

Tecnologias e desafios na Engenharia

Volume 1 - 2022

Organizadores

Fábio Martins

Laércio Javarez Junior

Rodrigo Lupinacci Villanova



casaletras

Fábio Martins
Laércio Javarez Junior
Rodrigo Lupinacci Villanova

organizadores

TECNOLOGIAS E DESAFIOS NA ENGENHARIA

VOL. 1 - 2022



casaletras

Porto Alegre
2022

Copyright ©2022 dos organizadores.

Os dados e conceitos emitidos nos trabalhos, bem como a exatidão das referências bibliográficas, são de inteira responsabilidade dos autores.



LICENCIADA POR UMA LICENÇA CREATIVE COMMONS

Atribuição - Não Comercial - Sem Derivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)

Você é livre para:

Compartilhar - copie e redistribua o material em qualquer meio ou formato. O licenciante não pode revogar essas liberdades desde que você siga os termos da licença.

Atribuição - Você deve dar o crédito apropriado, fornecer um link para a licença e indicar se foram feitas alterações. Você pode fazê-lo de qualquer maneira razoável, mas não de maneira que sugira que o licenciante endossa você ou seu uso.

Não Comercial - Você não pode usar o material para fins comerciais.

Não-derivadas - Se você remixar, transformar ou desenvolver o material, não poderá distribuir o material modificado.

Sem restrições adicionais - Você não pode aplicar termos legais ou medidas tecnológicas que restrinjam legalmente outras pessoas a fazer o que a licença permitir.

Este é um resumo da licença atribuída. Os termos da licença jurídica integral estão disponíveis em:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Expediente:

Projeto gráfico e diagramação:
Casalettras

Capa:
Fábio Martins, Laércio Javarez Junior, Rodrigo Lupinacci Villanova

Editor:
Marcelo França de Oliveira

Conselho Editorial

Prof. Dr. Amurabi Oliveira (UFSC)
Prof. Dr. Aristeu Elisandro Lopes (UFPEL)
Prof. Dr. Elio Flores (UFPB)
Prof. Dr. Fábio Augusto Steyer (UEPG)
Prof. Dr. Francisco das Neves Alves (FURG)
Prof. Dr. Jonas Moreira Vargas (UFPEL)
Profª Drª Maria Eunice Moreira (PUCRS)
Prof. Dr. Moacyr Flores (IHGRGS)
Prof. Dr. Luiz Henrique Torres (FURG)

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T227 Tecnologias e desafios na Engenharia - Volume 1 / Fábio Martins, Laércio Javarez Junior, Rodrigo Lupinacci Villanova (Orgs.). [Recurso eletrônico]
Porto Alegre: Casalettras, 2022.

150 p.
Bibliografia
ISBN: 978-65-86625-63-9

1. Engenharia mecânica - 2. Tecnologia - 3. Inovação - I. Martins, Fabio - II. Javarez Junior, Laércio - III. Villanova, Rodrigo Lupinacci - IV. Título

CDU:620

CDD:620(621)



EDITORA CASALETRAS
R. Gen. Lima e Silva, 881/304 - Cidade Baixa
Porto Alegre - RS - Brasil CEP 90050-103
+55 51 3013-1407 - contato@casalettras.com
www.casalettras.com

APRESENTAÇÃO

A engenharia é uma ciência multi-facetada. O engenheiro, por definição, é um profissional generalista, cuja formação deve prepará-lo para contribuir com as mais diversas áreas de conhecimento. A coleção “Tecnologias e Desafios na Engenharia” se propõe a divulgar a engenharia dentro dessa concepção: Diversidade e Inovações Tecnológicas. Neste primeiro volume apresentamos trabalhos que transitam desde a impressão 3D de materiais compósitos até a metalurgia do alumínio, passando por metodologias de gestão de projetos, de formação de profissionais de engenharia, simulação operacional e soluções para agricultura sustentável pela utilização de carvão de bambus. Esperamos que esta coleção, que se inicia agora, possa ser um reflexo da imensa diversidade que é a engenharia. Desejamos uma proveitosa leitura!

OS ORGANIZADORES

SUMÁRIO

IMPRESSORA 3D POR EXTRUSÃO DE MASSA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: PROJETO DO CABEÇOTE DE IMPRESSÃO..... 6

PEDRO PAULO SÁ LIMA, MÁRCIA SILVA DE ARAÚJO, JOSÉ ALBERTO CERRI, ERICA FERNANDA AIKO KIMURA, EDUARDO GREGÓRIO OLIENICK

IMPRESSORA 3D POR EXTRUSÃO DE MASSA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: PROJETO DETALHADO.....28

PEDRO PAULO SÁ LIMA, MÁRCIA SILVA DE ARAÚJO, JOSÉ ALBERTO CERRI, ERICA FERNANDA AIKO KIMURA, EDUARDO GREGÓRIO OLIENICK

APLICAÇÃO DA LINGUAGEM PYTHON NA SIMULAÇÃO OPERACIONAL DE UM ECONOMIZADOR DE CALDEIRA PILOTO DE LEITO FLUIDIZADO CIRCULANTE 61

GUSTAVO NAOKI SHIBATTA KAGESAWA, MARIA REGINA PARISE, JHON JAIRO RAMIREZ BEHAINNE

CUSTOMIZAÇÃO DO SCRUM PARA GERENCIAR MODIFICAÇÕES DE PROJETO DE PRODUTO EM UMA EMPRESA DA LINHA BRANCA..... 78

BIANCA MAIO DA COSTA, ISABELA BARREIRA DA ROCHA, CARLA ESTORILIO, ADRIANO ARAUJO DE LIMA

COMPORTAMENTO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CARVÃO DE BAMBU DE DIFERENTES ESPÉCIES..... 100

FABIANO OSTAPIV, GABRIEL OSTAPIV, CELSO SALAMON

DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO TÁCITO..... 110

JHENYSON THIAGO DOS SANTOS, ROBSON CRISTHYAN MOSELE, CARLOS CZIULIK

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE TRÊS COMPOSIÇÕES DOS REFINADORES DE TI-B NA MICROESTRUTURA DA LIGA DE ALUMÍNIO A380..... 131

CAMILA EMILIO, MARIA CAROLINA LEITÃO CZERWONKA, SANDRA MARA KAMINSKI TRAMONTIN, LUCIANO AUGUSTO LOURENÇATO

IMPRESSORA 3D POR EXTRUSÃO DE MASSA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: PROJETO DO CABEÇOTE DE IMPRESSÃO

PEDRO PAULO SÁ LIMA¹, MÁRCIA SILVA DE ARAÚJO¹, JOSÉ ALBERTO CERRI¹,
ERICA FERNANDA AIKO KIMURA¹ EDUARDO GREGÓRIO OLIENICK¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, PR

RESUMO: Cerca de 11 milhões de brasileiros vivem em moradias consideradas precárias conforme estudo levantado pelo IBGE de 2015. Um modo construtivo que deve ser considerado e que pode rapidamente sanar esse *déficit* habitacional é a impressão 3D. Com vistas a contribuir com um projeto de impressora 3D capaz de imprimir estruturas de casas com até 38 m², utilizando argamassa como material ligante, o desenvolvimento deste trabalho consistiu no projeto do cabeçote de impressão. No presente capítulo, foi feito um estudo sobre as impressoras de grande porte, que serviu como base para o projeto conceitual, bem como para o projeto detalhado com dimensionamento do cabeçote de impressão. Para isso, o trabalho foi direcionado principalmente para a observação, compreensão e funcionamento de máquinas que têm a mesma finalidade, por meio de comparativos entre impressoras. Na sequência, foi elaborado o projeto utilizando o *software* SolidWorks da empresa Dassault Systèmes Corp., o qual forneceu o projeto 3D com os dimensionamentos e detalhamentos do cabeçote de impressão, incluindo a listagem dos componentes e cálculos dos coeficiente de segurança. No próximo capítulo, será feita uma comparação dos mecanismos de movimentação, assim como o subsequente projeto estrutural, com a seleção e o dimensionamento de componentes.

PALAVRAS-CHAVE: Impressora 3D. Construção civil. Cabeçote de impressão. Dimensionamento.

INTRODUÇÃO

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2015, mais de 11 milhões de pessoas vivem em comunidades carentes ou em moradias consideradas precárias. Considerando que uma moradia adequada é um local que apresenta sistema de fornecimento de água, esgoto, coleta de lixo e, no máximo, duas pessoas por dormitório, apenas 52% da população brasileira vive em condições regulares de residência, segundo relatório da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015).

O objetivo geral desse trabalho é projetar, dimensionar e especificar dispositivos e equipamentos mecânicos para um cabeçote de impressão, como parte de um projeto de uma impressora 3D capaz de imprimir paredes de casas de até 38 m², que utilizará argamassa como material de impressão. Uma das diretrizes do projeto foi privilegiar processos de fabricação simplificados e componentes mecânicos que estejam disponíveis

no mercado, além de utilizar as boas práticas de engenharia, resultando assim, um sistema eficiente e seguro para o funcionamento.

No desenvolvimento de uma impressora 3D é importante a análise dos parâmetros de máquinas já existentes, dos tipos de estrutura e de elementos de máquinas utilizados. Assim, foram obtidas informações sobre os principais modelos operantes com o objetivo de avaliar o funcionamento de cada equipamento.

METODOLOGIA

A primeira etapa do projeto foi a definição de parâmetros essenciais a partir da aquisição de informações de impressoras 3D comerciais produzidas para construção civil. Desta forma, foi feita uma comparação dos dados para embasar as escolhas para o projeto.

A etapa seguinte consistiu na pesquisa dos mecanismos de deslocamento e diversas configurações que utilizam diferentes modos para realizar a movimentação. Dessa forma, fez-se um comparativo entre equipamentos e mecanismos de deslocamento que possam ser incorporados ao projeto.

A partir dos parâmetros dos diversos equipamentos pesquisados e quais tipos são utilizados para montagem de impressoras, foi pesquisado sobre o modelo de estrutura do equipamento. Cabe ressaltar os imprevistos que ocorrem ao realizar um projeto mecânico. Embora a escolha dos parâmetros seja resultado de avaliação criteriosa, mudanças podem ser necessárias em função de possível incompatibilidade entre partes, o que exige reavaliação de cada componente, dos materiais utilizados, métodos de montagem, entre outros fatores. Portanto, torna-se importante mencionar que as etapas do processo de projeto, dimensionamento e montagem interferem mutuamente entre si. Por isso, eventualmente, ideias e escolhas iniciais não são implementadas durante o processo.

A seleção de componentes auxiliares e estruturais seguem as boas práticas de engenharia utilizando bibliografias sugeridas no curso de engenharia mecânica e catálogo de fabricantes e fornecedores.

Para o dimensionamento do cabeçote de impressão, foi escolhido um sistema de bombeamento composto por um motor elétrico trifásico de 220 V ou 380 V de 7,5 cv, estator e rotor axial. O sistema necessita de uma alimentação manual de material particulado, que é feita na cuba de alimentação da impressora 3D. Um compressor e pistola para alimentar o bocal de extrusão com também fazem parte da impressora 3D. Com essa configuração é possível bombear 1,5 m³ por hora de argamassa por 30 m na horizontal e 20 m verticalmente, além de ter capacidade de cuba de 120 kg (ANVI, 2020).

IMPRESSORAS 3D PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

As impressoras 3D comerciais disponíveis no mercado e utilizadas como referência nesse projeto são produzidas pelas empresas Apis Cor, D-Shape, Cobod International, Winsun e WASP.

APIS COR

A impressora 3D Apis Cor foi uma das primeiras a serem lançadas no mercado disponibilizando o serviço de construção de edificações. Essa impressora constrói um edifício com concreto e fibra ou geopolímero. A impressora, que possui um braço mecânico, pode ser facilmente transportada e não requer uma demorada preparação preliminar antes da construção. Tem dimensões compactas de (4×1,6×1,5) m e pesa 2 toneladas. Consome somente 8 kW de energia para construção e necessita de apenas duas pessoas para operá-la. Pode economizar 15% com obras de fundação, pois imprime uma estrutura retida para fundação, na qual armaduras de reforço são instaladas e concreto pesado é despejado. Economiza até 60% com acabamento e de 20% a 30% com logística de materiais, proporcionando uma redução de custos por projeto que totaliza até 40% em comparação com um edifício regular de concreto (Apis-cor.com, 2018).

A Figura 1 apresenta o equipamento em funcionamento e seus equipamentos adicionais como o misturador de concreto, bomba e painel de controle. Deve-se ressaltar o método de funcionamento deste equipamento, que opera a construção na parte de dentro da casa com o braço de impressão girando em torno do próprio eixo.

Figura 1 - Impressora ApisCor em funcionamento e o seu sistema de alimentação



Fonte: apis-cor.com (2018)

A empresa disponibiliza as informações sobre a impressora, tal como apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensões e detalhes operacionais

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS APIS COR	
Máx. área de operação	132 m ²
Altura máxima	3100 mm
Velocidade de trabalho	1 a 10 m/min
Velocidade marcha lenta X/Y	20.000 mm/min
Precisão de posicionamento	0,5 mm
Precisão de posição repetida	0,1 a 0,2 mm
Precisão de posição do eixo Z	0,1 a 0,2 mm
Estabilização horizontal automática	inclina c/ precisão de 0,0001 graus
Estabilizador espacial	PID
Rastreamento do cabeçote de extrusão	Giroscópio e telêmetro a laser

Fonte: apis-cor.com/3d-printer (2018).

D-SHAPE

De acordo com as informações que se encontram no site do fabricante, a estrutura de suporte da impressora, como pode ser observada nas Figura 2, é a base de alumínio e constituída por uma moldura horizontal quadrangular, de dimensões (7,5x7,5) m. As molduras são dispostas em quatro colunas com alturas variáveis entre 3 e 18 m, devido a possibilidade da impressora ser montada em módulos, de acordo com as dimensões da edificação que será impressa. A área efetiva de impressão é uma janela de (6x6) m. A D-Shape destina-se a edificações de 1 a 2 andares, preferencialmente com custo de execução baixo e uso de materiais ambientalmente sustentáveis, normalmente areia e agentes aglomerantes.

Figura 2 - Estrutura da impressora D-Shape



Fonte: Lopes (2016)

A estrutura horizontal pode ser deslocada ao longo das colunas, nas quais estão acopladas duas barras paralelas, responsáveis pelo suporte do cabeçote de impressão e pelo deslocamento da mesma. A massa total do sistema, incluindo equipamento de alimentação é de 5.000 kg. Se não for considerada essa opção, a massa é de 1.300 kg (d-shape.com, 2018).

O cabeçote de impressão possui 300 bocas de ejeção, espaçadas 20 mm entre si. A espessura das camadas pode variar entre 5 e 60 mm e a velocidade do cabeçote de impressão pode variar entre 0 e 500 mm/s, a qual é condicionada pelo material e pela frequência de deposição do aglutinante. Consome 2 kW de energia sem equipamento de alimentação e 40 kW com o equipamento. Execução paredes internas e externas, colunas, escadas, superfície côncavas e convexas e assegura a realização de orifícios para cabos elétricos e tubulações de instalações complementares (LOPES, 2016).

Como pode ser observado na Figura 2 a impressora é condicionada à deposição de areia em todo o canteiro, que é retirada depois que a solidificação do material impresso acontece, o que dá sustentabilidade para imprimir estruturas de geometria complexa.

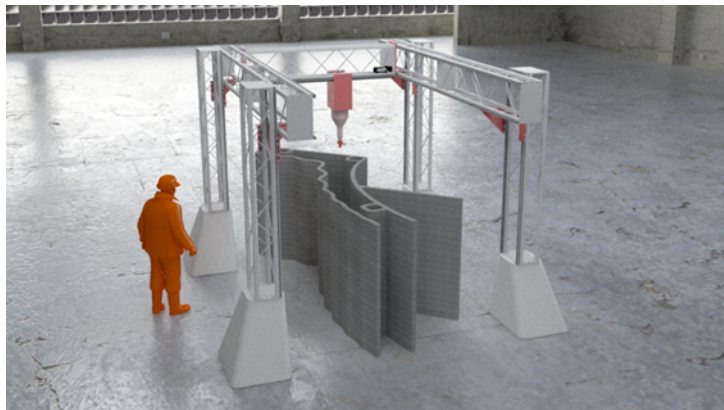
COBOD INTERNATIONAL

A fabricante dinamarquesa COBOD International lançou ao mercado uma família de impressoras 3D de grandes dimensões, *Big Printers*, com o objetivo de comercializar as impressoras e os serviços complementares. A COBOD foi responsável pela impressão

da primeira casa, que levou cerca de 50 horas para fabricar as paredes, em Copenhague, Dinamarca. A impressão teve como objetivo viabilizar uma demonstração a fim de minimizar o custo do projeto. Por isso um prédio muito pequeno foi escolhido, mas ao mesmo tempo grande o suficiente para mostrar as liberdades arquitetônicas e as oportunidades que o uso da impressão em 3D oferece, como detalhado no portal da própria empresa 3dprinthuset (2018).

De acordo com Lopes (2016), a BOD2 é a segunda geração de impressoras de grande porte, com parâmetros de operação mais sofisticados que a versão anterior. A estrutura é fixada ao solo por parafusos engastados ou com suportes de concreto, como pode ser visto na Figura 3, que a própria fabricante disponibiliza como um de seus produtos.

Figura 3 - Estrutura impressora BOD2



Fonte: cobod.com/bod2-specifications (2018)

A impressora tem capacidade de elevar 400 kg, cabeçote de impressão de controle tangencial e construção modular. Dessa forma, pode ser montada conforme a necessidade do projeto. Outros equipamentos auxiliares como uma bomba M-tec duo-mix 2000 e misturador compõem o sistema. O cabeçote de impressão consegue armazenar de 20 a 30 kg de argamassa, que é extrudada de forma contínua com uma velocidade máxima de impressão de 1 m/s. No entanto, a velocidade de impressão recomendada é de 10 cm/s. As camadas são padronizadas, com 2 cm de altura e 5 cm de largura.

WINSUN

A Winsun é uma empresa chinesa, com origem em Xangai, que se dedica ao desenvolvimento de novos materiais e técnicas de construção. É uma das empresas com maiores avanços na implementação da tecnologia de Impressão 3D na área, tendo já impresso 10 pequenas casas em um intervalo de 24 h, uma mansão de 1.100 m² e um edifício de 5 andares. Para obter estes resultados, a empresa criou um sistema de impressão formado por um braço robótico de 6,6 m de comprimento acoplado a uma barra horizontal de 10 m de comprimento, a qual está instalada em dois suportes que se deslocam ao longo de uma profundidade máxima de 40 m, como mostra a Figura 4 (winsun3d.com/En/Product, 2018).

Figura 4 - Estrutura impressora WinSun



Fonte: winsun3d.com (2018)

O material de impressão também é desenvolvido pela empresa, sendo composto por cimento, fibra de vidro, agentes aceleradores de cura e resíduos reciclados, como relata Lopes (2016). A empresa se posicionou como fabricante de módulos produzidos na linha de montagem com até quatro impressoras, que proporcionam excelente grau de liberdade para imprimir geometrias complexas, funcionando simultaneamente. A montagem é feita no local da construção. No *site* (winsun3d.com/En/Product/prolist/id/1, 2018) é possível ver o tipo de estrutura que a impressora pode executar.

CONTOUR CRAFTING

De acordo com Hager, Golonka e Putanowicz (2016), Contour Crafting, ou construção por contornos é um método extrusivo de impressão criado por Behrokh Khoshnevis na escola de engenharia da Universidade da Carolina do Sul – USA. Esse método misto combina um processo extrusivo para formar as superfícies externas do objeto e um processo de preenchimento, por preenchimento ou injeção, para construir o núcleo do objeto. Os contornos formados assumem assim uma função de formas perdidas, como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Modelo estrutural impressora Contour Crafting



Fonte: Lopes (2016)

As características do material a ser depositado no interior são fundamentais, pois é ele que irá suportar a estrutura. Este equipamento utiliza uma estrutura de pórtico sobre trilhos, similar à ponte rolante (Figura 5). Usam cimento e areia como material de impressão. Apesar de não haver muita informação disponibilizada sobre essa tecnologia, trata-se de um método muito desenvolvido, com recursos da Caterpillar e sondado pela NASA para construção na lua e em Marte (viterbi.usc.edu/news/news/2008/caterpillar-inc-funds.htm, 2008).

WASP

A empresa italiana WASP surgiu com um caráter humanitário e princípios ambientais vinculados a sustentabilidade. O foco é construir casas em localidades com população em situação de vulnerabilidade social, densamente povoadas, ou devastadas por catástrofes naturais e que, o processo implique em baixo custo, baixo consumo energético e reduzida poluição ambiental. Nesse sentido desenvolveram a Big Delta, que com 12 m de altura é a maior impressora 3D desenvolvida até o momento na área da construção (LOPES, 2016).

Além dessa característica que torna única, a impressora apresenta uma largura de 7 m e uma estrutura hexagonal, como pode ser observado na Figura 6. Projetada para atuar em lugares inóspitos, distante de recursos energéticos, a impressora pode operar em 60 V, pois utiliza energia proveniente de painéis solares fotovoltaicos, consumindo apenas 1 kW para imprimir uma casa.

Figura 6 - Estrutura BigDelta



Fonte: 3dwasp.com (2018).

Não dispõe de alimentação contínua de material de impressão, no entanto, pode carregar até 200 kg de material particulado (3dwasp.com/en/giant-3d-printer-bigdelta-wasp-12mt/).

Mesmo obtendo bons resultados utilizando materiais sintéticos para impressão como cimento e fibra de vidro, a empresa tem o propósito de não degradar o meio ambiente e utiliza materiais fibrosos como palha e argila como materiais de impressão, os quais podem ser encontrados no próprio lugar de construção.

O equipamento pode imprimir com uma velocidade máxima de 0,4 m/s, embora essa velocidade dependa da quantidade de material inserido, o que deixa o cabeçote de

extrusão mais pesado para se locomover. Portanto, a velocidade de trabalho deve ser menor que a citada.

O tempo para fabricar um imóvel não pode ser mensurado com precisão. Além de depender muito das condições climáticas de cada ambiente, uma vez que não é previsto cobertura durante o processo de impressão (3dwas.com, 2018).

COMPARATIVO ENTRE AS IMPRESSORAS 3D

O Quadro 1 reúne as principais características de impressoras atuantes no mercado, a fim de auxiliar no dimensionamento de componentes. A ApisCor apresenta maiores detalhes de funcionamento ao lado da D-Shape e BOD2. Tais detalhes como: velocidade de operação, parâmetros dimensionais e máquinas auxiliares são bem definidos.

Quadro 1 - Benchmarking de impressoras 3D

Modelo	Tamanho (LxCxA)	Velocidade de Impressão	Sistema Alimentação	Material
Apis Cor	(4x1,6x1,5) m	1 a 10 m/min	bomba	concreto de fibra e geopolímero
D-Shape	(7,5x7,5x 3 a 18) m	0 a 0,5 m/s	—	areia e aglomerante
BOD2	ajustável	0,1 m/s	bomba	concreto
WinSun	(6,6x40x~4) m	—	—	concreto
Contour Crafting	—	—	—	—
Big Delta	(7x7x15) m	0,4 m/s	manual	palha e argila

As impressoras apresentadas nesse trabalho demonstram características únicas e peculiares que podem ser absorvidas e implementadas para a construção de uma impressora. A começar pelo método de fixação da máquina ao solo, no qual a forma como apresentado pela BOD2 contemplaria as necessidades de projeto, bem como o modelo de estrutura, muito semelhante ao da D-Shape. Esses dois modelos usam basicamente uma estrutura treliçada de quatro apoios com os deslocamentos vertical e horizontal bem definidos.

Da observação de outras máquinas, seguem as seguintes considerações:

1. possibilidade de toda a estrutura ser modular, possibilitando montagem e funcionamento do equipamento de forma fracionada:
 - comprimento modular de 4 m e 8 m.
 - altura modular de 2 m e 4 m.
 - largura fixa de 6 m.
2. velocidade de impressão que possibilite qualidade na deposição de material e acabamento, sendo a faixa de 0,1 a 0,5 m/s a velocidade de deposição de material observado em equipamentos existentes.
3. eixos nos quais se movimenta o cabeçote de impressão com até 500 kg.
4. utilização da estrutura de Pórtico como para dimensionamento dos demais mecanismos.

CABEÇOTE DE IMPRESSÃO

O dimensionamento, o projeto e a montagem têm como ponto de partida o conjunto do cabeçote de impressão de argamassa, uma vez que a velocidade de impressão máxima determinada de projeto é configurada a partir do funcionamento deste mecanismo em conjunto com a capacidade de bombeamento de argamassa. O projeto do cabeçote de impressão foi inspirado em transportadores e dosadores helicoidais, muito utilizado na indústria de grãos e produtos pastosos.

Vale ressaltar que esse mecanismo é normalmente utilizado para transportar cargas verticalmente para cima. Para o propósito desse projeto, o dimensionamento foi definido para transportar a carga para baixo, com auxílio da gravidade. Portanto, os resultados obtidos com o dimensionamento são mais conservadores e robustos do que necessita o projeto, uma vez que os cálculos utilizados para dimensionamento são provenientes de catálogo de fabricantes de transportadores helicoidais.

Para o dimensionamento do cabeçote de impressão com fuso helicoidal foi usado o método em catálogo da empresa Conveyor Eng. & Mfg. Co. e notas de aula da professora Camila Ortiz Martinez da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de Campo Mourão - PR.

No dimensionamento do cabeçote de impressão de argamassa, é imprescindível fixar as informações obtidas na pesquisa da literatura técnica e na limitação de bombeamento de argamassa, tais como:

1. diâmetro interno do tubo do cabeçote de 54,76 mm ou 0,5476 m;
2. vazão máxima de bombeamento de 1,5 m³/h;
3. modelagem da argamassa como fluido incompressível, e;
4. massa específica da argamassa de 2.000 kg/m³.

CHAPAS E ELEMENTOS TUBULARES

Para a montagem do cabeçote de impressão foram analisados materiais anticorrosivos e resistentes à abrasão, tais como o aço inoxidável e alumínio, tendo em vista que tais componentes ficarão em contato direto com a argamassa úmida, que também é abrasiva e de pH em torno de 12, fatores que resultam em desgaste elevado. Para o projeto, foi selecionado o aço inoxidável 304, uma vez que apresenta ótima resistência à abrasão e corrosão, além de elevada resistência mecânica a esforços de tração. A Tabela 2 mostra as propriedades físicas do aço selecionado.

Tabela 2 - Especificações do Aço Inox 304

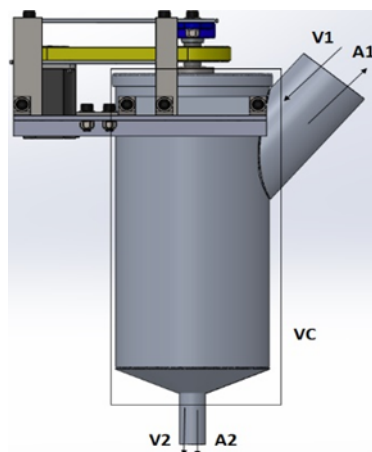
Propriedades físicas do aço inoxidável 304	
Densidade	8000kg/m ³
Módulo de elasticidade	200 GPa
Tensão de escoamento	240/350 MPa
Tensão de ruptura	530/770 MPa
Soldabilidade	Ótima

Fonte: AçoTubo (2020)

A capacidade de bombeamento de argamassa será definida como $1,5\text{m}^3/\text{h}$. Dessa forma, é possível determinar a velocidade de impressão a partir da equação da conservação da massa, tendo como resultado o valor de 3.000 kg/h .

Na Figura 7, o tubo por onde sai a argamassa, portanto de área A_2 , é de 2", com diâmetro interno de $0,05476\text{ m}$ ou $5,48\text{ cm}$.

Figura 7 - Volume de controle (VC) do cabeçote de impressão



A velocidade máxima com a qual a argamassa sai do cabeçote de impressão é de $0,1768\text{ m/s}$. Vale ressaltar que respeitando a lei de conservação das massas, a velocidade de saída da argamassa V_2 será maior caso a área A_2 seja reduzida.

Apesar da forma da área A_2 não ter sido estipulada, acredita-se que seja possível acoplamento de bico redutor para dar a forma desejada as camadas durante a impressão. Caso haja um bico de redução, a velocidade máxima de impressão aumentará, embora os cálculos para dimensionamento foram realizados adotando a velocidade máxima de impressão igual a $0,177\text{ m/s}$.

A determinação dos diâmetros dos tubos utilizados no cabeçote de impressão é feita de modo que o escoamento interno de argamassa seja contínuo e, que possibilite o armazenamento de argamassa dentro do cabeçote. Neste caso, como a área A_2 tem um volume interno total de $0,03\text{ m}^3$, comporta no cabeçote 60 kg de argamassa. Os tubos a serem utilizados no cabeçote de impressão têm diâmetros e qualidade normalizados por serem do tipo Schedule. Esta linha de tubos é muito utilizada em estruturas metálicas e suportam pressão elevada, logo, atende as necessidades de projeto. Os tubos têm 5", 10" e 2" de diâmetro.

DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DA HÉLICE

Para o dimensionamento do dosador helicoidal foi usado o método em catálogo da empresa Conveyor Eng. & Mfg. Co., notas de aula da professora Camila Ortiz Martinez da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus de Campo Mourão - PR e, equações de parafuso para movimentação linear. Este dimensionamento tem como objetivo determinar a potência do motor, passo do fuso e número de hélices do helicóide.

A determinação da velocidade linear de escoamento interno (v) do material que sai do bocal do cabeçote de impressão é dada pela equação de conservação das massas. Sendo

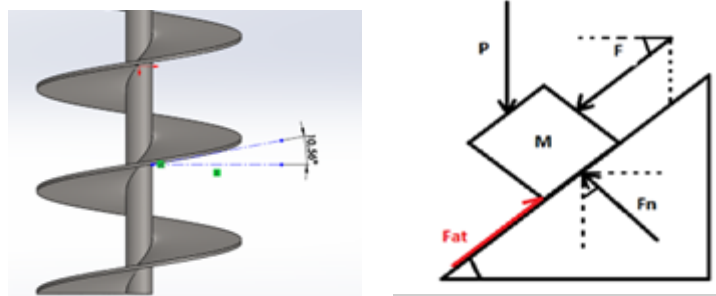
o diâmetro interno do tubo 2 de 264,67 mm, pode-se chegar ao resultado requerido de 0,0007545 m/s. Para evitar que haja escoamento involuntário da argamassa dentro do cabeçote, foi estipulado o espaço de 2 mm entre a parede interna do tubo maior do cabeçote e o helicóide. Desta forma, o diâmetro do helicóide será de 260 mm. Como o material é muito abrasivo, o passo determinado é de 130 mm, uma vez que o fator de abrasividade que multiplica o diâmetro é 0,5, segundo a Conveyor Eng. & Mfg. Co. (2019).

A partir da velocidade que a argamassa esco linearmente dentro do cabeçote de impressão de 0,00755 m/s, pode-se obter a velocidade do eixo igual a 3,486 rpm, multiplicando 60 pela velocidade de rotação e dividindo pelo passo de 0,13 m.

O cálculo para determinar o torque do helicóide é realizado de forma semelhante à análise de parafuso de potência, uma vez que transforma deslocamento angular em linear. Dessa forma, considera-se a massa da argamassa no interior do cabeçote de impressão como a carga a ser deslocada, ou seja, 60 kg. O coeficiente de atrito da argamassa também é necessário para realização deste cálculo. No entanto, o coeficiente utilizado neste caso foi o do cimento seco, que é de 0,93.

A partir do somatório das forças atuantes nos eixos x e y, Figura 8, e definido que a força de atrito (Fat) é igual ao coeficiente de atrito (μ) multiplicado pela força de contato (Fn) e, considerando que $\cos^2\alpha + \sin^2\alpha = 1$, pode-se encontrar a força para o transporte descendente da carga de argamassa dentro do cabeçote de impressão, que é dada pela Equação 1.

Figura 8 - Detalhe do ângulo de avanço (α) e o diagrama de esforços: P - peso total a ser deslocado; Fat - força de atrito entre os componentes; Fn - força normal de reação; F - força para deslocar a massa, e; α - ângulo de avanço



$$F = \frac{P \cdot (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}{\cos \alpha \cdot (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) - \sin \alpha \cdot (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)} = \frac{P \cdot (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}{1} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo: a gravidade (g) de 9,81m/s², a massa deslocada de argamassa de 60 kg; o peso de argamassa (P) igual a 588 N; o coeficiente de atrito (μ) igual a 0,93, o ângulo de avanço (α) de 10,6, cosseno (α) é 0,98; seno (α) é 0,18; o diâmetro do helicóide (d_{hel}) é de 0,260 m.

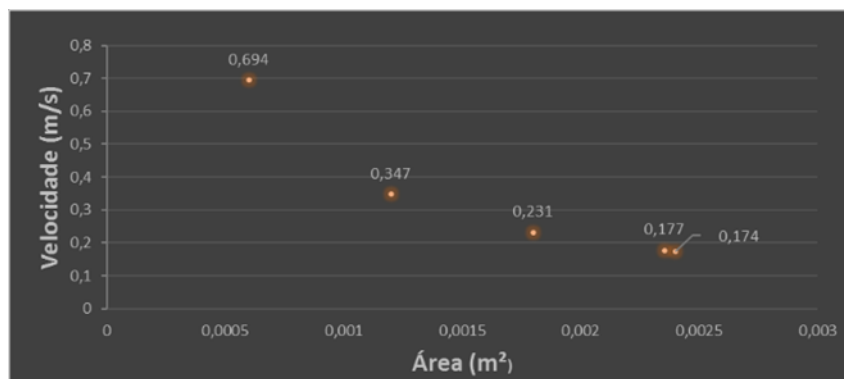
O Torque (T) necessário para baixar a carga de argamassa dentro do cabeçote de 56 Nm, foi obtido multiplicando a força para deslocar a massa pelo raio da helicóide. Enquanto a potência (Pot) de 20,35 W, necessária para realizar o movimento, foi determinada

considerando a rotação (n) igual a 3,5 rpm. Cabe ressaltar que a proporção numérica π utilizada nesta equação e nas demais deste trabalho é 3,14. Desta forma, simplifica os cálculos que foram elaborados no *software* Microsoft Excel.

Com relação a espessura das camadas impressas dos equipamento industriais, as da impressora D-Shape variam de 5 mm a 60 mm e as da Cobod, entre 20 mm e 50 mm.

Supondo que um bico de impressão seja acoplado com dimensões variáveis, a velocidade de impressão também sofre mudanças, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Gráfico de velocidade versus área



As características do material a ser transportado definem todos os parâmetros a serem determinados, conforme catálogo da empresa Conveyor Eng. & Mfg. Co. e, os métodos de dimensionamento são considerados conservadores para transportadores a granel, de acordo com a empresa.

DEFLEXÃO NO FUSO HELICOIDAL

O catálogo do fabricante inicia os cálculos para deflexão para tubos com 1.1/2” de diâmetro. No entanto, a aplicação para o presente projeto é de um comprimento muito menor quando comparado ao comprimento mínimo que o fabricante estipula. Por isso, o tubo selecionado para o helicóide neste projeto é de 1”. Vale ressaltar que o dimensionamento estabelecido para transportadores horizontais ou inclinados é de no máximo 20°. Esta aplicação, apesar de ser vertical, utiliza as Equações 2 a 4 mostradas em catálogo e que calculam o momento de inércia, deflexão no tubo e ângulo defletido.

$$I = \frac{\pi * (D(\text{tubo})^4 - D'(\text{tubo})^4)}{32} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{Defl} = \frac{m * g * l^3}{76,8 * E * I} \quad (\text{Eq.3})$$

$$y = \frac{\text{Defl} * 180^\circ}{\pi * L} \quad (\text{Eq.4})$$

Os dados de entrada para os cálculos do momento de inércia (I), a Deflexão (Defl) e o ângulo defletido (y) são: massa do eixo helicóide (m) de 9 kg; diâmetro externo do tubo (D) de 33,4 mm; diâmetro interno do tubo (D') de 27,86 mm; módulo de elasticidade (E) de 200 GPa; comprimento do tubo (L) de 0,515 m.

Os resultados dos cálculos são: inércia de $6,3 \times 10^{-8} \text{ m}^4$, deflexão (Defl) de 0,001246 mm e o ângulo defletido (γ) de $0,001386^\circ$. Portanto, a parte inferior do helicóide não excede o espaçamento entre helicóide e parede interna do tubo por conta da deflexão durante o funcionamento, pois o espaçamento entre o tubo de 10" e a ponta do helicóide é de 2 mm.

EXPANSÃO TÉRMICA DO PARAFUSO

Ao expandir-se termicamente, o equipamento pode sofrer esforços não calculados e prejudicar o funcionamento, ou até mesmo avariar componentes. Portanto, este cálculo torna-se interessante, uma vez que se pode mensurar a expansão do parafuso, caso a construção ocorra em ambiente de elevada amplitude térmica, ou mesmo alterações por causa da temperatura do concreto. A expressão de expansão térmica linear é dada pela Equação 5, sendo: variação de comprimento (ΔL) (m); comprimento inicial (L_0) (m); coeficiente de dilatação térmica do aço (K) de $0,000012^\circ \text{ C}^{-1}$; temperatura menor (θ_1) ($^\circ\text{C}$); temperatura maior (θ_2) ($^\circ\text{C}$).

$$\Delta L = L_0 * K * (\theta_2 - \theta_1) \quad (\text{Eq.5})$$

De acordo com a Equação 5, caso a impressora esteja operando em um ambiente em que a temperatura varie de 25°C durante o funcionamento, o tubo do helicóide, que inicialmente tem 0,515 m, sofreria uma expansão de 0,0001545 m ou 0,1545 mm.

