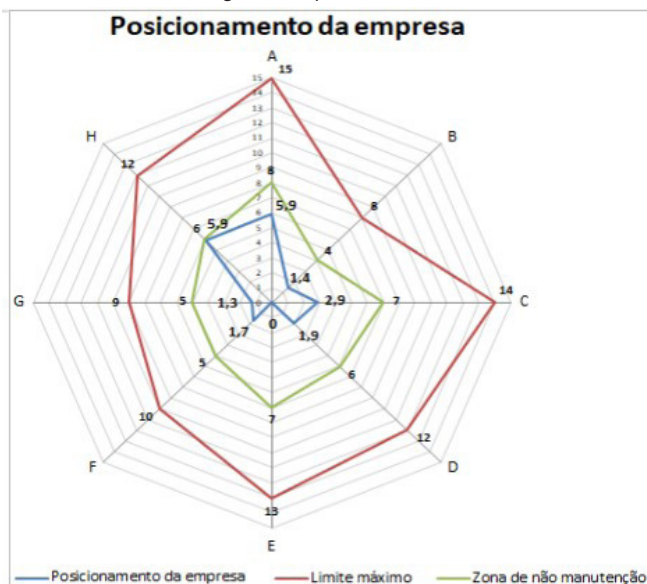
Fonte: Matos, T. E. N. e Souza, V. V. (2019), autor (2019).

C. Relativamente ao posicionamento de nivelamento: no mapa radar da Figura 6, os oito braços representam os oito estágios trabalhados pelos questionários. A linha vermelha representa o limite máximo de pontuação da manutenção que é possível obter em cada questionário, a linha verde, a zona de não manutenção que inclui valores dentro da área delimitada pela linha e ambas

as linhas são delimitadas segundo o método. A linha azul corresponde à posição da empresa e corrobora com o fato de não existir manutenção na empresa e ter obtido baixa pontuação ou o pontos em alguns estágios.

O mapa radar apresenta uma não uniformização do posicionamento da empresa nos quesitos apresentados, os estágios se encontram fora da zona considerada adequada, referente a linha vermelha do gráfico da Figura 6. A partir da análise é possível, então, estabelecer caminhos possíveis para nivelar o posicionamento da empresa.

Figura 6 - Mapa radar obtido.



Fonte: Matos, T. E. N. e Souza, V. V. (2019).

Estratégia de melhoria

Costa (2001) evidencia três estratégias de melhoria a serem executadas com o resultado da análise realizada, listadas a seguir. Através de suas sugestões de melhorias e corroborando com outras metodologias conhecidas na Engenharia Mecânica pôde-se elaborar as sugestões de melhoria eficientes para os relatórios de pontos críticos e pontos frágeis.

O primeiro passo para a melhoria é eliminar as respostas obtidas em posição crítica (zona vermelha). Para isso, é necessário seguir o Relatório de Pontos Críticos e sequencialmente melhorar a resposta das diversas perguntas que obtiveram esta posição. Depois de se obterem respostas positivas às perguntas que primeiramente se havia respondido em posição crítica, devem-se melhorar as respostas em posição frágil (zona amarela). Após o melhoramento dos pontos críticos e frágeis, a pontuação dos estágios resultará mais positiva e a empresa deverá, nesta fase, verificar se atinge pelo menos a categoria 2 em todos os estágios. Por fim, a empresa situando-se na categoria 1 ou 2 em todos os estágios, é interessante que todos estejam no mesmo nível. O mapa Radar indicará quais os estágios que ainda devem ser melhorados para que haja proporcionalidade na pontuação em cada estágio.

Plano de ação

O processo de intervenção com método francês de diagnóstico iniciou-se por solicitação da empresa em realizar uma reorganização interna. A partir da definição do método de diagnóstico, sua execução e análise, foi possível caracterizar o estado da manutenção e contribuir para aplicação do processo de melhoria da gestão da manutenção na empresa.

A partir da investigação, mapeamento dos problemas encontrados e diagnóstico do estado da manutenção, foi possível implantar mudanças no setor de manutenção com o objetivo de sanar os problemas existentes e trazer melhorias ao setor. As soluções apresentadas se basearam na pesquisa bibliográfica fundamentada no resultado do diagnóstico e *brainstorm* de ideias da própria equipe de manutenção durante o período. As modificações iniciais para melhoria do setor foram apresentadas e discutidas com a equipe de manutenção, supervisores e direção da empresa. As medidas adotadas inicialmente foram a organização e limpeza de máquinas e do setor de manutenção, acompanhamento e arquivamento das atividades diárias de manutenção, controle de sobressalentes e organização do ambiente de trabalho do setor de manutenção, planejamento e controle de manutenção, atualização do inventário, identificação de máquinas e gerenciamento fabril.

Discussão dos resultados

A descrição dos resultados deste trabalho compreende análise dos objetivos alcançados com a investigação e as melhorias propostas no desenvolvimento com o diagnóstico pelo método francês. O campo do estudo de caso fundamenta-se sobre todo o processo de intervenção na empresa de injeção de matérias plásticas e tem como objetivo principal atingir a implementação de melhorias no setor de manutenção, criando um sistema de gerenciamento da manutenção eficaz.

Para a análise do contexto de manutenção a partir da investigação, iniciou-se com a realização do mapeamento do local através do estudo minucioso de dados relativos ao setor de manutenção, vivência no ambiente da investigação, observações e reuniões a fim de caracterizar do estudo de caso. Em seguida, foi possível identificar as deficiências e gargalos priorizando os relatos dos colaboradores envolvidos nas atividades do setor e suas possíveis causas tais como organização do posto de trabalho, identificação de recursos materiais e máquinas, entre outros. A análise através do método francês visou a utilização do diagnóstico do estado atual da manutenção para caracterizar formalmente o contexto de manutenção já analisado com o mapeamento de processos e identificação das deficiências do setor.

A metodologia do diagnóstico francês aborda questões mais práticas inerentes à gestão atual do serviço de manutenção na empresa, situa o estado da manutenção industrial na empresa em zonas estabelecidas no diagnóstico e traz resultados dinâmicos com a utilização de gráfico e relatórios. O método diagnosticou deficiências em todos os estágios, com destaque da Planificação e Prevenção que obteve um resultado próximo ao satisfatório. Com base no resultado do diagnóstico realizado, segundo o método utilizado, a empresa encontra-se na zona de “não manutenção”.

Observando os resultados alcançados e a análise da metodologia utilizada foi possível dar origem as sugestões de melhorias cabíveis ao atual estado da manutenção identificado através do diagnóstico. O plano de ação elaborado propôs melhorias com base nos relatórios de diagnóstico e foi possível graças à cordialidade e disponibilidade da diretoria da empresa, gerentes de produção, manutenção e logística e a equipe de manutenção que acompanharam dia a dia a investigação, análise e implementação de melhorias nas instalações.

O potencial de melhoria do setor de manutenção da organização era conhecido, mas suas relações com a procedimentação da manutenção e resistências perante princípios de gestão organizacionais adotados principalmente por empresas de grande porte não haviam sido testados. A revisão metodológica da organização do trabalho e dos processos que caracterizam a organização foi necessária para em segundo momento haver da metodologia. Assim, com a metodologia e melhorias inicialmente planejadas, os resultados alcançados foram globalmente positivos. As principais transformações ocorreram em nível dos processos e métodos de trabalho e deram suporte a atividades de outros setores associados ao setor de manutenção.

Com a análise realizada na empresa, observou-se um aprimoramento do setor de manutenção, através de atividades gerenciais que se tornaram fundamentais no planejamento e controle do setor. As sugestões de melhorias trabalhadas pelas metodologias demonstram a eficiência do método e as ações realizadas se mostram efetivas. As atividades de gerenciamento promovem a reflexão e troca de ideias e principalmente o controle efetivo do desempenho dos processos, além disso, facilita o diálogo com vista a encontrar soluções para questões que surgem no dia-a-dia através da transparência das suas informações.

Conclusão

A utilização do método francês no estudo de caso atingiu os objetivos previstos quanto a valoração da manutenção industrial no ambiente fabril. A investigação seguiu duas vertentes: domínio da metodologia de investigação do estado de manutenção industrial e o desenvolvimento de ferramentas práticas de aplicação do conhecimento obtido através de um plano de ação.

Todas as mudanças sugeridas à empresa para o setor de manutenção procuram contribuir para a melhoria dos processos de manutenção com base em um plano de ação estruturado, compatível com as necessidades da empresa e visando promover a segurança, redução de custos, ganho de disponibilidade, aumento da produtividade, e qualidade. Ressaltam-se, como fatores de influência na aplicação do método, as interações dos colaboradores no estudo realizado. Contudo, é necessário ter um nível de compromisso e motivação de líderes e colaboradores envolvidos para dar sustentação às novas propostas, como nas atividades de planejamento, controle e execução, essenciais principalmente,

para o controle dos custos e recursos e histórico de equipamentos e serviços. Assim, pode ser assegurado sucesso se houver apoio da diretoria e gerência, preparação dos colaboradores, reuniões entre setores que estejam envolvidos e para discussões de problemas.

Com a reformulação das ações de manutenção, pretendeu-se melhorar as condições das máquinas e o gerenciamento delas, organização do setor, armazém e postos de apoio da manutenção além de ações voltadas a gestão de recursos materiais e humanos na empresa. Um dos objetivos do estudo foi reforçar a importância da função manutenção e sua valorização dentro de uma corporação. Ações voltadas ao sistema de manutenção puderam ser estabelecidas como o acompanhamento direto das intervenções e condições da máquina. A implantação de um sistema informatizado contribuiu para harmonizar os processos dentro do setor como controle de dados provenientes do setor de manutenção extremamente útil para a gestão e organização do setor da manutenção.

A criação de um inventário e dossiê para equipamentos propiciam a organização de todas as informações relativas a características técnicas, sobressalentes, manuais de instrução e manutenção e esquemas técnicos, por exemplo, que podem ser consultados posteriormente quando necessário. O histórico de intervenções auxilia na análise e elaboração de estudos que permitam a tomada de decisões de caráter técnico e econômico futuramente. É importante avaliar o histórico e o estado do equipamento, já que uma análise metodológica no setor de manutenção pode vir a auxiliar em decisões e diminuir desperdícios da produção-manutenção.

Salienta-se a importância acerca da análise dos custos de manutenção e de indicadores de desempenho que nos permitem controlar os custos e conhecer as tendências ao longo do tempo na organização do sistema de manutenção. Ferramentas de análise destes parâmetros proporcionam a otimização da relação manutenção corretiva e preventiva além de contribuir para o planejamento do sistema de gerenciamento da manutenção a curto, médio e longo prazo.

Referências

BORLIDO, David. **Indústria 4.0 – Aplicação a Sistemas de Manutenção**. FEUP-Faculdade de engenharia universidade do porto. Dissertação de mestrado. 2017.

COSTA, José Alberto Marimba da. **Uma abordagem ao diagnóstico do estado da manutenção em empresas industriais.** 2001. 321 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Manutenção Industrial, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2001. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12979/2/Texto%20integral.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MOREIRA, Sonia Patrícia da Silva. **Aplicação das Ferramentas Lean. Caso de Estudo.** 2011. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/1167/1/Dissertação.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

VIANA, Herbert .Fatores de sucesso na gestão da manutenção em empresas mineradoras. **R. Gest. Industr.**, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 1-20, jun./ago. 2017.

Análise ergonômica em uma empresa de Cruz das Almas/BA

Viviane dos Santos Pedreira
Gilmar Emanuel Silva de Oliveira

Introdução

Desde a gênese o homem sentia a necessidade de trabalhar. Se no início era apenas para suprir as demandas de alimentos necessários para sua sobrevivência como coletar e caçar, atualmente continua a ser um ato fundamental para a sua preservação, porém alguns o fazem para concentrar riquezas, alguns outros por prazer. Seja como for, da relação do homem e trabalho nasceu à primazia de estabelecer parâmetros que trouxesse harmonia para esse ambiente.

A ergonomia nasceu exatamente com essa perspectiva, a partir da necessidade de se entender e tratar a relação do homem no meio onde trabalha. As cargas horárias elevadas de trabalho pesado e as condições ultrajantes da época, pós Segunda Guerra Mundial, fizeram cientistas de várias áreas do conhecimento debaterem o assunto, estabelecer parâmetros de melhorias e o mínimo de conforto durante o ato laboral.

Nessa época, Segunda Guerra Mundial, o homem era obrigado a se moldar às características do posto de trabalho. Graças aos esforços dos movimentos surgidos em todo o mundo nesse período, como por exemplo, a *Ergonomics Research Society* e a Organização Internacional do Trabalho mudaram-se este conceito, percebeu-se a necessidade de um estudo prévio do posto de trabalho ou até mesmo uma análise após o início da produção já ter sido implantado (MÁSCULO; VIDAL, 2011).

A ergonomia de modo geral se preocupa com a saúde do indivíduo inserido no meio produtivo de todos os ramos, e no que diz respeito ao setor costureiro não poderia ser diferente. Mesmo assim, na literatura encontram-se poucos estudos sobre ergonomia nas indústrias de confecções. O setor de produção costureiro, por mais sofisticado que seja, e precise de constantes mudanças, é marcada por sua manufatura tradicional. Segundo Gomes (2002), mesmo com

os avanços tecnológicos e a quantidade de tecnologia projetada para o setor, como o CAD (*Computer Aided Design*) e o CAM (*Computer Aided Manufacturing*), as primeiras fases do processo são dependentes da laboração manual.

De Aquino e Maier (2012), ressaltam que na indústria de confecção a costura é atividade mais crítica e menos automatizada do processo. Seu posto de operação requer muita habilidade e destreza para se operar as máquinas.

Sobre esta perspectiva, surgiu a ideia de uma análise do contexto ergonômico de uma fábrica de confecções, com intuito inferir se existem e quais são os riscos ergonômicos biomecânicos presentes em seu processo produtivo. Também sugerir ao pequeno empreendedor a importância de algumas mudanças no setor de produção, que possam ter impactos positivos na vida de seus colaboradores e na lucratividade da empresa. E ainda, embasado na Norma Regulamentadora 17, propor melhorias e ações a serem tomadas pelos seus gestores para a manutenção da Qualidade de Vida do Trabalho dos mesmos.

Método

O método utilizado para a realização da pesquisa foi o estudo de casos que contempla o fenômeno contemporâneo dentro do seu contexto, pois ele permite a investigação sem a necessidade de intervenção direta e significativa do pesquisador. Este método é usado para estudar, não o fenômeno em si, mas a concepção do objeto segundo a ciência, na busca de entender o mesmo no âmbito da vivência individual e coletivo (COSTA *et al.*, 2013).