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ABRASÃO

O catálogo da Conveyor Eng. & Mfg. Co. prevê que o índice de abrasão deva ser menor que 2.000. Caso o valor calculado ultrapasse esse índice, é proposto que o tubo do helicóide e o próprio helicóide tenham tratamento superficial diferenciado. Para determinar este índice, o catálogo propõe níveis de abrasividade de acordo com o material a ser transportado. Para este caso, o índice escolhido foi o 7, o maior, uma vez que a argamassa tem características elevadas de abrasividade.

A expressão para calcular o índice de abrasão (I_{ab}) recomenda que os dados de entrada sejam dados em pés (ft) na Equações 6 e 7.

$$I_{ab} = \frac{vp * (\text{coef.ab} - 4)}{e(\text{hélice})} \quad (\text{Eq.6})$$

$$vp = \frac{D(\text{hélice}) * n(\text{rpm}) * \pi}{12} \quad (\text{Eq.7})$$

Sendo a velocidade de escoamento na hélice (vp) de 0,809 ft/min ou 0,004109 m/s; o coeficiente de abrasividade do material transportado (Coef.ab); a espessura da hélice ($e_{\text{hélice}}$) de 4,76 mm ou 0,01562 ft; o diâmetro da hélice $D_{\text{hélice}}$ de 0,26 m ou 0,8530 ft, e; a rotação do helicóide (n) em rpm de 3,48 rpm.

O índice de abrasão calculado em unidades inglesas é de 155,38, ou seja, muito menor que índice limite 2.000, o qual determina se hélice e eixo precisam de algum tratamento superficial diferenciado. Diante dos dados calculados, pode-se dizer que o parafuso de transporte pode ser fabricado mediante dimensionamento acima desenvolvido. Vale

destacar que outros materiais mais baratos como aço ABNT 1020, alumínio, entre outros atenderiam as necessidades de projeto. No entanto, a utilização de aço inoxidável é proposta pela resistência ao elevado pH da argamassa.

SOLDA EM ELEMENTOS LINEARES CARREGADOS ESTATICAMENTE

Os cálculos para dimensionamento de cordões de solda são realizados a partir da massa que exerce solicitação nas juntas soldadas. A Figura 10 ilustra no detalhe C a junta que recebe maior solicitação de carga.

Os detalhes da Figura 11 mostram as juntas soldadas de junção de tubos, mas que não sofrem solicitações de cargas significativas. Portanto, apenas a junta soldada correspondente à cantoneira de apoio é dimensionada.

Figura 10 - Corte de seção do cabeçote de impressão

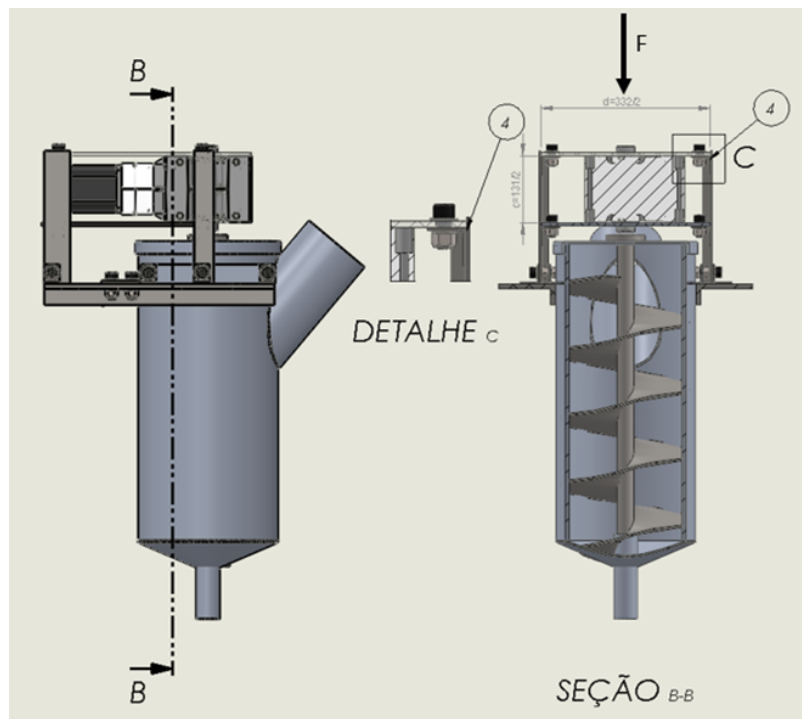
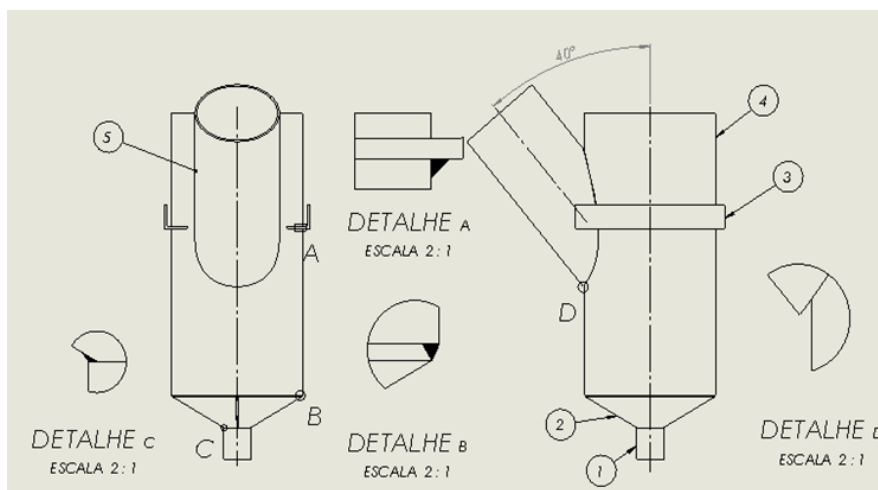


Figura 11 - Detalhes de vistas de elementos soldados



As soldas nas cantoneiras de apoio recebem a maior parte da solicitação de carga no sistema, como pode ser visto no detalhe C da Figura 11. Essas cantoneiras de apoio devem suportar 60 kg de argamassa, cerca de 10 kg de componentes do helicóide, 11 kg do redutor de velocidade e 11 kg do motor de passo selecionado, totalizando 92 kg. Este somatório de massas sustentado por cantoneiras de apoio de 30 mm de comprimento, como pode ser visualizada na Figura 10, faz com que a carga exercida nos cordões de solda correspondentes à fixação do tubo maior, detalhes da Figura 11, não resulte em esforços consideráveis. Portanto, a solda a ser dimensionada é correspondente a solda ilustrada no detalhe C da Figura 10. A massa total de 92 kg corresponde a força (F) de 882,9 N.

Cabe ainda ressaltar que, de acordo com Budynas e Nisbett (2011), as propriedades mecânicas do cordão de solda são em parte, do eletrodo usado no processo e da média dos metais soldados na região onde existe fusão dos aços estruturais.

A tensão de cisalhamento (τ) é determinada utilizando as Equações 8 a 10, nos quais os dados de entrada requeridos são: perna da solda (h) igual a 3 mm; garganta da solda (ga) de 2,63 mm; comprimento da solda (b) de 720 mm; área da garganta da solda (A) de 2677,5 mm²; distância (d) de 166 mm; centroide onde é dada a aplicação da força (c) é de 65,5 mm e, carga aplicada na solda (F) de 882,9 N. Como resultado, a tensão de cisalhamento primário (τ') é de aproximadamente 329,7 kPa, a tensão de cisalhamento secundário (τ'') é de 456,3 kPa e a tensão cisalhante 563 kPa.

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{F}{1,414 * ga * b} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\tau'' = \frac{M * c}{I} = \frac{F * d * c}{0,707 * h * I_u} = \frac{F * d * c}{0,707 * h * b * \frac{d^2}{2}} \quad (\text{Eq. 10})$$

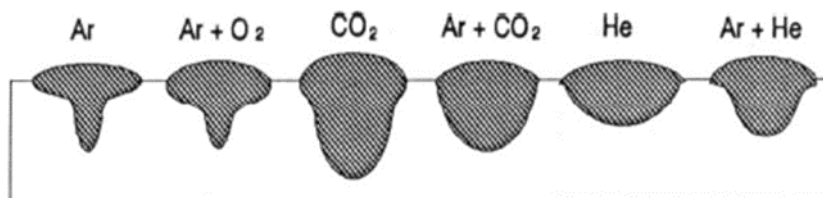
A seleção de um eletrodo faz-se necessária para que seja possível o cálculo do coeficiente de segurança (cs) da junta soldada, Equação 11. Para exemplificar este cálculo, foi selecionado o eletrodo da linha E60xx, que tem resistência ao escoamento de 410 MPa. A tensão de escoamento do aço do cabeçote de impressão (σ_y) varia de 240 a 350 MPa. Tomando o mínimo como referência para realizar a análise de segurança, tem-se CS igual a 246:

$$cs = \frac{0,577 * \sigma_y}{\tau} \quad (\text{Eq. 11})$$

Segundo Budynas e Nisbett (2011), para solda carregada estaticamente, o coeficiente de segurança excede muito os padrões normais de projeto. O fator 0,577 estabelecido no coeficiente de segurança é o fator utilizado para cargas cisalhantes que agem no local da solda. Da mesma forma o tamanho mínimo da perna da solda em filete (h) é de 3 mm, o mesmo adotado nos cálculos para este dimensionamento. Cabe ressaltar que para este tipo de soldagem, a indústria utiliza comumente os processos MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas), que usam gases como argônio e CO₂ na proteção do cordão

de solda durante o processo de soldagem. Para este processo, indica-se a utilização dos gases de proteção acima mencionados, uma vez que permitem maior penetração e homogeneidade da área de seção transversal do cordão de solda, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Perfil do cordão obtido em função do tipo de mistura de gases de proteção



Fonte: Notas de aula Prof. Aldo Pereira (UTFPR)

SOLDA EM ELEMENTOS TUBULARES CARREGADOS CICLICAMENTE

O cabeçote de extrusão é composto por diversas partes conectadas por soldas, como pode ser visualizado nos detalhes B, C e D da Figura 11. Portanto, torna-se importante o dimensionamento de soldagem, que é realizado para cargas cíclicas, uma vez que ocorre esforços alternados por causa da movimentação do cabeçote de impressão e do bombeamento da argamassa. Os esforços alternados são pequenos e por isso, este dimensionamento, assim como o anterior, apresentam resultados muito robustos.

As Equações 12 a 14 determinam o limite de resistência de conexões tubulares soldadas e carregadas ciclicamente e, de acordo com American Welding Society (AWS), não deve ser maior que um.

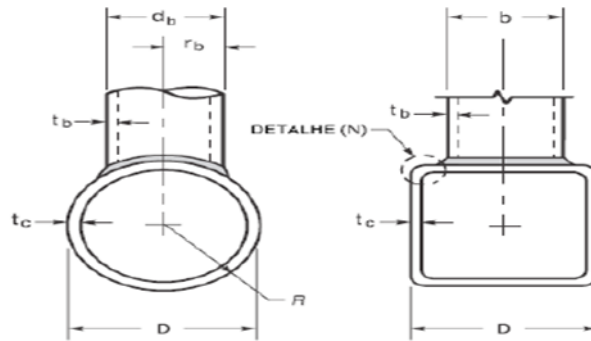
$$1 \geq \left(\frac{P}{P_u}\right)^{1,75} + \left(\frac{M}{M_u}\right) \quad (\text{Eq.12})$$

$$M_u * \text{sen}\theta \leq \frac{\pi * db^2 * tc * \sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (\text{Eq.13})$$

$$P_u * \text{sen}\theta \leq \frac{\pi * db * tc * \sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (\text{Eq.14})$$

Sendo o ângulo entre as linhas de centro de cada membro soldado (Θ) de 40° ; a carga de flexão (M_u) de 632675 N; a carga axial (P_u) de 173986 Nm; o diâmetro do membro (db) de 275 mm; a espessura da parede do tubo (tc) de 5' e de 3,4 mm; tensão limite de escoamento (σ_y) do aço de 240 MPa. Os parâmetros geométricos são apresentados na Figura 13.

Figura 13 - Parâmetros geométricos



Fonte: Código de Soldagem Estrutural-AWS (2010).

O tubo de 5 polegadas, que é soldado ao tubo de 10”, tem diâmetro interno de 134,5 mm e comprimento de 150 mm. Considera-se que o tubo de 5” está completamente cheio de argamassa e que a massa do tubo menor totaliza 6 kg. Dessa forma, calcula-se a força (P) como 58,86N, Equação 17, e o momento (M) como 4,41 NM apresentado na Equação 16 desse componente, sendo d igual a 0,075 m, para somente então calcular o limite de resistência à fadiga, definido pela Equação 12 e demonstrado na Equação 16, como $2,54 \times 10^{-5}$.

$$P = m * g \quad (\text{Eq.15})$$

$$M = P * d \quad (\text{Eq.16})$$

$$\left(\frac{P}{P_u}\right)^{1,75} + \left(\frac{M}{M_u}\right)^{1,75} \quad (\text{Eq.17})$$

De acordo com a equação de resistência à fadiga utilizando a tensão de escoamento do aço inox 304, a qual é menor que a tensão de escoamento do eletrodo E60xx, a solda que conecta o tubo (4) ao tubo (5) da Figura 11, estabelece resultado muito menor que um, como evidencia a Equação 17. Dessa forma, o cordão de solda com perna h de 3 mm suporta a carga cíclica aplicada de acordo com o código de soldagem AWS.

DETERMINAÇÃO DO SISTEMA QUE TRACIONA O HELICOIDE

O transportador helicoidal precisa de 48,6 Nm para realizar a movimentação de 60 kg de argamassa que ocupa o cabeçote de impressão. Além do torque necessário para movimentação, o motor deve superar a inércia estática para iniciar o movimento. Para este caso, a inércia de massa (J) é calculada pela Equação 18.

$$J = \frac{m \cdot r^2}{2} \quad (\text{Eq. 18})$$

Sendo: momento de inércia de massa (J) em $[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$; massa (m) de 70 kg; raio (r) dado de 0,13 m.

A massa de 70 kg corresponde ao somatório de massas de argamassa no interior do cabeçote, de 60 kg, e do conjunto tubo/hélice, de aproximadamente 10 kg. O momento

de inércia calculado a partir da Equação 18 equivale ao momento de inércia de cilindro maciço com o ponto de giro no centro. Dessa forma, a inércia do sistema é de 0,5915 kgm².

A implementação de redutor de velocidade propicia a diminuição da inércia que o motor deve superar. A inércia refletida (Jrefl), calculada pela Equação 19 é a inércia que o motor é submetido quando o redutor de velocidade é adicionado ao sistema e, o seu valor é 0,0004899 Kgm².

$$J_{refl} = \left(\frac{J(\text{total})}{(\text{red})^2} \right) + J(\text{red}) \quad (\text{Eq.19})$$

Sendo: J (total) é a soma dos momentos de inércia que são movimentados = 0,5915kgm²; redução do motor (red) é igual a 39; J(red) é o momento de inércia do redutor de 0,000101 kg.m². Ao utilizar o redutor, o torque necessário para movimentar a carga, que é de 56,03 Nm, passa a ser de 1,44 Nm na saída do motor. Portanto, qualquer motor controlável, como motor de passo que tenha torque superior a 1,5 Nm, rotação mínima de 136 rpm na saída do motor e, acima de tudo, tenha inércia superior a refletida calculada na Equação 48, pode ser utilizado nessa aplicação. Para este caso, foi selecionado o motor de passo modelo Nema 42 KTC-110HS165 da fabricante KALATEC, que tem capacidade de movimentar a inércia de até 0,00109 kg.m², e opera a 300 rpm com torque de 13 Nm.

O redutor utilizado para aplicação é o HP 58 04 039 da Atlanta redutores. Esta linha de redutores apresenta erro menor que 5 arc.min, sendo 1 arc.min = 1°/60 = 1/21600 de círculo e portanto, é excelente para trabalhos que exigem precisão no movimento, além de ser muito utilizado na indústria de automação.

DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DE ROLAMENTO

O rolamento selecionado para o diâmetro de 25 mm do eixo deve ser de contato angular, uma vez que o eixo sofre solicitações nas direções radial e axial. Para tanto, foi utilizado os métodos das referências selecionadas e catálogos de fornecedores.

Para o cálculo da composição de forças radial (Fr = 430,8 N) e axial (Fa = 686,7 N) que agem sobre o rolamento foram usadas as Equações 20 e 21, que compõem o cálculo da carga (P) na Equação 22, que vale 1034,2 N. Ao substituir na Equação 23, obtém-se a vida do rolamento em milhões de ciclos, calculado em 13133x10⁶ ciclos.

$$F_r = \frac{2.T}{d} \quad (\text{Eq.20})$$

$$F_a = m \cdot g \quad (\text{Eq.21})$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (\text{Eq.22})$$

$$L = \left(\frac{C_r}{P} \right)^3 \quad (\text{Eq.23})$$

Sendo: torque (T) para movimentar a argamassa de 56 Nm; diâmetro (d) do helicóide de 0,26 m; massa total (m) do sistema de 70 kg; aceleração gravitacional (g) = 9,8 m/s²;

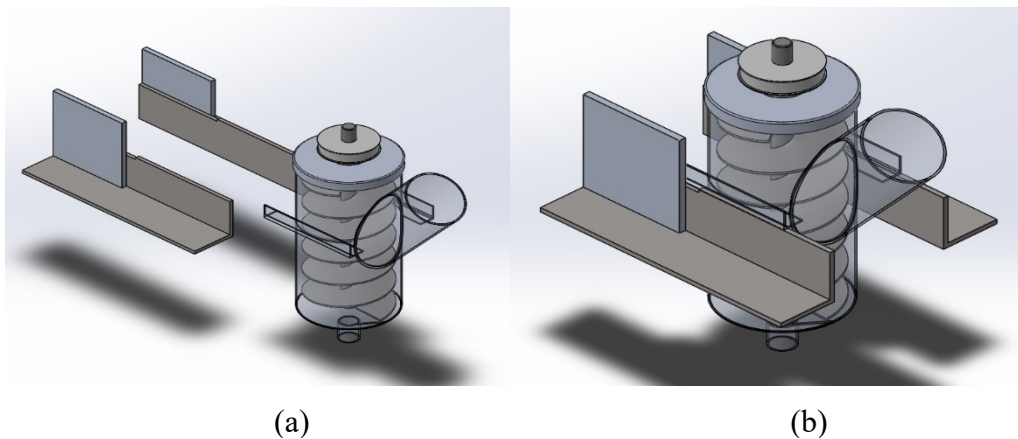
coeficiente de esforço radial do rolamento selecionado (X) de 0,44; coeficiente de esforço axial do rolamento selecionado (Y) de 1,23; capacidade de carga dinâmica do rolamento NSK7305 (Cr) de 24400 N, e; carga equivalente (P) de 1034,2 N. Os dados do rolamento utilizados para o cálculo da carga equivalente podem ser consultados no catálogo da FRM.

Como exposto, o rolamento NSK7305B tem elevado ciclo de vida (L) quando utilizado para esta aplicação e, portanto, pode ser utilizado no projeto.

ESTRUTURA DE SUPORTE DO CABEÇOTE DE IMPRESSÃO

A estrutura onde ficará o cabeçote de extrusão de argamassa é composta por cantoneiras de abas iguais de 4" de aço inoxidável 304. Como pode ser visualizado nas Figuras 14 (a) e (b), as cantoneiras da base são ligadas por parafuso M14x1,5 ao atuador linear de esferas e o cabeçote de impressão.

Figura 14 - Cabeçote de impressão (a) fora da posição e (b) posicionada



O cabeçote de extrusão tem seu posicionamento ajustável ao eixo X a partir de cantoneiras de abas iguais de 1.1/2" soldadas ao seu corpo, como pode ser na Figura 14.

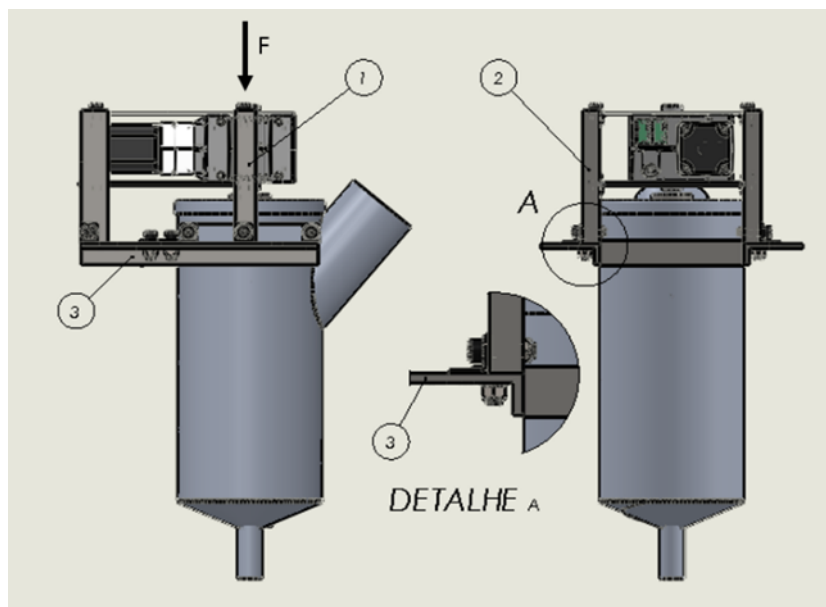
ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Em todo conjunto do cabeçote de impressão não existe cargas de tração ou cisalhamento significativas que possam comprometer as ligações entre os componentes. No entanto, torna-se importante a seleção dos componentes que façam fixação, como parafusos, porcas e arruelas. Os parafusos selecionados para fixação de componentes são os de cabeça com encaixe Allen M14 x 1,5 de aço. Este modelo tem a vantagem de poder ser aparafusado de forma rápida com a utilização de parafusadeira. Arruelas lisas, de pressão e porcas também compõem os elementos de fixação.

A Figura 15 mostra que os esforços provenientes de parte da massa de argamassa, helicóide, motor e redutor estão basicamente alinhados com a cantoneira destacada como elemento 1. Essa, por sua vez, apoiada numa cantoneira maior, destacada como elemento 3. Como ilustrado, toda a massa exerce esforços de compressão nas justas e, portanto, causam desgaste mínimo aos elementos de fixação. Neste caso, os esforços

são direcionados aos cordões de solda onde todo mecanismo é apoiado. Este conjunto de fixadores são utilizados para melhor montagem e desmontagem do cabeçote de impressão. Vale ressaltar que os parafusos utilizados no cabeçote de impressão são de aço e tensão de escoamento de 600 MPa (NORTON, 2013).

Figura 15 - Forças atuantes na junta



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dadas as colocações feitas, percebe-se que o equipamento é factível de fabricação, pois todas as peças e mecanismos selecionados atendem às necessidades de projeto e se encontram a disposição para compra no mercado.

Foi feito o cálculo dos coeficientes de segurança de praticamente todos os componentes selecionados e de parâmetros de soldagem para que dessa forma o projeto seja o mais robusto possível e, que se tenha maior convicção que os componentes dimensionados e selecionados não falhem por esforços e que possam ter uma vida de utilização considerável para a aplicação.

REFERÊNCIAS

3DPRIME. **Acessórios para Impressoras 3D**. Disponível em: <<https://www.3dprime.com.br/impressoras-3d/>>. Acesso em: 5 março 2020.

AÇOTUBO. DISPONÍVEL EM: <<https://acotubo.com.br/produtos/aco-inox/>>. Acesso em: 17 abril 2020.

AMERICAN WELDING SOCIETY. Código de soldagem estrutural do aço. Miami: AWS, 2010.

ANVI. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.anvi.com.br/produtos/projetor-de-argamassa/anvijet-120>>. Acesso em: 5 março 2020.

APIS COR. **First House**. Disponível em: <<http://apis-cor.com/en/about/news/first-house>>. Acesso em: 8 outubro 2018.

BUDYNAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 8º Ed. Editora Bookman, 2011.

COBOD. **Bod 2 Specifications**. Disponível em: < <http://cobod.com/bod2-specifications/> >. Acesso em: 2 novembro 2018.

CONVEYOR ENG. & MFG. CO. SCREW CONVEYOR CORPORATION. **Catalog and Engineering Manual**. Disponível em: < <https://www.conveyoreng.com/conveyor-design-manual> >. Acesso em: 15 abril 2020.

D-SHAPE. **Whats is it**. D-Shape building Process. Disponível em: < <https://d-shape.com/the-technology/d-shape-building-process/> >. Acesso em: 2 novembro 2018.

FMR FÁBRICA DE ROLAMENTOS E MANCAIS. **Catálogo de rolamentos e mancais**. Disponível em: < <http://www.frm.ind.br/index.html> >. Acesso em: 15 março 2020.

HAGER, Izabela; GOLONKA, Anna; PUTANOWICZ, Roman. 3D. printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? **Procedia Engineering**, v.151 p. 292 – 299, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios. Síntese de indicadores 2015**. Rio de Janeiro, 2016.

LOPES, Gonçalo Teixeira Ferreira. **Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção**. 2016. 92 f. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia do Porto. Porto, 2016.

MARTINEZ, Camila. Notas de aula: Equipamentos para movimentação de grãos. Disponível em: < <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/camilamartinez/tecnologia-pos-colheita-de-graos/Movimentacao%20de%20graos.pdf/view> >. Acesso em: 15 abril 2020.

NSK-ROLAMENTOS INDUSTRIAIS E AUTOMOTIVOS. **Catálogo geral de rolamentos**. Disponível em: < <http://www.nsk.com.br/> >. Acesso em: 10 março 2020.

NORTON, Robert L. **Elemento de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4º ed. Editora Bookman. 2013.

PEREIRA, Aldo. **Apostila de metodologia de soldagem**. Disponível em: < <https://document.onl/download/link/apostila-de-soldagem-aldo> >. Acesso em: 20 abril 2020.

PNAD - PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS, 2015. Disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv98887.pdf> >. Acesso em: 10 julho 2020.

TSUBACK. **Correntes de transmissão TSUBACK**. Disponível em: < <https://tsuback.ind.br/wp-content/uploads/catalogos/Catalogos-em-Portugues/Correntes-de-Transmissao-Portugues.pdf> >. Acesso em: 10 julho 2020.

WASP. Disponível em: < <https://www.3dwasp.com///> >. Acesso em: 20 março 2020.

WINSUN3D. **Product**. Disponível em: < <http://www.winsun3d.com/En/Product> >. Acesso em: 2 novembro 2018.

BIOGRAFIA DOS AUTORES

PEDRO PAULO SÁ LIMA¹, MÁRCIA SILVA DE ARAÚJO¹, JOSÉ ALBERTO CERRI¹,
ERICA FERNANDA AIKO KIMURA¹, EDUARDO GREGÓRIO OLIENICK¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, PR

Pedro Paulo Sá Lima

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Durante a graduação participou do projeto Baja da universidade e realizou estágios em projetos mecânicos e programação e controle da manutenção (PCM). Certificou-se em ferramentas da qualidade e Yellow Belt pela FMS. Atualmente trabalha como auxiliar de projetos na indústria de óleo e gás e iniciou pós-graduação em engenharia de segurança do trabalho. E-mail: pedropaulo.salima@gmail.com.

Márcia Silva de Araújo

Professora Titular na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba - PR há 20 anos, tendo lecionado nos cursos de graduação em: Engenharia Mecânica, de Engenharia Mecatrônica e em Tecnologia em Química Ambiental e, nos cursos de pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais e, em Construções Sustentáveis. Lecionou também, por 9 anos, no curso de Engenharia de Materiais na Universidade Estadual de Ponta Grossa - PR. Possui Ph.D. em Engenharia de Papel pela Université du Québec à Trois-Rivières / Canadá, Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos e Graduada em Engenharia Química Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente, pesquisa na área de materiais e equipamentos voltados para a manufatura aditiva. E-mail: araujo@utfpr.edu.br

José Alberto Cerri

Professor Titular na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba - PR há 23 anos, tendo lecionado nos cursos de graduação em: Engenharia Civil, Engenharia Mecânica, Tecnologia em Química Ambiental, Arquitetura e Urbanismo e, também nos cursos de pós-graduação em Engenharia Mecânica e Materiais, em Engenharia Civil e em Construções Sustentáveis, tendo coordenado esse último por 3 anos. Possui doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais, mestrado em Engenharia de Materiais e, graduação em Licenciatura em Física, todos pela Universidade Federal de São Carlos - SP. Atualmente, pesquisa na área de materiais e equipamentos voltados para a manufatura aditiva. E-mail: cerri@utfpr.edu.br

Erica Fernanda Aiko Kimura

Docente em regime de dedicação exclusiva no Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba. Possui graduação em Engenharia Civil, Mestrado e Doutorado na área de Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo – USP. Desenvolve pesquisas na área de Estruturas e atua principalmente nos seguintes temas: estruturas em situação de incêndio, engenharia de estruturas, estruturas metálicas, estruturas mistas de aço e concreto, análise numérica. E-mail: ekimura@utfpr.edu.br

Eduardo Gregório Olienick

Professor efetivo na UTFPR, desde 2000, atuou nos cursos extintos de técnico e de Tecnologia e atualmente nos cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica. Tem mestrado pelo antigo CEFET-PR em engenharia mecânica na área de conformação de materiais e doutorado pela UFPR na área de vibrações mecânicas. Anteriormente à carreira docente, atuou no ramo de inspeção de equipamentos com o uso de técnicas de ensaios não destrutivos (raios X, ultrassom) bem como inspeções regulamentadas de caldeiras e vasos de pressão. Atualmente ministra disciplinas de Elementos de Máquinas e Estática nos cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica.

IMPRESSORA 3D POR EXTRUSÃO DE MASSA PARA CONSTRUÇÃO CIVIL: PROJETO DETALHADO

PEDRO PAULO SÁ LIMA¹, MÁRCIA SILVA DE ARAÚJO¹, JOSÉ ALBERTO CERRI¹,
ERICA FERNANDA AIKO KIMURA¹, EDUARDO GREGÓRIO OLIENICK¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, PR

RESUMO: A manufatura aditiva de elementos construtivos ou mesmo de residências já é uma realidade, as empresas Apis Cor, D-Shape, Printhuset, Winsun e WASP têm impressoras 3D comerciais de grande porte. Este é considerado um processo enxuto e rápido. Porém precisa ser adaptado a nossa realidade. O desenvolvimento deste trabalho foi realizado em duas etapas: projeto do cabeçote de impressão e projeto detalhado. A primeira etapa, apresentada no capítulo anterior, consistiu na compreensão e funcionamento de máquinas impressoras já testadas e o projeto do cabeçote de impressão. Enquanto, o presente capítulo conta com comparação, seleção e dimensionamento de componentes mecânicos existentes no mercado, que proverão a estrutura física da impressora, bem como elementos capazes de promover a movimentação e funcionamento dinâmico do equipamento, com base em cálculo de coeficiente de segurança, além da escolha dos materiais. A realização do projeto 3D e detalhamento foram feitos em *SolidWorks*.
PALAVRAS-CHAVE: Dimensionamento. Movimentação. Impressora 3D. Construção civil.

PROJETO CONCEITUAL

Uma impressora 3D necessita de uma estrutura robusta e de mecanismos de deslocamento no espaço, tal como pôde ser visto no capítulo anterior nos equipamentos de grande porte das empresas Apis Cor, D-Shape, Printhuset, Winsun e WASP.

Para o melhor dimensionamento dos componentes que dão movimentação à impressora, torna-se importante definir os dados que delimitam o funcionamento do projeto, por isso foi definido um modelo estrutura primeiro.

MODELO ESTRUTURAL

Para o devido dimensionamento de mecanismos de movimentação, torna-se imprescindível o conhecimento da arquitetura estrutural da impressora. A partir da observação estrutural das máquinas atuais, aliado ao que temos disponível no mercado, e levando em consideração estruturas semelhantes à impressora D-Shape, Figuras 2 do capítulo anterior, torna-se possível aplicação estrutural semelhante à impressora citada.

Um modelo estrutural muito utilizado atualmente no mercado em diversas aplicações é o Box Truss. Este elemento estrutural será utilizado como pilar da estrutura da impressora. Esta estrutura é leve quando comparada à elementos maciços e suportam cargas axiais elevadas quando não levam concentradores de tensão. Portanto, é apropriado para aplicação proposta.

Vale ressaltar que este componente treliçado não será utilizado nos eixos de deslocamento X e Y porque, apesar de serem leves, precisaria que outros elementos estruturais fossem anexados durante a montagem, e com isso, furos e soldas deveriam ser adicionados. Dessa forma, a capacidade de suportar carga diminuiria drasticamente a partir da inserção de concentradores de tensão.

De acordo com o fabricante dessas estruturas, existem vários modelos de comprimento e largura que podem ser adquiridos, além do material de fabricação. Os materiais comumente usados para fabricação são o aço SAE 1006 e a liga de alumínio ABNT 6351-T6 (AURATEC, 2020).

Para montagem dos eixos X e Y serão utilizadas vigas em perfil U. Materiais largamente utilizados na indústria metal mecânica e civil. Este componente, mesmo com furos e soldas para fixação de outras peças, não terá sua capacidade de suportar carga comprometida como os perfis treliçados citados anteriormente.

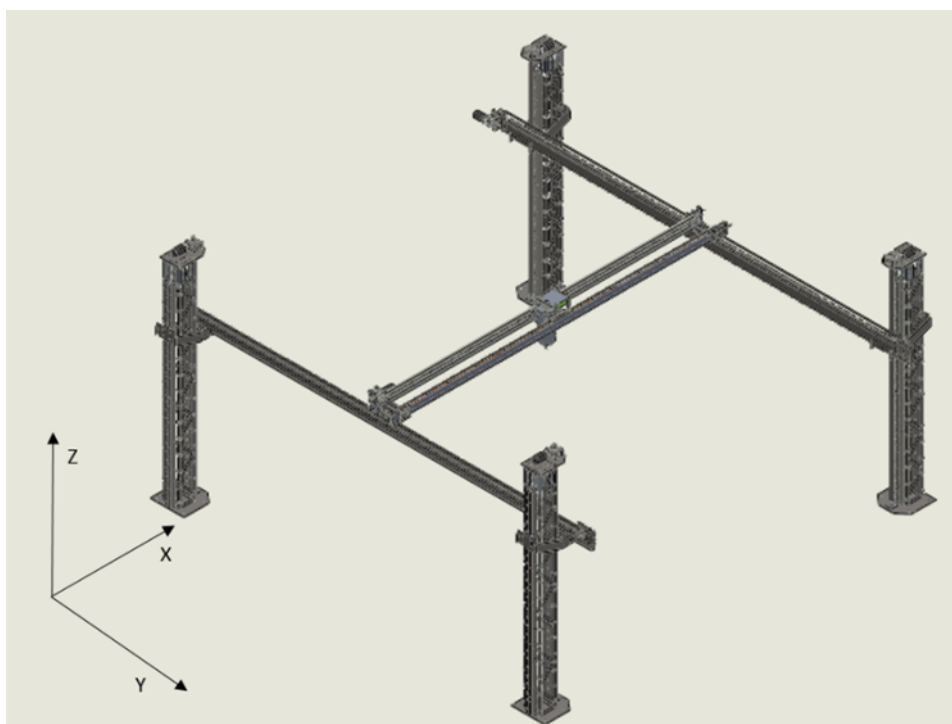
A Figura 1 ilustra o conceito do projeto detalhado no presente trabalho. A antecipação da imagem com o projeto é uma tentativa de ilustrar o escopo de fixação ao solo e movimentação e funcionamento da impressora.

Cabe salientar que o projeto completo conta com equipamento para bombeamento de concreto, sendo que o dimensionamento do cabeçote de impressão e velocidade de operação da máquina foram definidos no capítulo anterior.

As definições feitas no projeto conceitual são:

- Estrutura vertical utilizando Box Truss A-30 de liga ASTM AL 6351-T6;
- Altura de impressão de 4m utilizando fuso de potência para movimentação do eixo Z;
- Largura de impressão de 6m utilizando corrente para movimentação do eixo X e viga U de 6” e alma de 5,08 mm;
- Comprimento de impressão 8m utilizando corrente para movimentação do eixo Y e viga U de 8” e alma de 5,59 mm;
- Velocidade de impressão de até 0,177 m/s. De acordo com a área do bocal de saída da argamassa.

Figura 1- Modelo com 4 pilares fixos



SISTEMAS DE MOVIMENTAÇÃO

Portanto, o levantamento das principais características desses componentes é necessário. Dessa forma, foi feito um comparativo entre os sistemas a serem implementados expondo as vantagens e desvantagens de cada mecanismo de movimentação, Quadro 1.

Para o comparativo foi feita uma revisão da literatura (NORTON, 2013; PEREIRA FILHO e MORAES, 2016; BUDYNAS; NISBETT, 2011; MALDANER, 2019) e de catálogos de fabricantes (OSTI BARRAS; FC METAL AÇOS; FUSOS DE ESFERAS OBR; ATIBrasil; WARBEL DO BRASIL; DINA-BORRACHAS; TEQUALY; ROSSI PRODUTOS INTELIGENTES).

Quadro 1- Comparação das vantagens e desvantagens dos sistemas de movimentação

VANTAGENS	DESVANTAGENS
PARAFUSO DE POTÊNCIA	
<p>Maior precisão no deslocamento. Alta resistência mecânica. Comprimento encontrado no mercado (até 6 metros). Alta resistência ao desgaste. Fácil lubrificação. Possibilita boa condição de auto travamento do sistema. Suporta cargas elevadas.</p>	<p>Alto valor do componente. Obrigação da troca completa do fuso caso haja algum tipo de falha. Componentes auxiliares (porca de deslocamento) específicos. Fácil contaminação do fuso com partículas, o que possibilita desgaste elevado em pouco tempo de uso. Possível flexão do componente por ser comprido. Exclui a possibilidade de montagem modular do sistema. Elevada manutenção (limpeza e lubrificação).</p>
CREMALHEIRA COM DENTES RETOS	
<p>Dimensionamento, fabricação, montagem e manutenção mais simples. Lubrificação simples. Alto rendimento na transmissão de torque Possibilidade de montagem em módulo.</p>	<p>Ruído e vibração razoáveis de acordo com a velocidade. Elevado desgaste dos dentes. Necessidade de troca completa do componente em caso de falha. Necessidade da utilização de freio caso seja utilizada verticalmente. Suporta cargas menores quando comparada à de dentes helicoidais.</p>
CREMALHEIRA COM DENTES HELICOIDAIS	
<p>Ruído e vibração bem menores do que as de dentes retos. Lubrificação simples. Alto rendimento na transmissão de torque Melhor desempenho em cargas e velocidades mais elevadas. Possibilidade de montagem em módulo.</p>	<p>Desgaste dos dentes conforme utilização Necessidade da troca de todo o componente em caso de falha. Necessidade de utilização de freio para deslocamentos verticais. Dimensionamento, fabricação, montagem e manutenção mais complicados quando comparados a correias e correntes.</p>
CORREIAS	
<p>Absorção de impactos de carga. Ruído quase inexistente. Lubrificação inexistente. Suporta pequenos desalinhamento na montagem. Menor preço quando comparado a fuso, engrenagem e correntes Quase não provoca desgaste na polia. Boa resistência ao atrito e desgaste.</p>	<p>Possível adaptação de polias para regular a tensão (esticador). Não permite manutenção, logo exige troca em caso de desgaste. Necessidade de freio. Alargamento conforme utilização. Não permite emendas, logo a necessidade de encontrar o comprimento a ser utilizado.</p>
CORRENTES	
<p>Aconselhado para uso em baixas velocidades para grandes cargas Sem escorregamento. Aconselhado em grandes distâncias entre eixos. Substituição apenas do elo danificado ou desgastado. Maior distribuição de esforços nos dentes da engrenagem. Maior absorção de choque quando comparado à sistemas de engrenagens.</p>	<p>Necessidade de lubrificação (conforme velocidade). Alongam-se conforme utilização. Necessidade de esticador no sistema. Enfraquecem quando submetidas a esforços laterais</p>

É muito importante fazer a escolha e dimensionamento do mecanismo que possa ser facilmente adquirido, assim como componentes complementares, em caso de avarias ou substituição. Dessa forma, a definição foi feita de modo a não haver necessidade de fabricação sob medida de qualquer componente.

Com o objetivo de fazer a melhor escolha de mecanismo de movimentação, o Quadro 2 foi composto de menções que visam ordenar os graus de desempenho que cada elemento de transmissão possui ao compará-lo com os demais elencados. As informações foram organizadas tal como proposto pelo catálogo da TSUBAKIMOTO CHAIN CO.

Quadro 2- Benchmarking de elementos de transmissão

Mecanismos		Corrente	Correia sincronizadora	Parafuso de potência	Cremalheira/ Engrenagem
Sincronismo		Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Eficiência na transmissão		Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
Antichoque		Bom	Ótimo	Insatisfatório	Insatisfatório
Ruído e vibração		Fraco	Ótimo	Ótimo	Insatisfatório
Condições ambientais (poeira e umidade)		Bom	Bom	Insatisfatório	Insatisfatório
Capacidade de deslocamento de carga	Alta velocidade e carga leve	Insatisfatório	Ótimo	Fraco	Bom
	Baixa velocidade e carga pesada	Ótimo	Fraco	Ótimo	Fraco
Necessidade de freio		Insatisfatório	Insatisfatório	Ótimo	Insatisfatório
Possibilidade de montagem modular		Ótimo	Ótimo	Insatisfatório	Bom

Fonte: feito com base em TSUBAKIMOTO CHAIN CO (2020).

Ao observar os mecanismos de movimentação de máquinas já existentes, é possível visualizar sistemas de movimentação nas impressoras bem semelhantes aos citados, como pode ser observado, nas impressoras Apis Cor e D-Shape, Figuras 1 e 2 do capítulo anterior. A primeira possui alguma movimentação longitudinal semelhante à cremalheira ou algum tipo de trilho. Já a D-Shape, parece utilizar sistemas com uso de correias e correntes. A partir de impressoras 3D caseira FDM, é possível observar a movimentação desses sistemas e compará-las. Em sua maioria utilizam parafuso de potência para fazer a movimentação vertical e correias para realizarem movimentos nos eixos no plano horizontal.

EIXOS HORIZONTAIS (X E Y)

Um sistema de cremalheira e engrenagem ou trilhos podem ser bem usuais para esses eixos de movimentação. Apesar de não ter sido encontrado cremalheiras tão compridas, existe a possibilidade de emendas para aumentar o comprimento deste componente. No entanto, modelos de cremalheiras que possam ser emendadas têm limitação de fabricante e características que também limitam sua aplicação.

A utilização de fusos para estes deslocamentos deixaria o sistema com massa muito elevada, pois são fabricados em aço laminado e teriam grande diâmetro, pelo fato de os eixos X e Y terem 6 e 8 metros respectivamente.

Os sistemas flexíveis de correia e corrente podem ser de grande eficiência para essas movimentações, apesar de não ter encontrado correias sincronizadoras de comprimentos tão expressivos. Os sistemas de correntes oferecem aos eixos longitudinais grandes benefícios, pois insere pouca massa ao sistema, deixando assim a estrutura com menor massa. Além disso, a utilização de correntes com duas ou mais fileiras suaviza a movimentação e melhora a sincronia e precisão que a impressora necessita.

EIXO VERTICAL (Z)

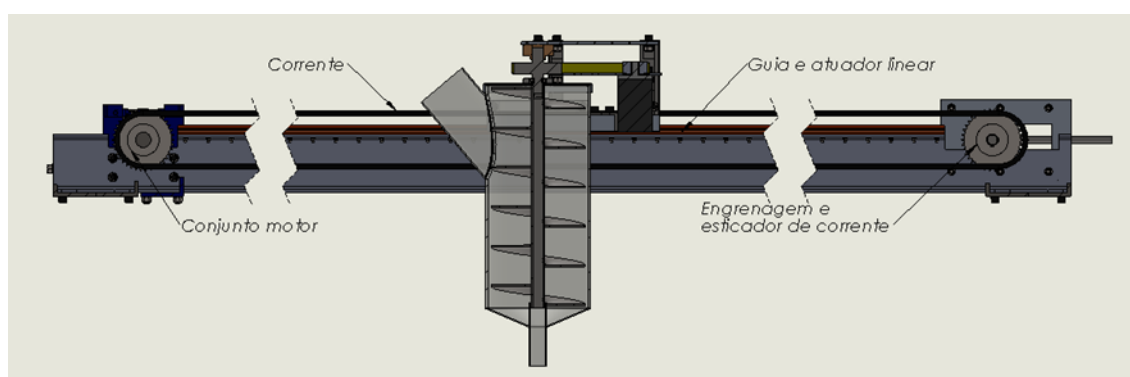
Portanto, a partir das observações feitas nos equipamentos existentes e nos levantamentos realizados, podemos dizer que o componente mais adequado para movimentação vertical (eixo Z) é o parafuso de potência, pois consegue proporcionar grande precisão ao movimentar-se, fornecendo grande estabilidade, além de estabelecer auto travamento do sistema. Vale mencionar que a utilização desse componente estabelece que esse eixo de movimentação não possa ser fracionado em módulos.

Ao comparado com movimentação por correntes e correias, que precisam de torque elevado para movimentar o sistema, a utilização de fuso de esferas diminui a quantidade de torque para fazer esta movimentação, pois o eixo de movimentação vertical Z é responsável pelo deslocamento de maior carga da impressora. Portanto, o fuso de esferas é o mecanismo mais aconselhado para prover o deslocamento vertical.

DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES DO EIXO X

Foi determinado o uso de corrente como mecanismo de movimentação do cabeçote de impressão. No entanto, alguns outros componentes são necessários para realizar movimentação com precisão e eficiência. A Figura 2 ilustra alguns mecanismos que serão dimensionados e selecionados a seguir: motor acionador do fuso helicoidal; corrente acionadora; guia linear; conjunto motor de movimentação, e; engrenagem e esticador de corrente. O cabeçote de impressão que aparece na imagem foi dimensionado no capítulo anterior.

Figura 2 - Ilustração de componentes de movimentação do eixo X



GUIAS LINEARES

Guias lineares são trilhos que permitem deslocamento linear com elevada precisão e tem como característica ser um equipamento altamente robusto, portanto, suportando

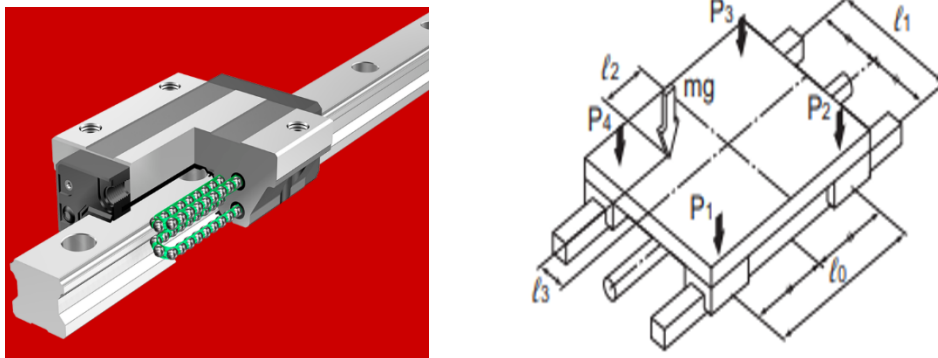
cargas elevadas. Este mecanismo é composto por atuadores lineares, que se movimentam sobre a guia. Por sua vez, o atuador linear é composto de esferas para que haja o menor atrito possível ao deslocar-se sobre as guias.

Para seleção deste componente foi utilizado o catálogo da empresa THK, pois apresentam grande variedade de guias e atuadores lineares, além de disponibilizar memorial de cálculo para melhor dimensionamento. A Figura 3 exemplifica o funcionamento deste mecanismo.

A massa deslocada pelo atuador linear é a composição das massas de argamassa, do cabeçote de impressão, motor, redutor, fixadores e cantoneiras, que somam 120 kg. Portanto, as guias lineares de cada viga do eixo X suportam 60 kg.

A guia e atuador linear selecionados são da linha THK-HSR, pois são equipamentos, que, de acordo com o fabricante, podem trabalhar em ambientes com elevada contaminação de material estranho, como partículas suspensas no ar. São equipados com gaiola de esferas para diminuir o atrito durante o deslocamento para evitar desgaste da guia e das esferas. As guias também são equipadas com raspador de metal, raspador de contato e lubrificador. Estes componentes anexados ao atuador linear limpam a guia conforme o deslocamento do atuador e mantém lubrificação contínua das esferas de contato. Este conjunto também é anticorrosivo, pois é fabricado em aço inoxidável martensítico.

Figura 3 – Imagem da guia e do atuador e a condição para cálculo de carga



Fonte: THK

A guia selecionada foi a HSR 15R. Para a aplicação desejada é necessário a junção de três guias de 2080 mm de cada lado, para movimentar o conjunto do cabeçote de impressão durante o funcionamento da impressora, totalizando seis guias para o eixo de movimentação X. As características e informações pertinentes ao dimensionamento da guia e dos atuadores são fornecidas pelas equações do catálogo da THK para montagem horizontal com o percurso do bloco, uniforme ou com paradas, Figura 3. Assim, as condições de cálculo são: $l_0 = 400$ mm; $l_1 = 516$ mm; l_2 e l_3 são zero, e; a carga radial $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 294,3$ N, ou seja, a carga é igualmente distribuída nos quatro atuadores fixados ao cabeçote de impressão.

Os resultados são: a carga média suportada (P_c) é igual a 294,3 N, a carga dinâmica suportada pela guia linear (C_r) é igual a 10900 N e, a vida nominal ($L(\text{vida})$) é de 400.000 km, tomando o fator de carga (f_w) como 1,5 e o fator de contato (f_c) de 0,81.

Desta forma, o atuador linear selecionado é do modelo HSR-15R que suporta carga estática de 15,7 KN e 10,9 KN de carga dinâmica.

CORRENTE

Para seleção e dimensionamento da corrente que é responsável pela movimentação do eixo X, foi levado em consideração a necessidade de precisão no movimento. Portanto, a corrente de duas ou mais fileiras permitem movimento mais suave e preciso. Além de ser um sistema de fácil manutenção e utilização.

A corrente selecionada é a ABNT 08 A-2 de duas fileiras. Cada viga do eixo X precisa de 12,3 metros de corrente, totalizando 24,6 metros utilizados no eixo. Sabendo que o eixo tem 6 metros de comprimento e velocidade de impressão de 0,177 m/s, é possível calcular os parâmetros básicos de tempo (t) de 33,9 s e aceleração (a) de 0,0052 m/s para exercer movimentação inicial do cabeçote de impressão a partir da força exercida pela corrente. A Figura 4 apresenta os esforços para deslocar o cabeçote de impressão.

Figura 4 - Esforços para deslocar o cabeçote de impressão



Pela segunda lei de Newton, Equação 1, encontra-se a força de 65,5 N necessária para movimentar a carga de 73,75 kg. Essa massa é composta por metade da massa do cabeçote (60kg) mais a massa da corrente (1,12 kg/m*(2* distância entre centros + diâmetro da engrenagem)), uma vez que o eixo x é composto por duas vigas.

$$F - Fat = m \cdot a \quad (\text{Eq. 1})$$

$$F = m \cdot a + m \cdot g \cdot \mu \quad (\text{Eq. 2})$$

O funcionamento da impressora, em relação ao eixo de movimentação X, opera de forma intermitente, lubrificação periódica e na horizontal. Portanto, o fator de operação (K) para este caso é 1,3. Tendo isso em mente e as equações dadas por Budynas e Nisbett, é possível calcular o coeficiente de segurança da corrente (CS) como 325, visto que a força de ruptura da corrente (Frup) é de 27664 N, a força para movimentar a carga (F) é de 65,5N e, K é 1,3.

Com a informação da distância entre o centro, determinada no projeto de 6200 mm, e do diâmetro da engrenagem utilizada, é possível calcular parâmetros importantes como o torque necessário para movimentar a carga e a distância entre centro corrigida (C') de 6064,7 mm. O cálculo do torque (T) de 5,03695 Nm leva em consideração a força de 65,5 N e a metade do diâmetro primitivo da engrenagem de 153,8 mm. O número de elos é de 1015.

O momento de inércia da carga de 0,47724 kgm² é uma informação importante para determinar o motor e o redutor para movimentação. Para calcular a força exercida sobre o eixo (F eixo) de 120 N, deve-se utilizar o fator (q) dado em catálogo e que vale 1,12kg/m e o fator de posição do eixo (C), que é dado por Budynas e Nisbett.

O resultado de coeficiente de segurança 325 obtido assegura que a utilização da corrente selecionada atende às necessidades de projeto. Vale ressaltar que o dimensionamento da corrente segue a norma ASA de correntes de rolos, e os dados foram obtidos das informações contidas em catálogo.

MOTOR

O torque do motor é um fator limitante para movimentação, pois no mercado existe alguma dificuldade para encontrar motores de passo com torque elevado. Além disso, é importante calcular se o motor tem força necessária para começar o movimento, uma vez que a inércia da carga movimentada é relativamente alta para este tipo de equipamento. Para tanto, será utilizado um redutor de velocidade HP 58 14 039 para diminuir a inércia refletida no motor de passo Nema42 KTC-110HS165 da Kalatec, e, dessa forma conseguir movimentar o sistema. Este motor exerce um torque nominal máximo de 16 Nm, mas é recomendado que o sistema utilize, no máximo, 80% do torque total, portanto 12,8 Nm de torque disponível.

O cálculo de inércia do projeto ($J(\text{total})$) é a somatória da inércia da carga calculada (J_c), da inércia do motor (J_m) e da inércia do redutor ($J(\text{red})$), sendo igual a $0,873 \text{ kgm}^2$. A inércia refletida ($J(\text{refl})$) calcula a inércia equivalente do sistema a ser movimentado, a partir da inclusão de um redutor de velocidade, sendo igual a $0,00067448 \text{ kgm}^2$.

Os cálculos de dimensionamento de motores puderam ser comparados aos resultados obtidos com o auxílio do *software* da WEG® para calcular parâmetros de funcionamento.

Ao comparar as inércias refletida ($J(\text{refl})$), com a inércia calculada pelo *software*, percebe-se que há possibilidade real de movimentar a carga desejada, pois dão resultados semelhantes. Dessa forma, tanto o motor quanto o redutor selecionado atendem as solicitações de projeto, pois com a utilização do redutor, a inércia do motor é capaz de movimentar a carga. Cabe ressaltar que o *software*, que utiliza o princípio de transportador de esteiras como parâmetro, semelhante à calculada, não aceita valores de massa da esteira maiores que 20 kg. Para esta aplicação, a esteira seria a corrente e que tem massa total de 27,5 kg. Portanto colocou-se 17,5 kg para massa da esteira e 130 kg para carga movimentada.

O torque (T), rotação (n) e potência (P_{ot}) que o motor precisaria entregar para fazer o sistema funcionar, mas sem a utilização de redutor, são respectivamente: de 10,066 Nm; 21,9 rpm e 23,18 W. Ao aplicar o redutor selecionado com redução igual a 39, o torque e rotação que o motor passa a entregar são de 0,2581 Nm e 854 rpm, respectivamente. Os cálculos dos novos valores de torque (T') e rotação (n') que o motor precisa entregar são: 0,258 Nm e 21,9 rpm. Isso considerando: aceleração igual a $0,005015 \text{ m/s}^2$; força aplicada para movimentar o sistema (F) de 130,9 N; redução do motor (red) de 39; velocidade de impressão (v) de 0,177 m/s. diâmetro da engrenagem (d_p) = 0,1538 m.

A curva de torque por rotação do fabricante, mostra que com uma rotação de 900 rpm, o motor entrega 4 Nm de torque, superando muito a necessidade de projeto. Para esta aplicação, o motor entregaria cerca de 377 W.

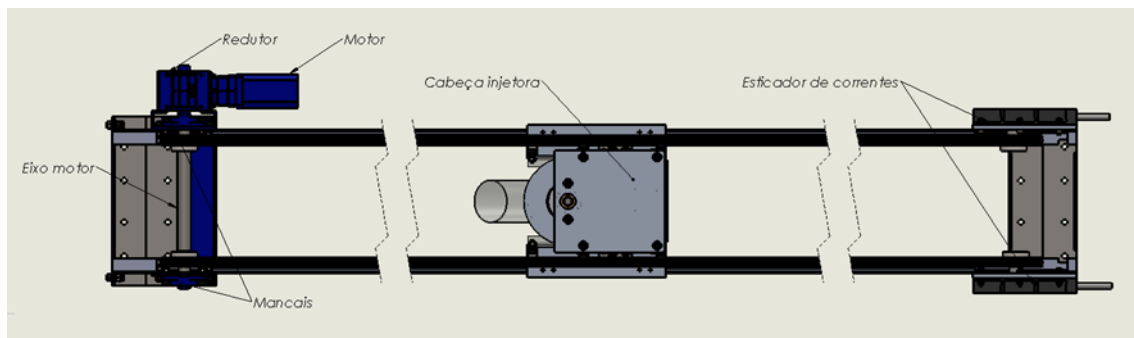
O motor selecionado atende aos requisitos para implementação, uma vez que seu torque é elevado e a inércia é superior à refletida. No entanto, o *software* indica o

servomotor SWA 56-6, 1-20+F e o servoconversor SCA 050008T2223PSZ ao final dos cálculos.

ENGRENAGENS

A engrenagem selecionada tem diâmetro 153,8mm e 38 dentes com código comercial ASA 38Z A-2, bem como a engrenagem fixada ao esticador de correntes, Figura 5. A seleção dos componentes foi realizada a partir do modelo da corrente selecionada e aspectos de montagem.

Figura 5 - Esquema de posicionamento de componentes



MANCAIS DO EIXO MOTOR

O eixo que exerce tração para movimentação do eixo X é apoiado lateralmente por mancais, como pode ser visto na Figura 5. Este eixo tem diâmetro de apoio de 30 mm. Para este sistema foi selecionado o mancal com flanges FRM FL 206 e rolamentos radial para cargas leves com fixação por parafuso.

A força exercida no eixo (F_r) é calculada a partir da força utilizada pela corrente para movimentar o cabeçote de impressão de 65, 5 N (Equação 2), do fator de posição de movimento da corrente (K_0) igual a 4 e da distância entre centros corrigida (C') igual a 6,0647 m.

A força de movimentação (F_{eixo}) é calculada a partir do esforço que cada corrente exerce para movimentar o cabeçote de impressão. O catálogo da FRM determina que, caso a relação entre as cargas radial (F_r) e axial (F_a) exercidas no mancal seja menor que 0,8 ($F_r/F_a < 0,8$) a carga dinâmica equivalente (P) deve ser igual a F_r (119,8 N), sendo esse o caso.

Rolamento e mancal atendem a solicitação de carga dada pelo eixo. A caixa do mancal flangeado FRM FL 206 suporta carga radial (F_r) de 26 kN e, o rolamento Y 206 V22 apresenta vida (L) com o elevado número de $4,4 \times 10^6$ ciclos.

ROLAMENTO E ACESSÓRIOS DA ENGRENAGEM MOVIDA

O apoio da engrenagem movida é composto por esticador de correntes, pino e rolamento fixado por interferência na engrenagem. O modelo do tensor de corrente é o T208+WB para cargas normais e tem capacidade de deslocar 220 mm, portanto, margem de deslocamento suficiente para tencionar a corrente.

Para esta aplicação, o tensor é justificável porque a corrente pode alargar conforme utilização, além de ser efetiva durante a montagem, troca de elos e manutenção.

O tensor é articulado com rolamento de diâmetro interno de 30 mm e fixação por parafuso. Utiliza a linha de rolamentos G200 ou Y200. O tensor de corrente Y200 tem capacidade de suportar cargas de quase 20.000 N de carga dinâmica. Logo, o modelo de rolamento selecionado é o Y 206 V22. Os cálculos para este componente são idênticos ao realizado para engrenagem motora. Portanto, os resultados também valem para este rolamento, bem como a explanação referente à caixa de mancal flangeado (Catálogo da FRM).

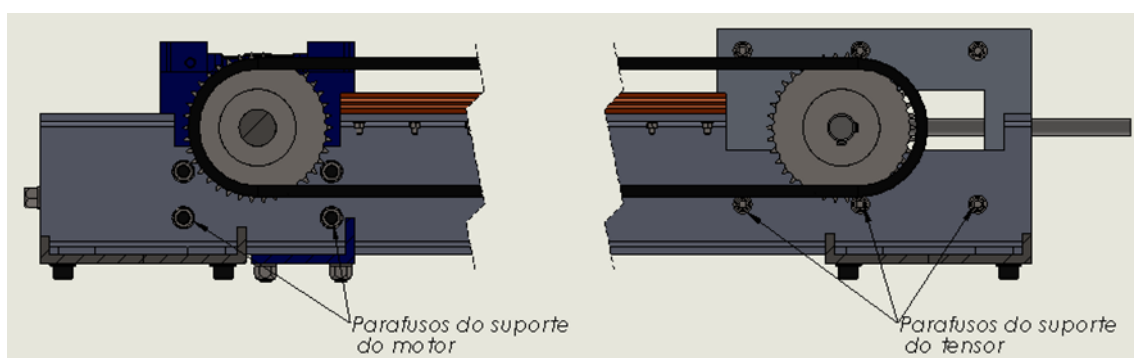
ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Os fixadores com maior importância estão relacionados ao sistema que traciona a corrente. A Figura 6 mostra a seção com estes dois conjuntos de parafusos. O primeiro é responsável pela fixação da chapa entre mancal e viga U, o segundo é utilizado para fixar chapa, tensor de corrente e viga U. Apesar da furação do fixador do tensor ser determinada pelo fabricante, cabe elucidar os cálculos destes conjuntos de juntas.

Toma-se como hipótese que a junta é submetida ao esforço de cisalhamento aplicado pela força exercida pela corrente de 119,8 N. A junta em questão é composta por quatro fixadores M14x1,5. A distância do centro do eixo, que recebe a força de 119,8 N, até o centroide da junta é de 84 mm. Desta forma, o momento é de 14,37 na junta, considerando que o braço de alavanca em relação ao centroide da junta (l) é de 0,12m.

Para calcular a força no parafuso (F_p) que sofre a maior sollicitação é necessário a saber: a força do momento em cada parafuso (F_m) igual a 42,78 e, a força direta (F_d) em cada fixador igual a 29,95 N, resultando em 72,73 N. O significado físico é que os dois parafusos superiores da junta analisada sofrem esforços iguais a 72,73N e os dois inferiores sofrem cargas iguais a 29,95N. Dado estes resultados, a tomada de tensões de cisalhamento (τ_b) são feitas a partir dos parafusos que recebem maior sollicitação de carga, igual a 472,7 kPa.

Figura 6 - Parafusos de fixação



A resistência ao escoamento por cisalhamento corrigido (pelo fator 0,577) do parafuso utiliza a tensão de escoamento do aço (τ_e) de 200 MPa. O coeficiente de segurança (c_s) de 224,1 é obtido pela divisão da tensão corrigida (τ_r) de 115,4 MPa, pela tensão de cisalhamento (τ_b), de 472 kPa.

De acordo com os cálculos, a junta proposta atende as solicitações de projeto, uma vez que o coeficiente de segurança seja tão elevado.

JUNTA DO ESTICADOR DE CORRENTES

Os cálculos para junta do esticador de correntes, vista do lado direito da Figura 5, são exatamente os mesmos dos calculados anteriormente, com a diferença que esta junta é composta por três parafusos M10x1,5. Assim a força aplicada na junta (F) é de 119,8N divididos por 3, que é igual a 39,93 N. Somado a força do momento (Fm) de 26,88N, leva a escolha de um fixador com carga maior que 66,81N. Neste caso o coeficiente de segurança foi de 135,57.

De acordo com os cálculos, a junta proposta para fixação do tensor atende as necessidades de projeto.

FLEXÃO E DEFLEXÃO NO EIXO DE MOVIMENTAÇÃO X

Para que o cabeçote de impressão percorra os 6 metros estimados em projeto, o comprimento da viga deve ser de 6895 mm para que haja montagem adequada dos componentes restantes. Com a montagem, o vão livre da estrutura fica com 6615 mm de comprimento.

A massa suportada por cada viga é composta pelo somatório das massas das próprias vigas e componentes anexados, totalizando uma carga de 200 kg para cada viga, como pode ser visto na Tabela 1. As especificações de massa relacionadas ao cabeçote de impressão estão detalhadas na respectiva seção de dimensionamento.

Tabela 1- Massa de componentes no eixo X

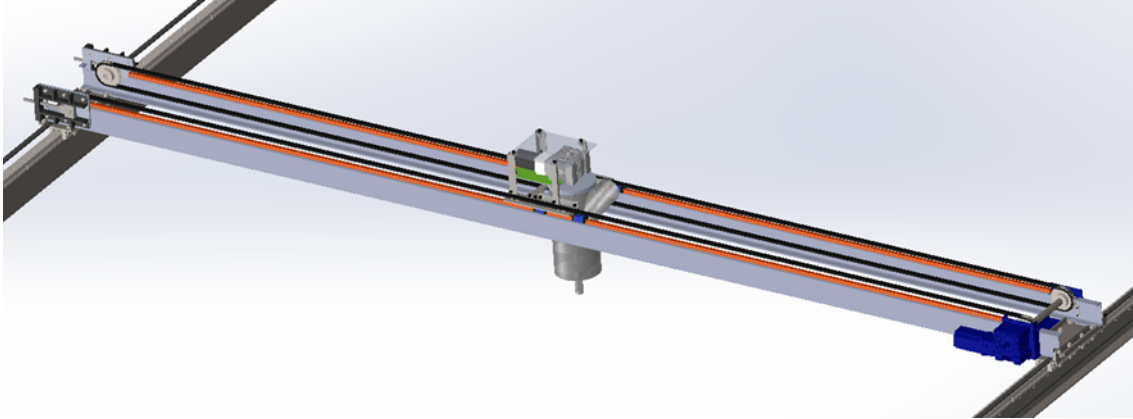
Componentes	Massa (kg)
Viga U de 6"	84,20
Cabeçote de impressão/2	60,00
Correntes	13,80
Sobrepeso (parafusos, argamassa no tubo, motor, redutor, mancais, eixo, esticador de corrente)	27,15
Guias lineares	14,85
Total	200,00

A Figura 7 ilustra a quantidade e variedade de componentes apenas neste eixo, assim como a forma do apoio do eixo X sobre o eixo Y.

O fabricante da viga disponibiliza no catálogo o momento de inércia de área dos materiais fabricados, e dessa forma pode-se calcular os esforços estáticos no ponto crítico do componente em questão. Lembrando que o comprimento utilizado para os cálculos diz respeito à distância entre os pontos de apoio da viga, e não o comprimento total da viga, que tem as seguintes características: massa (m) =200 kg; comprimento (L) = 6,615 m; momento de inércia (I) = $6,32 \times 10^{-6} \text{ m}^4$; módulo de elasticidade (E) = 200 GPa.

O momento máximo (M) acontece quando o cabeçote de impressão está exatamente no meio da viga, ou seja, quando $L=x/2$ e é dado pela Equação 3. O valor obtido é de 3244,7 Nm.

Figura 7 - Eixo de movimentação X



$$M = \frac{P \cdot x}{2} = \frac{P \cdot \left(\frac{L}{2}\right)}{2} = P \cdot \frac{L}{4}, \text{ sendo } 0 < x < L \quad (\text{Eq. 3})$$

A partir do momento máximo, pode-se encontrar a tensão de flexão máxima de 39,12 MPa (Equação 4) sobre a viga. Para este cálculo, deve-se recordar que depende da distância transversal do ponto onde a carga é aplicada e a linha de centro da viga (c), que é de 0,0762 m ou 76,2 mm. A Figura 8 ilustra a aplicação de carga na viga, bem como as dimensões levantadas.

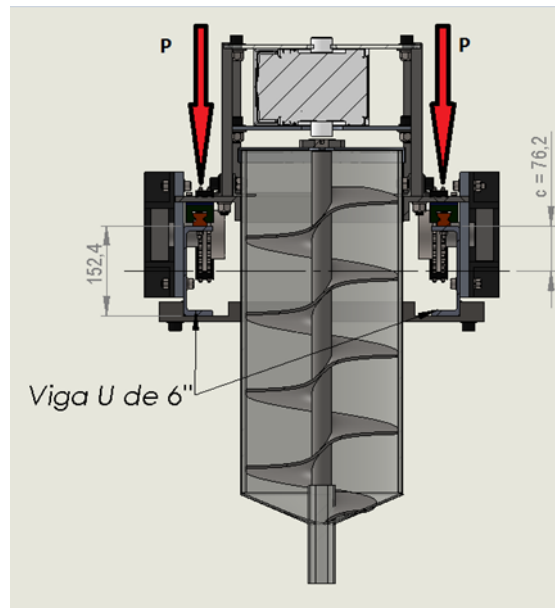
$$\sigma(\text{flexão}) = \frac{M \cdot c}{I} \quad (\text{Eq. 4})$$

Segundo Robert L. Norton (2004), a deflexão é dada pela Equação 5 e o ângulo defletido (θ) é obtido pela Equação 6.

$$\frac{dy}{dx} = \theta = \frac{P}{4 \cdot E \cdot I} \cdot \left(x^2 - \frac{L^2}{3}\right) \quad (\text{Eq. 6})$$

$$y = \frac{P}{12 \cdot E \cdot I} \cdot (x^3 - L^2 \cdot x) \quad (\text{Eq. 5})$$

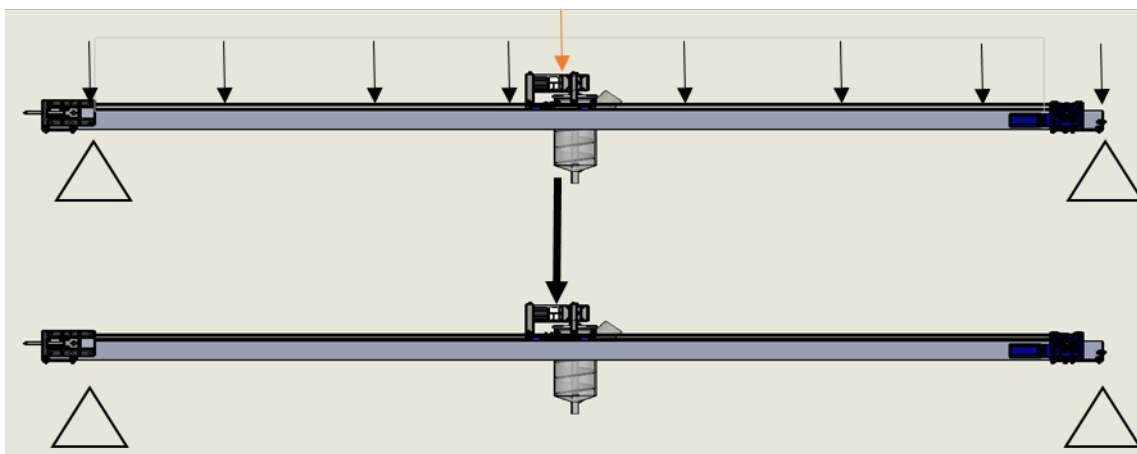
Figura 8 - Perfil do eixo X



A deflexão (y) de maior amplitude ocorre quando a carga está no meio da viga, ou seja, quando $x=L/2$. Sendo o módulo de elasticidade do aço ASTM A36 de 200 GPa, os resultados obtidos são: momento M igual a 3244,7 Nm; flexão máxima igual a 39,12 MPa; deflexão máxima (y) = 0,98 mm; rotação máxima (Θ) = 0,0014164 rad ou 0,08115°.

A Figura 9 mostra a estrutura da impressora dividida em duas partes, a primeira mostra a real distribuição de forças com a carga distribuída ao longo do eixo somado à carga concentrada do cabeçote de impressão. A ilustração seguinte ilustra concentração da carga distribuída somada à carga do cabeçote de impressão. Para efeitos de cálculo, foi utilizada a carga concentrada total.

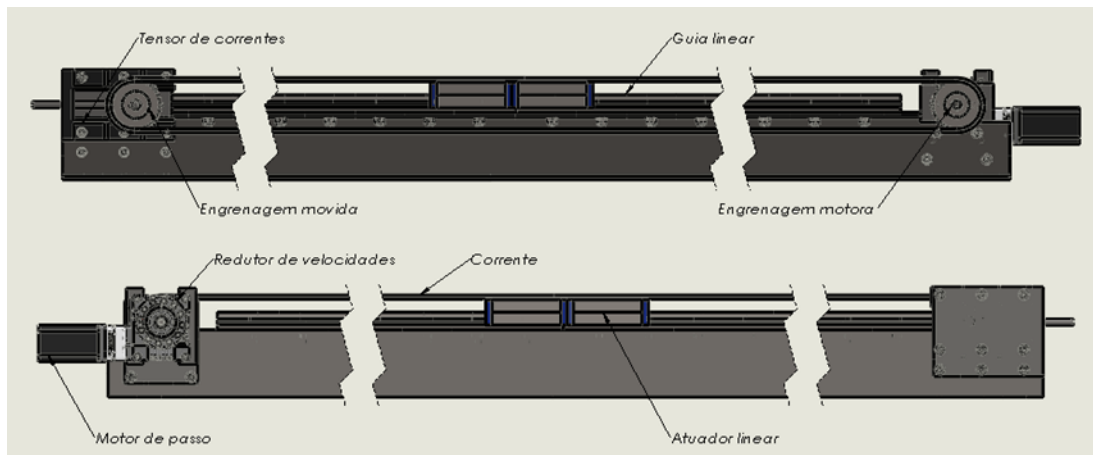
Figura 9 - Atuação de esforços do eixo de movimentação X



DIMENSIONAMENTO DE MECANISMOS DO EIXO Y

O eixo de movimentação Y conta com componentes similares aos usados no eixo X. A Figura 10 mostra os principais elementos dimensionados nesta seção do projeto. A apresentação da seleção e dimensionamento de componentes do eixo Y é demonstrado de acordo com a seguinte ordem: seleção e dimensionamento da guia e atuador linear; dimensionamento e seleção do motor, engrenagem e corrente; dimensionamento de rolamentos e mancais, e; dimensionamento de juntas de fixação.