As análises sobre os fatores de riscos ergonômicos foram realizadas com o auxílio do software Ergolândia desenvolvido pela ©FBF SISTEMAS, através das imagens fotográficas e de vídeos feitos dos funcionários. Os registros foram realizados em duas manhãs (total de 8h somando as duas manhãs) e uma tarde (total de 4h no período da tarde), no horário de expediente da fábrica.

Entre as ferramentas do *software* Ergolândia, foi escolhida o Método OWAS, pois seu modelo de questionamento (o questionário é preenchido pelo investigador) condiz com as características do estudo de casos, e em paralelo foi realizada também a aplicação da Checklist baseado na NR 17, através das observações *in loco*. A Figura 1 exibe a interface do questionário do Método OWAS.

Figura 1: Imagem da interface do questionário do Método OWAS.

Fonte: FBF Sistemas (2019).

Essa ferramenta fornece uma categoria de ações a partir da análise do tempo em que os trabalhadores passam em determinadas posições, da análise postural da coluna dorsal, membros inferiores e superiores dos funcionários e dos esforços executados durante as atividades. A Figura 2 mostra as respostas e ações.

As categorias indicadas na Figura 2, por números e cores diferentes, correspondem à periculosidade da situação:

- ✓ Número 1 de cor verde - as correções não são necessárias;
- ✓ Número 2 de cor amarela – Serão necessárias correções no futuro;
- ✓ Número 3 de cor laranja – as correções devem ser empregadas o quanto antes;
- ✓ Número 4 de cor rosa escuro – as correções devem ser realizadas imediatamente.

De acordo com De Paula *et al* (2009), o método OWAS pode ser usado, com boa margem de confiabilidade, para as análises realizadas na indústria de confecções. Assim como Másculo (2011), afirma que a concordância do método é de 89% a 92%.

Figura 2: Categorias de ações levando em consideração os dígitos.

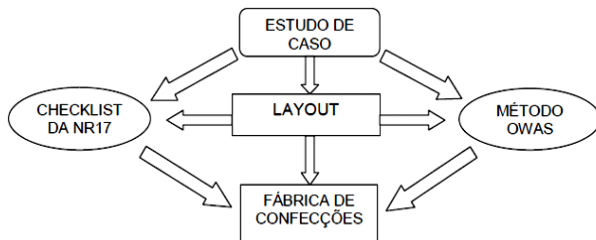
		Pernas																				
COSTAS	BRAÇOS	1			2			3			4			5			6			7		
		Força			Força			Força			Força			Força			Força			Força		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	2
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	2	3
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3

CATEGORIAS DE AÇÃO:
 1 - Não são necessárias medidas corretivas
 2 - São necessárias correções em um futuro próximo
 3 - São necessárias correções tão logo quanto possível
 4 - São necessárias correções imediatas

Fonte: FBF Sistemas (2019).

Na confecção do *layout* do processo foi utilizado o programa AutoCad® versão Estudantil do Autodesk. Foi empregada uma trena Western de 10 metros de comprimento para medir todos os pavimentos da fábrica e as distâncias entre mobílias (mesas e cadeiras), em todo o setor de produção. No *layout* foram esboçadas as distâncias transversais e longitudinais de uma máquina para a outra, assim como o fluxo da linha de produção. A Figura 3 apresenta o fluxograma adotado.

Figura 3: Fluxograma do processo e métodos.



Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

Resultados e discussão

Caracterização da Empresa

A empresa analisada fica localizada no município de Cruz das Almas, no interior da Bahia. Trata-se de uma fábrica de confecções de roupas íntimas masculinas e femininas. Atualmente o quadro de funcionário é composto por vinte e seis funcionários, sendo ele composto por costureiras, profissionais de cortes, acabamentos e embalagem.

A idade dos funcionários varia de dezoito a quarenta e cinco anos de idade. A maioria dos funcionários que atuam no setor de costura e acabamento são mulheres, e no setor de corte, apenas homens. Na Tabela 1 é exposto a quantidade de homens e mulheres e os postos de trabalho.

Tabela 1: Quantidade de homens e mulheres por área.

SEXO	CORTE	COSTURA	ACABAMENTO
HOMEM	3	5	1
MULHER	-	13	4

Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

Layout do Processo Produtivo

Observa-se que no processo, como citou Gomes (2002), seja uma indústria de confecções de grande porte ou uma fábrica que estejam começando no mercado, o processo produtivo propriamente dito, passam pelas etapas de: criação do molde, modelagem, risco no tecido, corte do tecido, costura das partes já cortadas e o acabamento. Na Figura 4, ao observar o *layout*, é possível ver a organização e a movimentação do processo produtivo da fábrica.

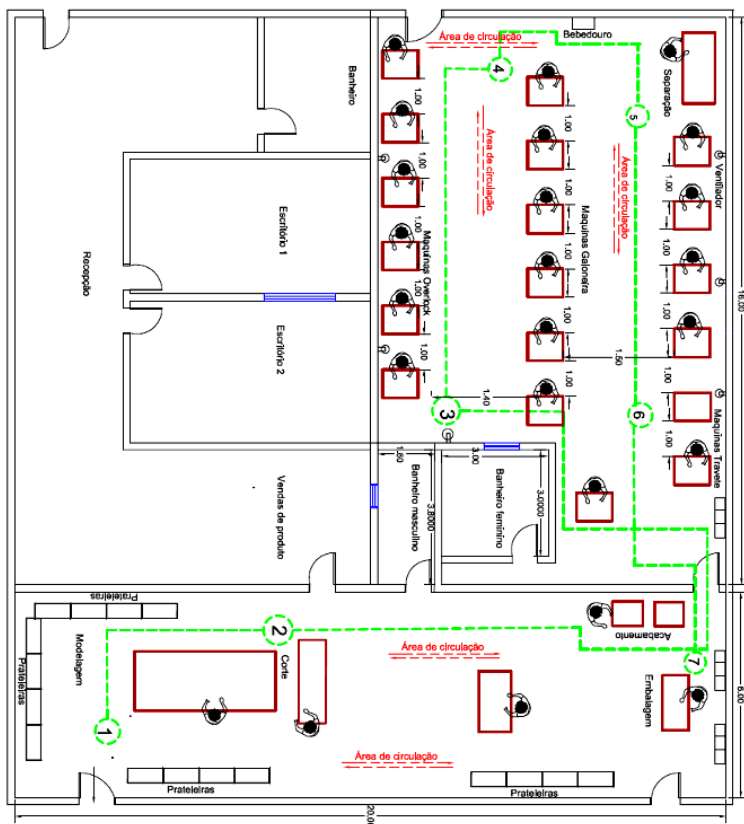
Organização do Trabalho

A confecção das peças começa pela escolha do modelo. Em seguida os colaboradores, que trabalham no corte começam a acomodar os tecidos na mesa, um encima do outro, com cores distintas e cada camada de cor tem em média uns quatro centímetros (4cm) de espessura e a camada total tem em média de treze a quinze centímetros (12 cm – 15 cm) de espessura. O molde é

colocado na parte superior da pilha de tecidos, são realizados os desenhos no tecido e só então os cortes são realizados.

Figura 4: Layout do chão de fábrica.

LAYOUT DA PRODUÇÃO - FÁBRICA DE PEÇAS ÍNTIMAS



Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

As partes, devidamente cortadas, passam primeiro nas máquinas a direita da fábrica (máquinas *overlock*, exposta na Figura 5(A)), as costureiras unem parte dos cortes e as peças são levadas para as máquinas posicionadas no meio do galpão (máquinas galoneiras, na Figura 5(B)). Nessas máquinas são colocados os côses das partes inferiores e superior da roupa. Em seguida as roupas vão para um processo de separação, pois ao passar pela galoneira o costureiro não levanta a peça, ela é costurada as outras peças adjacentes.

Figura 5: Máquinas presentes no processo de produção. (A) máquinas *overlock*, (B) máquinas galoneiras, (C) Máquinas Travetes.



(A) (B) (C)
Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

Após a separação, as vestes voltam para as máquinas à direita da fábrica (máquinas *overlock*, Figura 6(B) e elas fecham a peça por completa. Os mesmos funcionários que fazem a separação ficam responsáveis por recolhê-las e levá-las de uma máquina para a outra.

Figura 6: Disposição das máquinas no setor de costura. (A) Máquinas Travetes (à esquerda do setor de costura) e (B) Máquinas *overlock* (a direita) e máquinas galoneiras (no centro).



(A) (B)
Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

A etapa a seguir é o travetamento e a colocação de etiquetas e *tag*, realizados pelas máquinas a direita da fábrica, exposta na Figura 6(A). O travetamento é uma espécie de “trava” nas bordas, no final de cada costura. Então as etiquetas ou “*tags*” são adicionadas a roupa, especificando os tamanhos de cada peça. Os retoques finais são dados pelos “limpadores”, com tesouras ou

candeeiros. Por fim, as roupas são embaladas em kits.

Posturas adotadas pelos trabalhadores

Poucos costureiros trocam de máquinas durante o serviço, no geral, eles trabalham sempre com a mesma. Foi observado que passam mais de setenta e cinco por cento (75%) do tempo das horas trabalhadas na mesma posição. Os trabalhadores do acabamento e embalagem passam cerca de cinquenta por cento (50%) do tempo sentados e cinquenta por cento (50%) do tempo em pé. Já os profissionais responsáveis pelo corte passam mais de setenta por cento (70%) do tempo de trabalho em pé.

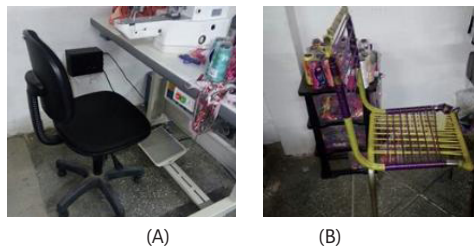
Tabela 2: Tempo em que os funcionários passam na mesma posição.

Setor	Posição	Horas(%)
Modelagem/rabisco/corte	Em pé	70% - 80%
Costura	Sentado	80% - 90%
Acabamento/embalagem	Sentado/em pé	50% - 60%

Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

São utilizados dois tipos de cadeiras, como mostra a Figura 7, umas com a altura regulável, bordas arredondadas, mas sem o apoio para o pescoço e outras não reguláveis, com o assento vazado para não reter o calor e evitar transpiração, porém não permite ao colaborador ajustar a altura da cadeira ao mesmo plano da mesa, os cotovelos acabam ficando afastados da mesa, forçando o trabalhador a flexionar a cervical para frente.

Figura 7: fotografias das cadeiras usadas pelos funcionários, (A) Cadeira com regulagem de altura, (B) Cadeira de quatro pernas sem regulagem.



Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

De acordo com as Normas Internacionais de ergonomia o punho e o antebraço devem estar apoiados durante a execução da atividade laboral, sendo que o antebraço

deve estar mais da metade apoiado numa posição agradável (ABERGO, 2000). A Figura 8 mostra uma fotografia da postura de uma colaboradora realizada durante o expediente, é possível ver a distância do cotovelo para a mesa de costura.

Figura 8: Costureira sem o assento regulável.



Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

Ao investigar a Figura 8, nota-se uma inclinação da cervical maior que 30° com o eixo vertical. Os cotovelos e punhos também fazem ângulos de flexões com a horizontal no plano da mesa. De acordo com Másculo e Vidal (2011), o ângulo de inclinação do pescoço deve ficar entre 15° a 30° e se for por longos períodos, essa inclinação deve ser de no máximo 15° . Para ele, a rotação e flexão do antebraço, dedos e punhos se associados a repetições e curtos ciclos podem causar Tendinite (inflamação do tendão que une o músculo ao osso).

Com relação aos membros inferiores, eles usam os dois pés, um para acionar o motor da máquina e o outro para soltar a linha. Para tanto, elas precisam manter as pernas estendidas, os tornozelos fazem movimentos repetitivos com ciclos menores que dez segundos, e as solas dos pés quase todo o tempo pressionadas. A Figura 9 mostra as posturas dos colaboradores das quatro áreas em que é dividida a fábrica.

Os trabalhos realizados em pé pelos grupos de embalagem e corte tem mais “liberdade” de sentar-se algumas vezes para descansar os membros inferiores. Já para os colaboradores do acabamento, as mesas são baixas como se pode observar na Figura 9 (d), as cadeiras reguláveis estão muito baixas para acompanhar o plano da mesa e os joelhos ficam com ângulos menores que 90° ou eles deixam mais altas e flexionam a

cervical, pescoço e lombar, também os movimentos repetitivos com as mãos ao cortar as rebarbas e sobras de linhas de cada peça, geram cargas compressivas e de tração nos tendões dos dedos e punhos.

Figura 9: Postura dos colaboradores.



Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).


Ao confrontar a realidade postural dos funcionários com as questões propostas pelo *software* Método OWAS, a ferramenta voltou às seguintes respostas para mais de sessenta por cento das posturas dos funcionários, principalmente as costureiras: “são necessárias correções em um futuro próximo”.

A Figura 10 explana alguns dos fatores que contribuem com a postura dos funcionários da empresa. Trata-se do *Checklist* criado a partir da NR 17.

De acordo com o *Checklist*, as posturas adotadas por muitos funcionários do setor de costura, cerca de oitenta por cento (80%) dos costureiros e do setor de acabamento, cerca de noventa e cinco por cento (95%), não condizem com o que as normas classificam como coerentes para a manutenção da saúde e bem estar do indivíduo. Os movimentos repetidos em pequenos intervalos de tempo pelos costureiros e no setor de acabamento foram apontados, durante a

pesquisa, como fator de risco. O fato de os funcionários passarem muito tempo na mesma posição (sentados ou em pé) também aponta riscos ergonômicos por esforços estáticos, que podem afetar as musculaturas dos ombros, cervical e lombar.

Figura 10: Parte da Checklist empregado na investigação.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS - CAMPUS DE CRUZ DAS ALMAS-BA BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS			
		Data:	
		Horário:	
CHECKLIST DA NR 17 - ERGONOMIA			
A) TRABALHO EM PÉ			
D.1 - DURANTE SEPARAÇÃO DE MATÉRIA PRIMA		SIM	NÃO
Há assentos para descanso?		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
A postura das costas encontra-se ereta durante a execução		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Há espaço suficiente para todas as partes do corpo do trabalhador se movimentar livremente (sem chocar-se com os objetos adjacentes)?		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OBS: O processo de separação é feito sobre a mesa de corte.			
D.2 - DURANTE O PROCESSO DE CORTE		SIM	NÃO
Há assentos para descanso?		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
A postura das costas encontra-se ereta durante a execução		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Há espaço suficiente para todas as partes do corpo do trabalhador se movimentar livremente (sem chocar-se com os objetos adjacentes)?		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OBS: Há bastante espaço livre para o trabalhador se movimentar, porem ele precisa flexionar o tronco para realizar os cortes.			
D.4 - DURANTE O PROCESSO DE EMBALAGEM		SIM	NÃO

Fonte: Pedreira V. S. e Oliveira G. E. S. (2019).