Figura 10 - Componentes eixo de movimentação Y



GUIA E ATUADOR LINEAR

O cálculo sugerido para esta guia linear diferencia-se do modelo dimensionado para o eixo X de movimentação, porque não existe movimento relativo do cabeçote de impressão, portanto o cálculo levará em consideração a inércia do eixo X que acontece durante o funcionamento da impressora.

Importante salientar que o eixo de movimentação Y é composto por duas vigas paralelas e distante 6,845 m e que exercem movimentação em conjunto. A carga total de todos os componentes do eixo X totalizam 400 kg, e esta carga está igualmente suportada pelo eixo Y de movimentação. Portanto, cada viga do eixo Y recebe uma carga de 200 kg. A distribuição de cargas e direção de movimentação do eixo Y pode ser visto na Figura 11.

O atuador e guia selecionados são do modelo HSR-25LA e para que o comprimento de impressão total deste eixo de movimentação seja varrido pelo cabeçote de impressão é necessário que haja a junção de quatro guias de 2020mm de comprimento. As guias podem ser vistas na Figuras 11 e 12.

As cargas são divididas em três fases para serem calculadas adequadamente. Em cada fase, as forças agem de formas distintas. As fases de movimento são divididas em forças que agem durante a aceleração, movimento uniforme e desaceleração. As equações deste movimento são ligeiramente diferentes do calculado anteriormente, pois leva não em consideração o movimento relativo do cabeçote de impressão que percorre o eixo X.

Figura 11 - Distribuição e movimentação do eixo Y

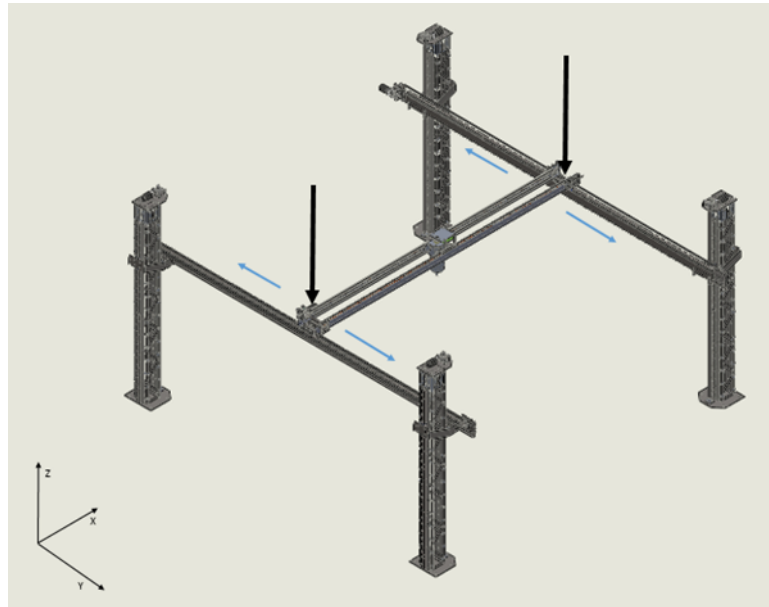
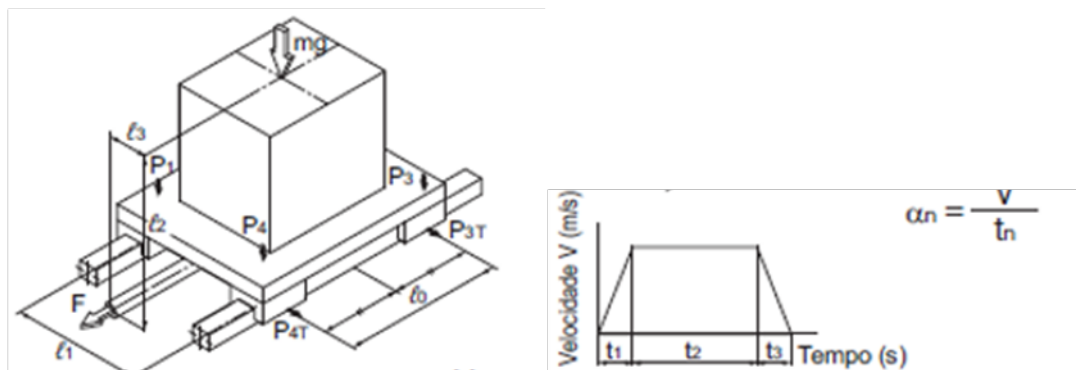


Figura 12- Modelo de montagem horizontal com inércia



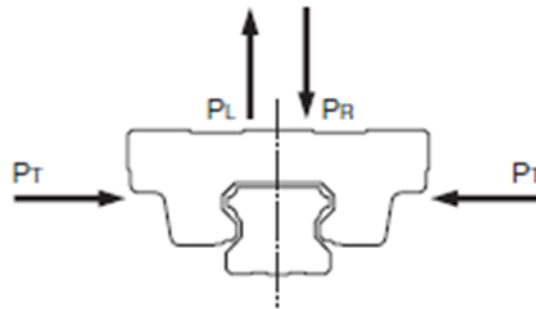
Fonte: THK.

As capacidades de carga dos atuadores selecionados no catálogo, a aceleração e os comprimentos utilizados nas equações de carga são: massa total movimentada (m) de 400 kg; capacidade de carga estática da guia linear (C_r) de 51 600 N; capacidade de carga dinâmica da guia linear (C) de 35 200 N; comprimento l_0 de 268 mm; comprimento de l_1 de 6615 mm; comprimento de l_2 de 340mm; comprimento de l_3 de 6460 mm; aceleração $a_1=a_3$ de $0,00392 \text{ m/s}^2$.

A partir das equações fornecidas pelo catálogo da THK são obtidas as forças correspondentes a cada aplicação: carga radial (P_r) durante aceleração de $P_1=P_4=980,01 \text{ N}$; carga radial durante aceleração de $P_2=P_3=981,99 \text{ N}$; carga radial inversa durante aceleração de $P_{T1}=P_{T4}=19,35\text{N}$; carga radial inversa durante aceleração de $P_{T2}=P_{T3}=-19,35 \text{ N}$; carga durante o movimento uniforme de $P_1=P_2=P_3=P_4=981 \text{ N}$; carga radial durante a desaceleração de $P_1=P_4=981,99 \text{ N}$; carga radial durante a desaceleração de $P_2=P_3=980,01 \text{ N}$; carga radial inversa durante a desaceleração de $P_{T1}=P_{T4}=-19,35 \text{ N}$; carga radial inversa durante a desaceleração de $P_{T2}=P_{T3}=19,35 \text{ N}$;

O esquema da Figura 13 ilustra as cargas P_1 , P_2 , P_3 e P_4 equivalentes às cargas P_L e P_R da Figura 12. Já as cargas P_{T1} , P_{T2} , P_{T3} e P_{T4} equivalem às cargas laterais P_T . Importante observar que as direções das cargas são dadas pelos sinais obtidos nos resultados das equações e que as cargas laterais se anulam durante aceleração e desaceleração. A equação que calcula a carga equivalente (P_e) inclui fatores de equivalência para carga lateral (X) e axial (Y). No entanto, ambos os fatores são iguais a 1 de acordo com o catálogo assim o valor calculado de P_e foi de 1001,35 N que é a somatória de P_R e P_T .

Figura 13 - Esquema de cargas aplicadas



Fonte: THK

Como as cargas laterais se anulam durante os movimentos acelerados e desacelerados, é possível tomar o módulo da carga de -19,35 e utilizar a carga de 981,99N como carga axial, para compor a carga da equação do cálculo da vida, que é de 342000,5 km, considerando: capacidade de carga estática da guia linear (C_r) de 51 600N; fator de rigidez f_h de 1; fator de temperatura f_t de 1; fator de contato f_c de 0,81, e; fator de contato f_w de 1,5.

Dessa forma o cálculo do sistema fica mais robusto. Além disso, observa-se que as cargas P_1 , P_2 , P_3 , e P_4 atuam em pares dianteiro e traseiro de guias lineares, e seus valores mudam conforme o movimento, ou seja, ora atuando num par durante a aceleração, ora atuando em outro par de guias durante a desaceleração. Portanto, o desgaste será igual para todas as quatro guias lineares utilizadas.

Mediante os resultados obtidos, observa-se que os componentes selecionados apresentam desempenho satisfatório em relação à vida e durabilidade.

CORRENTE

Para seleção e dimensionamento da corrente que é responsável pela movimentação do eixo Y, foi levado em consideração a necessidade de precisão no movimento. Portanto, a corrente de duas ou mais fileiras permitem movimento mais suave e preciso, ou seja, como menor possibilidade de dar tranco durante o início do movimento. Analogamente a x.

A corrente selecionada é a ABNT 08 A-2 de duas fileiras e com comprimento de aproximadamente 16,9 m em cada viga do eixo Y. De acordo com as equações do catálogo, considerando o comprimento total a ser percorrido (L) de 8 m e a velocidade de impressão (v) de 0,177m/s, o tempo para percorrer o comprimento total (t) é de 45,19s e a aceleração inicial do movimento (a) de 0,00392 m/s.

Pela segunda lei de Newton, Equação 1, encontra-se a força (F) de 195,1 N, que é a necessária para movimentar a carga (m) de 220 kg, considerando a aceleração calculada de $0,00392 \text{ m/s}^2$ e o valor de da força de atrito (fat) igual a 194,24 N calculado usando o valor de coeficiente de atrito de 0,09.

O fator de operação (K) é o produto dos fatores de serviço, lubrificação e posição da corrente. Levando em consideração que a impressora operará de forma intermitente, com lubrificação periódica e na horizontal. Logo, o fator de operação (K) para este caso é 1,3. Com a força para movimentar a carga (F) de 195,1 N e, sendo a força para romper a corrente (Frup) de 27664 N, é possível calcular o coeficiente de segurança da corrente (CS) de 109,1.

Com as informações como a força F, o diâmetro primitivo (dp) da engrenagem de 153,8 mm e, o número de dentes da engrenagem, é possível calcular parâmetros importantes como o torque necessário para movimentar a carga de 15 Nm e a distância entre centro corrigida de 8365 mm. O número de elos calculado é de 1356 elos, dado que o passo da corrente (l) é de 31 mm.

Para calcular a força exercida sobre o eixo deve-se somar à força (F) o produto do fator de posição horizontal do eixo igual a 4, pelo fator (q), dado em catálogo que vale 1,12 kg/m e, a distância entre centro, resultando em 270 N.

A utilização da corrente selecionada atende as necessidades de projeto. Vale ressaltar que a corrente segue a norma ASA de correntes de rolos e as informações contidas em catálogo encontram-se no anexo H.

ENGRENAGEM

A engrenagem selecionada tem diâmetro 153,8 mm e 38 dentes e código comercial ASA 38Z A-2. Este diâmetro foi selecionado por apresentar melhores proporções para torque de movimento da carga, além de possibilitar montagem simplificada. A engrenagem fixada ao esticador de corrente, como pode ser visto na Figura 14, tem o mesmo diâmetro primitivo de 153,8mm e 38 dentes com mesmo código comercial que as engrenagens motoras.

MOTOR

O motor para esta aplicação movimenta 200 kg relacionadas à massa do eixo X e a massa da corrente de 18,9 kg. Essa massa que soma aproximadamente (m) 220 kg exige do motor uma força de 195,1 N, calculada pela equação 2, torque de 15 Nm, rotação de 21,98 rpm e potência de 34,55 W. Considerando o diâmetro da engrenagem (dp) igual a 0,1538m, o momento de inércia (Jc) calculado é de $1,3 \text{ kgm}^2$.

Um motor que é capaz de superar essa inércia é robusto, pesado e de valor elevado. A alternativa de utilizar redutor de velocidade proporciona diminuição do momento de inércia refletida no motor, deixa o sistema mais compacto e mais leve. Portanto, fica justificável a aplicação do redutor de velocidades da Atlanta redutores, de código comercial HP58 04 039, com redução de 39 vezes o torque de saída do motor. Assim os valores de torque e rotação passam para 0,3846 Nm e 857,3 rpm, respectivamente

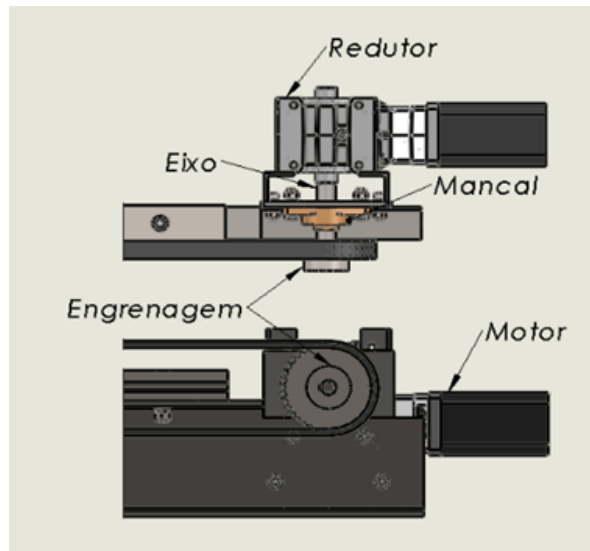
O motor de passo Nema 42 de código comercial KTC-110HS165 da Kalatec possui torque máximo de 16 Nm e atende aos requisitos para movimentar a carga aplicada de 195 N, que corresponde a um torque de 15 Nm.

Utilizando *software* da WEG® para selecionar servo motores, a inércia das cargas encontrada é de 1,18272 kgm² e a inércia refletida é de 0,00097 kgm², semelhante aos resultados das inércias calculadas de 1,29455 kgm² e 0,00095 kgm², respectivamente, assim o motor é suficiente para movimentação. Portanto, motor e redutor atendem à solicitação de projeto com o servomotor SWA56-6,1-20.

MANCAIS DO EIXO TRACIONADO

Como mostra a Figura 14, o apoio do eixo tracionado utiliza o mancal FL206 com diâmetro interno de 30 mm. Este é associado ao rolamento Y 206-19 V22, assim como outros dimensionados neste trabalho, sendo as informações técnicas de rolamentos e mancais do catálogo da FRM.

Figura 14 - Composição do sistema tracionado



A partir da força que a corrente exerce sobre o eixo de 195,1 N, segunda a Equação 2, é calculada a carga atuante no eixo (F_r) de 270 N. Para o cálculo da carga aplicada no mancal (P_r) de 405,7 N, o fabricante propõe que a carga atuante no mancal seja multiplicada por um fator f_p que varia de 1,2 a 1,5. Para este caso, foi aplicado o maior valor para diminuir riscos do projeto. Assim a vida útil equivalente do componente, que significa o quanto o rolamento do mancal aguenta, é de 113628×10^6 revoluções, sendo a carga dinâmica do rolamento (C_r) igual a 19620 N.

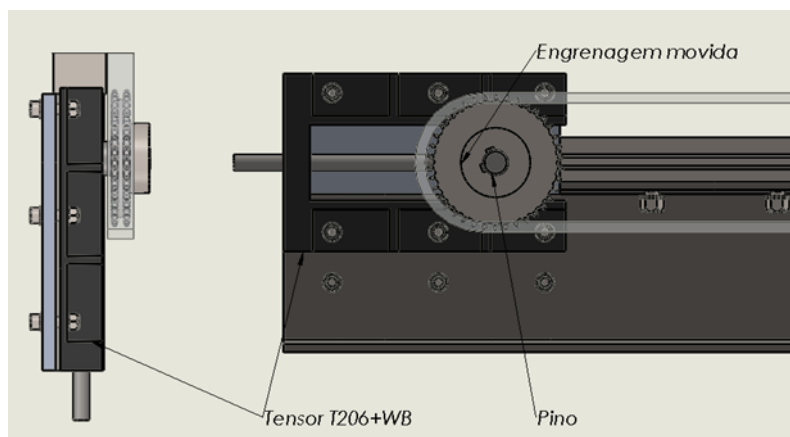
Com base na carga estática do rolamento (C_0) igual a 11183 N e no valor de P_r , o coeficiente de segurança (CS) encontrado foi de 27,6.

Dada a quantidade de revoluções que o rolamento suporta e o coeficiente de segurança, constata-se que o mancal pode ser utilizado no projeto. A carcaça do mancal da linha FL suporta 26KN de carga estática, logo muito superior ao aplicado no projeto.

TENSOR DE CORRENTE

Como pode ser visto na Figura 15, a engrenagem movida é articulada por um pino, que por sua vez, é apoiado num tensor. Este sistema, assim como o utilizado no eixo X de movimentação, funciona como um esticador de correntes. O tensor utilizado para este sistema é da série T200 com código comercial T206+WB.

Figura 15 - Vistas com detalhes do tensor



O tensor tem capacidade de se deslocar 150 mm para poder esticar a corrente e é equipado com rolamento da série Y200. O diâmetro do pino na posição do rolamento é de 30 mm, portanto, o rolamento utilizado é o Y206T V22.

O eixo fixado ao esticador está submetido aos mesmos esforços de 270 N aplicados ao eixo tracionado e 405,7 N aplicados ao mancal, além de utilizar o mesmo rolamento. Portanto, os cálculos deste componente se assemelham ao do componente anteriormente dimensionado, logo, atende às solicitações de projeto.

JUNTAS DE FIXAÇÃO

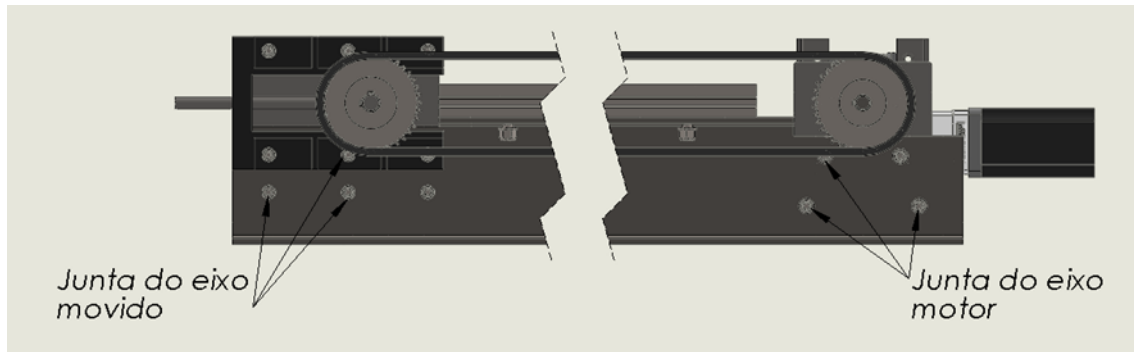
Como pode ser observado na Figura 16, as juntas de fixação dos eixos motor e movido apresentam aplicação de força a partir da corrente, e geram principalmente carga de cisalhamento. A distância da aplicação da força até o centroide da junta aumentam os esforços sentidos pelos parafusos.

A junta em questão é composta por quatro fixadores M14x1,5. A distância do centro do eixo que recebe a força (F) de 270N até o centroide da junta (c) é de 0,125m. Desta forma, obtém-se o momento na junta (M_j) de 33,75Nm.

Para determinar a força cisalhante no parafuso (F) de 151,9N, que sofre a maior solicitação, é necessário saber a força do momento em cada parafuso (F_m) de 84,39 N e a força direta (F_d) em cada fixador de 67,5 N.

O coeficiente de segurança (CS) calculado como 116,9 é o resultado da divisão da tensão ao escoamento por cisalhamento corrigida (τ_r) igual a 115,4 MPa pela tensão de cisalhamento (τ_b) igual a 0,987 MPa. Sendo que a resistência corrigida (τ_r) do parafuso, calculado, utiliza a tensão de escoamento do aço (τ_e) de 200 MPa e um fator de 0,577. De acordo com os cálculos, a junta proposta atende as solicitações de projeto, uma vez que o coeficiente de segurança é tão elevado.

Figura 16 - Juntas de fixação críticas do sistema



A junta fixadora do esticador de correntes, mostrada do lado esquerdo da Figura 16, é composta por 3 parafusos M14 e 3 parafusos M10. No entanto, o cálculo foi realizado como se a junta tivesse 6 parafusos M10. Assim, sendo F sobre a junta é igual a 127,57N, sendo F_m igual a 82,57 N e F_d a 45 N, o coeficiente de segurança (CS) é igual a 71. A tensão calculada τ_b é de 1,62 MPa e a τ_r é de 115,4 MPa. De acordo com os cálculos, a junta proposta para fixação do tensor atende as necessidades de projeto, uma vez que seu o valor de CS igual a 71 para tensões cisalhantes é elevado.

FLEXÃO E DEFLEXÃO NO EIXO DE MOVIMENTAÇÃO Y

A análise do eixo de movimentação Y é semelhante aos cálculos feitos para o eixo X, com a diferença que esta viga U tem bitola de 8" e alma de 5,59 mm (laminado). Como pode ser visto na Tabela 2, cada viga do eixo de movimentação Y recebe uma carga total de 200 kg provenientes do eixo de movimentação X, mais as cargas da própria viga e componentes anexados, como pode ser visto na Tabela 2.

Assim como o eixo X, este eixo pode ter seu momento de inércia calculado, no entanto, o fabricante disponibiliza este dado em seu catálogo. Lembrando que cada viga tem 8,74 m ou 8740 mm, mas o comprimento para efeitos de cálculo é de 7,5 m (L), uma vez que este é o vão livre onde encontram-se apoiados.

Tabela 2 - Cargas atuantes em cada viga no eixo de movimentação Y

Componentes	Massa (kg)
Viga	149,5
Guia Linear	26,7
Conjunto corrente e engrenagem	20,0
Sobrecarga (esticador de corrente, parafusos, porcas, arruelas, motor e redutor)	42,0
Eixo de movimentação X	200,0
Total	438,2

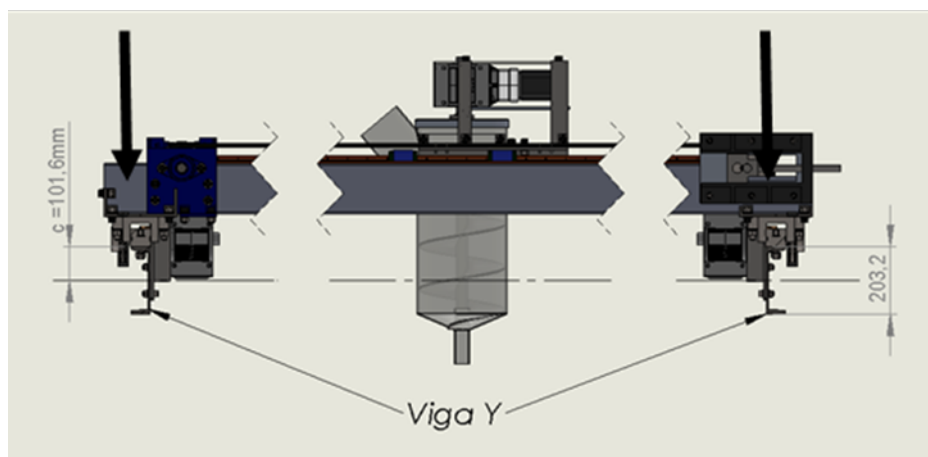
Para o cálculo do momento máximo aplicado na viga (M) utiliza-se $x=L/2$, tal como no cálculo para o eixo X, Equação 3. Importante salientar que a massa utilizada para

cálculo é de 438,2, mostrada na Tabela 17, informa a carga em cada lado do sistema do eixo Y. O momento máximo (M) é igual a 8060,14 Nm.

A tensão de flexão máxima (Equação 4) tem valor calculado de 62,32 MPa, sendo o momento de inércia (I) igual a $13,14 \times 10^6 \text{ m}^4$, e, a distância entre a superfície onde a força é aplicada e a linha de centro da viga (c) de 101,66 mm, como pode ser visto na Figura 18.

A deflexão e a angulação que a viga tem a partir da ação da carga tem formas iguais às Equações 5 e 6 demonstrada para o eixo X. Para $x=L/2$, a deflexão máxima e a rotação máxima causada na viga são 0,04798mm ou 0,0004798m e 0,00141rad ou 0,081°, respectivamente.

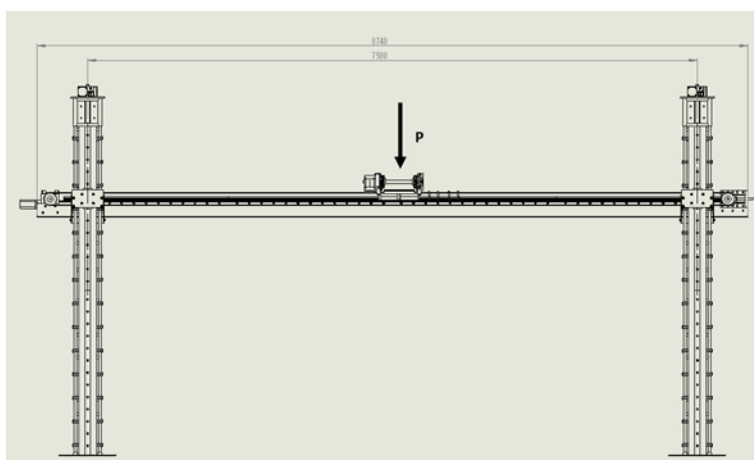
Figura 17 - Perfil do eixo de movimentação Y



A Figura 18 mostra a estrutura da impressora com o perfil do eixo Y evidenciando o comprimento total da viga, comprimento de vão livre e onde ocorre a maior solicitação.

Vale destacar que o vão livre para o eixo Y é o comprimento máximo, no qual o eixo X pode movimentar-se até as extremidades do eixo Y e, não gerar braço de alavanca que exerça carga oposta nos pilares em dado instante.

Figura 18- Eixo de movimentação Y



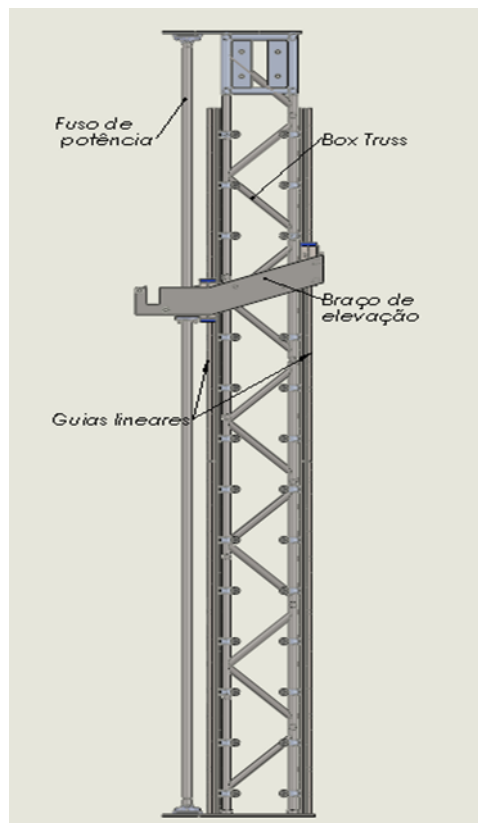
A partir dos cálculos de solicitação para cargas estáticas pode-se comprovar que as vigas utilizadas de forma estrutural podem atender as demandas de carga, uma vez que os deslocamentos causados pelas deflexões são muito pequenos.

DIMENSIONAMENTO DOS MECANISMOS DO EIXO Z

O eixo de movimentação Z é responsável pela movimentação vertical da impressora, como mostra a Figura 19. Este componente é fixado ao solo e a movimentação é basicamente feita por um fuso de esferas.

Cada um dos quatro pilares do eixo Z suporta cerca de 220 kg, que é composto por toda a carga dos eixos X e Y, totalizando 880 kg. O curso varrido pelo cabeçote de impressão durante o funcionamento é de 3,62 m, portanto comprimento menor que o estipulado inicialmente de 4 metros. Este comprimento é considerado ideal para esta configuração, uma vez que é a montagem de componentes diferentes que utiliza o menor número possível de emendas de material. E desta forma, permite mais robustez e segurança durante o funcionamento da impressora.

Figura 19 - Componentes do eixo Z



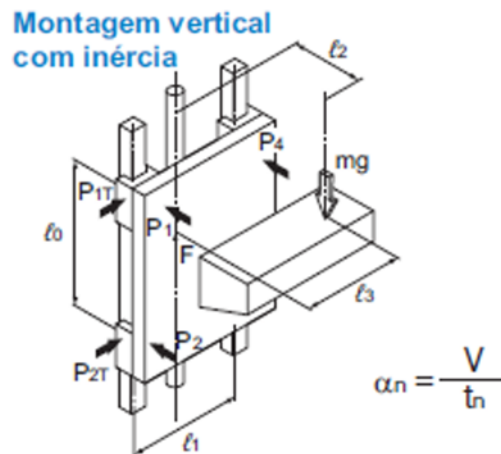
GUIA E ATUADORES LINEARES

A disposição de montagem das guias lineares, como pode ser visto na Figura 18, determina que haja dois trilhos por onde é apoiado o braço de elevação. Desta maneira espera-se que o fuso de potência não sofra flexão demasiada proveniente da carga que os eixos X e Y exercem sobre o eixo Z.

O atuador selecionado para movimentação do eixo é HSR 85-LA e o método de cálculo utilizado para dimensionamento é para montagem vertical com inércia, como indica o catálogo da THK. De acordo com o fabricante, este método separa o movimento em três etapas: movimento durante a aceleração, uniforme e desaceleração.

A Figura 20 ilustra a aplicação de força durante o movimento e a intensidade e direção das cargas

Figura 20 - Ação de forças para movimento vertical com inércia



Fonte: THK

Para movimentação vertical foi estabelecido que a altura de deslocamento máxima para cada camada de impressão é de 50 mm e que este deslocamento é feito em 0,5 segundos. Desta forma, chegou-se ao valor de aceleração e desaceleração de $0,2 \text{ m/s}^2$.

O cálculo prevê que a montagem seja semelhante ao apresentado na Figura 19. Neste projeto, cada pilar comporta uma guia na parte frontal e uma na parte traseira, como pode ser visto na Figura 18. Portanto, para que a equação do fabricante seja viável, toma-se a massa exercida em dois pilares, dessa forma a configuração apresentada pelo fabricante fica semelhante ao do projeto.

Os dados de entrada listados correspondem às características do projeto e informações técnicas do atuador e guia linear: massa total movimentada (m) de 440 kg; aceleração/desaceleração $a_1=a_3$ de $0,2 \text{ m/s}^2$; comprimentos (l0) de 50 mm, (l1) de 7500 mm; (l2) de 3000 mm e (l3) de 4000 mm.

A partir dos dados de entrada e equações dadas pelo catálogo, as forças apresentam as seguintes intensidades e direções: carga radial durante aceleração de $-P_1=P_2=P_3=-P_4=132132 \text{ N}$; carga radial inversa durante aceleração de $P_{t1}=-P_{t2}=-P_{t3}=P_{t4}=176176 \text{ N}$; carga durante o movimento uniforme de $-P_1=P_2=P_3=-P_4=129492 \text{ N}$; carga durante o movimento uniforme de $P_{t1}=-P_{t2}=-P_{t3}=P_{t4}=172656 \text{ N}$; carga radial durante a desaceleração de $-P_1=P_2=P_3=-P_4=126852 \text{ N}$, e; carga radial durante a desaceleração de $P_{t1}=-P_{t2}=-P_{t3}=P_{t4}=169136 \text{ N}$.

A carga equivalente (P_e) de 308308 N é a soma dos módulos de cargas atuantes com maior intensidade durante um movimento, que são de 132132 N e 176176 N . A vida nominal, calculada a partir desse valor é de 13,3 km, considerando a capacidade de carga

dinâmica da guia (C_r) de 367000 N e os fatores de rigidez ($f_h = 1$), temperatura ($f_t = 1$), contato ($f_c=0,81$) e carga ($f_w=1,5$) dados de catálogo.

Mediante os resultados obtidos, observa-se que os componentes selecionados apresentam desempenho satisfatório em relação à vida e durabilidade.

FUSO DE ESFERAS

Os cálculos para dimensionamento do fuso de esferas seguem orientações de catálogo do fabricante OBR. O fuso selecionado para aplicação tem diâmetro de 80 mm, passo de 20 mm e o modelo de porca utilizado é o OBR-RSFD-8020-4. Este modelo em específico é o de maior diâmetro fabricado por laminação de acordo com o catálogo do fabricante, tendo maior capacidade de receber cargas estáticas e dinâmicas. Este mecanismo associado a guia linear fornece ao sistema um tipo de movimentação com elevada precisão, exatamente o que o projeto necessita.

A partir dos dados de entrada de projeto como a massa transportada (m) igual a 220 kg, a aceleração (a) de 0,2 m/s e o coeficiente de atrito igual a 0,015 dos componentes selecionados a partir do catálogo, é possível verificar em que condições o fuso opera. A operação da impressora exige uma força axial de levantamento (F) de 2234 N, calculada segundo a Equação 7.

$$F = m \cdot g + \mu \cdot m \cdot g + m \cdot a \quad (\text{Eq. 7})$$

A velocidade (n) de 457,32 rpm é a máxima que o fuso pode operar, o seu cálculo leva em consideração o diâmetro de raiz (d_r) do fuso de 70mm, o comprimento máximo do fuso (l) de 4,3m e o coeficiente de montagem de 15,1 (C_m). A velocidade máxima de operação (n') de 22,866 rpm, de acordo com o fabricante, relaciona a velocidade com o passo do fuso selecionado que, para este caso, é de 20 mm.

A carga dinâmica (C_d') calculada de 519,374 kgf representa a carga que o fuso de esferas pode carregar linearmente. A equação vincula parâmetros importantes de dimensionamento como velocidade máxima de operação (n') de 22,866 rpm, vida útil média (V_{ut}) estipulada em 5000 h, força axial de levantamento (F) de 2234,6 N e fator de operação (F_{wf}) estipulado em 1,2. Como pode ser visto, o fuso de esferas selecionado para a aplicação suporta com folga a necessidade de projeto. O número de revoluções é de $8,82 \times 10^6$ ou 137,198 km.

Então, o valor de coeficiente de segurança (CS) de 16,178 é obtido pela divisão da carga dinâmica do fuso (C_d), igual a 8403 kgf, pela carga estática do fuso (C_d'), igual a 519,37 kgf.

O fabricante opera os cálculos de força em kgf, assim como neste trabalho, para que não haja equívoco nos resultados obtidos. Vale destacar que o CS apesar de ser menor quando comparado aos outros coeficientes de segurança desde trabalho, indica que o fuso selecionado pode ser utilizado no eixo de movimentação Z da impressora.

MOTOR

Assim como os outros motores selecionados, neste projeto o motor deve ter capacidade de deslocar a carga de 220 kg em cada pilar em velocidade e aceleração corretas para que o deslocamento seja compatível com a necessidade de projeto. Alguns parâmetros de

movimentação são estipulados para dimensionar de forma assertiva o motor em questão. Para tanto, a altura de deslocamento máxima é de 50 mm e deve ser feita em 0,5 s. Dessa forma, obtém-se a aceleração com a qual o mecanismo percorre o espaço determinado.

Utilizando *software* para dimensionamento de servomotores da fabricante WEG, que auxilia na seleção de motores para esta finalidade, e adicionando redutor de velocidades da Atlanta redutores de código de catálogo HP 58 04 007, pode-se usar o motor de passo KTC-110HS165-6004.

Para fins de esclarecimento, a inércia do somatório de cargas refletida no motor foi calculada de duas formas. A primeira, utilizando-se o *software online* WEG para seleção de motores e a segunda por cálculos, ambos os valores são próximo e justificam o bom dimensionamento e seleção de componentes, visto que as inércias calculadas total e refletida foram de $0,043321 \text{ kgm}^2$ e $0,00108805 \text{ kgm}^2$.

As forças necessárias para elevar a carga de 2234,6 N, obtida utilizando a Equação 7 e, descer a carga de 2169,8 N, calculada com a Equação 8, determinam o torque para elevar a carga como de 89,38 Nm e de descer como de 86,792 Nm, considerando o diâmetro primitivo (dp) de 0,08 m. Ao ser utilizado no sistema um redutor de velocidades, os torques caem para 13,24 Nm para subir a carga e 12,82 Nm para descer, sendo as potências correspondentes de 31,69 W e 30,77 W, considerando a velocidade angular (ω) de 2,3933 rad/s.

$$F = -m \cdot g + \mu \cdot m \cdot g - m \cdot a \quad (\text{Eq. 8})$$

Deste modo, ao ser exercido torque de subida (T_{sub}) de 13,24 Nm no motor KTC-110HS165, este poderá ter uma rotação máxima de 150 rpm, logo, evidenciando que atende às necessidades de projeto.

O motor de passo Nema 42 da Kalatec apresenta, em seu gráfico de torque, a potência necessária para movimentar o eixo Z. Para funcionar perfeitamente, cada pilar deve ter seu próprio conjunto de motor e redutor. O motor tem inércia de $0,00109 \text{ kgm}^2$ e fornece a potência de 408,2 W a partir das informações dadas pelo gráfico de torque. Portanto, atende os requisitos para movimentar o sistema.

Outro benefício em operar com motor de passo com torque e inércia elevados, como é o caso, é que o sistema terá autotravamento, pois o motor tem capacidade de travar o fuso de potência na posição estipulada, visto que a força de travamento é de 2050,3 N, sendo o torque sem redutor de 82,12 Nm e com redutor de 12,15 Nm

A partir dos cálculos acima demonstrados, verifica-se que o motor selecionado atende aos requisitos de projeto, visto que o torque máximo resultou em 16 Nm, logo atende a função de autotravamento que o sistema necessita.

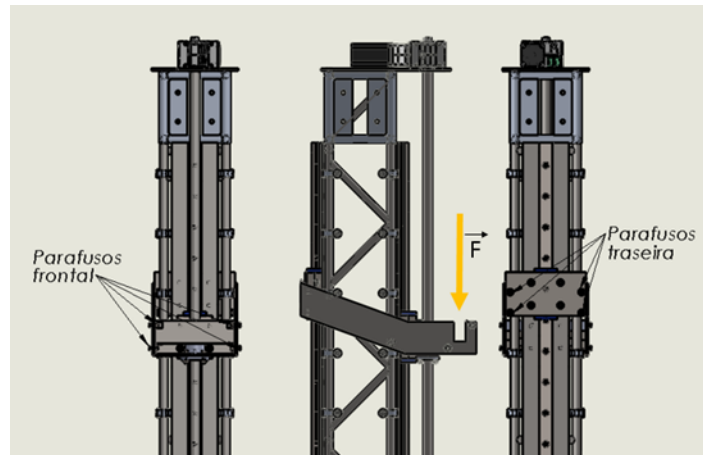
BRAÇO DE ELEVAÇÃO

O braço de elevação é o componente mais crítico da estrutura, pois é uma junção de vários componentes metálicos como chapa e cantoneiras. Portanto, torna-se importante verificar se juntas fixadas por parafusos e por solda suportam as cargas determinadas.

Para melhor dimensionamento das juntas, a hipótese de carga sobre elemento estático é estabelecida, pois este eixo se movimenta com menor frequência quando comparado aos eixos X e Y, além de permanecer estático durante a maior parte do funcionamento, elevando-se em pequenas distâncias.

A carga no braço está praticamente sobre a porca do fuso de esferas, a qual sabe-se que suporta a carga aplicada. A carga então é transmitida para o conjunto de 4 parafusos M16 que fixam as chapas laterais na parte frontal e mais quatro parafusos na parte traseira do pilar, como mostra a Figura 21. Estes parafusos sofrem principalmente tensões de cisalhamento.

Figura 21 -Carga atuante no braço



A força proveniente da massa gera uma carga de 2158,2 N, que são distribuídas de forma distinta de acordo com a distância para cada junta. Sabendo que a distância onde a força é aplicada até a junta frontal é de 181 mm e 170 mm até a junta traseira, obtém-se as forças F_1 de 1419,7 N e F_2 de 738,44 N que atuam nas juntas frontal e traseira respectivamente.

JUNTA FRONTAL

A distância da aplicação da carga até a junta frontal é de 181 mm. A partir desta distância é possível calcular as tensões atuantes e o coeficiente de segurança. Os dados relativos à junta frontal são: parafuso utilizado na junta é M16x1,5; força (P) total aplicada pela carga de 2158,2 N; força aplicada na junta F_1 de 1419,7 N. Distância (l) até aplicação da força de 0,71m; distância da carga até o centroide da junta frontal 0,181 m; distância do parafuso até o centroide (c) de 0,191 m.

O fixador com maior carga recebe 2360,5 N de força, que corresponde a soma da carga de momento em cada fixador (F_m) de 2005,6 N e a força aplicada em cada parafuso (F_d) de 356,9 N. Então, a com tensão de cisalhamento (τ_b) é de 11,75 MP.

Utiliza-se esta tensão de maior intensidade para calcular o coeficiente de segurança (CS), dividindo-o pela tensão ao escoamento por cisalhamento do aço do parafuso de 200 MPa corrigido ($\tau_r = 115,4$ MPa). O valor de CS calculado é de 9,82.

JUNTA TRASEIRA

A distância da aplicação da carga até a junta traseira é de 710 mm. A partir desta distância, é possível calcular as tensões atuantes e o coeficiente de segurança. As verificações relativas à junta traseira consideram: carga P total do sistema 2158,2N;

distância da carga até o centroide de 0,71m; distância c dos parafusos ao centroide 0,18m; parafuso utilizado na junta é M16x1,5; força F_2 aplicada na junta de 738,44N.

O fixador com maior carga recebe 727,16 N de força, que corresponde a soma da carga de momento em cada fixador (F_m) de 542,55 N e a força aplicada em cada parafuso (F_d) de 184,6 N. Utiliza-se esta força de maior intensidade para calcular a tensão de cisalhamento (τ_b) de 11,75 MPa. O coeficiente de segurança é calculado dividindo τ_b pela tensão ao escoamento por cisalhamento do aço do parafuso de 200 MPa corrigido (τ_r), resultando no valor de 31,89.

MANCAL E ROLAMENTO

O fuso de potência de esferas é alojado ao mancal axial, que é fixado à chapa base do sistema. Partindo do diâmetro limitante do fuso, que é de 80 mm, pode-se calcular e selecionar o rolamento axial e o mancal flangeado.

Para esta aplicação foi selecionado o rolamento de rolos cilíndricos T7 FC045 da NSK, uma vez que a carga no mancal é constante. Este modelo de rolamento suporta mais carga que rolamentos de esferas. O mancal CJ09 suporta o esforço e comporta o rolamento dimensionado para ser usado na base.

Partindo do princípio de que toda a carga de 2962,6 N é aplicada ao fuso de esferas axialmente e o esforço radial seja 20% da carga axial, é possível determinar a vida em quantidade de ciclos que o rolamento suporta de 568246×10^6 ciclos, considerando: força axial atuante no mancal (F_a) de 2158,2N; força radial atuante no mancal (F_r) de 431,64N; fator axial de carga (Y) de 0,0,69; fator radial de carga (X) de 0,4; carga dinâmica (Cr) do rolamento é de 88500N; carga equivalente (P) = 1661,8 N.

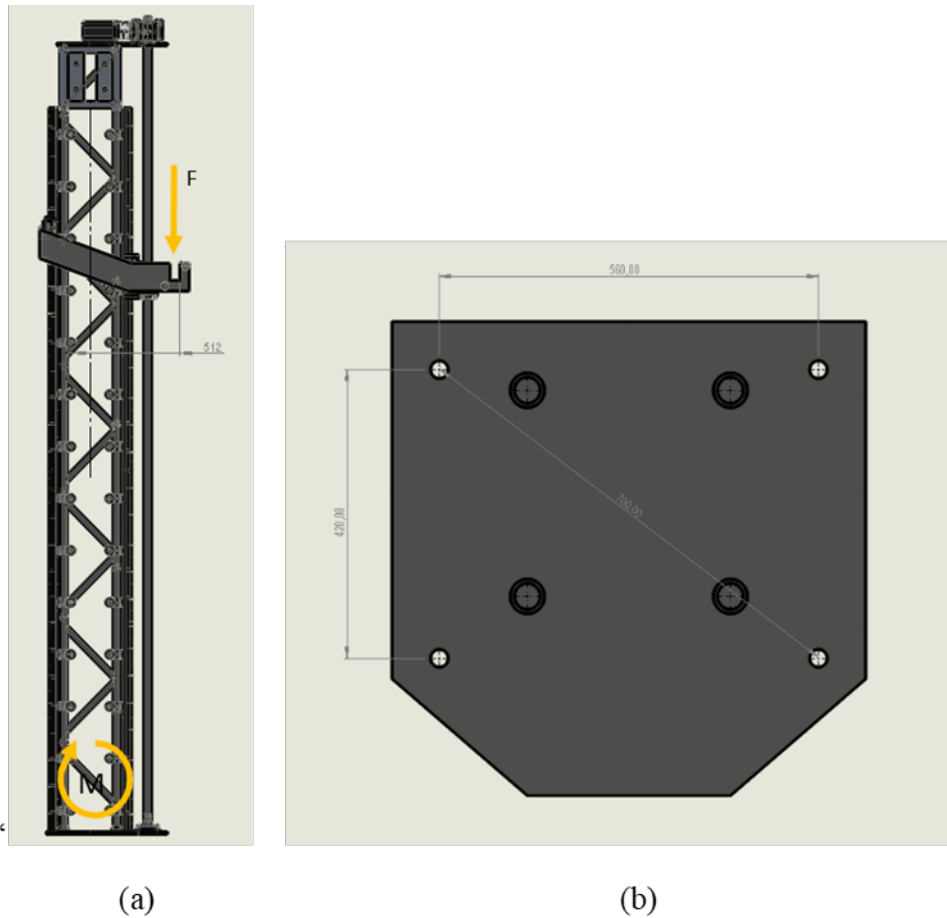
Dado o número de ciclos que o rolamento suporta e sabendo que a estrutura do mancal comporta 49 kN axialmente, pode-se afirmar que o conjunto selecionado atende aos requisitos de projeto.

O mesmo conjunto de mancal e rolamento pode ser utilizado na base superior do pilar de movimentação do eixo Z.

FIXAÇÃO AO SOLO

A fixação ao solo é feita por meio de parafusos e roscas M24 fixadas ao solo nas posições pré-determinadas, onde o eixo Z é posicionado. O parafuso é, então, fixado à base e o encaixe é garantido por porcas. O ponto de apoio onde é sustentado toda a carga dos eixos X e Y exerce momento na estrutura de 1105 Nm no pilar de movimentação, dada a distância de 0,512 metros de onde é aplicado a força e o centro da estrutura. Como consequência, o esforço proveniente do momento exerce reação na base da estrutura do eixo Z. A imagem da Figura 22 (a) ilustra o esforço em questão e (b) o detalhe da base.

Figura 22 - Esforços na base (a) e o detalhe da base (b)



A distância da aplicação do centro da estrutura até os furos onde estão posicionados os parafusos fixados ao solo é de 0,21 metros, que gera uma carga atuante no sistema (P) de 5262 N.

A junta em questão sofre tensões que tendem a tracionar os parafusos. Portanto, esta análise propõe determinar o coeficiente de segurança de modo que a base do pilar não se afaste do solo. Importante salientar que os parafusos selecionados para esta aplicação são de aço carbono médio com número de classe 8.8.

Para determina parâmetros necessários sobre o material da junta e do parafuso, de modo a poder calcular o coeficiente de segurança de separação da junta, foram usadas as seguintes informações técnicas e dados de entrada: pré-carga de 50%; passo do parafuso (p) de 2 mm; carga atuante no sistema (P)= 5262 N; tensão de prova do parafuso (σ_p) igual a 600 MPa; tensão de escoamento (σ_y) igual a 660 MPa; tensão de ruptura (σ_{ut}) igual a 830 MPa; módulo de elasticidade (E_p) igual a 200 GPa; diâmetro nominal do parafuso (d) de 24 mm; diâmetro primitivo do parafuso (d_p) de 22,7 mm; diâmetro de raiz do parafuso (d_r) de 21,54 mm; diâmetro dos furos (d_f) de 26 mm; comprimento médio da junta (l_m) de 22 mm; comprimento do parafuso (l_b) de 40 mm, e; área da junta (A_m) de $0,00053066\text{m}^2$, fator de rigidez da junta (C) de 0,6135, que considera o fator de rigidez do parafuso ($k_b=421,9 \times 10^6$) e o fator de rigidez da junta ($k_m=265,3 \times 10^6$); força de pré-carga na junta (F_i) de 700471 N; força para separar a junta (P_0) de 1812664 N.

O coeficiente de segurança para separar a junta (P0/F) calculado de 345 é elevado para aplicação em questão, pois a força atuante no sistema (F) é de 5262 N e a força para separar a junta (P0) é de 1812664 N. A força atuante no parafuso (Pb) de 3228 N e a força atuante na junta (Pm) de 2033,26 N foram então calculados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de todo o dimensionamento da impressora ter seguido boas prática de engenharia, e por diversas vezes calculando os diversos componentes de maneira conservadora, para que não haja risco de falha, o desenvolvimento de um novo equipamento gera riscos em deixar passar algum detalhe que muitas vezes são observados durante a montagem.

Portanto, fez-se importante o cálculo dos coeficientes de segurança de praticamente todos os componentes selecionados para que dessa forma o projeto seja o mais robusto possível e que se tenha maior convicção que os componentes dimensionados e selecionados não falhem por esforços e que possam ter uma vida de utilização considerável para a aplicação.

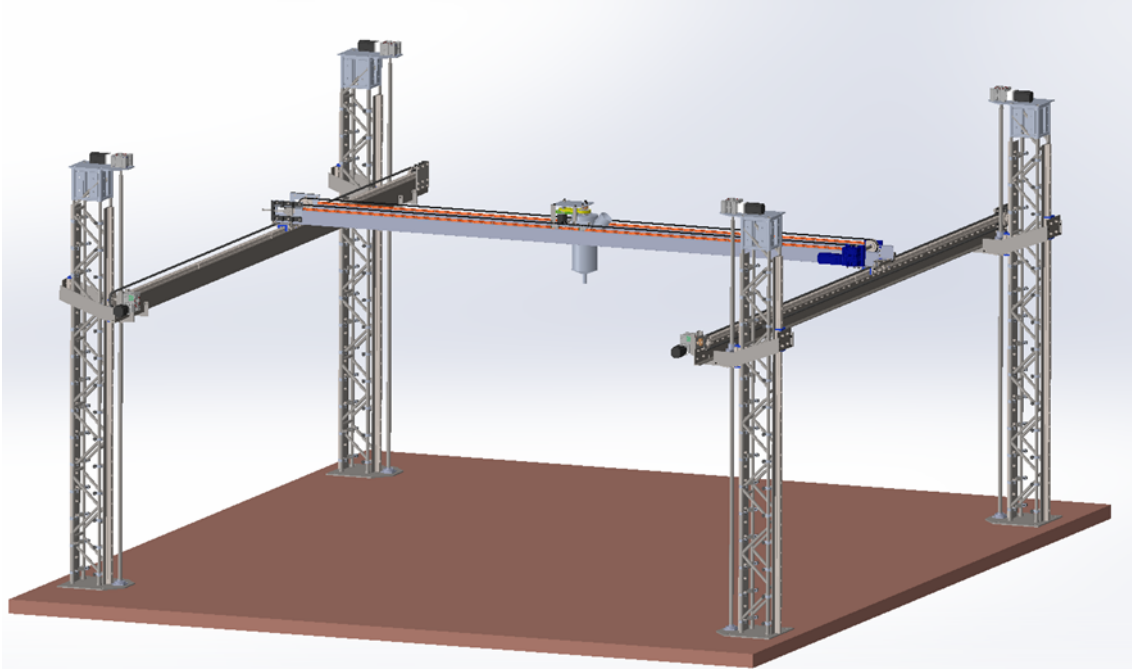
A etapa de montagem deve ser realizada num ambiente que ofereça maquinário para fazer ajustes, como furação, soldagem, corte etc. porque a etapa de projeto não prevê situações que ocorrem somente durante a junção de componentes.

Dadas as observações e riscos levantados, percebe-se que o equipamento é factível de fabricação, pois todos as peças e mecanismos aqui selecionados atendem as necessidades de projeto e se encontram a disposição para compra no mercado.

Vale ressaltar que durante o tópico de definição da arquitetura de projeto, não foi apresentado modelo detalhado e cálculos estruturais de movimentação dos eixos, apenas cálculos básicos referentes à suporte de carga estática e possível deflexão em cada viga selecionada. No entanto, esses cálculos básicos não levaram em consideração cortes, furos e soldagens necessárias para montagem da impressora e que certamente exerceriam mudanças na estrutura das vigas. Inicialmente, foi previsto a modelagem de cargas utilizando o *software* SolidWorks®, mas durante o projeto notou-se a impossibilidade de realizá-la dada a quantidade de peças e detalhes que o projeto possui. Portanto, certamente este é um ponto a ser melhorado no projeto, uma vez que a modelagem estrutural oferece informações importantes solicitações estáticas e dinâmicas.

A Figura 24 apresenta a montagem do sistema de deslocamento X, Y e Z.

Figura 24 - Montagem completa



REFERÊNCIAS

A.T.I BRASIL. **Catálogo virtual de cremalheiras ATÍbrasil**. Disponível em: < <https://www.atibrasil.com.br/content/9-catalogo-ati-brasil> >. Acesso em 20 abril 2020.

AÇOTUBO. Disponível em: < <https://acotubo.com.br/produtos/aco-inox/> >. Acesso em:17 abril 2020.

APIS COR. **First House**. Disponível em: < <http://apis-cor.com/en/about/news/first-house> >. Acesso em: 8 outubro de 2018.

AURATEC. **Estruturas metálicas**. Disponível em: < <https://www.auratec.com.br/categoria-produto/box-truss/> >. Acesso em: 20 novembro 2020.

BUDYNAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 8º Ed. Editora Bookman. 2011.

CH MOTION. I. CH Motion Co., Ltd. Disponível em: < https://pt.made-in-china.com/co_yxmotor/product_NEMA-8-to-NEMA-43-Hybrid-Step-Engine-Stepper-Motor-Ce-Certificate_hnegenghg.html >. Acesso em: 2 novembro de 2018.

CONVEYOR ENG. & MFG. CO. SCREW CONVEYOR CORPORATION. **Catalog and Engineering Manual**. Disponível em: < <https://www.conveyoreng.com/conveyor-design-manual> >. Acesso em 15 abril 2020.

DINA-BORRACHAS, PLÁSTICOS E PEÇAS INDUSTRIAIS. **Catálogos virtuais de correias sincronizadoras**. Disponível em: < <https://www.dina.com.br/correias-sincronizadoras.html> > Acesso em: 25 abril 2020.

D-SHAPE. **Whats is it**. D-Shape building Process. Disponível em: < <https://d-shape.com/the-technology/d-shape-building-process/> >. Acesso em: 2 novembro de 2018.

FMR FÁBRICA DE ROLAMENTOS E MANCAIS. **Catálogo de rolamentos e mancais**. Disponível em: < <http://www.frm.ind.br/index.html> >. Acesso em: 15 março 2020.

MALDANER, Marcelo. **Notas de aula de elementos de máquinas**. Curitiba, 2019.

NORTON, Robert I. **Elemento de máquinas: Uma abordagem integrada**. 4º ed. Editora Bookman. 2013.

NSK-ROLAMENTOS INDUSTRIAIS E AUTOMOTIVOS. **Catálogo geral de rolamentos**. Disponível em: < <http://www.nsk.com.br/> >. Acesso em: 10 março 2020.

OBR EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA. **Catálogo para cálculo e seleção de fusos de esferas e porcas**. Disponível em: < www.obr.com.br >. Acesso em: 10 julho 2020.

PEREIRA FILHO, Edivaldo Feitosa; MORAES, Elson César. Análise de tipos de elevadores utilizados na indústria da construção civil. Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. **Anais CONEM**. Fortaleza. 9f. agosto, 2016.

ROSSI PRODUTOS INTELIGENTES. **Elevadores monta carga**. Disponível em: <<http://www.rossiportoes.com.br/produto?id=98>>. Acesso em: 20 março 2020.

THK. Catálogo geral para seleção de guias lineares. disponível em: < www.thk.com.br >. acesso em: 10 maio 2020.

WARBEL DO BRASIL. **Catálogo virtual de correias transportadoras e correias de transmissão**. disponível em: <www.wardeldobrasil.com.br>. acesso em: 2 maio 2020.

BIOGRAFIA DOS AUTORES

PEDRO PAULO SÁ LIMA¹, MÁRCIA SILVA DE ARAÚJO¹, JOSÉ ALBERTO CERRI¹,
ERICA FERNANDA AIKO KIMURA¹, EDUARDO GREGÓRIO OLIENICK¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, PR

Pedro Paulo Sá Lima

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Durante a graduação participou do projeto Baja da universidade e realizou estágios em projetos mecânicos e programação e controle da manutenção (PCM). Certificou-se em ferramentas da qualidade e Yellow Belt pela FMS. Atualmente trabalha como auxiliar de projetos na indústria de óleo e gás e iniciou pós-graduação em engenharia de segurança do trabalho. E-mail: pedropaulo.salima@gmail.com.

Márcia Silva de Araújo

Professora Titular na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba - PR há 20 anos, tendo lecionado nos cursos de graduação em: Engenharia Mecânica, de Engenharia Mecatrônica e em Tecnologia em Química Ambiental e, nos cursos de pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais e, em Construções Sustentáveis. Lecionou também, por 9 anos, no curso de Engenharia de Materiais na Universidade Estadual de Ponta Grossa - PR. Possui Ph.D. em Engenharia de Papel pela Université du Québec à Trois-Rivières / Canadá, Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos e Graduada em Engenharia Química Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente, pesquisa na área de materiais e equipamentos voltados para a manufatura aditiva. E-mail: araujo@utfpr.edu.br

José Alberto Cerri

Professor Titular na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Curitiba - PR há 23 anos, tendo lecionado nos cursos de graduação em: Engenharia Civil, Engenharia Mecânica, Tecnologia em Química Ambiental, Arquitetura e Urbanismo e, também nos cursos de pós-graduação em Engenharia Mecânica e Materiais, em Engenharia Civil e em Construções Sustentáveis, tendo coordenado esse último por 3 anos. Possui doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais e mestrado em Engenharia de Materiais e, graduação em Licenciatura em Física, todos pela Universidade Federal de São Carlos - SP. Atualmente, pesquisa na área de materiais e equipamentos voltados para a manufatura aditiva. E-mail: cerri@utfpr.edu.br

Erica Fernanda Aiko Kimura

Docente em regime de dedicação exclusiva no Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba. Possui graduação em Engenharia Civil, Mestrado e Doutorado na área de Engenharia de Estruturas pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo – USP. Desenvolve pesquisas na área de Estruturas e atua principalmente nos seguintes temas: estruturas em situação de incêndio, engenharia de estruturas, estruturas metálicas, estruturas mistas de aço e concreto, análise numérica. E-mail: ekimura@utfpr.edu.br

Eduardo Gregório Olienick

Professor efetivo na UTFPR, desde 2000, atuou nos cursos extintos de técnico e de Tecnologia e atualmente nos cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica. Tem mestrado pelo antigo CEFET-PR em engenharia mecânica na área de conformação de materiais e doutorado pela UFPR na área de vibrações mecânicas. Anteriormente à carreira docente, atuou no ramo de inspeção de equipamentos com o uso de técnicas de ensaios não destrutivos (raios X, ultrassom) bem como inspeções regulamentadas de caldeiras e vasos de pressão. Atualmente ministra disciplinas de Elementos de Máquinas e Estática nos cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica.

APLICAÇÃO DA LINGUAGEM PYTHON NA SIMULAÇÃO OPERACIONAL DE UM ECONOMIZADOR DE CALDEIRA PILOTO DE LEITO FLUIDIZADO CIRCULANTE

GUSTAVO NAOKI SHIBATTA KAGESAWA ⁽¹⁾, MARIA REGINA PARISE⁽²⁾,
JHON JAIRO RAMIREZ BEHAINNE ⁽³⁾

⁽¹⁾ Eng. Mecânico-Departamento Acadêmico de Mecânica/UTFPR/Ponta Grossa, Brasil

⁽²⁾ Professor-Departamento Acadêmico de Engenharia Química/UTFPR/Ponta Grossa, Brasil

⁽³⁾ Professor-Departamento Acadêmico de Mecânica/UTFPR/Ponta Grossa, Brasil

E-mails: ⁽¹⁾ gustavokagesawa@gmail.com; ⁽²⁾ parise@utfpr.edu.br; ⁽³⁾ jhon@utfpr.edu.br

1 - INTRODUÇÃO

A linguagem de programação Python foi criada em 1989 por Guido van Rossum. Seu lançamento oficial ocorreu em 1991, e surgiu como uma alternativa à linguagem ABC. As suas principais características são a sintaxe simples e a modalidade de código aberto, isto é, de domínio público (NOSRATI, 2011). Ela é orientada a objeto, possuindo características excelentes para aplicações em engenharia, pois os programas escritos no Python não necessitam ser compilados na linguagem de máquina, mas sim através de um interpretador. Um interpretador é um programa que processa uma aplicação através da execução de cada instrução contida nele, sendo assim um processo semelhante ao de tradução (KNUTH, 1997, p. 201; KIUSALAAS, 2005; NUDDS, 1973, p. 1).

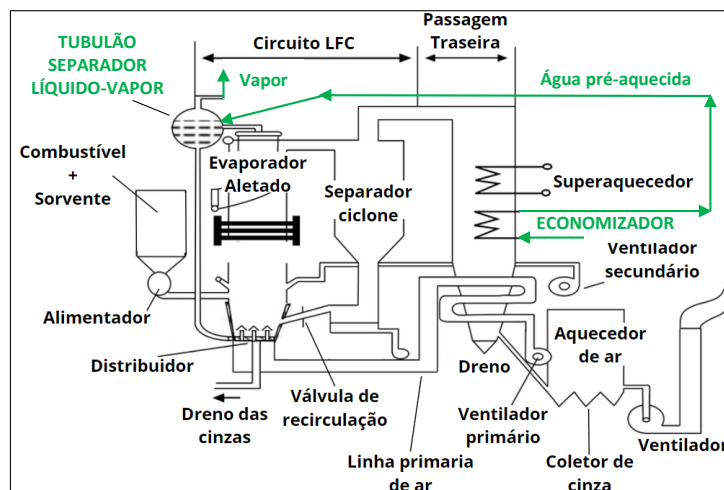
Nos últimos anos, a linguagem Python tem sido utilizada como ferramenta de sucesso em muitos processos industriais, dentre os quais se incluem os desenvolvidos em reatores multifásicos operados sob fluidização gás-sólido (SUTTON; WIGGINS; STUART DAW, 2017, p. 20). A fluidização gás-sólido ocorre quando um gás, alimentado em sentido ascendente dentro de um recipiente, atravessa um leito de partículas sólidas a uma velocidade superficial que promove a suspensão das mesmas, resultando em uma mistura com características semelhantes às de um líquido. Nessa operação, é possível empregar diferentes tipos e tamanhos de partículas sólidas, dimensões de diâmetro e profundidade de leito, velocidades e tipos de fluido, dentre outros parâmetros (KUNII; LEVENSPIEL, 1991, p. 1; GRACE; BI; ELLIS, 2020, p. 1). Os principais componentes requeridos nos sistemas de fluidização gás-sólido são: um vaso ou recipiente, um

distribuidor de gás, as partículas sólidas que formam o leito e um impulsor do gás de fluidização ou máquina de fluxo (GELDART, 1986, p. 2-3).

Dependendo da velocidade do fluido aplicada sobre o leito de partículas, surgem diferentes regimes ou padrões de fluidização. Um desses regimes é o de fluidização rápida, que representa o principal padrão de escoamento gás-sólido nos sistemas de leito fluidizado circulante, e que se aplica ao equipamento objeto deste capítulo. Tal regime de fluidização é alcançado quando a velocidade vertical do fluido ultrapassa a velocidade de transporte das partículas, causando um arrasto parcial de sólidos para fora do recipiente. Para manter a operação nesse regime, faz-se necessário incluir um dispositivo de coleta e de retorno das partículas para a coluna de fluidização (KUNII; LEVENSPIEL, 1991, p. 195; GRACE; BI; ELLIS, 2020, p. 239).

Caldeiras de leito fluidizado circulante (LFC) são geradores de vapor de alto rendimento térmico e de baixo impacto ambiental. O esquema de uma caldeira deste tipo é ilustrado na Figura 1. Esse sistema de geração de vapor é dividido em duas grandes seções, sendo elas, o circuito de fluidização ou fornalha, que suporta os tubos evaporadores de água, e a região de passagem traseira dos gases de combustão, onde são alocados outros dispositivos de troca térmica, dentre eles, o economizador.

Figura 1 – Componentes típicos de uma caldeira de LFC



Fonte: Adaptado de Basu (2006)

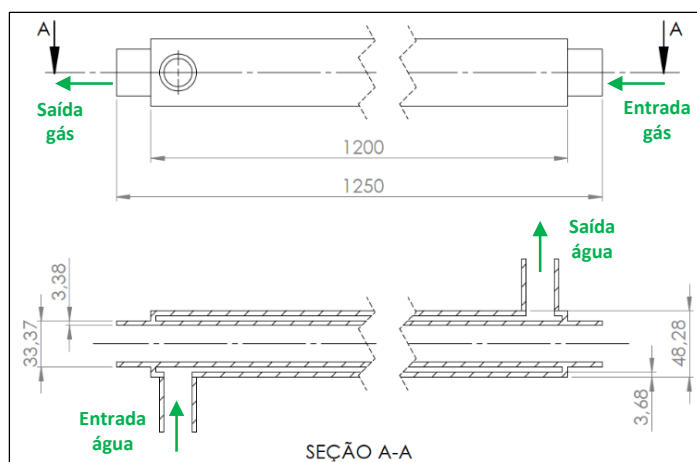
Os economizadores são trocadores de calor que têm a função de pré-aquecer a água alimentada ao tubulão superior que separa as fases líquido-vapor na caldeira, melhorando a eficiência térmica e viabilizando a operação com segurança. A água previamente tratada é forçada através do economizador, realizando a troca de calor com os gases de exaustão.

Esse capítulo aborda um procedimento utilizando a linguagem de programação Python para realizar a simulação operacional de um economizador de caldeira piloto de LFC.

2 – DESCRIÇÃO DO ECONOMIZADOR

O economizador estudado encontra-se instalado na seção dos gases de exaustão liberados pelo duto superior do ciclone de um gerador de vapor piloto de LFC. Ele é um trocador de calor do tipo tubo concêntrico tendo, como fluidos operantes, gás de combustão resultante da queima do combustível no interior da fornalha, e água bombeada de um reservatório. O economizador é composto por dois corpos de igual geometria, conectados em série e construídos em aço inoxidável AISI 304. Na Figura 2 são apresentadas as principais dimensões de um dos corpos do economizador, em milímetros.

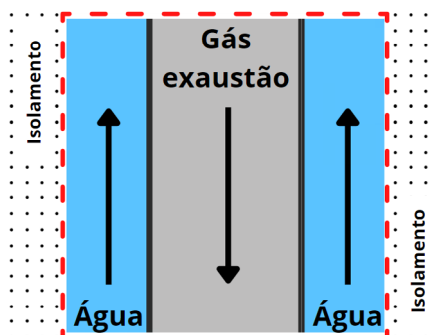
Figura 2 – Dimensões de um corpo do economizador



Fonte: Autores (2022)

O escoamento do gás de combustão ocorre no tubo circular central e, o escoamento da água, na região anular. A configuração de funcionamento é de escoamento contracorrente. As fronteiras do volume de controle, utilizado para a análise térmica do economizador, são identificadas na Figura 3 pela linha vermelha pontilhada.

Figura 3 – Identificação do volume de controle do economizador



Fonte: Autores (2022)

3 – MODELO MATEMÁTICO

Assumindo operação em regime permanente e fronteiras adiabáticas no volume de controle da Figura 3, a taxa de transferência de calor experimentada pelas correntes que ingressam no dispositivo deve ser satisfeita pelas equações (1) e (2):

$$Q = \dot{m}_g c_{p,g} (T_{q,ent} - T_{q,sai}) \quad (1)$$

$$Q = \dot{m}_w c_{p,w} (T_{f,sai} - T_{f,ent}) \quad (2)$$

onde $c_{p,g}$ e $c_{p,w}$ são os calores específicos a pressão constante dos fluidos alimentados nas vazões mássica \dot{m}_g e \dot{m}_w , correspondentes ao gás de exaustão e à água, respectivamente.

O economizador precisa possuir área superficial suficiente e ser operado de tal forma que a taxa de transferência de calor (Q) seja alcançada, o que pode ser verificado mediante a relação:

$$Q = UA(MLDT) \quad (3)$$

sendo U o coeficiente global de transferência de calor; $MLDT$, a média logarítmica das diferenças de temperatura; e A , a área superficial de transferência de calor disponibilizada.

O coeficiente global de transferência de calor pode ser determinado através da resistência térmica total do sistema:

$$UA = \frac{1}{R_{tot}} \quad (4)$$

onde:

$$R_{tot} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{d,i}''}{A_i} + \frac{\ln(d_e/d_i)}{(2\pi k_{mat} L)} + \frac{R_{d,e}''}{A_e} + \frac{1}{h_e A_e} \quad (5)$$

Os coeficientes convectivos nas regiões internas e externas do economizador (h_i e h_e) foram definidos por correlações apropriadas do número de Nusselt. Com as dimensões do equipamento, determina-se a área transversal das regiões internas e externas (A_i e A_e), bem como a razão dos diâmetros de parede que separam ambos os fluidos (d_e/d_i). A condutividade térmica (k_{mat}) da parede dos tubos foi considerada constante. Já, os fatores de incrustação $R_{d,i}''$ e $R_{d,e}''$ foram obtidos em função do tipo de fluido escoando pelo duto (CENGEL, 2012).

4 – PROCEDIMENTO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

As simulações foram realizadas visando encontrar os valores da vazão mássica da água pré-aquecida e da temperatura de saída do gás de exaustão que satisfaziam condições operacionais impostas para as seguintes variáveis: pressão da água alimentada, temperatura de entrada da água e temperatura de entrada do gás de exaustão. Os intervalos e as variações consideradas nas simulações para essas variáveis são apresentados na Tabela 1.

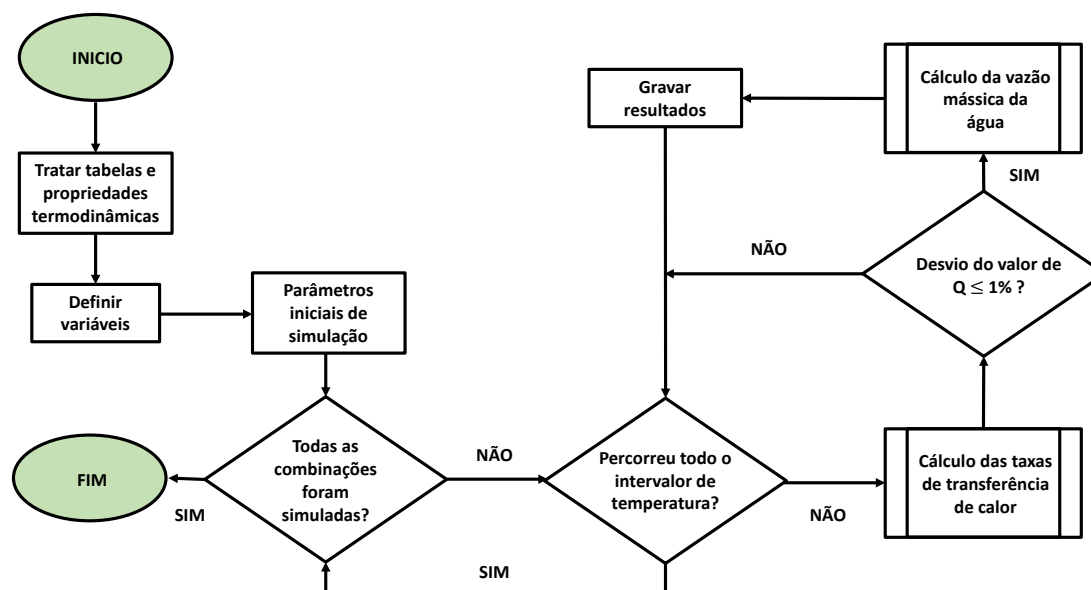
Tabela 1 – Variáveis de entrada e faixas de valores simulados

Variável	Intervalo	Variação
Temperatura de entrada água (°C)	10 - 30	1,0
Temperatura de entrada do gás (°C)	740 - 860	5,0
Pressão absoluta da água (bar)	3 - 12	0,5

Fonte: Autores (2022)

Ao total, foram simuladas 6 combinações operacionais, todas elas mantendo constante a pressão e a vazão do gás de exaustão em 1 bar e 8,6 kg/h, respectivamente. As etapas das simulações são esquematizadas no fluxograma da Figura .