Propostas de melhorias

A busca por melhorias é algo intrínseco ao homem. Toda tarefa que não permite mudanças ou alterações se torna fatigante e o indivíduo perde o interesse. As figuras, o Checklist e o software do Método OWAS mostram que é necessário serem realizadas correções posturais, ainda que a médio ou longo prazo, para a observância das normas e manutenção da Qualidade de Vida no Trabalho.

Dessa forma faz-se indispensável cumprir um dos objetivos deste trabalho listando algumas sugestões para a empresa:

- ✓ A ginástica laboral tem sido muito utilizada como meio de prevenção de lesões e algumas doenças ocupacionais. A implantação da série de exercícios poderia ser um dos intervalos de trabalho;
- ✓ A troca das cadeiras sem altura ajustáveis por cadeiras com alturas ajustáveis, acento com bordas arredondadas e encosto para o pescoço. Essa ação traria mais conforto para os funcionários que estão sobre a ação de forças estáticas por muitas horas;
- ✓ Instalação de apoios para antebraços nas bordas das mesas das costureiras;
- ✓ A implantação da NR 5 - Comissão Interna de Prevenção de acidentes (CIPA);
- ✓ A instalação de apoios para os pés nos casos quando, mesmo com a regulagem do assento, o trabalhador não alcance o piso;
- ✓ Uma análise ergonômica mais aprofundada da fábrica.

Conclusão

Todos os anos, milhares de trabalhadores são encaminhados para as filas dos postos de saúde, hospitais públicos e para o INSS por causa de doenças adquiridas pela má Qualidade de Vida do Trabalho. Não são apenas lesões físicas, doenças psíquicas também. O ambiente de trabalho estressante, mal planejado, que vise somente o lucro financeiro, esquecendo da saúde e bem estar dos funcionários, poderá transformar todo o processo em um meio nocivo.

O trabalho apresentado nesse capítulo teve como objetivo central investigar possíveis riscos ergonômicos presentes na produção de uma fábrica de confecções de roupas íntimas de Cruz das Almas. A partir dessa análise, foi elaborada uma lista com propostas de melhorias ergonômicas, que atendam os critérios mínimos de conforto, listados pela Norma Regulamentadora 17, para o colaborador em seu posto de trabalho.

De início, foi proposto o mapeamento apenas das atividades dos costureiros, mas no desenvolvimento da pesquisa, sentiu-se a necessidade de mapear todo o processo produtivo, indo das escolhas e confecções dos moldes, passando pelo corte, a costura e findando no acabamento e embalagem.

Sob a perspectiva do olhar ergonômico é presumível a importância da comunhão do colaborador com o trabalho, deixando de lado o conceito do

passado, que trabalho é um castigo ou, o conceito Taylorista que otimização das atividades é extrair ao máximo da força do trabalhador sem se preocupar com sua saúde. De fato, todo empresário tem como objetivo a lucratividade do processo, mas a aplicação dos métodos, teorias e princípios ergonômicos, torna possível aumentar os lucros preservando o bem estar do trabalhador, uma vez que o ambiente lhe proporcione meios de manter sua produção, no mínimo continua.

Conclui-se a partir dos dados coletados, através de fotos, vídeos e a própria observação *in loco*, e o confronto dos mesmos com o Método OWAS e o *Checklist* da NR 17 que se faz presente os eminentes riscos biomecânicos, sendo eles: os riscos posturais, por esforços estáticos e os riscos inerentes dos movimentos repetitivos, fatos relatados nesse capítulo.

A nova visão de trabalho consiste em alinhar as boas relações entre o meio, o homem e a máquina. Por tanto, mesmo para uma pequena empresa, como é o caso da fábrica de confecções estudada, a adesão dos parâmetros ergonômicos trará um bom retorno, em pequeno e médio prazo, com um possível investimento nas trocas de algumas cadeiras e mesas, ou a inclusão de uma pausa para a ginástica laboral, com intuito de tornar o ambiente de trabalho mais propício e menos exaustivo.

Referências

ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia. **O que é ergonomia**. 2000. Disponível em: http://www.abergo.org.br/internas.php?pg=o_que_e_ergonomia. Acesso em 20 de jan. de 2019.

BRASIL, Ministério do Trabalho. **Manual de Aplicação NR – 17**. Disponível em: <https://segurancadotrabalhonwn.com/manual-de-aplicacao-da-nr-17-ministerio-do-trabalho-download/>. Acesso em 27 dez. de 2018.

COSTA, Alexandre de Souza. *et al.* **O uso do método estudo de caso na Ciência de Informação no Brasil**. Ribeirão Preto, SP v. 4, n. 1, p. 49-69, jan./jun. 2013.

DE AQUINO, Danielly Silva; MAIER, Rubia Carla. *et al.* Análise da qualidade de vida no trabalho no setor de costura em uma indústria de confecção. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção**. Florianópolis, SC, v.12, n. 3, p. 585-603, 2012.

DE PAULA, Adma Jussara Fonseca, *et al.* **Avaliação de Risco Ergonômico em Indústria de Confeção através do Método de Análise Postural.** Ovaco Working Posture Analysing System – OWAS. 5º Congresso Internacional de Design em Bauru. São Paulo, 2009.

GOMES, Maria de Lurdes Barreto. **Um modelo de nivelamento da produção à demanda para a indústria de confecção do vestuário segundo os novos paradigmas da melhoria dos fluxos de processos.** 320 f. Tese de doutorado (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MÁSCULO, Francisco Soares; VIDAL, Mario César. *et al.* **Ergonomia:** Trabalho adequado e eficiente. Elsevier/ABEPRO, São Paulo, 2011.

Manutenção preventiva: abordagem de melhoria em EPP

*Gabriela Soares Santos
Edilberto Andrade Silva*

Introdução

As microempresas (ME) e empresas de pequeno porte (EPP) possuem uma participação expressiva na economia nacional, de acordo com o estudo do SEBRAE (2018), micro e pequenas empresas representam 98,5% do total de empresas privadas do país e são responsáveis por 54% do total de empregos formais existentes, empregando assim mais trabalhadores com carteira assinada que as médias e grandes empresas. Ainda segundo esse estudo, a Bahia possui destaque no Nordeste, concentrando 29% do total de EPP da região.

No entanto, apesar da expressividade dessas empresas, muitas delas enfrentam dificuldades no período de transição entre sua fundação e consolidação no mercado, Fabres, Silva e Cavalcanti (2016), consideram como principais fatores para a mortalidade das micro e pequenas empresas no Brasil a ausência ou fragilidade no planejamento e gestão financeira. Assim, em um mercado cada vez mais competitivo é preciso que esse perfil de empresa aja de maneira organizada e assertiva para que consiga garantir sua sobrevivência em longo prazo.

Considerando o segmento industrial, é possível atrelar a manutenção mecânica como uma atividade de impacta diretamente nos recursos financeiros da empresa. A ABNT (NBR 5462, 1994) define manutenção como: “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Chiquito e Veloso (2018) discorrem que, no âmbito industrial, as empresas que não investem em programas de manutenção podem caminhar para instabilidades financeiras por conta da ociosidade elevada de seus equipamentos e atrasos em seus prazos de entrega. Nogueira, Guimarães e Silva (2012) vão além e defendem que a manutenção, quando bem estruturada, pode ser considerada

um diferencial competitivo no mercado, uma vez que essa está relacionada à produtividade e qualidade, evitando com que o equipamento sofra uma parada não programada ou que comece a produzir fora de padrão.

Assim, a gestão de manutenção posiciona-se como fator relevante para a indústria, uma vez que ao ser negligenciada pode impactar diretamente no aumento dos custos de produção, conseqüente redução do lucro, aumento do risco de acidentes, descumprimento dos prazos de entrega, que podem refletir na perda de clientes e fatias do mercado.

A empresa participante do estudo apresentado nesse capítulo, trata-se de uma EPP do segmento industrial que atua predominantemente no ramo de bombas submersas vibratórias, em uma escala menor também são comercializadas moto bombas e boias automáticas. O mercado alvo da empresa é o Nordeste do Brasil, região onde possui maiores vendas, no entanto a empresa está se expandindo para outras regiões, e até para o comércio exterior, realizando atualmente exportações para México e Equador. É possível perceber que a empresa está em um período de crescimento onde desempenha uma participação cada vez mais ativa no seu nicho de atuação, aproximação com o meio acadêmico e busca de conhecimentos externos para melhoria da sua produtividade.

Nesse sentido, surge o reconhecimento da oportunidade de como uma manutenção mecânica planejada pode contribuir para alavancar esse crescimento, conforme discutido em Barbosa *et al.* (2009):

A manutenção é essencial no funcionamento de uma indústria. Pouco adianta o administrador de produção procurar otimizar a produtividade se os equipamentos não dispõem de condições adequadas para atender este objetivo. À manutenção cabe zelar pela conservação da indústria, especialmente de máquinas e equipamentos (p.2).

As literaturas discutem diversas classificações para os tipos de manutenção, mas em geral os principais tipos abordados são: corretiva, preventiva e preditiva.

A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência da falha do equipamento, no entanto é necessário distinguir os resultados da manutenção corretiva planejada da não planejada. Kardec e Nascif (2009) descrevem que na manutenção corretiva não planejada a correção da falha é realizada de maneira aleatória, não há tempo para preparação do serviço implicando em altos custos,

já a manutenção corretiva planejada a correção da falha é realizada por uma decisão gerencial, ou seja, mesmo que a decisão seja permitir que o equipamento funcione até a falha, essa é uma decisão conhecida e algum planejamento pode ser realizado até a falha ocorrer, normalmente essas decisões se baseiam em parâmetros e condições observados pela manutenção preditiva.

A manutenção preventiva, de acordo com a ABNT (NBR 5462, 1994) consiste em procedimentos efetuados em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, objetivando reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item. Essa manutenção é norteadada pelo plano de manutenção preventiva, onde, de acordo com Viana (2002), são trazidas todas as informações necessárias para orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva, o autor ainda destaca que este plano representa o detalhamento da estratégia de manutenção assumida pela empresa, uma vez que a qualidade de suas instruções determina o tratamento dado à manutenção preventiva.

Kardec e Nascif (2009) abordam que nem sempre os fabricantes fornecem dados precisos para implementação do plano de manutenção preventiva, além disso, deve-se também considerar que as condições operacionais e ambientais podem influenciar na expectativa de degradação do equipamento, sendo assim, a definição de periodicidade e substituição deve ser determinada para cada instalação.

Manutenção preditiva é definida, de acordo com a ABNT (NBR 5462, 1994) como a manutenção com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem que permite garantir uma qualidade de serviço desejada. Segundo Kardec e Nascif (2009) o objetivo desse tipo de manutenção é prevenir falhas por meio do acompanhamento de diversos parâmetros de forma que seja permitida a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível, ou seja, a manutenção preditiva atua privilegiando a disponibilidade do equipamento, na medida em que efetua as verificações enquanto o mesmo continua produzindo, e quando o grau de degradação se aproxima ou atinge um limite pré-estabelecido é tomada a decisão de intervenção.

Direcionando-se a situação atual da empresa deste estudo, que emprega basicamente a manutenção corretiva não planejada, a incorporação de conceitos de uma manutenção planejada apresenta-se como uma excelente oportunidade para contribuir com sua perspectiva de crescimento. Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho foi elaborar uma proposta de plano de manutenção

preventiva para a unidade fabril em análise, vislumbrando uma redução dos custos e frequências de manutenções não planejadas.

Método

Para realização desta pesquisa, desenvolvida durante estágio supervisionado no período de maio a julho de 2016, inicialmente foi necessário o reconhecimento dos setores envolvidos no processo produtivo, de maneira a identificar os equipamentos integrantes do plano de manutenção e sua relevância dentro do processo. Esse reconhecimento foi realizado mediante observações, conversas com os operadores e supervisor de produção. Posteriormente foram realizadas reuniões com a supervisão e diretoria da empresa alinhando os equipamentos determinados para o plano de manutenção.

Depois de definidos os equipamentos, foram coletadas informações presentes nos dados de placa, nos catálogos e sobre as condições operacionais destes equipamentos na empresa. Em alguns equipamentos houve informações que não foram diretamente encontradas em seus catálogos, sendo necessário um contato com o fabricante dos respectivos equipamentos para complementação dessas informações.

Após a coleta dos dados necessários foram definidas as etapas de composição do plano:

- ✓ Definição do modelo de tagueamento;
- ✓ Cadastro da especificação dos equipamentos;
- ✓ Cadastro das peças sobressalentes (para substituição periódica);
- ✓ Definição dos pontos de lubrificação e inspeção;
- ✓ Geração da programação do plano.

As etapas foram então unificadas em um documento registrando todas as informações técnicas, especificações de cada equipamento e planilhas contendo a descrição das atividades de manutenção preventiva a serem realizadas, constituindo assim o plano de manutenção.

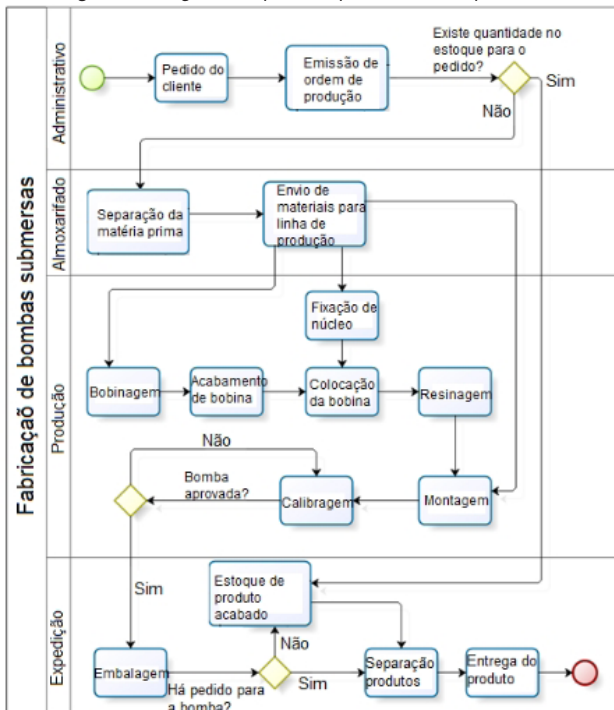
Resultados e discussão

O principal processo produtivo da empresa é a fabricação de bombas submersas vibratórias, o reconhecimento inicial do processo realizado de forma

visual e com conversas entre a operação e a supervisão possibilitou embasamento para elaboração de um fluxograma do processo produtivo. O fluxograma é uma ferramenta que apesar de simples e de baixo custo pode contribuir na melhor apresentação e entendimento do processo, explicitando a interligação entre as atividades realizadas, além de permitir análises e identificações de oportunidade de melhoria. Na figura 1 a seguir é apresentado o fluxograma elaborado no software *Bizagi Modeler* (distribuído gratuitamente em sua plataforma online).

Com relação à base histórica de manutenções, a empresa possuía apenas uma rotina registrada para o tempo de troca de óleo dos compressores, todos os outros equipamentos tinham suas atividades realizadas sem nenhum registro, ou nenhum estabelecimento de prazo ou rotina, como a exemplo a lubrificação da bobinadeira e da prensa aplicadora, além disso, na maioria dos casos a troca de peças era realizada mediante uma manutenção corretiva não planejada.

Figura 1: Fluxograma do processo produtivo da empresa analisada.



Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

A partir do conhecimento do processo produtivo e de reuniões de alinhamento com a supervisão e diretoria da empresa foi possível identificar quais os maquinários seriam considerados para elaboração do plano de manutenção preventiva. A seguir são apresentados esses maquinários e sua relevância no processo.

Bobinadeira

A bobinadeira está presente no início do processo, a bobinagem. Trabalhando com dispositivos rotativos e acionadores de precisão, o funcionamento correto dessa máquina está diretamente atrelado à qualidade do produto e todo o fluxo do processo, visto que existem etapas seguintes que são dependentes do seu produto final. A falta de manutenção preventiva nesse equipamento pode provocar erros durante a realização do processo, como por exemplo, os fios partirem por atrito devido ausência de anéis de lã.

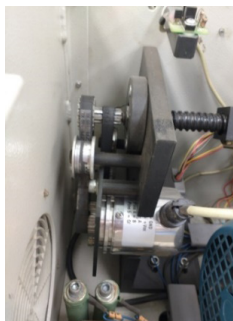
Além disso, uma parada não planejada para uma manutenção corretiva nesse equipamento levaria a todo atraso da entrega do produto final, uma vez que poucas etapas do processo funcionam de maneira independente da bobinagem. A figura 2A mostra a máquina analisada.

Durante a coleta das informações para a elaboração do plano de manutenção, foi necessária abertura do maquinário para determinação das especificações das correias a serem utilizadas nas trocas periódicas (peças sobressalentes), como mostrado na figura 2B.

Figura 2: Bobinadeira (A) Visão externa; (B) Visão interna.



(A)



(B)

Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

Prensa aplicadora

Esta máquina é integrante do processo de acabamento de bobina, ela é responsável pela ligação entre os terminais das mesmas. A prensa aplicadora é mostrada na Figura 3.

Devido aos elementos rotativos, a lubrificação é extremamente importante no plano de manutenção, além disso, um cuidado especial deve ser dado à limpeza diária, atividade aparentemente simples, mas que caso negligenciada pode originar prejuízos, pois durante o processo, a máquina forma rebarbas, que quando acumuladas podem impedir a união adequada dos terminais, fator que pode ocasionar a queima da bobina ou não funcionamento do produto final.

Figura 3: Prensa aplicadora.



Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

Máquina de cortar cabos

Esta máquina é responsável pelo corte dos cabos de alimentação da bomba. O funcionamento inadequado deste equipamento pode ocasionar cortes irregulares, interferindo na estética do produto, (relacionando assim a sua qualidade no mercado), e nos custos de fabricação, (aumentando-os diante do desperdício de matéria prima).

Figura 4: Máquina de cortar cabos.

Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

Compressores

Os compressores se constituem como equipamentos importantes dentro do processo produtivo, pois o ar comprimido é utilizado na alimentação das máquinas que contém acionadores pneumáticos, como a bobinadeira e máquinas de teste, alimentação de parafusadeiras pneumáticas utilizadas no setor de montagem e na limpeza de alguns elementos. A empresa conta com dois compressores alternativos localizados externamente a produção, na casa de compressores. A falta de manutenção nesses equipamentos impacta diretamente na qualidade do ar comprimido, podendo ocasionar aumento no consumo de energia por diminuição na eficiência do compressor, vazamentos ou instabilidades na pressão de operação, contaminação do ar comprimido e baixo controle de umidade, fatores esses que podem levar a quebra do próprio equipamento ou dos maquinários alimentados pneumaticamente.

Figura 5: Compressores.

Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

Conjunto regulador/lubrificador

Assim como a manutenção nos compressores é importante para garantir a qualidade do ar comprimido, deve ser assegurado que o seu transporte pela linha pneumática da casa de compressores até os equipamentos e ferramentas não comprometa essa qualidade. Logo, devem-se adotar atividades de manutenção preventiva para o conjunto regulador/lubrificador, ilustrado na figura 6.

Figura 6: Linha pneumática e conjunto regulador/lubrificador.



Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

Torno mecânico

A empresa possui torno mecânico, conforme figura 7. Apesar de não estar diretamente relacionado ao processo produtivo, esse maquinário serve de apoio para realização de reparos em outros equipamentos e a construção de elementos ou ferramentas para implementações de melhorias no processo produtivo. Sendo assim, o cuidado com seu bom funcionamento também traz resultados positivos para a empresa.

Figura 7: Torno mecânico.



Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

Após a coleta de todas as informações destes equipamentos nos seus dados de placa, catálogos e consultas sobre suas condições operacionais, foram seguidas as etapas para composição do plano.

O modelo de “tagueamento” adotado foi: TAG: letras+números, conforme mostrado no quadro 1.

Quadro 1: Tagueamento adotado.

Equipamento	Tagueamento
Bobinadeira	TAG: BBo1
Prensa aplicadora	TAG: PA 01
Máquina de cortar cabos	TAG: CC 01
Compressores	TAG: CP 01 / TAG: CP 02
Conjunto regulador/lubrificador	TAG: RL 01
Torno mecânico	TAG: TM 01

Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

O atendimento das etapas 2, 3 e 4, foi realizado com a elaboração de um documento contemplando a identificação e as especificações técnicas de cada equipamento, trazendo também a descrição das peças necessárias para substituições periódicas e as especificações dos lubrificantes a serem utilizados, juntamente com a indicação dos seus pontos de lubrificação e inspeção.

Para a apresentação da programação a ser seguida, foi adotado um modelo de planilha que apresenta as atividades relacionadas à manutenção preventiva e sua frequência. A figura 8 apresenta o modelo utilizado aplicado a um dos maquinários analisados.

Figura 8: Modelo de planilha do plano de manutenção preventiva.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
BOBINADEIRA	TAG: BB 01	ANO: _____		
SETOR: BOBINAGEM				
RESPONSÁVEL:				
DESCRIÇÃO	FREQUÊNCIA			
	Diária	Semanal	Trimestral	Semestral
Verificar proteção e dispositivos de segurança para que funcione adequadamente				
Pré aquecer a máquina fazendo funcionar 10 minutos na metade ou 1/3 da velocidade máxima em operação automática				
Ao fim do trabalho limpar a máquina, guardar as ferramentas e retirar todos os resíduos				
Verificar partes desilzantes com relação a lubrificação adequada				
Verificar a tensão das correias e substituir o jogo caso alguma correia apresente desgaste				
Limpar filtro com ar comprimido ou com água morna (não esfregue)				
Verificar limpadores (anéis de lã e borracha) e substituir danificados				

Fonte: Santos, G.S. e Silva, E. A. (2020).

As planilhas também foram inseridas nesse documento, constituindo dessa forma o plano de manutenção que foi entregue a empresa. Deve-se ressaltar que esse documento unificando todas as informações é um material importante para consultas mais detalhadas sobre o equipamento, mas as planilhas devem ser impressas individualmente e entregues a cada responsável pela manutenção do respectivo equipamento, sendo uma ferramenta que permite uma fácil identificação das atividades a serem realizadas.

Conclusão

A elaboração deste estudo permeou sobre as discussões da importância da manutenção preventiva como fator que possa contribuir para o crescimento nas indústrias, impactando na melhoria da adequação dos seus recursos financeiros, garantia de qualidade e atendimento de prazos de entrega, fatores relacionados diretamente com sua competitividade e sobrevivência no mercado.

O trabalho apresentado nesse capítulo, teve como objetivo o desenvolvimento de uma proposta de um plano de manutenção preventiva que atendesse as principais máquinas e equipamentos de uma empresa de pequeno porte. Este objetivo foi alcançado mediante análise das especificações dos mesmos e suas condições de trabalho no ambiente fabril, que possibilitaram a elaboração de um plano compatível com as necessidades da empresa, apresentando neste, planilhas de controle de manutenção que permite a orientação aos responsáveis para aplicação do plano de forma a que sejam atingidos os resultados esperados da manutenção preventiva.

Assim, considera-se que os resultados foram satisfatórios e que a proposta apresentada poderá ser implementada gradativamente pela empresa. Cabe ressaltar que a importância deste trabalho também residiu no ato de aproximação entre a academia e empresa, contribuindo para que cada vez mais conhecimentos sejam difundidos no ambiente industrial e possam contribuir de maneira significativa para melhorias em sua gestão de manutenção.

Referências

ABNT, NBR 5462, **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BARBOSA, Raphael Araújo; COSTA, Fernanda Nunes da; FERREIRA, Laura Maria Leite; NUNES, Carlos Eduardo de Carvalho Bacelar; ALVES, Itallo Bruno Santos. **Elaboração e implementação de um plano de manutenção com auxílio do 5S**: Metodologia aplicada em uma microempresa. XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP, Anais, Salvador, 2009.

CHIQUITO, Anderson; VELOSO, Antônio Marcos Arouca. **Elaboração de um plano de manutenção utilizando conceitos de manutenção produtiva total**. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

FABRES, Suellen Ferreira, SILVA, Karen de Lucena, CAVALCANTI, Rafael Gomes. **A correlação entre a mortalidade das micro e pequenas e empresas e o índice de inflação no Brasil**. 29^a Congresso Internacional de Administração (ADM 2016), Anais, Natal, 2016.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção - Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

NOGUEIRA, Cássio Ferreira; GUIMARÃES, Leonardo Miranda; SILVA, Margarete Diniz Braz da. Manutenção industrial: Implementação da manutenção produtiva total (TPM), **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 175-197, Editora UniBH, 2012. Disponível em: www.unibh.br/revistas/exacta/

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE. **Perfil das microempresas e empresas de pequeno porte**. Brasília, 2018.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM**: Planejamento e controle de manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

Plano gerencial para empresa de manutenção industrial

*Nilton de Jesus de Oliveira Júnior
Edilberto Andrade Silva*

Introdução

No atual cenário da economia, diversos setores da indústria ainda buscam se recuperar de um longo período de recessão econômica do país, surge a necessidade de buscar diferenciais para se estabelecer num mercado competitivo. Dessa forma, a falta de visão estratégica em uma organização reduz de forma significativa a sua competitividade. Logo, percebe-se que utilizar técnicas e ferramentas que visem gerir de maneira mais eficiente, nos níveis estratégico, tático e operacional elevam o patamar da gestão de qualquer empresa, influenciando nos resultados seja a curto, médio ou longo prazo.

No ramo da prestação de serviços de manutenção e usinagem isso não é diferente, visto que qualidade e preço estão à frente de prazo, experiência e tecnologia como critérios na contratação de serviços pelas empresas de acordo com a Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN) (2013). Portanto, torna-se crucial a implantação de sistemas de gestão mais eficientes. O fato é que isso deixou de ser um diferencial para se tornar exigência para sobrevivência e competitividade. Os modelos de gestão precisam identificar e reduzir perdas dentro dos processos utilizando ferramentas e metodologias eficientes.

Nesse sentido, torna-se crucial a administração estratégica nas empresas. Isso ocorre nos diversos setores no caso de grandes empresas, com estruturas mais robustas de recursos técnicos, culturais e financeiros. Quando se trata de empresas de pequeno e médio porte, o cenário muda e por diversos fatores modelos de gestão mais modernos acabam não sendo implantados, havendo então diversas perdas dentro dos processos por falta de ferramentas e metodologias mais eficientes.

É evidente que a falta de visão estratégica em uma organização reduz de forma significativa a sua competitividade. Percebe-se que utilizar técnicas e

ferramentas que visem gerir de maneira mais eficiente, nos níveis estratégico, tático e operacional elevam o patamar da gestão de qualquer empresa, influenciando nos resultados seja a curto, médio ou longo prazo.

Uma das ferramentas mais difundidas e utilizadas por gestores, principalmente na indústria, é o chamado ciclo PDCA, que foi introduzido por William Edwards Deming e ficou conhecido no Japão, país no qual a metodologia foi amplamente utilizada, como “*Deming Wheel*”. (DEMING, 1950) (IMAI, 1986).

Para o desenvolvimento do trabalho apresentado nesse capítulo, foi realizada a revisão da literatura com foco nas ferramentas da qualidade e gerenciamento de rotina. Os conhecimentos reunidos, aliados às visitas técnicas e discussões com a direção da empresa, serviram, então, de base para a elaboração da proposta de aperfeiçoamento dos processos da empresa.

Método

A metodologia para o desenvolvimento desse trabalho contou com a revisão teórica sobre os contextos a serem abordados e associados ao histórico do tema, além da conceituação de técnicas e ferramentas que foram utilizadas. Foi realizada a análise do perfil da empresa e dos seus respectivos processos, possibilitando assim o diagnóstico e a constatação de como estes conhecimentos puderam ser aplicados na busca de melhorias na organização.

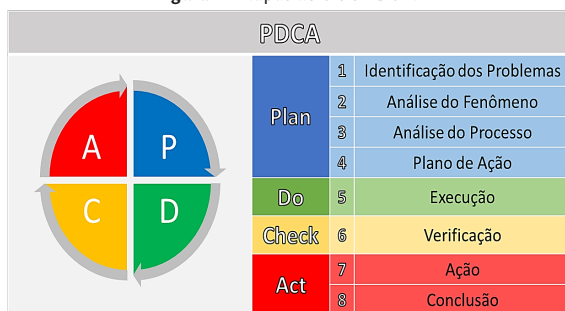
O trabalho foi desenvolvido no método de estudo de caso, que se trata de uma investigação empírica, que estuda um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, sobretudo quando as barreiras entre fenômeno e contexto, teoria e prática, não estão nitidamente definidas (YIN, 2005).

Para construção deste trabalho foi aplicado o método PDCA. Segundo Campos (2004) o ciclo PDCA, como pode ser visualizado da Figura 1, trata-se de método amplamente utilizado na indústria como estrutura para tratamento de não-conformidades diversas e projetos de melhorias. Normalmente, ele se inicia com o *Plan*: onde ocorre a identificação do problema do qual busca-se a solução, em seguida, com a utilização de algumas ferramentas da qualidade, como Gráfico de Pareto, 5 Porquês, Diagrama de Ishikawa, fluxograma, 5W2H, etc. Após a análise do fenômeno em questão e do processo do qual ele faz parte, é então elaborado um plano de ação, que deve ser posto em prática no passo

seguinte (*Do*). A eficácia desse plano de ação deve ser verificada na etapa *Check*, caso não tenha sido obtido resultados satisfatórios, novas ações devem ser estipuladas em um novo “giro” desse ciclo, caso os resultados atendam ao que era esperado, o ciclo é concluído.