Figura 4 - Fluxograma das etapas das simulações



Fonte: Autores (2022)

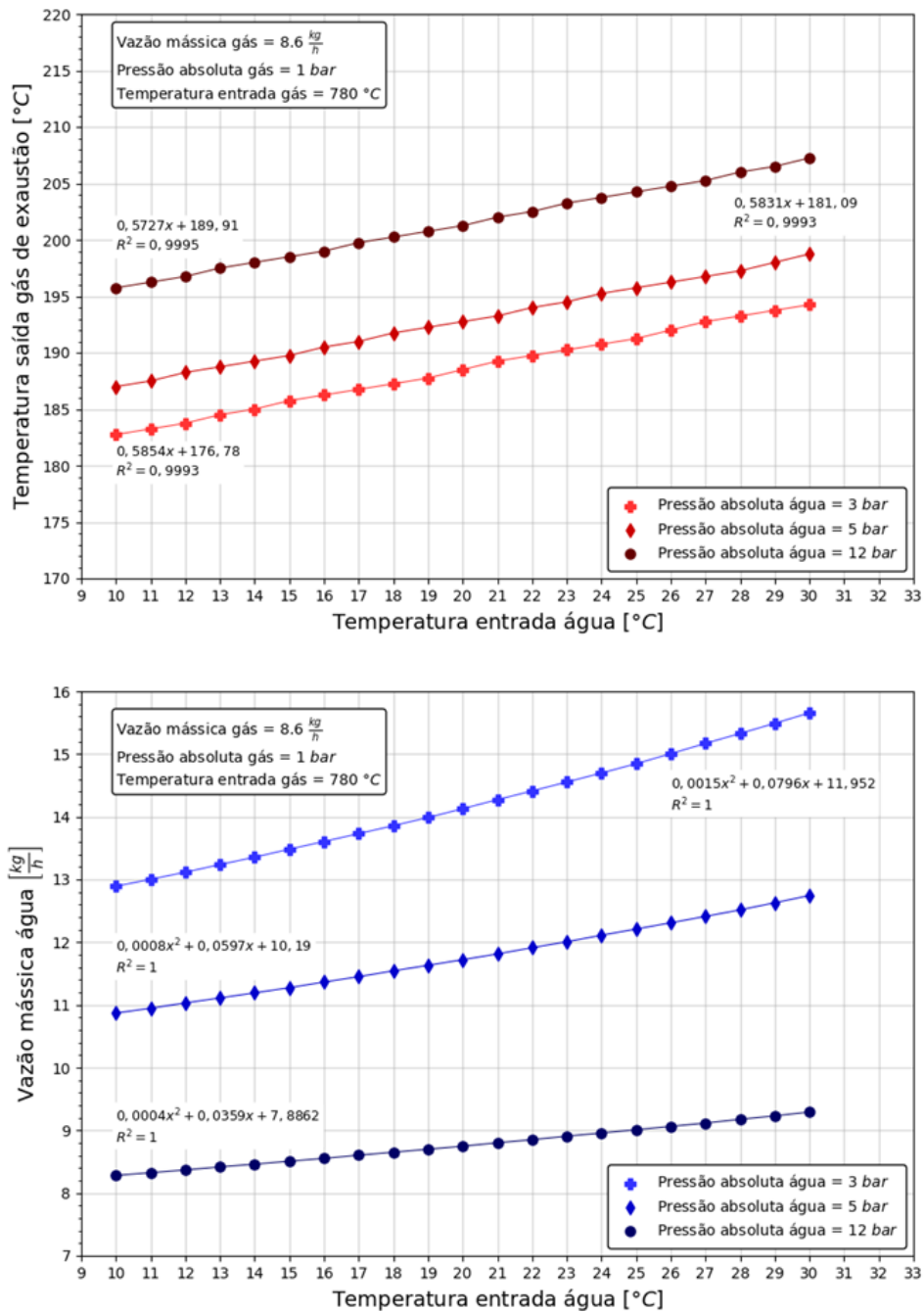
O código completo do algoritmo elaborado na linguagem de programação Python pode ser encontrado no endereço: <https://github.com/kagesg/bachelors-thesis>.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EFEITO DA TEMPERATURA DE ENTRADA DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA SUA PRESSÃO ABSOLUTA

Os perfis de temperatura de saída do gás de exaustão e da vazão mássica da água pré-aquecida, determinados em função das variações da temperatura de entrada da água a diferentes pressões absolutas são ilustrados na Figura 5.

Figura 5 – Temperatura de saída do gás de exaustão e vazão mássica da água em função da temperatura de entrada e pressão absoluta da água



Fonte: Autores (2022)

As simulações indicam uma tendência aproximadamente linear e diretamente proporcional entre a temperatura de saída do gás de exaustão e a temperatura de entrada da água. Para cada curva, o aumento da temperatura de entrada da água forneceu um incremento percentual de aproximadamente 6,3% para a operação em 3 e 5 bar, e de 5,9% para 12 bar. Esse resultado mostra-se coerente, uma vez que, conforme as Equações (1) e (2), ao manter constantes a vazão mássica e a temperatura de entrada do gás de exaustão, bem como a temperatura de saída da água (pressão fixa), a diminuição da variação da temperatura imposta na corrente da água também reduz o potencial para o resfriamento do gás de exaustão.

Acerca do impacto causado pela variação da pressão absoluta da água, pode-se observar que houve movimentação das curvas no sentido positivo do eixo “y” com o crescimento do valor dessa pressão. Para os casos estudados, um aumento na pressão da água de 3 bar para 5 bar (equivalente a um aumento de 16,1% da temperatura de saída da água), levou a uma alta de 2,3% na temperatura de saída do gás de exaustão.

Adicionalmente, nota-se uma relação de crescimento parabólico entre o valor da temperatura da água e a vazão mássica da mesma. Como previsto pela Equação (2), uma menor diferença na variação da temperatura da água é compensada com maior quantidade de líquido escoando pelo economizador.

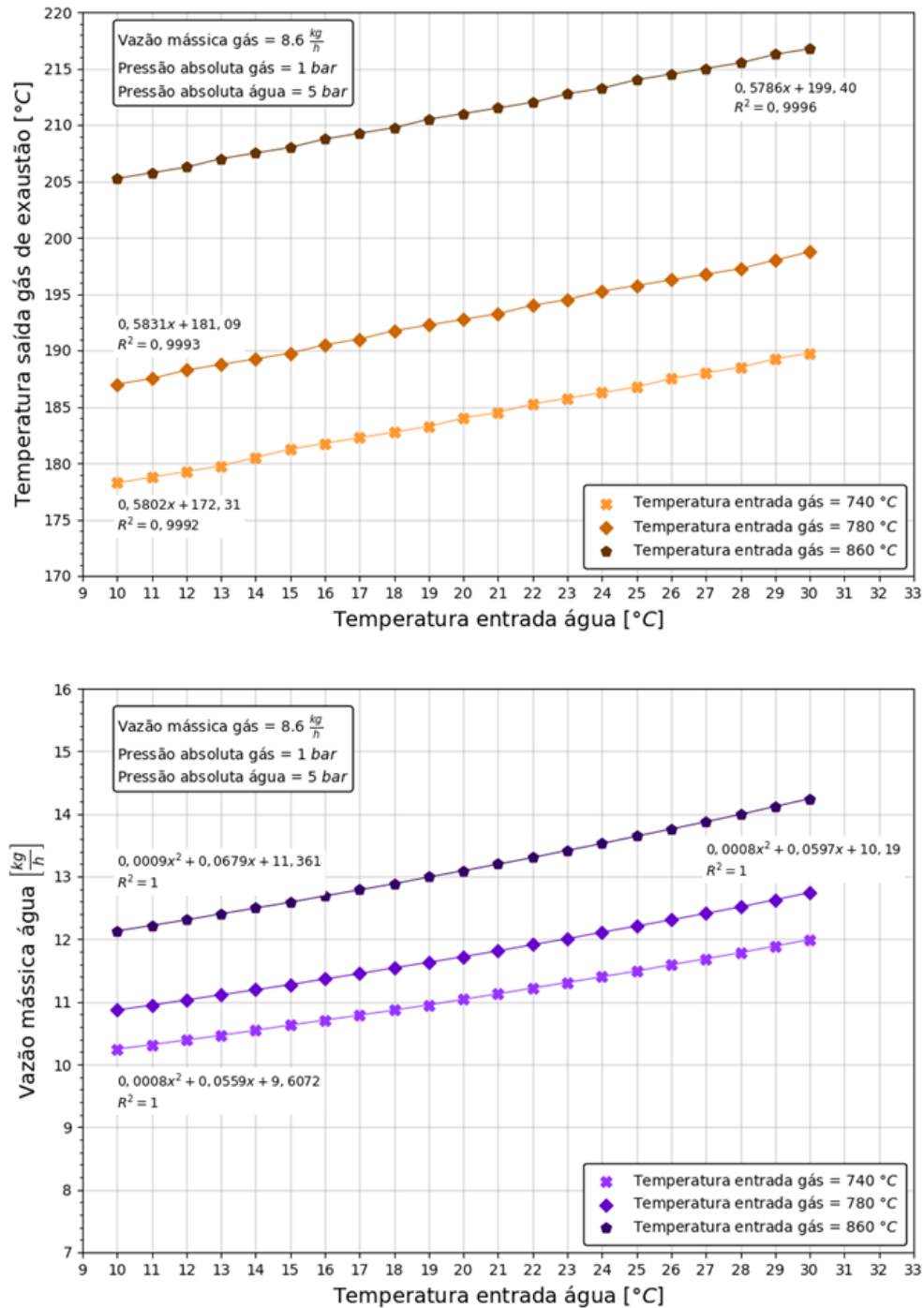
A variação entre as vazões mássicas determinadas nas temperaturas de entrada de 10°C e 30 °C, para pressão de 3 bar, é de 2,76 kg/h. Já, para o mesmo intervalo de temperatura, mas com a pressão igual à 12 bar, a diferença foi de apenas 1,01 kg/h. Isto ocorre porque, com o aumento da pressão da água, exige-se uma maior temperatura de saída, obrigando à diminuição da vazão mássica do líquido para o cumprimento da taxa de transferência de calor.

Portanto, o comportamento obtido sugere que o aumento da pressão de operação do economizador limita a variação na vazão mássica da água que pode ser pré-aquecida, fazendo-a também menos dependente da sua temperatura de entrada.

5.2 EFEITO DA TEMPERATURA DE ENTRADA DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE ENTRADA DO GÁS DE EXAUSTÃO

Os perfis de temperatura de saída do gás de exaustão e da vazão mássica da água, determinados a partir das variações da temperatura de entrada da água e temperatura de entrada do gás de combustão são apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Temperatura de saída do gás de exaustão e vazão mássica da água em função da temperatura de entrada da água e do gás de combustão



Fonte: Autores (2022)

Como descrito na seção anterior, observa-se a mesma relação crescente entre a temperatura de entrada da água e a temperatura de saída do gás de exaustão. Isso se deve, novamente, às implicações trazidas pelas variações de temperatura experimentadas pelos fluidos nas Equações (1) e (2). Os aumentos percentuais, entre o limite inferior e superior de cada curva (740 °C, 780 °C e 860 °C), foram 6,5%, 6,3% e 5,6%, respectivamente.

Ainda, com base na estrutura da Equação (1), era de se esperar que com o aumento da temperatura de entrada do gás de exaustão no economizador, a curva movimentasse na direção positiva no eixo “y”. Para um aumento de 40 °C da temperatura de entrada do gás, ou seja, de 740 °C para 780 °C, houve um crescimento de 8,75 °C da temperatura de saída do gás, representando uma variação percentual de 78% em comparação com a diferença de temperatura de entrada do gás. Para um aumento de 780 °C para 860 °C da temperatura de entrada, houve um aumento de 18,25 °C da temperatura de saída do gás. Este valor representa uma variação percentual de 77,2%, resultado próximo ao valor encontrado na comparação anterior.

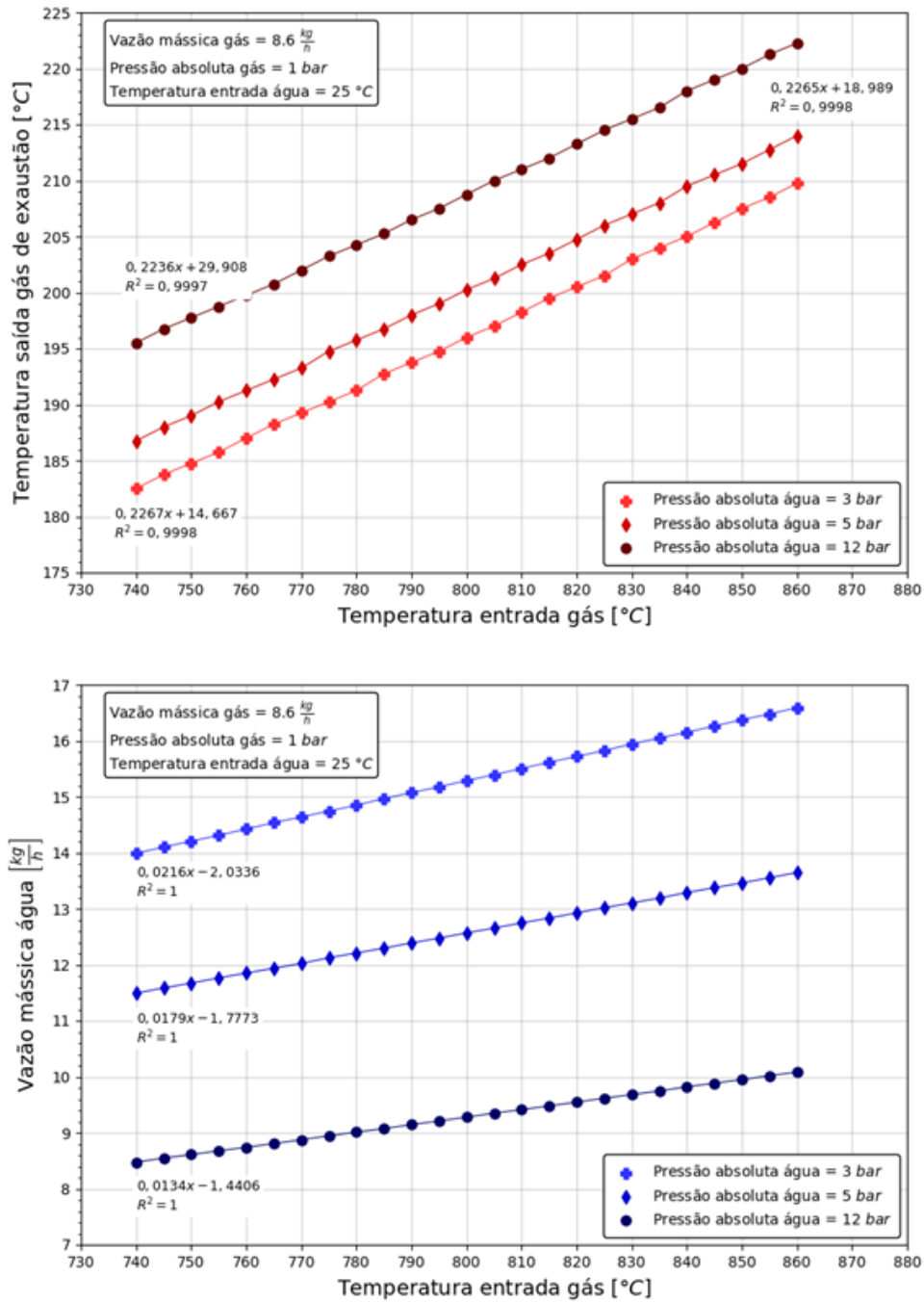
O segundo gráfico da Figura 6 apresenta os valores simulados de vazão mássica da água em função da mudança de temperatura de entrada da água e do gás de exaustão. Esse gráfico ainda possui comportamento semelhante ao segundo gráfico da Figura 5, porém, pode-se afirmar que o impacto da variação de temperatura de entrada do gás de exaustão é menor para a determinação da vazão mássica de água em comparação com a variação da pressão absoluta da água. Para efeitos de validação, ao selecionar o valor de vazão mássica encontrados nos segundos gráficos das Figuras 5 e 6, para a mesma configuração de operação, eles devem possuir valores iguais ou muito próximos. Tal hipótese é confirmada, uma vez que, em ambos os gráficos, para uma temperatura de entrada da água de 10 °C, pressão absoluta da água de 5 bar e temperatura de entrada do gás de exaustão de 780 °C, os valores de vazão da água e temperatura de saída do gás foram iguais a 10,9 kg/h e 187 °C, respectivamente.

5.3 EFEITO DA TEMPERATURA DE ENTRADA DO GÁS DE EXAUSTÃO EM FUNÇÃO DA PRESSÃO ABSOLUTA DA ÁGUA

Os perfis de temperatura de saída do gás e vazão mássica da água, determinados a partir das variações da temperatura de entrada do gás de exaustão com a pressão absoluta da água, são mostrados na Figura 7.

O primeiro gráfico da Figura 7 apresenta a influência da temperatura de entrada do gás de exaustão e a pressão absoluta da água na temperatura de saída do gás. Nota-se um comportamento linear e crescente da temperatura de saída do gás de exaustão em função do aumento da temperatura de entrada do mesmo fluido. Pode-se observar também que as curvas apresentam uma inclinação maior se comparado aos primeiros gráficos das Figuras 5 e 6. A variação percentual entre os valores extremos da temperatura de entrada do gás, para cada uma das pressões absolutas (3 bar, 5 bar e 12 bar), foi de 14,9%, 14,6% e 13,7%, respectivamente. A variação média é cerca de 33% maior que a da Figura 5.

Figura 7 – Temperatura de saída do gás de exaustão e vazão mássica da água em função da temperatura de entrada do gás e pressão absoluta da água



Fonte: Autores (2022)

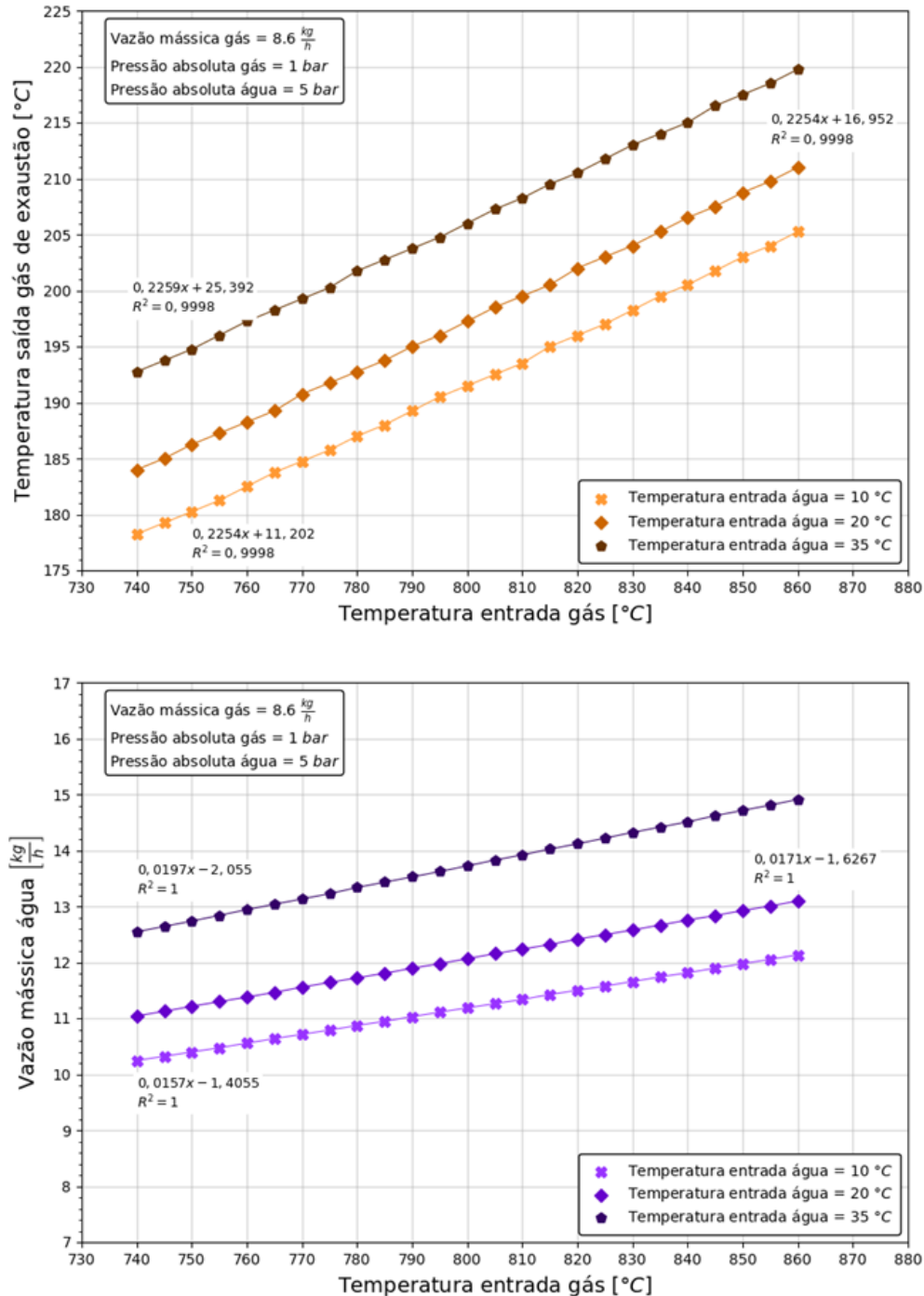
O primeiro gráfico da Figura 7 ainda mostra uma movimentação vertical crescente das curvas no sentido positivo do eixo “y” com o aumento da pressão absoluta da água. O valor de mudança percentual, entre as curvas de 3 bar e 5 bar, foi de 2,3%.

No segundo gráfico da Figura 7 nota-se que o impacto da variação de pressão absoluta é semelhante ao obtido no Gráfico 3. Porém, as curvas apresentam um comportamento linear em relação à variação da temperatura de entrada do gás.

5.4 EFEITO DA TEMPERATURA DE ENTRADA DO GÁS DE EXAUSTÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE ENTRADA DA ÁGUA

Os perfis de temperatura de saída do gás e vazão mássica da água determinados com base nas variações da temperatura de entrada do gás de exaustão e a temperatura de entrada da água são ilustrados na Figura 8.

Figura 8 – Temperatura de saída do gás de exaustão e vazão mássica da água em função da temperatura de entrada do gás e da água



Fonte: Autores (2022)

O primeiro gráfico da Figura 8 mostra um comportamento semelhante ao obtido no primeiro gráfico da Figura 7. Tal representação é explicada pela relação direta das temperaturas de entrada e saída do gás de exaustão na Equação (1). Os valores dos acréscimos na temperatura de saída do gás foram de 15,1%, 14,8% e 14%, para as temperaturas de entrada de água de 10°C, 20 °C e 35 °C, respectivamente. Observa-se também que, com o aumento da pressão e conseqüente aumento da temperatura de saída da água, é necessário que a temperatura de saída do gás aumente para se obter o equilíbrio requerido na taxa de transferência de calor promovida no interior do economizador. A variação percentual entre os resultados simulados às temperaturas de entrada da água de 10 °C e 20 °C, com a temperatura de entrada do gás de exaustão mantida em 740 °C, foi de 3%.

O segundo gráfico da Figura 8 apresenta uma tendência de crescimento da vazão mássica da água em função do aumento da temperatura de entrada do gás. Ao comparar, para a mesma temperatura de entrada do gás de exaustão, o valor de vazão mássica da água obtido em função da sua temperatura de entrada, pode-se observar que conforme a temperatura de entrada do gás aumenta, uma maior vazão mássica de água pode ser pré-aquecida pelo economizador. O segundo gráfico da Figura 8 se assemelha com o segundo gráfico da Figura 6. O valor de variação percentual das vazões de água calculadas, entre os limites inferior e superior da temperatura do gás de exaustão, foi de aproximadamente 18,6% para as três curvas.

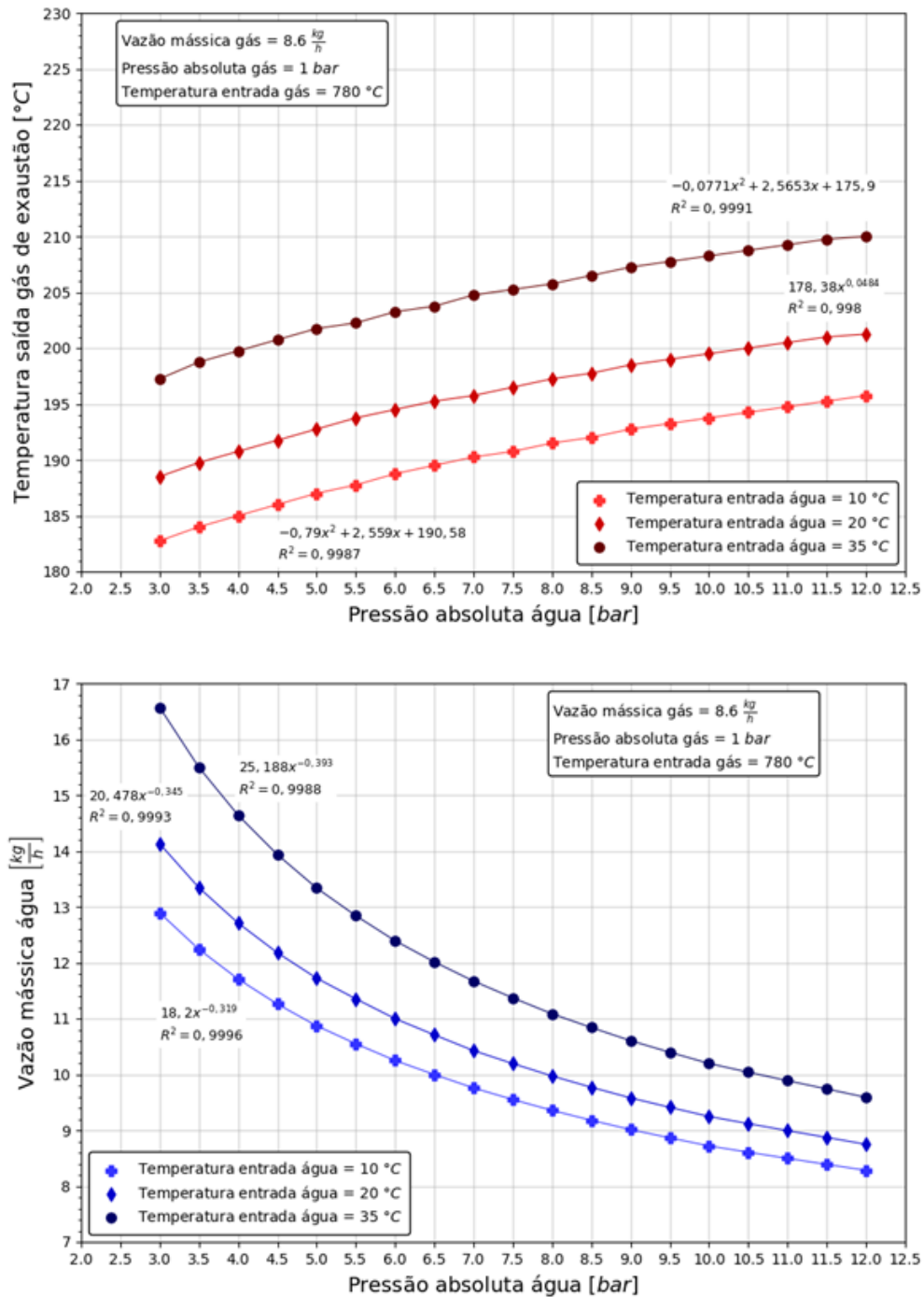
5.5 EFEITO DA PRESSÃO ABSOLUTA DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA SUA TEMPERATURA DE ENTRADA

Os perfis de temperatura de saída do gás de exaustão e da vazão mássica da água, determinados mediante as variações da pressão absoluta e temperatura de entrada da água, são apresentados na Figura 9.

O primeiro gráfico da Figura 9 mostra um comportamento de acréscimo da temperatura de saída do gás de exaustão com o aumento da pressão absoluta da água. Porém, diferentemente do apresentado nos gráficos anteriores, as curvas possuem uma tendência quadrática. Observa-se, também, a representação de um aumento na temperatura de saída do gás de exaustão em função do aumento da temperatura de entrada da água. Esses comportamentos ocorrem pelos mesmos motivos descritos anteriormente.

O segundo gráfico da Figura 9 mostra uma relação de decaimento da vazão mássica conforme há um aumento da pressão absoluta da água. As curvas ilustradas apresentam uma tendência polinomial. Comparativamente, a variação percentual entre os valores de vazão mássica encontrados nas pressões de 3 bar e 12 bar, para uma temperatura de entrada da água constante de 10 °C, foi de 35,8%. Para o mesmo intervalo, mas com temperatura de entrada igual à 20 °C, a variação foi de 38,1%, e com temperatura de entrada igual à 35 °C, a variação foi de 42,1%.

Figura 9 – Temperatura de saída do gás de exaustão e vazão mássica da água em função da pressão absoluta e temperatura de entrada da água



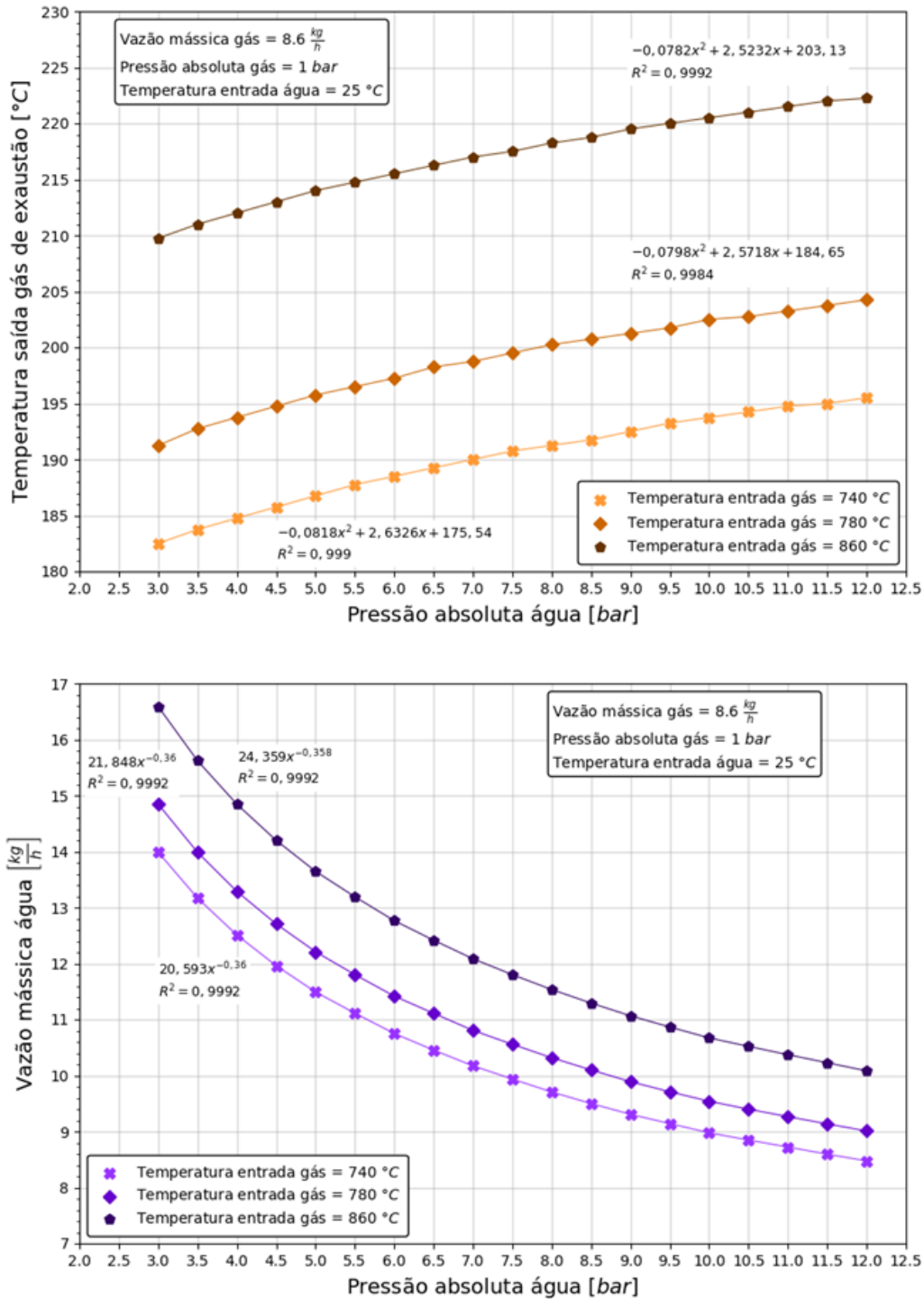
Fonte: Autores (2022)

A redução na vazão mássica requerida pelo economizador, em função do aumento da pressão absoluta da água, deve-se ao conseqüente aumento na diferença da temperatura da água estabelecida na Equação (2), a fim de manter o equilíbrio nas taxas de transferência de calor.

5.6 EFEITO DA PRESSÃO ABSOLUTA DA ÁGUA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DE ENTRADA DO GÁS DE EXAUSTÃO

Os perfis de temperatura de saída do gás de exaustão e da vazão mássica da água, obtidos a partir das variações da pressão absoluta da água e temperatura de entrada do gás de exaustão, são mostrados na Figura 10.

Figura 10 – Temperatura de saída do gás de exaustão e vazão mássica da água em função da sua pressão absoluta e temperatura de entrada do gás de exaustão



Fonte: Autores (2022)

O primeiro gráfico da Figura 10 verifica o aumento da temperatura de saída do gás de exaustão com o aumento da pressão da água. Nota-se também um deslocamento vertical positivo da curva com o aumento da temperatura de entrada do gás. O comportamento é semelhante ao apresentado na Figura 9. Destaca-se o deslocamento mais acentuado na Figura 12, entre as duas primeiras curvas (740 °C e 780 °C), em comparação com a Figura 10 (10 °C e 20 °C), havendo uma diferença percentual de 52,4%. O segundo gráfico apresenta comportamento semelhante ao apresentado no segundo gráfico da Figura 9.

5.7 CORRELAÇÕES MATEMÁTICAS

A partir dos resultados obtidos nas simulações realizadas, foi possível propor as respectivas correlações matemáticas de cada curva e os seus coeficientes de determinação (R^2). Para as estimativas da temperatura de saída do gás de exaustão, as curvas com variáveis de temperatura de entrada da água e do gás de exaustão geraram correlações lineares, com valores de R^2 entre 0,9992 e 0,9998. Já, nas curvas com a variação da pressão absoluta da água, as correlações geradas foram polinomiais e potenciais, com valores de R^2 variando entre 0,998 e 0,9992.

Nota-se ainda que as estimativas das curvas da vazão mássica de água por variação na temperatura de entrada da mesma geram correlações polinomiais, enquanto que, por variação da temperatura de entrada do gás, são obtidas correlações lineares. Em ambos os casos, os valores de R^2 são iguais a 1. Para os últimos gráficos (vazão mássica da água pré-aquecida em função da sua pressão absoluta), percebe-se a presença de correlações de comportamento potencial, com os valores de R^2 variando entre 0,9988 e 0,9996.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das simulações demonstram que a variável temperatura de entrada do gás de exaustão exerce uma influência maior na determinação da temperatura de saída do gás do que os parâmetros de temperatura de entrada e pressão absoluta da água no economizador.

Em contrapartida, a pressão absoluta da água recebida pelo economizador tem importante influência na vazão mássica do líquido que ele pode pré-aquecer. Essa influência é maior do que a produzida pela variação da temperatura de entrada da água.

Dos resultados obtidos foi possível encontrar correlações matemáticas que descrevem cada curva nos gráficos. Desta forma, pode-se estimar valores de temperatura de saída do gás de exaustão e vazão mássica da água para determinado modo de operação do economizador.

Todavia, ainda que seja necessário validar os resultados obtidos das simulações através de dados experimentais, o código e o método abordados nesse trabalho podem contribuir como base para um futuro programa de controle ou automação da caldeira de leito fluidizado circulante instalada no Laboratório de Processos Termoquímicos da UTFPR-Campus Ponta Grossa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR/Campus Ponta Grossa pelo suporte dado a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BASU, Prabir. **Combustion and gasification in fluidized beds**. CRC press, 2006.
- BERGMAN, Theodore L. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 8 ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN-LTC, 2019. 9788521636656. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636656/>. Acesso em: 12 nov, 2021.
- ÇENGEL, Yunus. A. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. 4. ed. Porto Alegre: MC Grall Hill, 2012. 9788580551280. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551280/>. Acesso em: 12 nov, 2021.
- DAVIDSON, J. F. Circulating fluidised bed hydrodynamics, **Powder technology**, v. 113, n. 3, p. 249-260, 2000.
- GELDART, Derek. **Gas fluidization technology**. John Wiley & Sons, 1986.
- GRACE, John R.; BI, Xiaotao; ELLIS, Naoko. **Essentials of fluidization technology**. John Wiley & Sons, 2020.
- KIUSALAAS, Jaan. **Numerical methods in engineering with Python**. New York: Cambridge university press, 2005.
- KNUTH, Donald Ervin. Fundamental algorithms. **The art of computer programming**, v. 1, p. 261-268, 1997.
- KREITH, Frank; MANGLIK, Raj M.; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor - Tradução da 7ª edição norte-americana**. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2015. 9788522122028. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522122028/>. Acesso em: 04 abr, 2022.
- KUNII, Daizo; LEVENSPIEL, Octave. **Fluidization engineering**. 2. Ed. Butterworth-Heinemann, 1991.
- MORAN, Michael J. et al. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**, 8ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. 9788521634904. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521634904/>. Acesso em: 03 mai. 2022.
- NGUYEN, Huy H.; MARTIN, Michael A. An Interpolation Method for Obtaining Thermodynamic Properties Near Saturated Liquid and Saturated Vapor Lines. In: **52nd JANNAP Propulsion Meeting**. 2003. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20040075672/downloads/20040075672.pdf>. Acesso em: 04 abr, 2022.
- NOSRATI, Masoud. Python: An appropriate language for real world programming. **World Applied Programming**, v. 1, n. 2, p. 110-117, 2011.
- NUDDS, Donald. Conversion of programs between computers: Interpreters, simulators and compilers. **Journal of Computer and System Sciences**, v. 7, n. 6, p. 597-614, 1973.
- SINGH, Ravi Inder; BRINK, Anders; HUPA, Mikko. CFD modeling to study fluidized bed combustion and gasification. **Applied Thermal Engineering**, v. 52, n. 2, p. 585-614, 2013.
- SUTTON, Jonathan; WIGGINS, Gavin; STUART DAW, C. Chemics-Reactors: A Preliminary Python Program for Implementing Network Models of Multiphase Reactors. **Oak Ridge National Laboratory**, US Department of Energy, Technical Report, 2017.
- The Python Programming Language. **TIOBE**. 06 out, 2021. Disponível em: < <https://www.tiobe.com/tiobe-index/python/> >. Acesso em: 24 out, 2021.

SOBRE OS AUTORES

Gustavo Naoki Shibatta Kagesawa

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Campus Ponta Grossa. Durante a graduação, envolveu-se em projetos de extensão e estágio na área de desenvolvimento de produto. Atualmente atua como líder técnico de projetos em desenvolvimento de produtos no setor de eletrodomésticos de linha branca, mais especificamente, em refrigeradores e freezers. E-mail: gustavokagesawa@gmail.com

Maria Regina Parise

Possui Graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1997), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2000), Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2007) e Pós-doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2010). Professora visitante na University of British Columbia/Canadá (2016), pesquisando sobre fluidodinâmica em sistemas de leite de jorro. É Professora Associada do Departamento de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa. Tem experiência em processos industriais de Engenharia Química, atuando nos seguintes temas de pesquisa: secagem e revestimento de partículas em leite fluidizado, monitoramento, controle e melhorias de processos realizados em sistemas particulados (leitos borbulhantes, circulantes e de jorro). E-mail: parise@utfpr.edu.br

Jhon Jairo Ramírez Behainne

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidad Pontificia Bolivariana (UPB)/Colômbia. Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Brasil. Foi pesquisador visitante na University of British Columbia/Canadá, participando de projetos de pesquisa sobre tecnologias de leite fluidizado circulante. Atualmente é Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)/Campus Ponta Grossa. Suas pesquisas focam na fluidodinâmica e na transferência de calor de sistemas gás-sólido para desenvolver e avaliar reatores de leite fluidizado utilizados na combustão e gaseificação de combustíveis fósseis e renováveis. É membro da Rede Nacional de Combustão (RNC). E-mail: jhon@utfpr.edu.br

CUSTOMIZAÇÃO DO SCRUM PARA GERENCIAR MODIFICAÇÕES DE PROJETO DE PRODUTO EM UMA EMPRESA DA LINHA BRANCA

BIANCA MAIO DA COSTA¹; ISABELA BARREIRA DA ROCHA¹; CARLA ESTORILIO¹;
ADRIANO ARAUJO DE LIMA¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR

RESUMO: Investir em boas ferramentas de gestão de projetos tornou-se uma preocupação estratégica entre as empresas, especialmente em mercados dinâmicos como é o da linha branca. Neste contexto, metodologias ágeis como o Scrum têm ganhado força, já que têm como principais características a desburocratização, colaboração com os clientes e autonomia dos colaboradores. Apesar dos seus benefícios, existe uma deficiência nas definições de agilidade e nas práticas de adoção da metodologia, o que pode dificultar a sua devida implantação. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor uma customização da metodologia Scrum, incluindo a sua implantação, no processo de gerenciamento de modificações de projeto de produto em uma empresa da linha branca. Para isso, será realizada uma revisão bibliográfica sobre os detalhes operacionais e conceituais dos métodos de gerenciamento tradicional (PMBOK) e ágil (Scrum), além dos métodos para a implantação do Scrum. Visando customizar o Scrum de acordo com a realidade da empresa estudada, serão feitas coletas de dados conforme um método de modelagem, sendo retratado em forma de fluxograma. Em seguida, esse fluxo servirá de base para extrair os pacotes de trabalho a serem gerenciados e considerados na customização do Scrum. Com a configuração do Scrum, proposta para a empresa estudada, a mesma será testada em campo, visando avaliar o seu desempenho para gerenciar modificações de projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Scrum; Gestão de projetos; linha branca; implantação; customização

INTRODUÇÃO

Gerenciar projetos é um grande desafio, em especial projetos da linha branca. Devido à globalização e as constantes mudanças tecnológicas, os projetos costumam ter curta duração e precisam ser lançados no menor tempo possível para produzirem produtos que se diferenciem e tenham respostas antecipadas aos concorrentes em relação às necessidades do mercado (Calife Nogueira e Alves Filho, 2010). Para o gerenciamento dessas atividades apesar do dinamismo, as empresas acabam se debatendo em qual metodologia de gerenciamento de projetos usar.

Destas, a mais conhecida e difundida é o guia PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), uma ferramenta de metodologia mais tradicional, a qual se baseia no método cascata. Apesar de atender a muitos requisitos, é feita uma análise pelo autor

Eder *et al.* (2012), que a literatura de gerenciamento de projetos tem sido alvo de críticas quanto ao uso generalizado dessas práticas tradicionais nos últimos anos. Segundo o autor, os métodos citados anteriormente são limitados em contextos muito incertos, que mudam frequentemente, quando o projeto final é bem diferente do planejamento primordial (Eder *et al.*, 2012).

Conforme Rabechini e Pessôa (2005), o investimento em ferramentas de gerenciamento de projetos está sendo uma preocupação estratégica nas diversas lideranças empresariais e por isso é possível ver uma grande diversidade de metodologias de gerenciamento de projetos.

Nesse contexto, surge um movimento intitulado “Gerenciamento ágil de projetos”, que traz uma nova proposta de práticas e técnicas de gestão de projetos. Metodologia ágil é uma ferramenta que permite a aplicação do desenvolvimento ágil em um processo, o qual é uma abordagem que foca a construção de produtos de forma colaborativa, através do trabalho de equipes multidisciplinares que possuem autonomia em suas ações. Essa abordagem segue os valores expressos no Manifesto Ágil ou Manifesto para o Desenvolvimento Ágil de *Software*, elaborado por 17 programadores em 2001 (Beck *et al.*, 2001), os quais perceberam que executar projetos de tecnologia no formato cascata resultava em desperdício de tempo.

O desenvolvimento ágil faz oposição ao desenvolvimento tradicional que ocorre em cascata, ou seja, quando uma etapa deve ser concluída antes que a outra inicie, o que exige rigidez do papel dos membros da equipe e dos prazos definidos (Fundação Instituto Administração, 2021). No entanto, ainda é possível entender que não serão para todos os projetos que o gerenciamento ágil será facilmente aplicado. De acordo com o MindMaster (2015), o gerenciamento de projetos pode ser definido de acordo com a complexidade dos requisitos e das tecnologias envolvidas no projeto.

Quanto mais previsível ou mais conhecido os requisitos e as tecnologias de projeto, mais fácil se torna o uso da metodologia tradicional. Onde não há qualquer conhecimento de requisito ou tecnologia, é impossível a realização de um projeto. Assim, o método ágil se torna mais viável quando temos um ambiente mais caótico de projetos, onde se é utilizado o ágil através do framework Scrum.

O Scrum foi desenvolvido por três programadores, que também criaram o Manifesto Ágil: Mike Beedle, Ken Schwaber e Jeff Sutherland. Importante notar que o Scrum veio antes do manifesto ágil e foi criada em 1993. O nome veio do Jogo Rúgbi, onde o termo Scrum corresponde a uma breve reunião feita antes dos jogadores iniciarem cada lance e a sua inspiração é proveniente das melhores práticas da indústria japonesa, a exemplo do sistema Toyota de produção (Dantas, 2020; Schwaber & Beedle, (2001).

Apesar de ter surgido por desenvolvedores de *software*, ela se expandiu para outras áreas. Próximo à virada do milênio, Jeff Sutherland pensou em como implantar o Scrum em áreas diferentes da de *software*, pois concluiu que ela servia para gerenciar qualquer projeto em qualquer nível de dificuldade. De acordo com Soares e Pereira (2021), essa metodologia apresenta diversas características, apresentando como principal funcionalidade o dinamismo, isto é, permite um trabalho mais eficiente perante alterações durante toda a execução do projeto. Nesse contexto, segundo Kniberg (2009), o gerenciamento de projetos se mostra com algumas similaridades com o sistema *Kanban*, onde os resultados são apresentados através de um quadro visual ao invés de

um processo complexo. Conforme Silva (2011), o processo passa a ser gerenciado pela própria equipe de projetos, onde o trabalho é dividido em uma lista de resultados de pequeno porte, ordenados por prioridade e estimando esforços relativos. Nesse contexto, é possível manter uma troca de informações mais concreta através de uma comunicação mais efetiva, realizar atividades interdependentes mais rapidamente e estar preparado para eventuais alterações no escopo do projeto, evitando tempos de espera desnecessários.

Apesar das vantagens da metodologia ágil, de acordo com Conforto (2013), existe uma deficiência na definição de agilidade e na falta de um modelo que explique a relação entre agilidade, adoção de práticas de gerenciamento de projetos, fatores críticos para a agilidade e desempenho do projeto. Associado a isso, Pinton (2020) afirma que outra abordagem vem sendo referenciada, a customização ou *tailoring*, considerando o gerenciamento de projeto e as práticas ágeis de acordo com o contexto e a estratégia da organização. Segundo Gandomani e Nafchi (2015), é necessário entender que a transição para o projeto ágil deve ser realizada gradativamente ao longo do tempo, até que se tenha atingido a meta desejada de agilidade adaptada à cultura empresarial.

Nos projetos da linha branca, por exemplo, é comum o uso das ferramentas tradicionais, apesar das características de seus projetos de modificação demandarem uma metodologia mais dinâmica como a ágil. De acordo com Eder *et al.* (2014), identificar as práticas, técnicas e ferramentas existentes, compará-las com a teoria tradicional e avaliar os resultados de customizações poderiam contribuir.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor uma customização da metodologia Scrum, incluindo a sua implantação, para gerenciar a área de modificações de projetos de produtos em uma empresa da linha branca.

MÉTODO DA PESQUISA

Visando concluir o objetivo geral, iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre metodologias tradicionais de gerenciamento de projetos, com detalhamento do PMBOK, e os pilares da metodologia ágil, além de detalhar os conceitos do método *Scrum*. Em seguida buscou-se métodos de implantação do *Scrum*.

Considerando que o trabalho visa aplicar o *Scrum* de forma personalizada em uma empresa que fabrica produtos da linha branca, em especial, no setor de modificações de projeto, buscou-se compreender esse setor e o que vinha sendo utilizado como prática de gestão de projetos. A empresa em questão é uma companhia de grande porte, multinacional, que possui uma filial alocada na região de Curitiba. Sua linha de produtos abrange eletrodomésticos e eletroportáteis, com projetos de matriz internacional e/ou local. Para conhecer as atividades envolvidas no setor, utilizou-se parte do Método de Melhoria de Fluxo de Informação e Integração (MMFII) (Estorilio, 2003), o qual apresenta uma estratégia para a coleta de dados, visando uma representação realista do processo e seus procedimentos, incluindo as integrações e documentações que o permeiam. As etapas deste método são as quatro seguintes, sendo detalhas apenas a que foi utilizada neste trabalho, a etapa 3. São elas:

1. Estudo inicial da demanda da empresa: visa definir o objetivo do trabalho através da compreensão da demanda e da delimitação do campo de estudo;

2. Análise do processo de desenvolvimento: seleciona-se a etapa crítica para o estudo, compreende-se o seu processo de desenvolvimento e delimita-se a parte do processo que apresenta maior criticidade, segundo critérios relevantes para a empresa;
3. Análise da situação delimitada: essa foi a etapa aplicada neste estudo, visando conduzir o detalhamento do fluxo crítico da fase escolhida, incluindo todas as atividades desenvolvidas em um nível operacional. As fases para conduzir essa etapa são as seguintes:
 - Coleta de dados do processo;
 - Modelagem do processo;
 - Validação do modelo segundo os membros pertencentes ao fluxo de trabalho;
 - Análise do modelo junto ao time;
 - Correlação de problemas e causas;
 - Identificação de oportunidades de melhorias em conjunto com a equipe;
 - Modelagem do novo processo, incluindo soluções e sugestões de melhorias;
 - Análise da viabilidade das soluções propostas.
4. Etapa de recomendações: elaboração do guia de implantação e relatório.

Com essas informações, o processo de trabalho foi modelado, utilizando a notação BPMN (*Business Process Model and Notation* - Modelo e Notação de Processos de Negócio), desenvolvido pela *Business Process Management Initiative* (BPMI) para unificar a forma com que as empresas faziam a modelagem de seus processos. Tanto o modelo atual do setor estudado, como o novo modelo proposto com o Scrum personalizado, foram modelados com esta notação.

Para propor a metodologia de implantação do Scrum, analisou-se as metodologias de implantação provenientes da literatura e estas foram submetidas a avaliação da equipe de projeto da empresa estudada. Partindo do fluxograma previamente elaborado da situação real do setor estudado foi possível extrair os pacotes de trabalho a serem realizados no setor de engenharia de modificações de projeto para construir a Estrutura Analítica do Projeto (EAP). Baseado nesse EAP e nas melhores práticas de implantação do Scrum, foi possível criar as etapas de implantação, incluindo o detalhamento dos *Backlogs* e *Sprints* do Scrum, otimizados para o processo analisado.

Esta proposta foi submetida a avaliação e discussão em grupo com os envolvidos no processo estudado, os quais, em função das demandas dos procedimentos envolvidos, sugeriram alguns ajustes e customizações de acordo com a ferramenta disponível na empresa (*software Jira*). Após o consenso do grupo, o método foi consolidado pelo time.

Para avaliar a proposta, houve também a implantação do Scrum customizado através de três *Sprints* com toda a equipe, gerenciando as modificações em andamento entre o período de 07 de março de 2022 e 25 de março 2022. Depois, esses *Sprints* foram avaliados por um formulário de pesquisa, utilizando a escala de *Likert* em cinco níveis. De acordo com Rensis (1932), a escala de *Likert* permite que o interlocutor indique seu grau de concordância gradativo, de acordo com uma escala de 1 a 5, onde 1 representa o menor grau de concordância e o 5 um grau de concordância total.

Os aspectos avaliados foram divididos em quatro tópicos, baseados em Conforto (2009), sendo

o primeiro sobre o gerenciamento ágil, e segundo sobre os benefícios do *Scrum* para a gestão de atividades de modificações de projetos de produtos, o terceiro sobre as dificuldades na utilização do método e o último sobre as dificuldades na implantação do método.

REVISÃO DO TEMA GERENCIAMENTO DE PROJETOS

No início da década de 70, sentiu-se a carência de organização, planejamento e estrutura, a qual originava produtos de má qualidade e que não correspondiam às necessidades dos clientes (Boehm e Turner, 2003). Diante desta circunstância, as empresas começaram a aplicar métodos de gerenciamento a fim de melhorarem as suas atividades (Robiolo e Grane, 2014).

Entretanto, o desenvolvimento de produtos antigamente era muito diferente do que atualmente, não havendo sequer ferramentas de suporte ao desenvolvimento. De acordo com Pressman (2005), a forma que encontraram para minimizar os problemas foi documentar tudo corretamente antes de iniciar o desenvolvimento do produto. Nesse contexto de produção de documentação, as metodologias tradicionais são definidas através de um conjunto de processos pré-determinados.

De acordo com Sousa (2018) para se alcançar o sucesso desses projetos com estas abordagens, dependia do conhecimento de todos os requisitos no início, o que não é simples nos dias de hoje. Por isso, Cohn (2005) cita algumas das razões para as metodologias tradicionais falharem como:

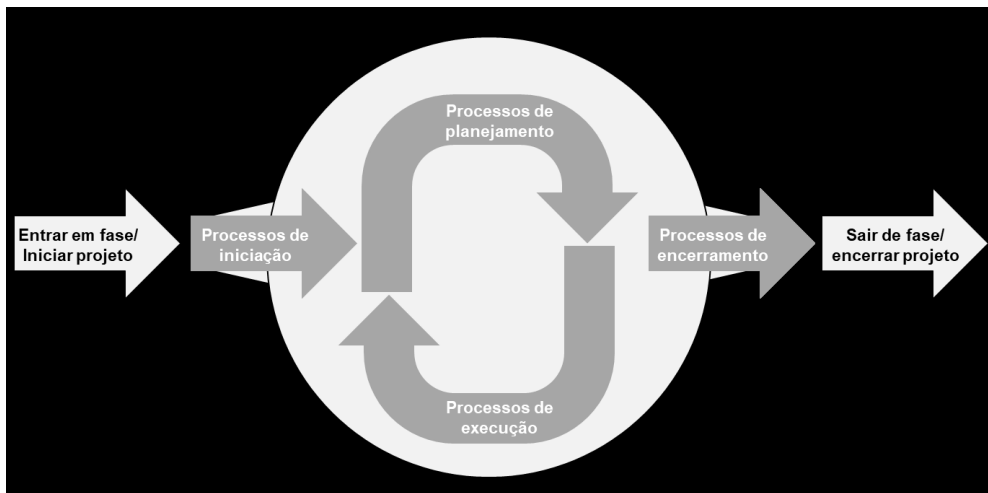
- As atividades não terminam antes do tempo planejado, ou seja, a execução delas são feitas até o tempo permitido;
- As atividades não são desenvolvidas por prioridade, uma vez que o cliente só se envolve quando o produto é entregue;
- A gestão tradicional ignora a incerteza ao assumir que os requisitos, inicialmente definidos, levam a uma satisfação total dos clientes.

Existem diversas metodologias tradicionais, entretanto, esse trabalho apresentará apenas uma breve revisão do PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), por ser a que a empresa e o setor estudado utilizavam no momento do desenvolvimento deste trabalho.

PMBOK

Criado no final da década de 60 pelo *Project Management Institute* (PMI), o guia do PMBOK reúne um conjunto de grupos de processos, boas práticas e diretrizes que são aceitas como padrão na gestão de projetos (Sousa, 2018). De acordo com a sexta edição do livro do PMBOK (PMI, 2017, são sugeridos 5 grupos de processos, representados na Figura 1, sendo estes um conjunto de atividades ligadas entre si ou processos de gerenciamento para atingir os objetivos específicos do projeto. De acordo com Sousa (2018), normalmente as saídas de um processo são as entradas de outro processo.

Figura 1 - Grupos de Processos de gerenciamento de projetos



Fonte: Adaptado PMBOK (5ªed., 2013)

Os processos, que poderiam ser definidos como etapas do gerenciamento, são os seguintes:

- Iniciação - define um novo projeto ou nova fase. Neste momento, é autorizado o início do projeto junto com o alinhamento das expectativas dos stakeholders identificados;
- Planejamento - é nesse momento em que é feito o planejamento do projeto, de forma a detalhar e refinar os objetivos e o melhor caminho a ser seguido para alcançar os objetivos;
- Execução - consiste na execução do plano de ação elaborado anteriormente, ou seja, no trabalho necessário para cumprir os requisitos e objetivos do projeto;
- Monitoramento e Controle - diz respeito ao seguimento das atividades, análises e ajustes do progresso e desempenho do projeto. Esse processo ocorre em todo o projeto, desde a iniciação até o encerramento do projeto;
- Encerramento - consiste nos processos para a conclusão ou encerramento formal do projeto.

O PMBOK segue cada etapa, visando gerenciar 10 Áreas do Conhecimento, e o cruzamento das etapas com cada atividade a ser desenvolvida em cada área de conhecimento gera quarenta e nove processos, conforme mostra o Quadro 1.

Segundo Lima Junior (2021), a iniciação é a primeira etapa do ciclo de vida do projeto e neste momento é desenvolvido o Termo de Abertura do Projeto, descrevendo de forma genérica o que é o projeto, o seu orçamento, o tempo de duração e a identificação das partes interessadas.

A segunda etapa, considerada a mais importante, é a do planejamento do projeto. Para Moraes (2012) é a descrição detalhada do conjunto de ações para um planejamento organizado das atividades previstas. De acordo com Sabbag (2009), é no planejamento que se tem a intenção de mostrar todos os meios e fins para a execução do projeto. Por isso, é o grupo de processo com mais detalhamento, com vinte e quatro atividades para garantir as orientações durante a gestão do escopo durante a vida do projeto. As informações

dessa fase são fundamentais para a criação da Estrutura Analítica do Projeto (EAP). Essa técnica visa detalhar em um diagrama tudo o que precisa ser operacionalizado para que se possa realizar o projeto. Com o EAP bem estruturado, é possível iniciar o cronograma do projeto, seus custos, de acordo com os indicadores de qualidade almejados, definir as pessoas envolvidas, a comunicação entre os membros da equipe de projeto, prever os riscos, definir as aquisições e alinhar o projeto com as partes interessadas.

Quadro 1 - Grupo de Processos

Áreas de conhecimento	Grupos de Processos de Gerenciamento de Projeto				
	Iniciação	Planejamento	Execução	Monitoramento e Controle	Encerramento
Integração	4.1 Desenvolver o Termo de Abertura do Projeto	4.2 Desenvolver o Plano de Gerenciamento do Projeto	4.3 Orientar e Gerenciar o Trabalho do Projeto 4.4 Gerenciar o Conhecimento do Projeto	4.5 Monitorar e Controlar o Trabalho do Projeto 4.6 Realizar o Controle Integrado de Mudanças	4.7 Encerrar o Projeto ou Fase
Escopo		5.1 Planejar o Gerenciamento do Escopo 5.2 Coletar os Requisitos 5.3 Definir o Escopo 5.4 Criar a EAP		5.5 Validar o escopo 5.6 Controlar o Escopo	
Tempo		6.1 Planejar o Gerenciamento do Cronograma 6.2 Definir as Atividades 6.3 Sequenciar as Atividades 6.4 Estimar as Durações das Atividades 6.5 Desenvolver o Cronograma		6.6 Controlar o Cronograma	
Custos		7.1 Planejar o Gerenciamento dos Custos 7.2 Estimar os Custos 7.3 Determinar o Orçamento		7.4 Controlar os Custos	
Qualidade		8.1 Planejar o Gerenciamento da Qualidade	8.2 Gerenciar a Qualidade	8.3 Controlar a Qualidade	
Recursos Humanos		9.1 Planejar o Gerenciamento dos Recursos 9.2 Estimar os Recursos das Atividades	9.3 Adquirir Recursos 9.4 Desenvolver a Equipe 9.5 Gerenciar a Equipe	9.6 Controlar os Recursos	
Comunicação		10.1 Planejar o Gerenciamento das Comunicações	10.2 Gerenciar as Comunicações	10.3 Monitorar as Comunicações	
Riscos		11.1 Planejar o Gerenciamento dos Riscos 11.2 Identificar os Riscos 11.3 Realizar a Análise Qualitativa dos Riscos 11.4 Realizar a Análise Quantitativa dos Riscos 11.5 Planejar as Respostas aos Riscos	11.6 Implementar Respostas aos Riscos	11.7 Monitorar os Riscos	
Recursos		12.1 Planejar o Gerenciamento das Aquisições	12.2 Conduzir as Aquisições	12.3 Controlar as Aquisições	
Partes interessadas	13.1 Identificar as Partes Interessadas	13.2 Planejar o Engajamento das Partes Interessadas	13.3 Gerenciar o Engajamento das Partes Interessadas	13.4 Monitorar o Engajamento das Partes Interessadas	

Fonte: Adaptado do PMBOK, 2017

Com o planejamento realizado, é inicializada a etapa da execução, onde o projeto é efetivamente realizado, em paralelo com o monitoramento e controle do mesmo, para acompanhamento, avaliação e legitimação do projeto (Lima Junior, 2021). De acordo com Sabbag (2009), a fase de monitoramento e controle é utilizada em todo o planejamento, no entanto, é priorizado o controle dos prazos e custos para que o projeto seja entregue com na data planejada, com o orçamento previsto inicialmente. A fase de encerramento é a finalização de todas as atividades de todas as áreas e grupos de processos de gerenciamento e, portanto, do projeto gerenciado em questão.

Apesar das metodologias tradicionais seguirem sendo utilizadas até hoje, alternativas a ela foram surgindo ao longo do tempo, visando dar maior flexibilidade e agilidade aos projetos, como as metodologias ágeis.

METODOLOGIAS ÁGEIS

O manifesto ágil (2001) impulsionou as discussões sobre inovação e como desenvolvê-las da melhor forma. Tudo começou na área de *software*, que posteriormente se expandiu para áreas de engenharia, manufatura e gerenciamento de projeto (Highsmith, 2004). Os valores atrelados a esse manifesto são:

- Indivíduos e interações mais que processos e ferramentas;
- *Software* em funcionamento mais que documentação abrangente;
- Colaboração com o cliente mais que negociação de contratos;
- Responder às mudanças mais que seguir um plano.

O manifesto ágil (2001) também enumera doze princípios que regem a sua aplicação. São eles:

- Satisfação do cliente como prioridade por meio das entregas contínuas com valor agregado o mais rápido possível;
- Mudanças nos requisitos são bem-vindas até em estágios avançados de desenvolvimento. O ágil usa essas mudanças ao seu favor, trazendo vantagens competitivas;
- Entregar o produto funcionando em curto prazo;
- Equipes multidisciplinares trabalhando em conjunto;
- Equipe motivada em um ambiente propício e com suporte para desenvolvimento do projeto;
- Valorização da conversa face a face;
- Produto funcionando é o principal indicador;
- Capacidade de manter ritmo constante;
- Atenção à excelência técnica e design;
- Simplificar: não fazer trabalhos desnecessários;
- Equipes que praticam autogestão;
- Refletir continuamente sobre como tornar o método mais eficaz e refinar o método de trabalho.

No entanto, Amaral *et al.* (2011) afirmam que o manifesto enuncia valores e princípios, e não maneiras de implementação. Portanto, a partir desses ideais, a área de *software* desenvolveu vários métodos e ferramentas (*softwares*) que incorporam esses princípios, entretanto, esse estudo vai abordar apenas um dos mais difundidos, o método Scrum. De acordo com Takeuchi & Nonaka (1986), o Scrum promove agilidade e flexibilidade. Segundo Amaral *et al.* (2011), ainda não há regra específica para se escolher o melhor método e a melhor ferramenta para determinada situação.

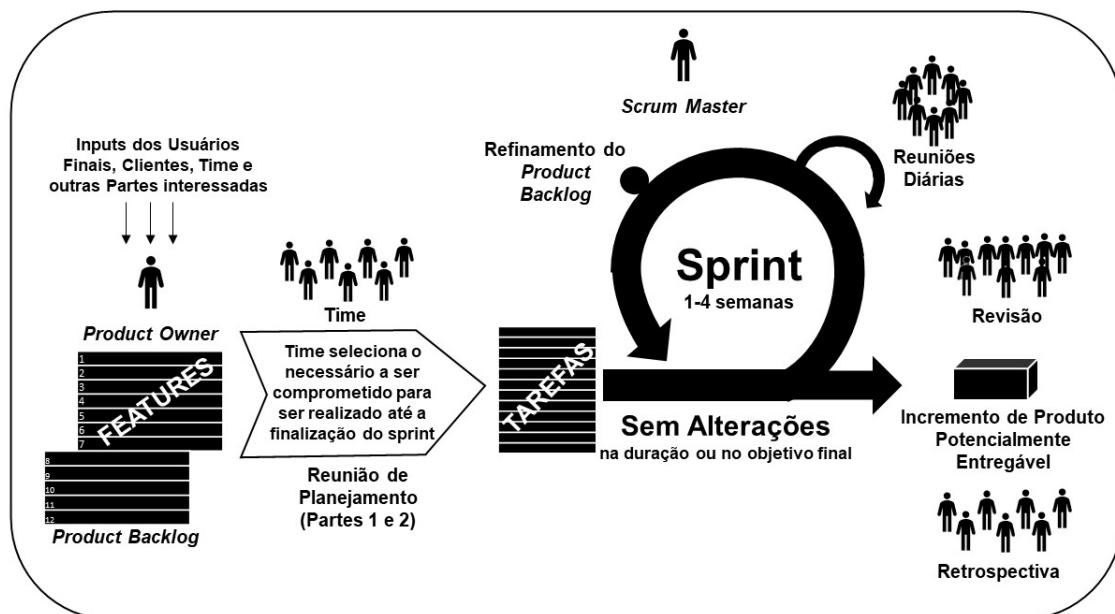
SCRUM

Desenvolvido por Ken Schwaber e Jeff Sutherland em 1995, o termo Scrum veio do jogo rúgbi, o qual se refere às reuniões de discussão, do modo como o time trabalha em conjunto para avançar com a bola no campo, de forma similar ocorre no desenvolvimento do projeto, pois são realizadas reuniões em ciclos chamados de *sprints* (corridas de velocidade de curta duração), um seguido do outro. O Scrum é uma metodologia fácil

de ser estudada e se baseia em um *framework* iterativo e incremental para a gestão de projetos.

Segundo Sousa (2018), o seu desenvolvimento é realizado em ciclos chamados de *sprints*. A cada *sprint*, a equipe compromete-se com o cliente na implementação de determinados requisitos, os quais não são passíveis de mudanças durante o decorrer do ciclo. Diariamente, a equipe se reúne para conhecer o que foi realizado e decidir sobre o que será feito em seguida para alcançar os objetivos do *sprint*. No final, é realizada a entrega de um produto testado, mostrado para o cliente, obtendo-se o *feedback* para ser incorporado na próxima iteração (Ver Figura 2).

Figura 2 - Scrum



Fonte: Adaptado Schwaber e Sutherland, 2007

Quanto ao time de Scrum, este é composto por três papéis: *Product Owner* (PO), *Scrum Team* e *Scrum Master*.

- *Product Owner* (PO) - é o responsável por gerenciar efetivamente o *backlog* do produto, através das atividades de: desenvolvimento e comunicação de maneira direta o objetivo do produto; criação, ordenação e comunicação clara dos itens do *backlog* do produto; e garantir que o *backlog* do produto seja transparente, visível e compreendido. Além disso, o PO pode representar as necessidades de várias partes interessadas no *backlog* do produto;
- *Scrum Team* - são todas as pessoas que executam o trabalho, para que seja possível uma entrega. As equipes são autônomas e gerenciam o seu próprio trabalho, assim a responsabilidade pertence sempre à equipe. Por isso, não são atribuídos títulos ou funções às pessoas. Além disso, as equipes também são multifuncionais, o que significa que seus membros possuem habilidades necessárias para criar valor a cada *sprint*. O time deve ser pequeno o suficiente, mas grandes o bastante para realizar as atividades a cada *sprint*;
- *Scrum Master* - é responsável por garantir a efetividade do Scrum, ou seja, que todas as regras do Scrum estão sendo colocadas em prática. O *Scrum Master*

presta auxílio ao PO na gestão do *backlog*, além de facilitar os eventos e servir como *coach* para o time e toda a organização.

Para a efetivação do Scrum, é estabelecido alguns eventos e artefatos. Os eventos devem ocorrer dentro de um tempo pré-definido e com uma duração máxima estipulada (*Sprint*, seu planejamento, revisão e retrospectiva e o *Scrum diário*). Os artefatos foram elaborados para construir uma visão geral, fornecendo transparência e possibilidade de inspeção e adaptação (*Product backlog*, *Sprint backlog* e *Incremento*). Segundo Schwaber e Sutherland (2013), para cada um deles existe a oportunidade de inspeção e adaptação. São eles:

- *Sprint* – são as etapas de um projeto, com duração de até um mês. Esse conceito “Sprint” se refere a um tipo de corrida de velocidade em que o atleta percorre uma distância curta em um período de tempo mais curto ainda, concluindo uma parte do produto ou projeto em questão. Uma nova *sprint* só começa após a conclusão da anterior. A cada *sprint*, outros eventos também ocorrem como: o planejamento do *sprint*, o *Daily Scrum* (reuniões diárias), revisões de *sprint* e a reunião de retrospectiva;
- Planejamento do *Sprint* - nesse evento é definido o trabalho a ser realizado em um *sprint*, elaborado por todos os membros da equipe. O planejamento envolve: a importância do *sprint*, o que e como deverá ser concluído. O *Scrum Master* deve garantir e assegurar que este evento aconteça dentro do limite temporal;
- Revisão do *sprint* - reunião no final do *sprint* para inspecionar o que foi finalizado e analisar futuras adaptações do *sprint*. Toda a equipe participa, explicando quais problemas ocorreram e como foram resolvidos, para que sirvam de input para o próximo *sprint*;
- Retrospectiva do *sprint* – avaliação do desempenho do *sprint*, identificando os pontos positivos e negativos, visando melhorar o próximo *sprint*. Ela visa identificar oportunidades de melhorias;
- Scrumdiário - são reuniões diárias, com duração máxima de quinze minutos. Serve para o time de desenvolvimento partilhar o que foi feito e definir as novas atividades. Portanto, os Scrumdiários melhoram a comunicação e ajudam a responder algumas perguntas: o que fiz ontem? O que vou fazer? Quais impedimentos tenho?;
- *Product backlog*- lista ordenada de tudo o que é necessário para chegar ao produto final de um projeto. Ele deve ser apresentado a todos os interessados para evitar insatisfações. O primeiro *Sprint* pode ser iniciado assim que o *Product Backlog* tiver definido histórias suficientes. Cada mudança no projeto será refletida no *Product Backlog*, que está sempre melhorando dinamicamente;
- *Sprint backlog*- artefato que contém o estado real do *sprint* (o porquê), o que se pretende fazer (o que) e como se pretende atingir (como);
- Incremento - passo em direção ao objetivo final do produto. Assim é o somatório de todos os itens que foram finalizados do *Product backlog* durante todos os *sprints*.
-
- Sutherland (2018) sugere uma forma de implantação do Scrum em onze etapas. São elas:
- Treinar equipe -com conceitos básicos do *Scrum* e nomenclaturas;

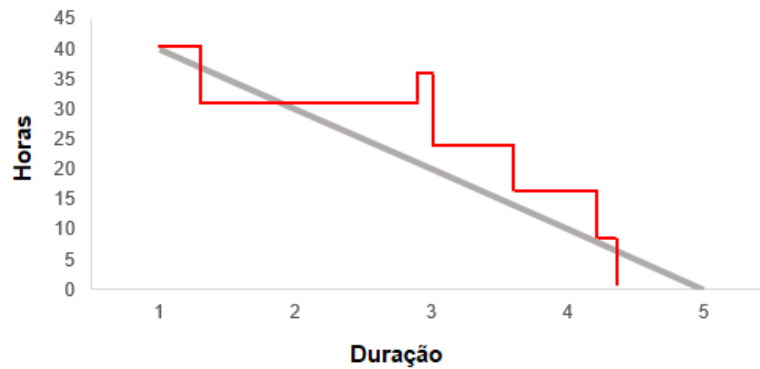
- Escolher o PO (*Product Owner*) - pessoa capaz de visualizar o que deve ser feito e o que será possível fazer;
- Escolher o time - capacitado para entender a visão do PO e transformá-la em realidade;
- Escolher o *Scrum Master* - pessoa capaz de liderar e orientar o restante da equipe de desenvolvimento à estrutura do Scrum;
- Definir ferramenta - onde as tarefas serão documentadas e gerenciadas;
- Criar e priorizar *Product backlog* - criar uma lista detalhada com tudo o que precisa ser feito ou construído para transformar a visão do projeto em realidade;
- Aperfeiçoar e fazer estimativas para o *Product backlog*-entender se a quantidade de esforço exigido para concluir um determinado item é factível;
- Planejar *Sprint*- em uma reunião, cada um define sua capacidade de tarefas e se compromete a realizá-la, delineando o *Sprint*. O objetivo do *sprint* deve estar alinhado com todos, os quais têm autonomia para opinar e decidir;
- Tornar o trabalho visível –pode-se utilizar recursos como nuvem e *kanban* compartilhados (Figura 3) , que é uma ferramenta visual de gestão. Consiste em um quadro com três colunas de tarefas (*Post Its*): “a fazer”, “fazendo” e “feito”, movidos de coluna a coluna conforme a atividade vai sendo desenvolvida.

Figura 3– Quadro *Kanban*



Fonte: Adaptado de Boeg, 2010

Outra opção a ser utilizada é o Gráfico de Manejo (ou Gráfico *Burndown*), que traça o progresso do *Sprint*. O eixo horizontal do gráfico representa a duração do *sprint* e o eixo vertical representa a quantidade de horas restantes a serem realizadas. No gráfico é traçado uma linha imaginária indicando a situação ideal para as atividades serem feitas (Figura 4).

Figura 4 - Gráfico *Burndown*

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

- Executar o Scrum diário - reuniões diárias que marcam o ritmo do Scrum, para responder três perguntas: O que você fez? O que você vai fazer? Existe alguma interferência? Elas servem para o time se autogerenciar e garantir que as tarefas sejam concluídas, com os obstáculos superados, incluindo o auxílio dos membros da equipe;
- Revisar *Sprint* - demonstração do que foi feito;
- Fazer a retrospectiva do *Sprint* - após a finalização do *Sprint* anterior, é discutido o que deu certo, o que poderia ter sido melhor e o que é possível fazer para melhorar o próximo *Sprint*. Visa o aprimoramento do processo;
- Começar o próximo *Sprint* - iniciam o *Sprint* considerando a experiência adquirida com os impedimentos e aprimoramentos do processo, visando encontrar a melhor forma de utilizar o Scrum.