Para o trabalho aqui apresentado, na etapa *Plan*, foram levantados através de múltiplas fontes tais como pesquisa bibliográfica, visitas técnicas com coleta de informações por meio de formulários estruturados e complementada com observação das rotinas de trabalho e análise documental referente ao histórico de serviços, e índices financeiros, além do levantamento do nível de satisfação dos clientes.

Figura 1 – Etapas do Ciclo PDCA.



Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Dessa forma, foram utilizadas as seguintes ferramentas para diagnóstico: formulário de auditoria para levantamento de informações, formulário de auditoria de programa 5S, aplicação de questionário de satisfação do cliente, fluxograma como ferramenta para desenvolver o mapeamento de processos, da análise de Pareto para identificação de processos críticos e clientes prioritários e a análise SWOT para identificar forças e fraquezas, oportunidades e ameaças para a companhia.

Em seguida, na etapa de execução (*Do*) foi elaborado o plano estratégico onde serão descritos objetivos e metas. Além disso, as ações tidas como prioritárias foram detalhadas em seguida. No *Check* (verificação), foram coletadas informações a respeito das execuções dos planos de ação e apresentadas como resultados. A etapa *Act* não foi abordada nesse estudo, pois o plano de ação ainda estava em andamento durante a elaboração desse trabalho.

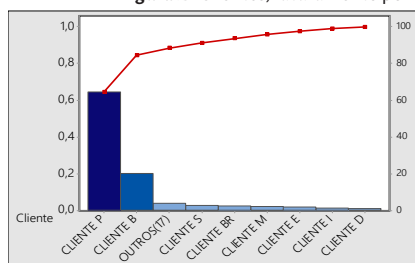
A empresa foco do estudo é de pequeno porte² e com suas atividades voltadas para a realização de manutenções em máquinas e equipamentos industriais, especialmente em máquinas rotativas como bombas, compressores, ventiladores, sopradores, turbinas e bombas de vácuo, além de executar serviços de usinagem e caldeiraria. Atua desde 1995 e tem sua sede – um galpão com área construída de aproximadamente 750 m² – localizada no município de Salvador, às margens da BA-528, possuindo posição estratégica, próximo ao polo petroquímico de Camaçari e do Centro Industrial de Aratu (CIA) nas cidades de Simões Filho e Candeias. A companhia atende clientes de diversos portes na região em setores como: siderúrgica, petroquímica, química, têxtil, alimentícia, bebidas, abastecimento de água, saneamento, etc.

Resultados e discussões

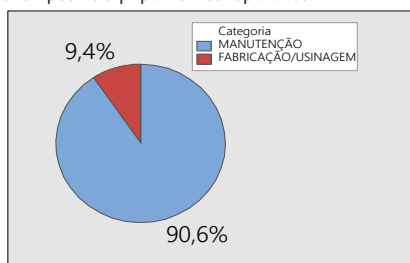
Plan

Para definir o foco do estudo, foram geradas informações, avaliando pontos-chaves como clientes, faturamento por setor e quais os tipos de equipamentos que possuem maior fluxo de entrada para reparo. Essas informações foram reunidas e são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Clientes, faturamento por setor e tipos de equipamentos reparados.

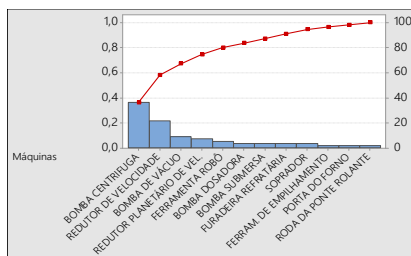


O gráfico indica que 64% do faturamento da empresa é proveniente de serviços vendidos para o “Cliente P” e 20% relacionado ao “Cliente B”, empresas de grande porte atuantes nos setores de siderurgia e petroquímica, respectivamente.



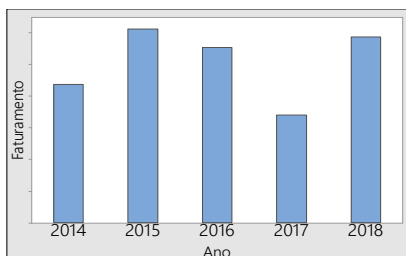
O gráfico indica que a oficina concentra mais de 90% do faturamento. Dessa forma, foi identificado que se trata do setor a ser priorizado no estudo.

² De acordo com DIEESE (2013), comércios e prestadoras de serviço que possuem de 10 a 49 funcionários são consideradas empresas de pequeno porte. Já o BNDES (2019) define que deve ser considerada empresa de pequeno porte qualquer empresa que possua faturamento anual superior a R\$ 360 mil e inferior a R\$ 4,8 milhões.



O gráfico aponta que manutenções de bombas e redutores são os principais serviços executados pela oficina, correspondendo a 74% quando somados.

Com destaque para as bombas centrífugas, responsáveis por 36%, sendo elas então o foco no momento da descrição do processo.



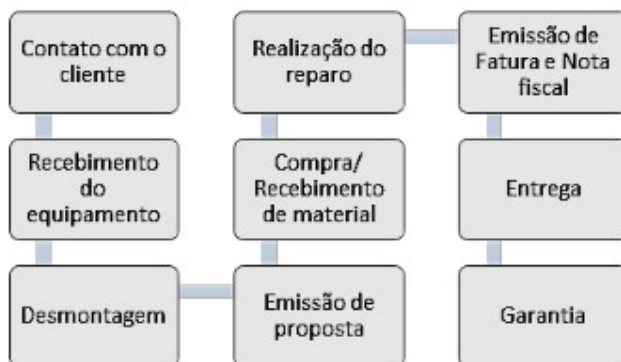
Entre 2014 e 2018 a empresa não conseguiu consolidar um crescimento do faturamento. É possível visualizar as oscilações no gráfico. Essa instabilidade é atribuída a crise econômica do país e a falta de estruturação da empresa para superá-la. Observação: Não foi autorizada a divulgação de valores

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Descrição do processo atual da empresa

O processo de manutenção de máquinas e equipamentos está descrito, resumidamente, como aponta o fluxograma abaixo, na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma geral do serviço prestado pela empresa

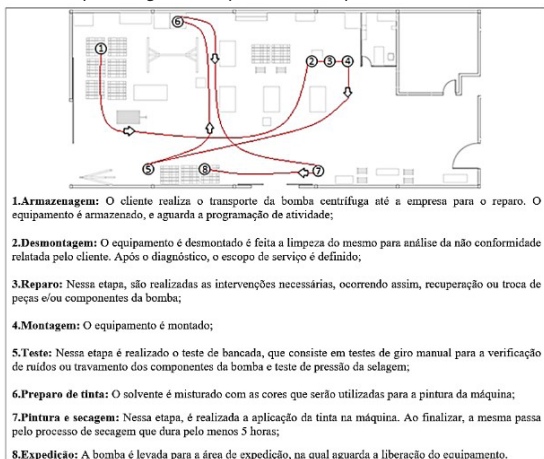


Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Como enfoque do estudo é na oficina e o equipamento que possui maior fluxo de reparos na empresa é a bomba centrífuga, o processo será descrito abaixo:

O fluxo de trabalho é indicado conforme o *layout* da Figura 4.

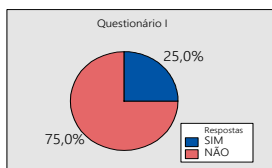
Figura 4 – Mapofluxograma do processo de reparo em bombas centrífugas.



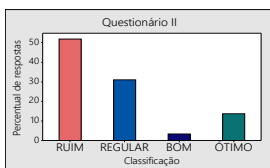
Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Também foram aplicados questionários, para identificar outros possíveis gargalos na organização, conforme segue na Figura 5.

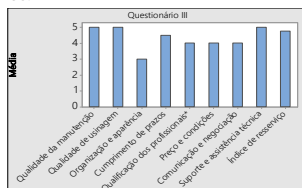
Figura 5 – Aplicação de questionários.



Questionário I: Possui 20 perguntas sobre as rotinas de trabalho, controle de processos, existências de indicadores de performance e clima organizacional. É possível identificar o percentual de respostas através do gráfico que aponta que 75% das respostas são negativas, o que indica através dos parâmetros definidos, a ausência de gerenciamento da rotina da empresa



Questionário II: Possui 29 perguntas para verificação da presença da cultura do 5S na empresa. É possível visualizar pelas notas atribuídas que 50% das respostas são para "Ruim", indicando que a cultura do 5S é pouco incentivada na organização.



Questionário III: Pesquisa de satisfação aplicada a gestores dos principais clientes. A pesquisa possui 15 questões e um espaço para avaliação ou observações. As respostas foram classificadas como aponta o gráfico.

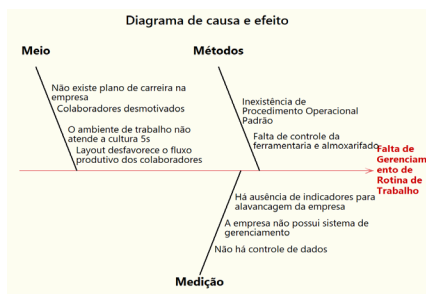
A organização e a aparência das instalações foi o item de pior avaliação.

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

De acordo com os resultados da pesquisa, os clientes observam as mesmas oportunidades que esse estudo. Sendo assim, para determinar as causas raízes do gargalo identificado, serão aplicadas e avaliadas algumas ferramentas da

qualidade. O diagrama de causa e efeito exposto na Figura 6, aponta nove causas potenciais, sendo “Ausência de planejamento estratégico”, a causa raiz.

Figura 6 - Potenciais motivos para a ausência de estruturação gerencial.



Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Para assegurar a afirmação, e sugerir ações corretivas para o gargalo identificado, será aplicada, conforme aponta a Figura 7, a ferramenta da qualidade denominada 5 porquês.

Figura 7 - Identificação da causa raiz da ausência de estruturação gerencial.

PROBLEMA: AUSÊNCIA DE ESTRUTURAÇÃO EMPRESARIAL		Causa Raiz	Ação corretiva
POR QUE?	Porque a empresa não possui Procedimentos Operacionais Padrão	↓	Implementação de um planejamento estratégico para a empresa
POR QUE?	Porque a empresa não possui gerenciamento		
POR QUE?	Porque a empresa não possui planejamento estratégico		

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

A partir das ferramentas aplicadas, é possível constatar que a organização não possui planejamento estratégico, resultando como ação corretiva a implementação do mesmo para alavancagem da empresa.

Do

Nesta etapa, foi desenvolvida uma proposta de planejamento estratégico da empresa, traçando metas, objetivos e ações para atingimento das mesmas.

Posicionamento e propósito

Foi elaborada a matriz SWOT, como indica abaixo a Figura 8, a fim de identificar as forças e fraquezas (ambiente interno) e oportunidades e ameaças (ambiente externo) da organização.

Figura 8 – Análise SWOT da organização.

INTERNO	FORÇAS	FRAQUEZAS
	<ul style="list-style-type: none"> Localização estratégica; Qualidade nos serviços; Fidelização de clientes. 	<ul style="list-style-type: none"> Falta de gestão estratégica; Ausência de ferramentas de controle e qualidade; Falta de controle de dados; Falta de sistema de gerenciamento.
EXTERNO	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
	<ul style="list-style-type: none"> Mercado de terceirização em expansão; Expectativa de reaquecimento da economia. 	<ul style="list-style-type: none"> Concorrentes de grande porte; Falta de mão de obra qualificada disponível.

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Em seguida foi realizada uma revisão no Posicionamento e propósito da empresa (missão, visão e valores), pelo motivo de algumas diretrizes não serem seguidas. As novas diretrizes são apresentadas na Figura 9.

Figura 9 – Missão, visão e valores.

MISSÃO	"Criar soluções para os problemas na área de manutenção industrial dos nossos clientes, sempre priorizando qualidade, segurança e meio ambiente";
VISÃO	"Ser competitivo através da excelência nos nossos serviços, contribuindo para o aumento da produtividade, prestando um serviço que permita a valorização dos nossos clientes, tendo como base o respeito pelos colaboradores, sempre numa evolução e melhoria contínua"
VALORES	"Satisfação do cliente, qualidade no serviço, inovação nas soluções, compromisso, respeito ao meio ambiente, respeito a saúde e segurança dos colaboradores, cumprimento da legislação e transparência"

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Estabelecimento de objetivos, estratégias e metas

Objetivos são resultados que a empresa deseja alcançar, como afirmam Vasconcellos Filho e Pagnoncelli (2001). Dessa forma, os objetivos estratégicos iniciais foram definidos e a partir de então são criadas estratégias e metas de acordo com cada objetivo proposto, como aponta a Figura 10.

Figura 10 - Estratégias e metas de acordo com os objetivos estratégicos.

OBJETIVO 1	
Melhoria nas rotinas de trabalho da empresa	
ESTRATÉGIAS	METAS
Implantação do Gerenciamento de Rotina Dia-a-dia	Aplicação das ferramentas do GRD em até um ano
Adequação NR 12	Melhorar a estrutura física da empresa em até 2 anos
OBJETIVO 2	
Controle de dados e acompanhamento de indicadores de desempenho	
ESTRATÉGIAS	METAS
Criação de um sistema de gerenciamento	Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento em até seis meses
Criação de um dashboard com os indicadores para acompanhamento da empresa	Desenvolvimento de dashboard de indicadores em até seis meses

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Desenvolvimento (Matriz GUT e Plano de Ação)

Após a identificação dos objetivos, estratégias e metas, será aplicada a Matriz GUT. Sendo assim, através da Figura 11, será possível identificar quais estratégias serão priorizadas, e assim construir o plano de ação de acordo com o ranking das estratégias.

Figura 11 - Matriz GUT.

MATRIZ GUT					
ESTRATÉGIAS	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	%	RANKING
Implantação do Gerenciamento de Rotina Dia-a-dia	Muito grave	Prazo médio	Permanece	18%	4º
Adequação NR 12	Muito grave	Prazo médio	Permanece	18%	3º
Criação de um sistema de gerenciamento	Muito grave	Curto Prazo	Piora muito	40%	1º
Criação de um dashboard com os indicadores para acompanhamento da empresa	Grave	Curto Prazo	Aumenta	24%	2º

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

De acordo com o *Ranking*, a estratégia que deve ser priorizada é a “criação de um sistema de gerenciamento”. Como a matriz GUT é apenas um direcionamento, e não há obrigatoriedade em segui-la, as estratégias que serão priorizadas e acompanhadas de um plano de ação para alcançar os objetivos estratégicos são: Criação de um sistema de gerenciamento e implantação do gerenciamento de rotina-dia-a-dia.

A seguir, serão apresentados, na Figura 12, os Planos de Ação das estratégias apresentadas, a fim de direcionar ações aos níveis estratégicos, táticos e operacionais da empresa.

Figura 12 – Planos de ação.

PLANO DE AÇÃO			
OBJETIVO	Controle de dados e acompanhamento de indicadores de desempenho		
ESTRATÉGIA	Criação de um sistema de gerenciamento		
META	Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento em até seis meses		
5W2H	WHAT?	Criação de um sistema de gerenciamento	
	WHY?	Porque a empresa atualmente não utiliza nenhum sistema para gerenciamento e controle dos dados. Não há controle de estoque, as ordens de serviço são organizadas em armazenamento em nuvem. As propostas são impressas e acompanhadas pelo e-mail da empresa.	
	WHERE?	Nos computadores da empresa	
	WHEN?	Maior/2019 - Dezembro/2019	
	WHO?	Nilton de Jesus de Oliveira Junior (autor do projeto)	
	HOW?	AÇÃO 1	Capacitação para a criação do sistema
		AÇÃO 2	Criação do sistema de gerenciamento
		AÇÃO 3	Implantação do sistema na empresa
		AÇÃO 4	Verificar a eficiência do sistema. Ajustes, se necessário
		AÇÃO 5	Controlar os dados obtidos através do sistema
HOW MUCH?	R\$ 60,00		

PLANO DE AÇÃO	
OBJETIVO	Melhorias nas rotinas de trabalho da empresa
ESTRATÉGIA	Implantação do Gerenciamento de Rotina Dia-a-dia
META	Aplicação das ferramentas do GRD em até um ano
WHAT?	Implantação do Gerenciamento de Rotina Dia-a-dia
WHY?	Porque após questionários aplicados ao diretor da empresa e clientes, percebe-se a necessidade da padronização de alguns processos, o incentivo da cultura 5S, a busca pela melhoria contínua, etc.
WHERE?	Inicialmente na oficina e em áreas correlatas
WHEN?	Maior/2019 - Maio/2020
WHO?	Nível estratégico, tático e operacional
HOW?	AÇÃO 1 Incentivo da cultura 5S na empresa (placas sinalizadoras)
	AÇÃO 2 Padronização de processos
	AÇÃO 3 Kaizen (melhoria contínua)
HOW MUCH?	50 ADESIVOS (R\$60,00) + 2 BANNERS (R\$140,00) = R\$200,00

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Os planos se justificam porque as organizações que buscam se tornar mais competitivas, utilizam ao menos um sistema de gerenciamento de dados. Com isso é preciso que se estabeleça ferramentas para o controle das informações. Além disso, o gerenciamento da rotina do dia-a-dia traz benefícios à organização no que diz respeito a padronização de processo, melhor controle de qualidade e organização do ambiente de trabalho.

Check

Como trata-se de uma proposta de um plano estratégico, e não aplicação dele, a seguir são apresentadas as prospecções das estratégias sinalizadas na etapa anterior.

Estratégia 1: Criação de um sistema de gerenciamento

Com o intuito de controlar melhor o processo da empresa, foi então criado um sistema de gerenciamento operacional intitulado “SGO Rould”, um sistema feito exclusivamente para ela, com a finalidade de tornar as informações mais acessíveis e dinâmicas. Há diversas funções, tais quais:

- ✓ Exibição do cadastro de clientes
- ✓ Acompanhamento de equipamentos
- ✓ Registro de ordens de serviço
- ✓ Controle do estoque de peças e materiais da empresa
- ✓ Emissão de relatórios

O SGO, é um sistema ainda em fase de testes e ainda não foi utilizado no processo, porém, seus recursos já se mostram vantajosos, já que atende a diversas demandas identificadas com gargalos.

Durante a execução desse plano, o sistema poderá passar por aprimoramentos de forma que esteja em plena operação como os recursos necessários em breve, conforme foi estabelecido no plano de ação I.

Estratégia 2: Implantação do Gerenciamento de Rotina Dia-a-dia

A implantação do GRD na empresa está centrada em: Melhoria do ambiente de trabalho (5S) e padronização de processos e do trabalho.

Assim, os itens seguintes estão relacionamos a implantação do GRD na empresa. Além disso, para estabelecer o controle dos serviços realizados pela oficina (operacional)

Incentivo da cultura 5S na empresa

A melhoria do ambiente de trabalho é vista como extremamente necessário, dado as atuais condições nos setores produtivos (tanto oficina quanto usinagem e almoxarifado). O programa é o primeiro passo para a implantação do GRD e consta como parâmetro de qualidade dentro de programas de qualificação de fornecedores, o que destaca o caráter estratégico dessa ação.

De início, foram realizados registros da atual situação em que se encontra a empresa no quesito 5S. As imagens seguem abaixo na Figura 13.

Figura 13 - Registros fotográficos realizados durante auditoria do 5S.



Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Foi constatada a situação da oficina com relação ao programa, através da aplicação do Questionário II, a empresa obteve 37% de atendimento ao programa. Devido a isso foram passadas orientações para equipe quanto a importância em manter o ambiente em ordem.

Deverá ser agendado um dia para uma “arrumação” geral do galpão, o conhecido “Dia D” do 5S. Como pode ser visto nas imagens, há a necessidade em eliminar objetos e mantimentos desnecessários e/ou danificados; limpar e realocar os objetos ou mantimentos de pouca utilização; limpar e realocar objetos e equipamentos com o objetivo de facilitar o deslocamento e o fluxo de produção; verificar se não existe vazamento de água ou gás; verificar pontos de energia; limpar luminárias; lubrificar equipamentos necessários; limpar e demarcar o piso, as paredes e janelas; etiquetar recipientes armazenados e o que mais for necessário.

Deverão ser realizadas verificações semanais de auditoria de 5S seguindo o modelo do questionário. Dessa forma, haverá uma metodologia para inspeção e acompanhamento das metas definidas, reforçando assim a divulgação da nova cultura.

Outra mudança que ocorrerá em conjunto com a implantação do 5S, é a melhoria no layout da oficina da empresa. A mudança busca a melhoria nas movimentações e aumento da eficiência no processo e que será mostrada mais adiante.

Com pequenas ações, tem sido mostrado aos colaboradores a importância da manutenção de um ambiente de trabalho que cumpra com os critérios do programa. Como exemplo, foi realizada o inventário e organização de materiais da sala de apoio da oficina. Após a realização dessa intervenção, os materiais foram encontrados de maneira mais fácil e em menos tempo, já que estava catalogado por tipo e marca. Isso também tende a gerar uma economia para empresa, visto que agora existe uma lista organizada dos itens e o registro de controle de saída de materiais. Sendo somente uma amostra dos benefícios que serão obtidos com a implantação do programa 5S, além das outras vantagens, já listadas acima.

Modificação do layout

O planejamento da modificação do layout foi iniciado com a identificação das perdas do processo atual. foram elencados os tipos de perdas que têm

relação direta com o processo executado na oficina. Dessa forma, as perdas estão apresentadas na Figura 14.

Figura 14 – Identificação de perdas do processo.

Desperdício	Descrição
Espera	Por conta da localização do armário de materiais de pintura, o preparo da pintura é ineficiente levando mais tempo do que deveria. Devido à má localização dos suportes para as máquinas a passarem por reparo, há uma grande espera para abrir espaço para a passagem.
Transporte	Em decorrência da disposição física de equipamentos, áreas de circulação e armazenagem de utilitários, há uma dificuldade no transporte das máquinas.
Movimentação	O mal dimensionamento das estações de trabalho e a não demarcação de áreas de circulação, muitas vezes faz com que o colaborador realize movimentações excessivas ou desnecessárias.

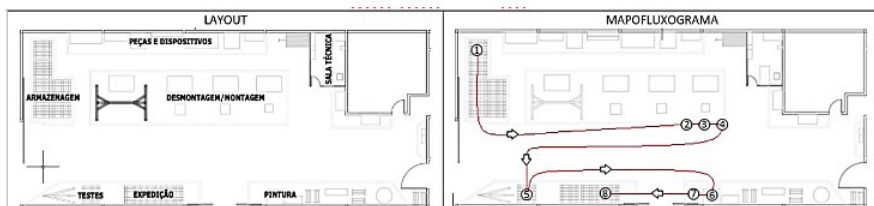
Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Em seguida foi proposto um novo layout, sendo do tipo posicional, que é utilizado atualmente. Esse tipo de arranjo físico é ideal para processos como o de reparo, já que permite atender a uma grande variedade de serviços sem a necessidade de haver uma movimentação excessiva do produto. Buscou-se criar um layout no qual as ferramentas, peças e dispositivos estivessem melhores organizados e dispostos da maneira mais acessível, levando em consideração as limitações de espaço. Essas mudanças garantirão a redução das movimentações e o fácil acesso aos utilitários.

Como resultado, tem-se também um novo fluxo do processo. Percebe-se que o fluxo permanece com as mesmas etapas, porém agora os setores passaram a estar mais próximos, havendo então área suficiente para operação e circulação. O fluxo foi facilitado, com espaço suficiente para circulação de peças e equipamentos tendo as estações de trabalho adequadamente dimensionadas. O colaborador passa a percorrer uma distância total de 56 metros. Uma significativa redução na ordem de 32% da distância anterior, de 82 metros.

O novo layout e o mapofluxograma são apresentados na Figura 15.

Figura 15 – Layout e o mapofluxograma.



Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Com a implantação do *layout* proposto, diversos benefícios podem ser obtidos, com a eliminação ou minimização de alguns tipos de perdas e melhor organização dos centros de trabalho, entre outros. A Figura 16 traz a síntese das melhorias obtidas na oficina.

Figura 16 – Identificação de benefícios.

Setor	Benefícios
Armazenagem	O setor passa a ter mais opções de acesso, facilitando assim as movimentações das máquinas.
Montagem/Desmontagem	Esse setor obteve ganhos já que agora possui uma demarcação da área de trabalho, o que permite uma melhor organização e transporte mais eficiente.
Peças e Dispositivos	Com as mudanças e demarcações os armários, painéis e prateleiras passam a estar dispostos de forma mais organizada e acessível.
Testes	Nesse setor, não houve mudanças no layout.
Pintura	Com a mudança do local do armário de materiais para pintura, tem-se uma diminuição considerável de deslocamento do colaborador.
Expedição	Nesse setor, não houve mudanças no layout.

Fonte: Junior, N.J.O. e Silva, E.A. (2020).

Padronização

Uma etapa importante, na implantação do GRD, é a de padronização dos processos. A padronização foi iniciada com o mapeamento do processo e a elaboração do atual fluxograma.

Nesse caso, como trata-se de uma empresa que tem como carro-chefe a realização de serviços de manutenção corretiva, têm-se uma grande variabilidade nos processos. Cada serviço de reparo terá suas peculiaridades, assim como cada máquina que passará por reparos. Ainda assim, é possível desenvolver métodos que possam abranger uma gama maior de equipamentos.

Como afirma Campos (2004), a padronização deve começar com processos críticos da organização. Como já foi identificado, a maioria dos serviços de manutenção são em bombas centrífugas. Dessa forma, este foi o processo priorizado no quesito padronização. Portanto, foi elaborado o procedimento denominado “POP-BC-01”, que deverá ainda ser apresentado aos colaboradores em capacitações da equipe, para garantir a execução adequada do mesmo.

Conclusão

Com base no que foi apresentado, foi possível observar a eficácia da metodologia PDCA para esse estudo. As etapas seguiram de forma

ordenada, possibilitando a análise criteriosa da situação atual da empresa, o estabelecimento de ações corretivas na forma de um planejamento estratégico e a verificação do andamento dos planos de ação elaborados.

Na análise do contexto da empresa, foi possível verificar a necessidade expressa em implementar melhorias na estrutura física, no controle de processos e rotinas e na adequação a normas de segurança. A empresa possui resultados financeiros instáveis e, para consolidar seu crescimento, precisa se estabelecer como referência no seu ramo de atuação, sendo essas mudanças indispensáveis para tal. Além disso, a empresa deve fortalecer as parcerias com os clientes atuais, que também anseiam pelo aperfeiçoamento da gestão da empresa.

Por isso, a proposta de planejamento estratégico propõe objetivos relacionados a implantação de um sistema de gestão de informações, a implantação do gerenciamento da rotina no dia-a-dia. Sendo divididos em planos de ação, esses progressos a nível de controle, produtividade e segurança são as bases para a alavancagem da organização frente ao mercado.

O gestor responsável por essas ações deve ter em mente que serão mudanças culturais e que deverá estabelecer estratégias junta a diretoria e também aos colaboradores, para engajar a todos nas execuções a fim de minimizar a resistência à mudança, tão comum em programas como esse.

As ações voltadas a adequação às normas de segurança, como a NR-12 e também o estabelecimento de uma cultura de melhoria contínua devem ser os passos seguintes a este plano de ação. A partir disso surgem novas perspectivas de futuro para a empresa. Os objetivos a serem definidos do futuro devem visar a longo prazo maior presença com um setor de marketing atuante, a implantação de um sistema de gestão da qualidade, como a ISO:9001 que garantiria uma certificação importante visando a conquista de novos consumidores, a criação de um setor de vendas para prospectar clientes de maneira mais ativa e o investimento em ampliações na organização com um todo, a expansão do seu portfólio de serviços.

Referências

Associação Brasileira de Manutenção - ABRAMAN. **Documento Nacional da Manutenção 2013**. Salvador, 2013.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8. ed. Nova Lima/MG: INDC, 2004.

DEMING, W.E. **Elementary Principles of the Statistical Control of Quality**. JUSE. Nippon Kagaku Gijutsu Remmei. 1950.

IMAI, M. Kaizen: **The Key To Japan's Competitive Success**. New York: McGraw-Hill. 1986.

VASCONCELLOS FILHO, Paulo de.; PAGNONCELLI, Dernizo. **Construindo estratégias para vencer**: um método prático, objetivo e testado para o sucesso de sua empresa. 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de Caso**: planejamento e métodos. São Paulo: Brookman. 3ª edição, 2005;

Plano de adequação à NR-12 numa empresa agroalimentícia

Sillas Souza Oliveira
Edilberto Andrade Silva

Introdução

Estima-se que cerca de 17% dos 221.843 acidentes ocorridos entre os anos de 2011 e 2013, foram causados no trabalho com máquinas e equipamentos tendo como resultado lesões leves, fraturas e até mesmo amputações e óbitos. Além do prejuízo relacionado à saúde, levanta-se também prejuízos materiais relacionados aos tratamentos médicos ou psicológicos, comum em casos de lesões graves e amputações (SILVA *et al.*, 2017).

Segundo Corrêa (2011) e Ciesielski (2013), as três principais causas de acidentes de trabalho com máquinas e equipamentos são: 1) a falta de prevenção na fase de projeto; 2) a má condição de uso, manutenção e afins; e 3) a falta de capacitação do operador. Na fase de projeto, a prevenção de acidentes em máquinas e equipamento é responsabilidade do fabricante, por outro lado, na fase de utilização, as condições de uso e treinamento dos operadores são obrigações delegadas aos empregadores.

O trabalho apresentado nesse capítulo foi realizado em 2018 numa indústria agroalimentícia no estado da Bahia com o objetivo de atender a legislação vigente como política de boas práticas de prevenção de acidentes na operação e manutenção de máquinas e equipamentos, com a elaboração de um plano de adequação à NR-12 publicada pela portaria MTb nº 326/2018.

Segundo a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) no Capítulo V, Seção I, Art. 157 as empresas têm por obrigação cumprir e fazer cumprir as normas de segurança e medicina do trabalho. Ainda no Capítulo V na Seção XI estabelece que:

Art.184 As máquinas e os equipamentos deverão ser dotados de dispositivos de partida e parada e outros que se fizerem necessários para a prevenção de acidentes do trabalho, especialmente quanto ao risco de acionamento acidental.

Parágrafo único. É proibida a fabricação, a importação, a venda, a locação e o uso de máquinas e equipamentos que não atendam ao disposto neste artigo.

Art.185 Os reparos, limpeza e ajustes somente poderão ser executados com as máquinas paradas, salvo se o movimento for indispensável à realização do ajuste.

Art.186 O Ministério do Trabalho estabelecerá normas adicionais sobre proteção e medidas de segurança na operação de máquinas e equipamentos, especialmente quanto à proteção das partes móveis, distância entre estas, vias de acesso às máquinas e equipamentos de grandes dimensões, emprego de ferramentas, sua adequação e medidas de proteção exigidas quando motorizadas ou elétricas.

Além destas referências técnicas (Art. 184 e 186), requisitos (Art. 184 Parágrafo Único) e instruções de medida administrativa (Art. 185) definidas já definidas pela CLT, o então Ministério do Trabalho e Emprego, no ano de 1978, publica a norma regulamentadora nº 12 com objetivo de regulamentar os artigos citados anteriormente.

Publicada através da Portaria 3.214/1978, a NR-12 traz como objetivo garantir a saúde e integridade física dos trabalhadores por meio de referências técnicas, princípios fundamentais, medidas de proteção e determina requisitos mínimos para prevenção de acidentes e doenças do trabalho durante toda vida útil das máquinas e equipamentos.

A NR-12 traz em seu corpo principal 19 tópicos com princípios de segurança em máquinas e equipamentos em geral, onde estão listados os tópicos do corpo principal da NR-12 com seus respectivos capítulos e páginas.

Após o corpo principal, estão listados seus 12 anexos. Destaca-se os Anexos I, III e IV, classificados como anexos de apoio à itens ou tópicos específicos da norma, o Anexo II, que define conteúdo programático para capacitação de operadores de máquinas e equipamentos, e o Anexo XI, que aborda sobre as proteções e dispositivos de segurança para máquinas e implementos para uso agrícola e florestal.

Segundo Del Vecchio (2011), as dificuldades de implantação da NR-12 no Brasil são:

- ✓ Alto custo de adequação tornando impraticável a adequação de máquinas de pequeno porte;
- ✓ Necessidade de assessoria especializada para adequação de máquinas complexas e plantas de produção;
- ✓ Provável redução na produtividade de máquinas usadas protegidas,
- ✓ Falta de profissionais especializados em adequação de máquinas;
- ✓ Incerteza de possíveis alterações futuras da norma.

Método

A revisão bibliográfica iniciou-se com o estudo sobre acidentes de trabalho incluindo acidentes provocados durante o trabalho com máquinas e equipamentos na literatura nacional e nos dados estatísticos federais. Também foram estudadas as leis do trabalho vigentes que regulam as relações trabalhistas entre empregador, empregados e órgãos fiscalizatórios da saúde e segurança ocupacional.

Posteriormente, foi realizado estudo sobre riscos, mais especificamente os riscos associados às máquinas e equipamentos. Em sequência, foi realizada uma revisão geral da NR-12 e sua revisão posterior do corpo principal, juntamente com os anexos I, III, IV e X, além de outras normativas pertinentes ao assunto como a NBR 213-1:2000, NBR 14009:1997 E ISO/TR 14121-2:2007.

Tabela 1 – Sumário NR-12.

Nº	TÓPICOS	CAPÍTULOS	PÁGINAS
1º	Princípios Gerais	12.1 ao 12.5.1	1 a 2
2º	Arranjo físico e instalações	12.6 ao 12.13.1	2 a 3
3º	Instalações e dispositivos elétricos	12.14 ao 12.23	3 a 4
4º	Dispositivos de partida, acionamento e parada	12.24 ao 12.37.1	4 a 6
5º	Sistemas de segurança	12.38 ao 12.55.1	6 a 9
6º	Dispositivos de parada de emergência	12.56 ao 12.63.1	9 a 10
7º	Meios de acesso permanentes	12.64 ao 12.76.1 b)	10 a 12
8º	Componentes pressurizados	12.77 ao 12.84	12 a 13
9º	Transportadores de materiais	12.85 ao 12.93.3	13 a 14
10º	Aspectos ergonômicos	12.94 ao 12.105	14 a 15
11º	Riscos adicionais	12.106 ao 12.110	15 a 16
12º	Manutenção, inspeção, preparação, ajuste, reparo e limpeza	12.111 ao 12.115	16 a 17
13º	Sinalização	12.116 ao 12.124.1	17 a 18
14º	Manuais	12.125 ao 12.129.1	18 a 19
15º	Procedimentos de trabalho e segurança	12.130 ao 12.132.2	19 a 20
16º	Projeto, fabricação, importação, venda, locação, leilão, cessão a qualquer título e exposição	12.133 ao 12.134	20
17º	Capacitação	12.135 ao 12.147.2	20 a 22
18º	Outros requisitos específicos de segurança	12.148 ao 12.152.1	22
19º	Dispositivos finais	12.153 ao 12.156	22 a 23

Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

Para realização deste trabalho, foram realizadas três visitas técnicas. A primeira visita teve como objetivo de realizar o levantamento do inventário das máquinas e equipamentos da área agrícola bem como dos prováveis riscos que eles ofereciam. Na segunda visita, o foco do trabalho foram as máquinas e equipamentos da área industrial, seguindo a mesma rotina na visita anterior.

Todas as visitas foram realizadas sob supervisão de parte da equipe do SESMT (Serviços Especializados em Engenharia de Segurança), engenheira de segurança e técnicos de segurança, respectivamente, além de responsáveis pela área agrícola e industrial e alguns operadores das máquinas e equipamentos. Esta interação foi essencial para realização deste trabalho pois só assim os riscos e seus respectivos meios de controles associados a operação e manutenção dos ativos foram identificados e avaliados sob diferentes perspectivas.

Foi necessário realizar o registro fotográfico das máquinas e equipamentos avaliados para permitir a análise, indicação visual dos riscos identificados e a provável disposição das proteções necessárias, definidas, projetadas e incluídas nas fichas de adequações. O projetista da equipe elaborou croquis com detalhamento das proteções das áreas de riscos das máquinas e equipamentos juntamente com medições para permitir a construção dos projetos mecânicos das proteções recomendadas.

A terceira e última visita foi para apresentação e discussão do projeto juntamente com o plano de adequação para a equipe do SESMT e os gestores das áreas agrícola e industrial.

Para elaboração do plano de adequação das proteções, a primeira etapa foi a coleta de dados da empresa e a definição do objetivo do plano como o apontamento de melhorias nas condições de trabalho através da adequação dos riscos de máquinas e equipamentos, principalmente de ordem mecânica, conforme prevê a NR-12.

No plano de adequação, foi possível elencar toda base técnica e legal aplicável às máquinas e equipamentos analisados e aos riscos encontrados. Desta maneira foi possível tornar o plano muito fundamentado.

Foi desenvolvida a ferramenta “Ficha Técnica de Adequação” para catalogar as máquinas e equipamentos, identificar visualmente os riscos encontrados, evidenciar os itens de norma aplicáveis e apontar as medidas de adequação. O modelo desta ferramenta pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Ficha Técnica de Adequação.

LOGOMARCA	FICHA TÉCNICA DE ADEQUAÇÃO				LOGOMARCA
MÁQUINA / EQUIPAMENTO	FICHA		SETOR		
Fotos	MARCA	QUANT.	ANO DE FAB.	CAPACIDADE	ORIGEM
	Análise dos Riscos				
	Descrição dos riscos identificados nas fotos com os itens de norma referentes				
	Medidas de Adequação				
	Detalhamento das ações necessárias para adequação dos riscos identificados nas fotos com especificações ou indicações de projeto				

Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

Resultados e discussão

No total, foram avaliados 36 máquinas e equipamentos, tanto na área agrícola quanto na área industrial. Um dos equipamentos avaliados na área agrícola foi a plantadeira de 4 linhas onde foram encontradas 3 não conformidades, 2 referentes ao acesso a partes móveis (A e C) e 1 referente ao meio de acesso (B). As não conformidades A e C promovem o risco de enrolamento, agarramento, puxamento, esmagamento e seccionamento dos membros devido a possibilidade de contato com a zona de perigo, Anexo XI item 6.6 da NR-12. Já a não conformidade B promove um acesso inadequado, Anexo XI item 15 da NR-12. As medidas de adequação são: a) Para os itens A e C, instalação de proteção nas zonas de perigo impedindo o acesso à zona de perigo; b) Para o item B, adequação do meio de acesso, conforme Figura 2.

Figura 2 – Ficha de adequação para Plantadeira de 4 linhas.

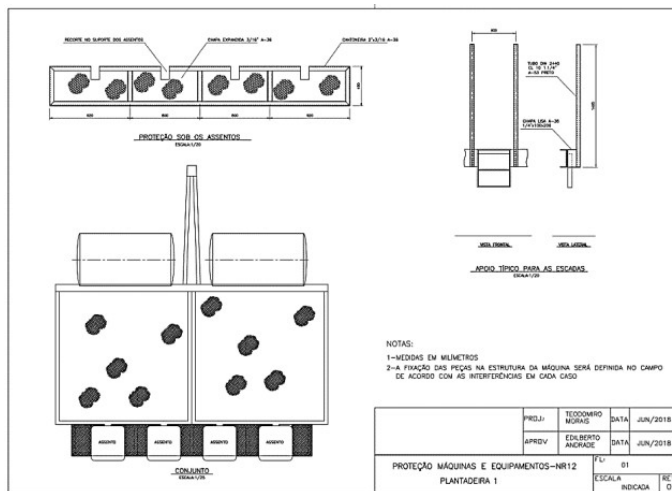
LOGOMARCA	FICHAS TÉCNICAS DE ADEQUAÇÃO				LOGOMARCA	
MÁQ. / EQUIP. – Plantadeira de 4 linhas	FICHA 01		SETOR – AGRÍCOLA			
	TIPO	MARCA	QTD	ANO DE FAB.	CAPACIDADE	ORIGEM
Análise dos Riscos						
<p>A e C - Risco de enrolamento, agarramento, puxamento, esmagamento e sectionamento dos membros devido a possibilidade de contato com a zona de perigo. Anexo XI item 6.6</p> <p>B– Acesso inadequado. Anexo XI item 15</p>						
Medidas de Adequação						
<p>A e C -Instalar proteção dos assentos(A) e engrenagens/corrente(B), impedindo o acesso à zona de perigo conforme figura:</p>						
PARTE DO CORPO	ILUSTRAÇÃO	ABERTURA (e)	DISTÂNCIA DE SEGURANÇA (ds)			
			FENDA	QUADRADO	CIRCULAR	
Ponta do dedo		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2	
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5	
B- Adequar meio de acesso conforme figura:						

Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

Para adequação da plantadeira de 4 linhas, foi desenvolvido o seguinte projeto: a) Para as partes móveis (A e C), foram projetadas proteções para as

partes móveis obedecendo as recomendações da NR-12 presente também na da ficha técnica de adequação; b) Para o acesso inadequado (B), foi projetado o acesso com corrimão obedecendo as recomendações da NR-12 presente também na ficha técnica de adequação. O projeto citado pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Projeto de adequação para Plantadeira de 4 linhas.



Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

Os itens de norma utilizados por não conformidades da área agrícola foram:

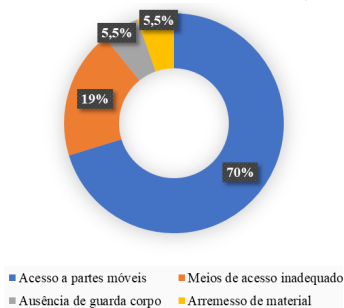
- ✓ Acesso a partes móveis: Item 12.85 e Anexo XI itens 6, 6.6, 6.7;
- ✓ Meios de acesso inadequado: Anexo XI itens 15 e 15.2;
- ✓ Ausência de guarda corpo: Anexo XI item 15.2;
- ✓ Arremesso de material: Anexo XI item 6.8.1.

No universo de 15 máquinas e equipamentos da área agrícola, foram identificadas 37 não conformidades, 26 referem-se a acesso a partes móveis, 7 referem-se a meio de acesso inadequado, 2 referem-se a ausência de guarda corpo e 2 referem-se a arremesso de material. Podemos avaliar a distribuição das não conformidades através do Gráfico 1.

Duas plantadeiras apresentavam acesso a partes móveis na parte frontal do equipamento como mostra a Figura 4. No entanto, a NR-12 no Quadro II do Anexo XI, exclui a obrigatoriedade de proteção para plantadeiras tracionadas

onde as “transmissões de força acionadas somente quando a máquina ou implemento estiver em movimento de deslocamento, exceto às faces laterais”.

Gráfico 1 – Não conformidades – Área Agrícola.



Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

Figura 4 – Exclusões.



Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

Um dos equipamentos avaliados na área industrial foi o Filtro à vácuo onde foram encontradas 4 não conformidades, 2 referentes ao acesso a partes móveis (A e D), 1 referente a superfícies aquecidas (B) e 1 referente a piso inseguro (C). As não conformidades A e D promovem risco de enrolamento, agarramento, puxamento, esmagamento e seccionamento dos membros superiores devido a possibilidade de contato com a zona de perigo conforme item 12.47 da NR-12. A não conformidade B promove risco de queimaduras conforme item 12.38 da NR-12, e a não conformidade C promove risco de queda conforme item 12.64 da NR-12. A ficha de adequação para o filtro à vácuo é mostrada na Figura 5.

Figura 5 – Ficha Técnica de Adequação do Filtro à vácuo.

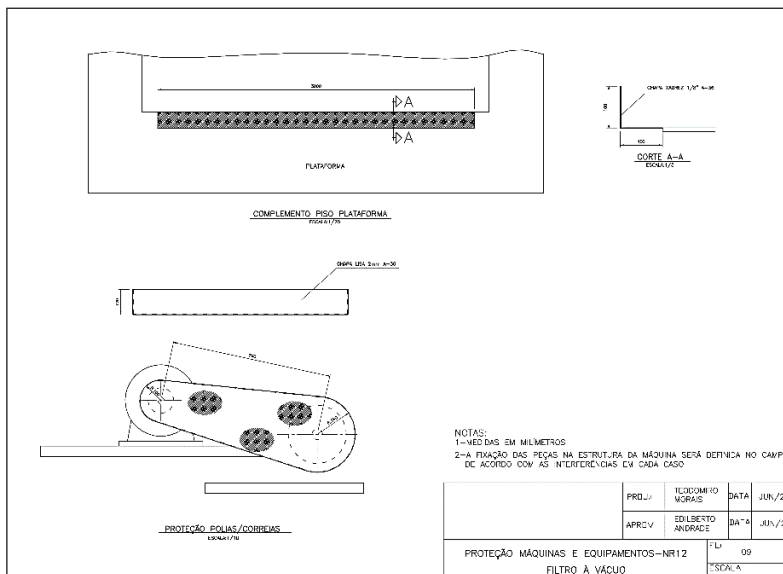
LOGOMARCA	FICHAS TÉCNICAS DE ADEQUAÇÃO					LOGOMARCA																			
MÁQ./EQUIP.– FILTRO À VÁCUO     D	FICHA 10		SETOR – MODIFICADO																						
	TIPO	MARCA	QTD	ANO DE FAB.	CAPACIDADE	ORIGEM																			
Análise dos Riscos																									
A e D – Risco de enrolamento, agarramento, puxamento, esmagamento e secionamento dos membros superiores devido a possibilidade de contato com a zona de perigo. Item 12.47																									
B – Risco de queimaduras. Item 12.38																									
C – Risco de queda. Item 12.64																									
Medidas de Adequação																									
A – Instalar proteções polias/correias conforme detalhe típico.																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">PARTE DO CORPO</th> <th rowspan="2">ILUSTRAÇÃO</th> <th rowspan="2">ABERTURA (e)</th> <th colspan="3">DISTÂNCIA DE SEGURANÇA (ds)</th> </tr> <tr> <th>FENDA</th> <th>QUADRADO</th> <th>CIRCULAR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Ponta do dedo</td> <td rowspan="2">  </td> <td>$e \leq 4$</td> <td>≥ 2</td> <td>≥ 2</td> <td>≥ 2</td> </tr> <tr> <td>$4 < e \leq 6$</td> <td>≥ 10</td> <td>≥ 5</td> <td>≥ 5</td> </tr> </tbody> </table>							PARTE DO CORPO	ILUSTRAÇÃO	ABERTURA (e)	DISTÂNCIA DE SEGURANÇA (ds)			FENDA	QUADRADO	CIRCULAR	Ponta do dedo		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2	$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
PARTE DO CORPO	ILUSTRAÇÃO	ABERTURA (e)	DISTÂNCIA DE SEGURANÇA (ds)																						
			FENDA	QUADRADO	CIRCULAR																				
Ponta do dedo		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2																				
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5																				
B – Instalar isolamento térmico trecho duto do secador conforme indicado.																									
C – Prolongar piso na lateral da máquina conforme projeto.																									
D - Manter instalada tampa (modulada) de acesso a rosca de descarga.																									

Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

Para adequação do Filtro à vácuo, foi criado o seguinte projeto: a) Para as partes móveis (A) foi projetada proteção para partes móveis obedecendo as recomendações da NR-12 presente também na ficha de adequação; b) Para o piso irregular (C) foi projetado um complemento para a plataforma tornando-o seguro; c) Para a superfície aquecida, foi recomendada na ficha técnica de adequação, o revestimento da tubulação com material isolante; d) Para as partes móveis (D)

foi recomendada na ficha técnica de adequação que a proteção permanecesse instalada, visto que já havia a proteção para essa região do equipamento. O projeto para o filtro a vácuo pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Projeto de adequação para Filtro à vácuo.



Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A., (2018).

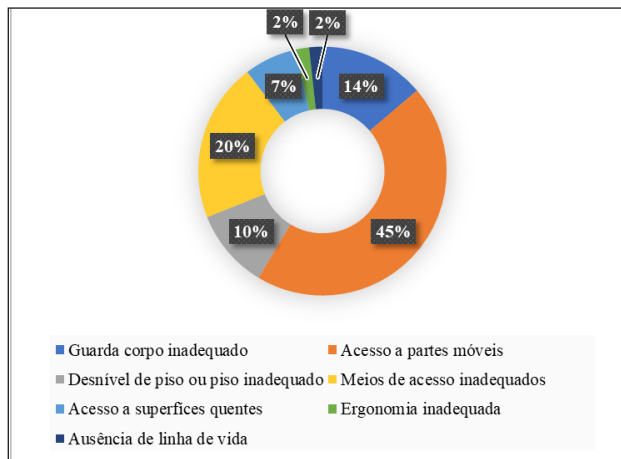
Os itens de norma utilizados por não conformidades da área industrial foram:

- ✓ Guarda corpo inadequado: Itens 12.64; 12.70 c); 12.72 e Anexo XI 6.11;
- ✓ Acesso a partes móveis: Itens 12.38; 12.47; 12.47.1; 12.70 c); 12.85;
- ✓ Diferença de nível ou piso inadequado: Item 12.9 c);
- ✓ Meios de acesso inadequados: Itens 12.38; 12.47; 12.47.1; 12.64; 12.69.1; 12.70; 12.70 c); 12.76 c); 12.76 c); 12.76 d); 12.76 i); 12.85 e 12.86.1;
- ✓ Acesso a superfícies quentes: Item 12.019;
- ✓ Ergonomia inadequada: Item 12.94 b);
- ✓ Ausência de linha de vida: Item 12.90.2.

No total de 21 máquinas e equipamentos da área industrial, foram identificadas 58 não conformidades, 26 referem-se a acesso a partes móveis, 12 referem-se a meios de acesso inadequados, 8 referem-se a guarda corpo

inadequado, 6 referem-se a piso inadequado, 1 refere-se a ergonomia inadequada e 1 refere-se a ausência de linha de vida. Podemos avaliar a distribuição das não conformidades através do Gráfico 2.

Gráfico 2 – Não conformidades – Área Industrial.



Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A. (2018).

Após identificação das não conformidades e elaboração dos projetos para adequação, foi criado o cronograma para correção das irregularidades. Para isso, foram listadas todas as máquinas e equipamentos com suas respectivas não conformidades e foi estipulado um prazo com base no grau de risco inerente a cada não conformidade.

Para definição do prazo limite do cronograma de ação, foi adotado o período de 12 meses tomando como base a Instrução Normativa Nº 129, de 11 de janeiro de 2017, que define que após a emissão de um Termo de Notificação realizado pelo Auditor Fiscal do Trabalho, é fixado um prazo de até 12 meses para correção das irregularidades. Vale destacar que a empresa em questão não fora notificada, portanto o prazo de 12 meses foi adotado por se mostrar como uma boa prática de planejamento para o caso em questão. O grau de criticidade e, portanto, a prioridade das ações foi definida pelo corpo técnico de segurança do trabalho da empresa, de acordo com histórico de acidentes/incidentes. Parte do cronograma para adequação das máquinas e equipamentos da área agrícola pode ser visualizado na Quadro 1.

Quadro 1 – Cronograma – Área Agrícola.

MÁQUINA/EQUIPAMENTO	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Plantadeira de 4 linhas												
Instalar proteção abaixo dos assentos.	X											
Instalar proteção no conjunto engrenagens/correntes												
Adequar escadas de acesso com apoio		X										
Plantadeira de 2 linhas												
Instalar proteção no conjunto engrenagem/corrente na plataforma.		X										
Cultivador C.A.H. L5												
Adequar proteção dos conjuntos cadâs/engrenagens ao longo da máquina.			X									
Adequar proteção do conjunto engrenagem/corrente.			X									
Instalar tela interna nos silos				X								
Roçadeira RP 1500												
Instalar proteção do conjunto cruzeta/cardã/polia/correias	X											
Instalar proteção da hélice		X										
Distribuidor de Calcário Lancer 5000												
Instalar proteção do conjunto cruzeta/cardã			X									
Instalar proteção na parte frontal da esteira transportadora.			X									
Instalar proteção do conjunto secundário cruzeta/cardã				X								
Adequar proteção do conjunto engrenagens/correntes												
Pulverizador Natali												
Adequar guarda-corpo ao longo da plataforma e ampliar degrau da escada				X								
Instalar proteção do conjunto cruzeta/cardã			X									

Fonte: Oliveira, S. S. e Silva, E. A. (2018).

Conclusão

O plano de adequação se mostrou uma ferramenta essencial para atendimento à NR-12 e, portanto, para a prevenção de acidentes no trabalho, pois, lista de maneira clara e objetiva os riscos presentes, os itens de norma referentes aos riscos encontrados, as medidas corretivas necessárias, os projetos dos sistemas de proteção e direciona o processo de adequação através do cronograma.

Foi notória a complexidade e especificidade das máquinas e implementos agrícolas principalmente pela sua variedade e pelos mecanismos utilizados, por isso justifica-se um anexo exclusivo na NR-12.

Analisando todas não conformidades, foram encontradas 52 referentes ao acesso a partes móveis, 19 referentes aos meios de acesso, 10 referentes a guarda corpo, 6 referentes ao piso, 4 referentes ao acesso a superfícies quentes, 1 referente a ergonomia e 1 referente a linha de vida.

Para a área agrícola, destaca-se o acesso a partes móveis como a não conformidades de maior representação, com 70% dos casos, de igual modo para área industrial, porém com 45% dos casos.

Espera-se que a execução do plano de adequação se consolide como boa prática na prevenção de acidentes tendo como principal resultado o trabalho seguro, e conseqüentemente a redução de perdas por paradas em decorrência de acidentes/incidentes.

Referências

CIESIELSKI, J. V. R. **Aplicação da NR-12 em empresas de pequeno porte para prensar blocos e tijolos ecológicos**. Curitiba: UTFPR, 2013.

CORRÊA, M. U. **Sistematização e aplicações da nr-12 na segurança em máquinas e equipamentos**. Injuí: UNIJUÍ, 2011.

DEL VECCHIO, M. **NR12 – Sem mistérios**. São Paulo: CIESP, 2011.

BRASIL. **NR-12 – Segurança no trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2018.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil: **texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo nº 186/2008**. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016.

SILVA, A. M. L. B. *et al.* **Análise de políticas públicas para redução de acidentes de trabalho relacionados ao uso de máquinas e equipamentos**. Joinville: ENEGEP, 2017.

Sobre os autores

Abdon Tapia Tadeo

Professor Doutor. CETEC/UFRB.

Email: abdon@ufrb.edu.br

Altino Araújo Soares Neto

Bacharel em Engenharia Mecânica, CETEC/UFRB.

Email: neto.soares1994@gmail.com

Ana Hellen Carvalho dos Santos

Bacharela em Engenharia Mecânica, CETEC/UFRB.

Email: anahellencarvalho@ieee.org

Caique Solon Lima Alves dos Santos

Bacharel em Engenharia Mecânica, CETEC/UFRB.

Email: caiquemiro@hotmail.com

Dannywill Medeiros dos Santos

Bacharel em Engenharia Mecânica, CETEC/UFRB.

Email: dannywill1991@gmail.com

Douglas Jamson Pereira da Silva

Bacharel em Engenharia Mecânica. CETEC/UFRB.

Email: douglas_jamson@yahoo.com.br

Edilberto Andrade Silva

Professor Especialista, CETEC, UFRB.

Email: edilberto.as@ufrb.edu.br

Felipe Andrade Torres

Professor Doutor. CETEC/UFRB.

Email: ftorres@ufrb.edu.br

Gabriel Oliveira Fiuza

Bacharel em Engenharia Mecânica. CETEC/UFRB.

Email: gabrielfiuza94@gmail.com

Gabriela Soares Santos

Bacharela em Engenharia Mecânica, CETEC/UFRB.

Email: gabriela_soares_santos@hotmail.com

Gilmar Emanuel Silva de Oliveira

Professor Mestre. CETEC/UFRB.

Email: gilmaremanoel@ufrb.edu.br

Ivanoe João Rodowanski

Professor Doutor. CETEC/UFRB.

Email: ivanoeh@gmail.com

Jania Betania Alves da Silva

Professora Doutora. CETEC/UFRB.

Email: janiabetania@ufrb.edu.br

Jose Antônio da Silva Junior

Bacharel em Engenharia Mecânica, CETEC/UFRB.

Email: j.antoniosilva.junior@hotmail.com

Lucas Guimarães Cardoso

Pesquisador. Faculdade de Farmácia UFBA.

Email: lucaseng.pesca@yahoo.com.br

Lucas Rocha Melo

Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas. CETEC/UFRB.

Email: eng.rochamelo@gmail.com

Nilton de Jesus de Oliveira Júnior

Bacharel em Engenharia Mecânica. CETEC/UFRB.

Email: engniltonoliveira@gmail.com

Paulo Vitor dos Santos Pereira

Bacharel em Engenharia Mecânica, CETEC/UFRB.

Email: victor-188@hotmail.com

Sillas Souza Oliveira

Bacharel em Engenharia Mecânica. CETEC/UFRB.

Email: eng.sillas@outlook.com

Tamiles Emily Nascimento Matos

Bacharela em Engenharia Mecânica. CETEC/UFRB.

Email: tam_matos@hotmail.com

Tatiane dos Santos Ferreira

Bacharela em Engenharia Mecânica. CETEC/UFRB.

Email: tateferreira@ymail.com

Vanio Vicente Santos De Souza

Professor Mestre. CETEC/UFRB.

Email: vaniovss@ufrb.edu.br

Viviane dos Santos Pedreira

Bacharela em Ciências Exatas e Tecnológicas, CETEC/UFRB.

Email: vivi.santos08@hotmail.com

Yan Andrade Neves

Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas. CETEC/UFRB.

Email: yan.andrade@hotmail.com.br

Esta obra reúne uma seleção de trabalhos acadêmicos realizados por estudantes do Bacharelado em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, orientados por docentes da Área de conhecimento Sistemas Mecânicos do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CETEC. Por conta da diversidade de conhecimento da engenharia mecânica, esta obra traz os resultados de estudos em diversas áreas, dentre as quais se destacam: o projeto de máquinas e equipamentos, a tecnologias de materiais, aerodinâmica, biomimética, gestão e a manutenção de equipamentos mecânicos.

ISBN: 978-65-88622-31-5



9 786588 622315 >



Editora UFRB