Gertners (2017) sumariza abordagens diferentes para a implantação do *Scrum*. Tais teorias foram sintetizadas no Quadro 2, incluindo o método de implantação pioneiro de Sutherland (2018).

Quadro 2 - Comparação entre as metodologias

Abordagens	Tytkowska <i>et al.</i> (2015)	Andrade <i>et al.</i> (2012)	Hu <i>et al.</i> (2009)	Soumyadipta e Singh (2012)	Sutherland (2018)
Treinamento da equipe		X			
Definir funções			X		X
Planejamento da demanda no Backlog	X	X	X	X	X
Planejamento da demanda no Sprint	X	X	X	X	X
Reuniões do Scrum		X	X	X	X
Direcionar demanda	X		X		X
Desenvolver demanda	X		X		X
Aprovação do trabalho	X				X
Gerenciamento de recursos	X		X		
Gerenciamento pessoal			X		
Sprint review	X	X	X	X	X
Sprint retrospective	X	X	X	X	X
Apresentação para os Stakeholders		X			

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

Nota-se poucas diferenças na sequência de implantação; alguns autores são mais detalhistas, como Hu *et al.* (2009) e Tytkowska *et al.* (2015), que expandem as etapas. Outros são bem sintéticos e mantêm apenas a essência da Metodologia Ágil, como Soumyadipta & Singh (2012).

CUSTOMIZAÇÃO DO SCRUM PARA O SETOR ESTUDADO

Para realizar a customização do Scrum e da sua estratégia de implantação, iniciou-se a compreensão do processo de trabalho realizado na área estudada. Para isso, visou-se mapear e detalhar as atividades envolvidas na área de modificações de projeto de produto da linha branca. O resultado é mostrado no Quadro 3, onde é possível visualizar os dados de entrada, as tarefas, suas interfaces, o processo, os dados de saída e a duração de cada procedimento envolvido.

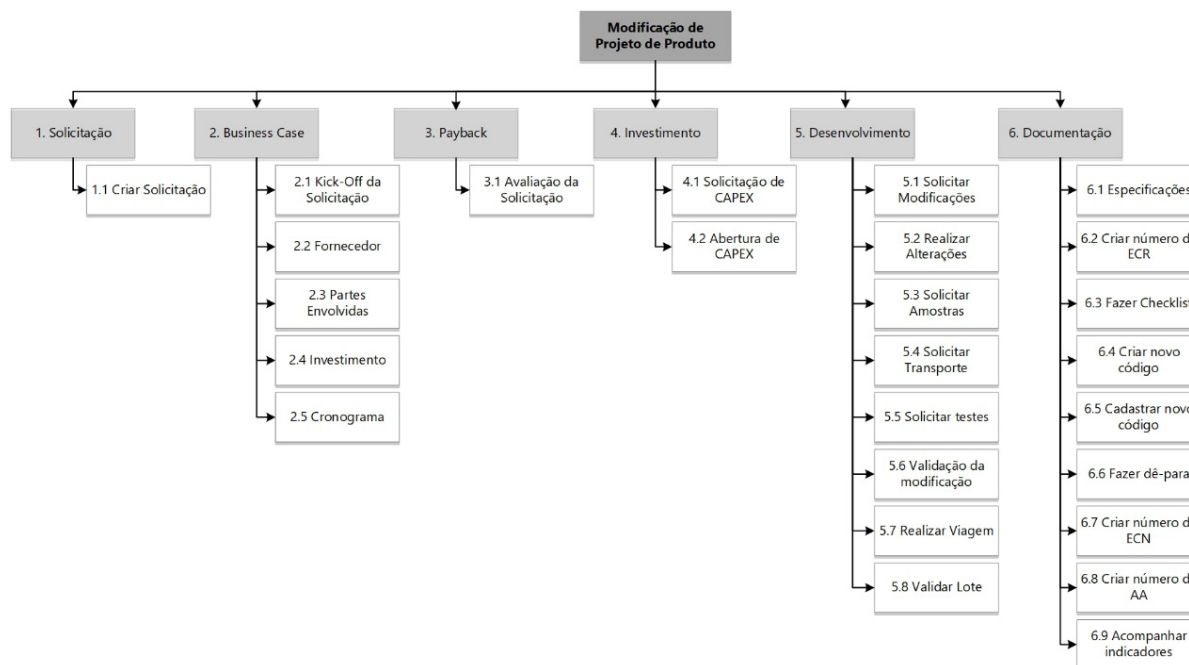
Quadro 3 - Processo BPMN no setor de modificação de projeto de produto em uma empresa da linha branca

	Funções e Definições	Processo/Flow	Output	Duração
Solicitação	Engenharia de Produto (A): <ul style="list-style-type: none"> Um email, teardown, benchmarking - Através da desmontagem de alguns produtos da própria empresa, dos concorrentes, e através da avaliação através de testes de empresas terceiras 		Solicitação	2 a 14 dias
Business Case	Engenharia de Produto - Demais Áreas (B): <ul style="list-style-type: none"> Reunião com as demais áreas para avaliação da solicitação - Através de uma reunião para discussão dos planos da alteração Engenharia de Produto - Fornecedor (C): <ul style="list-style-type: none"> Acionar fornecedor - Avaliar com o fornecedor impactos da alteração dentro do fornecedor, no produto e impacto de custos Engenharia de Produto - Partes Envolvidas (D): <ul style="list-style-type: none"> Acionar partes envolvidas - Avaliar com as áreas (qualidade, processos, logística, manufatura, etc) os impactos da alteração na área específica, avaliando riscos e prazos de acordo os requisitos Engenharia de Produto (A): <ul style="list-style-type: none"> Descobrir valor do investimento - Através das avaliações realizadas previamente, fazer o levantamento dos custos necessários que serão utilizados durante a implantação da solicitação Elaborar um cronograma - Através das avaliações realizadas previamente do desenvolvimento da solicitação, fazer o levantamento de prazos necessários de acordo com as avaliações 		Business Case, Investimento (Payback) e o Cronograma do Projeto	50 a 60 dias
Payback	Engenharia de Produto (A): <ul style="list-style-type: none"> Avaliar payback - Quantidade de investimento necessário, quantidade de saving capturado, e quanto tempo. Fazer análise de falha, entre proposta, investimento e payback 		Investimento	3 a 7 dias
Payback	Engenharia de Produto (A): <ul style="list-style-type: none"> Fazer solicitação de CAPEX para a controladoria - Através do sistema específico na empresa é feito uma solicitação de CAPEX, a qual será aprovada pela gerencia envolvida para o gasto durante o projeto Controladoria (E): <ul style="list-style-type: none"> Abertura oficial do CAPEX - Liberado o CAPEX/conta para gasto de dinheiro durante o projeto 		CAPEX / Ordem Interna / Conta para gastos	7 a 10 dias
Desenvolvimento	Engenharia de Produto (A): <ul style="list-style-type: none"> Abertura oficial da solicitação com o fornecedor - uma solicitação formal, através de email ou visita ao fornecedor para iniciar o processo Efetivar a solicitação de alteração - realizar as alterações levantadas e garantir a mudança, junto com os desenhos e protótipos da nova alteração Fazer solicitação de amostras - uma solicitação formal, através de email, o preparo de amostras para a realização de testes Fazer solicitação de transporte - preenchimento da documentação para a realização do transporte de amostras para a realização de testes Fazer solicitação para realização de testes - solicitação de testes, de dimensionamento, ensaios, para a realização e validação da proposta Fazer a validação da modificação - Validação se a proposta pode realmente ser implantada ou se necessário alguma melhoria para real implantação Realização de viagens - Realizar viagens para validação de lotes Fazer a validação num lote teste de grande quantidade - Validar a modificação dentro de um lote, realmente em produção 		Modificação efetivada e realizada	100 a 120 dias
Documentação	Engenharia de Produto (A): <ul style="list-style-type: none"> Fazer as especificações - Através das análises feitas nas validações de testes, realizar detalhadamente as especificações do produto/componente Fazer criação do novo código - Realizar a criação de um novo código através do sistema utilizado pela empresa, que gera um código automático Fazer cadastro do novo código - cadastro do novo código através do sistema SAP, cadastrando junto as especificações do produto/componente Crear número de ECR (Engineering Change Request) - Realizar a criação de um número de ECR para registro da documentação no sistema utilizado pela empresa e para ser aprovada pelo supervisor da área Fazer checklist - documento necessário com as informações da modificação e impactos para o registro da implantação da modificação e para ser anexado na ECR Fazer de-para - Preencher documento que faz uma análise de impactos de códigos nos produtos impactados pela modificações, bem o registro do impacto de custo em cada produto Crear número de ECN (Engineering Change Notice) - Realizar a criação de um número de ECN para registro da documentação no sistema utilizado pela empresa e para ser aprovada e garantir a notificação da alteração para os demais setores da empresa Crear número de AA (Article Acceptance) - Realizar a criação de um número de AA para registro da documentação no sistema utilizado pela empresa e para ser aprovado pela logística e qualidade para garantir a efetivação da alteração através dos códigos e dos testes realizados Acompanhamento dos indicadores da área - Manter sob observação quais os impactos da alteração nos indicadores da área 		Documentação solicitada pela empresa	200 a 220 dias

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

A partir do Quadro 3, extraiu-se uma estrutura analítica de projeto (EAP) (Figura 5), visando conhecer e compreender todas as atividades necessárias para conclusão e efetivação de cada pacote de trabalho. Com isso, seria possível visualizar e construir o *backlog* e customizar o Scrum de acordo com a demanda do setor estudado.

Figura 5 - EAP de uma modificação de projeto de produto



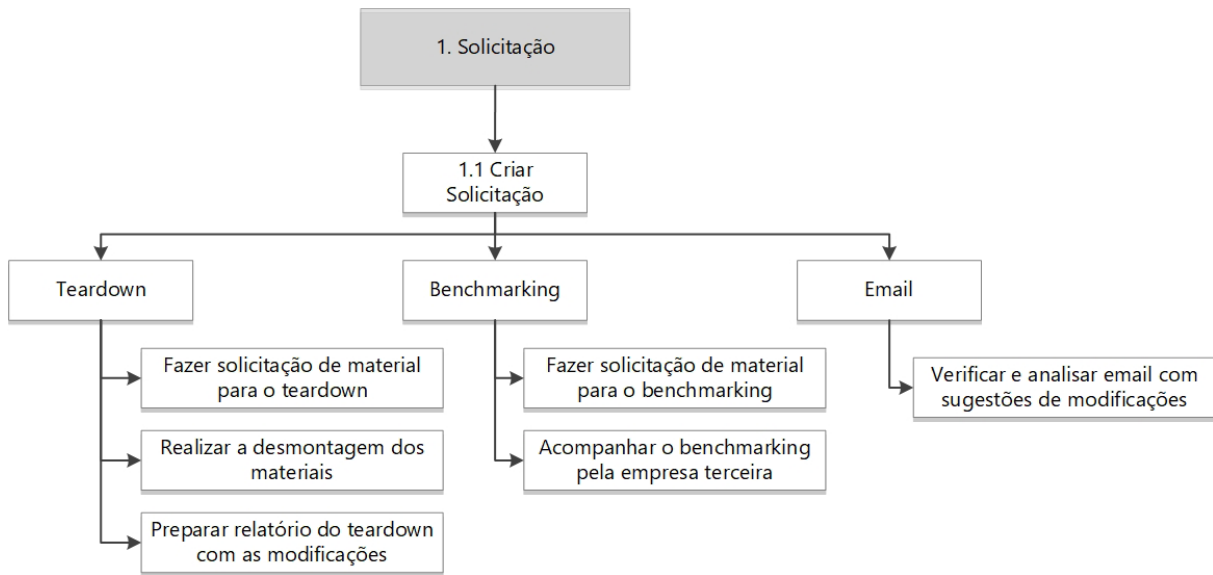
Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

Com a estrutura analítica do projeto montada é então possível começar a elaborar a customização do Scrum e o *backlog*, os quais serão detalhados a seguir através da operacionalização do Scrum e sua implantação.

CUSTOMIZAÇÃO DO SCRUM

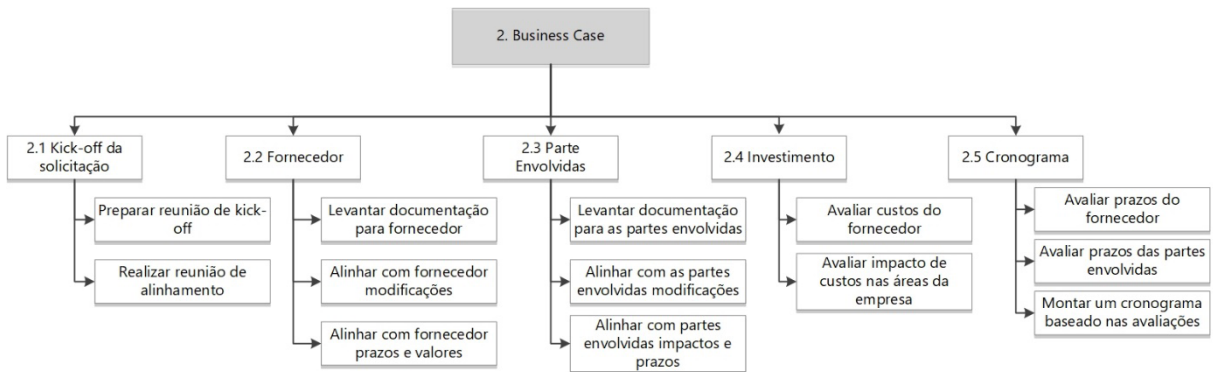
A elaboração da customização do Scrum na empresa ocorreu através do detalhamento do EAP. No entanto, para o funcionamento de um projeto específico há a necessidade de um fluxo e uma ordem de prioridade. Para isso, se fez necessário a priorização das atividades para a composição do *backlog* e a especificação de cada tarefa dentro de cada pacote de trabalho, os quais foram definidos através do desmembramento e detalhamento do EAP. Em função da limitação de espaço, apenas uma parte será apresentada nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 - EAP descritivo do primeiro pacote de atividades: Solicitação



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

Figura 7 - EAP descritivo do segundo pacote de atividades: *Business Case*



Fonte: Elaborado pelos autores, 2022

Com o detalhamento dos pacotes de trabalho e com todas as atividades especificadas, foi possível criar um *backlog*, respeitando o cronograma e a duração de cada etapa de projeto. Listou-se todas as atividades em um quadro e o time de projeto estimou qual seria a quantidade de horas trabalhadas em cada uma delas. O time também definiu que cada *sprint* duraria uma semana.

Desse modo, com o processo mapeado, as atividades com suas estimativas de horas e a duração do *sprint* definido, foi possível fazer uma estimativa de 420 dias para um projeto e dividir essa duração de projeto em 60 *sprints*.

Em seguida, sabendo que as atividades seriam feitas em cascata e com uma lógica de começo e fim, cada uma delas foi enquadrada em seu respectivo *sprint*, considerando as atividades que deveriam ser feitas antes e as que poderiam ser agrupadas para serem realizadas em paralelo com outras, apresentadas no Quadro 4.

outras equipes com as quais eles possuem interface. Mesmo assim, as atividades foram enquadradas de modo a respeitar os prazos previstos no BPMN do Quadro 3.

O Quadro 4 servirá de base referencial para o gerenciamento das modificações de projeto do setor estudado, no momento da implantação e aplicação do Scrum. Para o estudo foi considerado um único projeto como aplicação, porém, é necessário ressaltar que o time em questão não gerencia apenas uma modificação por vez, mas sim, uma série delas simultaneamente. Para o gerenciamento de todas as modificações de projeto, é feita uma priorização de acordo com os interesses da empresa e da alta gestão, em função de vários fatores que podem vir a impactar no produto em linha.

OPERACIONALIZAÇÃO DO SCRUM CUSTOMIZADO E SUA IMPLANTAÇÃO

Após a modelagem do processo, da construção do EAP e da construção do *backlog* customizado, foi feita uma última validação pelos colaboradores da área estudada. As estratégias de implantação estudadas foram analisadas, visando identificar as etapas mais demandadas pela equipe. Aproveitando-se dessas informações, propôs-se uma sequência na qual será citada e detalhada abaixo, ressaltando a origem e a justificativa da sua composição. As etapas foram:

- Treinamento da equipe;
- Definição dos papéis;
- Organização da agenda;
- Sistema de priorização;
- Criação do *backlog*;
- Definição e estruturação da ferramenta;
- Planejamento das *sprints*.

Dentro da proposta de implementação do Scrum, existem algumas sugestões de como priorizar as atividades. Tytkowska *et al.* (2015), por exemplo, apresenta um sistema de pontos. A partir da discussão com a equipe e pelas funcionalidades do *software* a ser utilizado, definiu-se que o sistema de priorização seria por meio das funções fornecidas por ele com as seguintes classificações:

- *Blocker*: prioridade máxima, deve ser fechada no *sprint* em questão, sem direito a postergação, além de correr um grande risco de afetar alguma área da empresa;
- *Major*: prioridade alta, deve ser realizada o quanto antes durante o *sprint*;
- *Medium*: prioridade média;
- *Minor*: prioridade baixa, apenas se necessário pode ser postergada para o próximo *sprint*.

Após o treinamento da equipe, da definição dos papéis no time, agenda organizada e sistema de priorização, iniciou-se a construção do *backlog* no *software*. Assim, considerando a realidade modelada e as atividades que devem ser feitas, foi possível construir em conjunto um Scrum customizado e adaptado para um *software* utilizado pela empresa estudada, considerando a experiência da equipe e as bases da literatura.

DEFINIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DA FERRAMENTA COM A PRÁTICA

Para a realização desse passo, foi escolhido o *software* Jira. O Jira é um *software* comercial desenvolvido pela empresa Australiana Atlassian, que permite o monitoramento de tarefas e acompanhamento de projetos, garantindo o gerenciamento de todas as atividades em único lugar. O time, em conjunto, escolheu realizar alguns testes e concluiu que a melhor opção era usar apenas duas das principais funções que a ferramenta oferece: o épico (*Epic*) e a tarefa (*Task*).

Como são gerenciados vários projetos de modificação simultaneamente, definiu-se como boa prática que cada épico usaria o número de ECR (*Engineering Change Request*) como título para indicar, documentar e melhorar a rastreabilidade das modificações dentro do *software*. Além disso, foi usada a função prioridade, a qual ajudou na classificação de criticidade de cada assunto e a função descrição que colaborou com a documentação e registro das pendências de modificação de projeto de produto, no próprio *software*.

Para cada tarefa foi considerado que um *story point* equivaleria a uma hora de trabalho nessa atividade. Ou seja, a cada hora trabalhada de uma pessoa específica do time, representaria um *story point* na ferramenta. Isso foi considerado, pois segundo Sutherland (2018), é necessário que se aperfeiçoe e faça estimativas de esforços exigidos para concluir uma determinada tarefa ou épico. Para todas as tarefas criadas no Jira, também foi adotada a boa prática de iniciá-las com o número de ECR

Com essas duas estruturas montadas dentro do *software*, foi possível visualizar todas as tarefas de cada épico, os responsáveis por cada uma delas e qual o seu status de realização. Ou seja, a ferramenta estaria pronta para a execução e controle do gerenciamento das modificações de projeto do setor estudado.

Feito toda essa estruturação de cada modificação dentro da ferramenta, o próximo passo para a implantação do Scrum seria o planejamento dos *sprints* na prática. Para manter o planejamento do *sprint* seriam feitas reuniões diárias, que servem para alinhar o escopo, com o intuito de evitar mudanças em relação ao planejamento inicial.

AValiação DO SCRUM CUSTOMIZADO

A partir da customização do Scrum, foram rodados com o time 3 *sprints* de teste. Os *sprints* foram realizados no período do dia 07 de março de 2022 ao dia 25 de março de 2022. Participaram dos *sprints* toda a equipe, totalizando 10 colaboradores, sendo um Scrum *Master*, um *Product Owner* e 8 *team members*. Para a realização dos *sprints* foram considerados 30 modificações de projeto rodando simultaneamente, os quais se encontravam em pacotes de trabalho diferentes.

Para realizar o primeiro *sprint*, foi necessário criar os projetos de modificações de produto no Jira como épicos. Iniciou-se todos os épicos com o número de ECR, como proposto. Após a criação dos épicos, foram adicionadas a cada um deles, todas as tarefas citadas na customização do Scrum.

A inicialização dos *sprints* ocorreu na reunião de abertura, onde definiu-se a priorização das modificações e enquadramento de carga horária. Durante as reuniões, ficou como função do Scrum *Master* revisar, validar o planejamento e iniciar o *sprint* no *software*. O acompanhamento das tarefas foi feito pelo quadro *kanban* da ferramenta Jira. Durante

as reuniões diárias, esse quadro era passado pelo time com a finalidade de monitorar as atividades concluídas, analisando as que deveriam passar de “TO DO” para “DONE”.

Após a finalização dos 3 *sprints* propostos, foi aplicado um roteiro de perguntas para avaliar a proposta do Scrum, cujas conclusões são apresentadas nas conclusões finais desse capítulo.

CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou as definições e funcionamento do gerenciamento de projetos de acordo com duas das principais metodologias de gestão: PMBOK e Scrum. Verificou-se que existem diferentes maneiras de abordar a implantação da metodologia ágil e cada uma tem particularidades e sugestões de boas práticas distintas, que devem ser levadas em consideração na hora da customização.

O trabalho mostrou as atividades envolvidas na área de modificações de projetos de produto de uma empresa da linha branca, para a qual o Scrum seria customizado. O fluxograma do processo deste setor serviu de base para a construção da estrutura analítica de projeto (EAP) e este fundamentou a definição dos pacotes de trabalho a serem concluídos. A partir disso, analisou-se as definições de implantação do Scrum de diferentes autores e comparou-se com a realidade modelada a partir deste EAP.

Com a validação da equipe, foi possível entregar um Scrum customizado, incluindo os *backlogs*, customização da ferramenta de gestão (*Software Jira*) e detalhamento da sua operacionalização.

O Scrum customizado foi aplicado em campo por um período de 3 *sprints*. Para avaliação da sua efetividade, foi aplicada uma pesquisa quali-quantitativa, usando a escala de Likert, com critérios extraídos da literatura. Considerando os resultados da pesquisa, avaliou-se que a implantação foi satisfatória, pois 100% dos colaboradores aderiram ao método e estavam engajados e 80% das respostas foram positivas, considerando a implantação do método satisfatória.

Como sugestão para próximos trabalhos, o método de implantação do Scrum customizado poderia ser expandido para outras áreas da empresa em questão, como qualidade, logística e projetos, já que a empresa está em um processo de adoção de metodologias ágeis em todos os departamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Daniel Capaldo, et al. **Gerenciamento ágil de projetos: aplicação em produtos inovadores**. São Paulo: Saraiva, 2011, 240.

BECK, K. et al. **Manifesto para desenvolvimento ágil de software**. Fev, 2001. Disponível em: <https://agilemanifesto.org/iso/ptbr/manifesto.html>. Acesso em: 16 de out. de 2021.

BOEG, Jesper. *Kanban em 10 passos*. Tradução de Leonardo Campos, Marcelo Costa, Lúcio Camilo, Rafael Buzon, Paulo Rebelo, Eric Fer, Ivo La Puma, Leonardo Galvão, Thiago Vespa, Manoel Pimentel e Daniel Wildt. C4Media, 2010.

BOEHM, Barry. **A view of 20th and 21st century software engineering**. In: *Proceedings of the 28th international conference on Software engineering*. 2006. p. 12-29.

CALIFE, Naiara Faiad Sebba; NOGUEIRA, Edemilson; ALVES FILHO, Alceu Gomes. Empresas do setor de linha branca e suas estratégias competitivas e de produção. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 2, 2010.

COHN, Mike. **Agile estimating and planning**. Pearson Education, 2005.

CONFORTO, Edivandro Carlos. **Modelo e ferramenta para avaliação da agilidade no gerenciamento de projetos**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DANTAS, Jefferson Carvalho. Contribuições da implantação do Scrum como metodologia ágil para a otimização da gestão de projetos nas organizações. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN2675-6218**, v. 2, n. 7, p. e27541-e27541, 2021.

EDER, Samuel et al. **Estudo das práticas de gerenciamento de projetos voltadas para desenvolvimento de produtos inovadores**. Produto & Produção, v. 13, n. 1, 2012.

EDER, Samuel et al. **Diferenciando as abordagens tradicional e ágil de gerenciamento de projetos**. Production, v. 25, p. 482-497, 2014.

CONFORTO, Edivandro Carlos. **Gerenciamento ágil de projetos: proposta e avaliação de método para gestão de escopo e tempo**. 2009. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.

ESTORILIO, Carla Cristina Amódio. **O trabalho dos engenheiros em situações de projeto de produto: uma análise de processo baseada na ergonomia**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FIA (Fundação Instituto de Administração). **Scrum: o que é e como aplicar a metodologia ágil para gestão?**. Disponível em: <https://fia.com.br/blog/Scrum/>. Acesso em: 11 out. 2021.

GANDOMANI, Taghi Javdani; NAFCHI, Mina Ziaei. *An empirically-developed framework for Agile transition and adoption: A Grounded Theory approach*. **Journal of Systems and Software**, v. 107, p. 204-219, 2015.

GERTNERS, Ditter Vieitos. **Implementação e avaliação da metodologia SCRUM no gerenciamento de projetos de tecnologia logística em uma empresa de varejo**, 2017.

HIGHSMITH, J. **Agile project management: creating innovative products**. AddisonWesley, 2004.

HU, Z., YUAN, Q., ZHANG, X. **Research on Agile Project Management with Scrum method**. In: IITA International Conference on Services Science, Management and Engineering. Zhangjiajie, 2009.

INSTITUTE, Project Management. **PMBOK® Guide: Project Management Body of Knowledge**. 6. ed. 2017.

KNIBERG, Henrik; SKARIN, Mattias. **Kanban and Scrum-making the most of both**. Lulu. com, 2010.

LIMA JUNIOR, Enaldo Nery et al. **Gestão de projetos: metodologia fundamentada nas práticas do guia PMBOK**. 2021.

MINDMASTER. **Scrum – Aprenda Scrum em 9 minutos**. Youtube. 25 de junho de 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XfvQWnRgxG0&ab_channel=MindMaster>. Acesso em: 20 de abril de 2022.

MORAES, Emerson Augusto Priamo. Guia Pmbok para gerenciamento de projetos. In: **Anais do Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2012.

PINTON, Mariângela. **O processo de transição das organizações para o modelo ágil na gestão de projetos de desenvolvimento de software**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PRESSMAN, Roger S. **Software engineering: a practitioner's approach**. Palgrave macmillan, 2005.

RABECHINI JR, Roque; PESSÔA, Marcelo Schneck de Paula. **Um modelo estruturado de competências e maturidade em gerenciamento de projetos**. Production, v. 15, p. 34-43, 2005.

RENSIS, Likert. **A technique for the measurement of attitudes**. Archives of Psychology, 140: 1-55, 1932.

ROBILOLO, Gabriela; GRANE, Daniel. **Do agile methods increase productivity and quality?**. American Journal of Software Engineering and Applications, v. 3, n. 1, p. 1-11, 2014.

SABBAG, P. Y. **Gerir Projetos Requer Gerir Conhecimentos**. Mundo Project Management, v. 5, n. 27, p. 9-15, 2009

SCHWABER, Ken; BEEDLE Mike. **Agile Software Development with Scrum**, Prentice Hall, 2001.

SCHWABER, Ken; SUTHERLAND, Jeff. **La guía de Scrum. Scrumguides**. Org, v. 1, p. 21, 2013.

SILVA, Rafael Tavares. **Aplicação da metodologia Scrum para gestão de projetos na indústria naval**. 2011.

SOARES, Geúno Bruno Vieira; PEREIRA, Tábata Fernandes. **Estudo de caso sobre a aplicação da metodologia Scrum em uma startup tecnológica de Minas Gerais**. Research, Society and Development, v. 10, n. 3, p. e9410313064-e9410313064, 2021.

SOUMYADIPTA, P., SINGH, K. J. **Be agile: project development with Scrum Framework**. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Islamabad, Paquistão, v. 40, n. 1, p 105 - 112, Jun. 2012, ISSN 1992-8645.

SOUSA, João Carlos Azevedo de. **Estudo comparativo das metodologias ágeis e PMBOK**. 2018. Tese de Doutorado.

SUTHERLAND, Jeff. **Scrum: A arte de fazer o dobro do trabalho na metade do tempo**. 3ª edição. Rio de Janeiro. LeYa, 2018.

SUTHERLAND, Jeff; SCHWABER, Ken. The Scrum papers. **Nuts, Bolts and Origins of an Agile Process**, 2007.

TAKEUCHI, Hirotaka; NONAKA, Ikujiro. **The new new product development game**. Harvard business review, 1986, 64.1: 137-146.

TYTKOWSKA, M., WERNER, A., BACH, M. **Project Management in the Scrum Methodology**. In: **Beyond Databases, Architectures and Structures – BDAS**, 11. 2015. Cham. Anais... Cham, 2015.

BIOGRAFIA DOS AUTORES

BIANCA MAIO DA COSTA¹; ISABELA BARREIRA DA ROCHA¹; CARLA ESTORILIO¹;
ADRIANO ARAUJO DE LIMA¹

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR

Bianca Maio da Costa

Graduada em Engenharia Mecânica (UTFPR) e atuou como secretária do Centro Acadêmica da Engenharia Mecânica. Certificada Yellow Belt pelo grupo CAE Treinamentos e certificada pelo Caroli.org para Product Backlog Building. Atualmente trabalha na indústria de linha branca no escritório de gerenciamento de projetos (PMO). E-mail: biancamaioc@gmail.com

Isabela Barreira da Rocha

Graduanda em Engenharia Mecânica (UTFPR), realizou iniciação científica no CERNN referente a reologia de materiais particulados e atuou como líder na empresa júnior de engenharia mecânica e mecatrônica na universidade. Também atuou como conselheira no núcleo de empresas juniores de Curitiba e é certificada Yellow Belt pelo grupo Voitto. Atualmente trabalha na indústria automotiva com a área de compras técnicas. E-mail: isblocha@gmail.com.

Carla Estorilio

Professora Titular na UTFPR-Curitiba, atuou e vem atuando nos últimos 29 anos nos cursos de Engenharia Mecânica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais (PPGEM). Doutora em Engenharia (USP-SP/ Cranfield University-UK), Mestre em Tecnologia (UTFPR), Especialista em Informática (UTFPR) e em Ergonomia dos Sistemas de Produção (USP-SP) e Graduada em Engenharia Mecânica. Pesquisa e atuação industrial na área de Melhoria de processo de desenvolvimento de produto, abrangendo metodologias e métodos para melhorar o desempenho do projeto do produto (Metodologias de Projeto, Eng. Simultânea, QFD, DFMA, FMEA, AV) e a sua fabricação (Seis Sigma, Lean Manufacturing). E-mail: amodio@utfpr.edu.br

Adriano Araujo de Lima

Professor de Ensino Básico Técnico e Tecnológico da UTFPR - Curitiba, vem atuando nos últimos 25 anos no curso de Engenharia Mecânica da UTFPR. Mestre em Engenharia de Produção pela UFSC, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e Graduado em Engenharia Mecânica pela UFPR. Atua há 28 anos como engenheiro mecânico na Companhia Paranaense de Energia – Copel, onde além de atividades de engenharia ocupou diversos cargos gerenciais em processos Logísticos e de Gestão Empresarial aderentes às áreas do conhecimento das disciplinas que ministra. E-mail: adrianolima@utfpr.edu.br

COMPORTAMENTO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA EM CARVÃO DE BAMBU DE DIFERENTES ESPÉCIES

FABIANO OSTAPIV¹, GABRIEL OSTAPIV², CELSO SALAMON³

¹Prof. Titular Eng. Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

²Engenheiro mecânico - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

³Prof. Titular Eng. Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba

RESUMO: Neste trabalho foram realizados experimentos de absorção e perda de água dos carvões de seis espécies de bambu, produzidos em um reator portátil, tipo retorta, feito com tambores de aço, no conceito de mínimo produto e processo viável, com tempo de produção da carga de 50 minutos. Os resultados obtidos para absorção de água nos carvões anidros e de perda de água nos carvões saturados, provenientes da carbonização de pedaços de colmos de bambus das espécies *Phyllostachys pubescens* (mossô), *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldooides*, *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, *Drepanostachyum falcatum* e *Dendrocalamus asper*, evidenciam a potencialidade do carvão de bambu para uso como material controlador de umidade, tanto em ambientes fechados, como em solos e substratos para mudas de plantas.

PALAVRAS CHAVE: Carvão de bambu, propriedades físicas, absorção de água, pirólise do bambu, controlador de umidade, gradiente funcional

1 INTRODUÇÃO

Assim como as madeiras, o carvão pode absorver ou ceder água para o meio ambiente que o circunda, porém com elevadas taxas de absorção. O carvão de bambu, pode absorver e reter grandes volumes de água, aumentando muito sua massa. Por ter uma estrutura porosa, o carvão de bambu funciona como uma esponja e pode absorver muita água, até o limite em que todos os macro, meso e microporos do material fiquem completamente saturados.

Peças grandes carvão de bambu absorvem e perdem água de um modo especial, devido a manutenção, no carvão, da estrutura em gradiente dos vazios existentes na madeira do bambu. A absorção de água nas direções longitudinal, radial e transversal do carvão de bambu funciona de maneira análoga ao comportamento de absorção da água pela madeira de bambu nestas direções, sendo maior no sentido longitudinal e menor nos demais sentidos, como mostraram Chen, *et al*, 2021.

O carvão de bambu é um material muito leve e estável, apresenta pH básico devido a grande quantidade de cinzas que contém, quando comparado com outras madeiras, tem boa capacidade para reter água e outros líquidos e quando adicionado ao solo pode

funcionar como abrigo para a microbiota do solo nos seus poros e cavidades de diâmetros diferenciados e distribuídos em gradiente. Devido a todas estas características, o carvão de bambu foi, e ainda é muito utilizado como corretivo para solos pobres, principalmente em países asiáticos. Zanetti (2003), verificou que o uso de carvão vegetal em substratos, incrementa a porosidade do solo, proporcionando ao mesmo uma maior capacidade para reter água.

No entanto, a capacidade dos carvões de bambu em absorver e armazenar ou ceder água para o meio ambiente, varia com a espécie de bambu, com a dimensão das peças ou partículas de carvão produzidos e também com a temperatura e o processo de carbonização do material.

Na figura 1, são mostrados diferentes formatos do carvão de bambu que além de combustível é um ótimo material para ser utilizado em filtros para água ou como aditivo para melhorar a estrutura e corrigir a acidez de solos. O carvão de bambu, mesmo sem processo de ativação, apresenta elevado volume de poros aliado a baixa densidade.



Figura 1: Carvão de bambu produzido de: colmos de *Drepanostachyum falcatum*, lascas de colmos de *Phyllostachys pubescens* e serragem de corte de colmos de *Dendrocalamus asper*. (Produzido pelo autor)

2 METODOLOGIA:

Este trabalho busca avaliar a capacidade de absorção e perda de água pelo carvão produzido de colmos das espécies, *Phyllostachys pubescens* (mossô), *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris vittata*, *Drepanostachyum falcatum* e *Dendrocalamus asper* (bambu gigante). Os bambus usados neste trabalho foram colhidos na região do município paranaense de Pato Branco. Todos corpos de prova foram carbonizados sob as mesmas condições de carbonização em um reator portátil tipo retorta.

Para medir a variação da quantidade de água recebida ou cedida pelos corpos de prova dos carvões de bambu, foi utilizada uma balança digital semi analítica, com resolução de 0,01g, mostrada na figura 2.



Figura 2: Balança digital de precisão, com resolução de 0,01g. (Fonte: O autor)

2.1 O PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO

Os corpos de prova foram produzidos num equipamento portátil, constituído de um par de tambores de aço reutilizados. O reator tipo retorta tem capacidade volumétrica de 40 litros, desenvolvido no conceito de mínimo processo viável, mostrado por Ostapiv *et al* (2021) e (2022). O tempo de carbonização estabelecido foi até que não existissem mais chamas nos queimadores tubulares do reator, o que aconteceu em aproximadamente 45 minutos. O arrefecimento do reator foi feito ao ar. Na figura 3 é mostrado o equipamento utilizado na produção dos carvões estudados neste trabalho.



Figura 3: Reator portátil tipo retorta de tambor de aço mostrando a carga fresca de bambu e depois com o carvão produzido. Fonte: Autor

2.2 ENSAIO DE GANHO E PERDA DE ÁGUA PELO CARVÃO

O ensaio de absorção ou ganho de água, pelo carvão anidro, foi realizado com a submersão dos corpos de prova na água, em temperatura ambiente, por diferentes intervalos de tempo. No ensaio de absorção rápida de água foram realizadas imersões

totais de 1, 5, 10 e 40 segundos, e imersões de ½, 1, 24 e 48 horas, para o ensaio de absorção lenta de água. Nestes experimentos a água estava na temperatura ambiente, de 20°C.

Também foram realizados testes para avaliar a absorção de água fervente a 100°C, pelos carvões anidros de bambu de três espécies, mossô, *D. asper* e *D. falcatum*.

O ensaio de perda de água, foi realizado somente para o carvão de bambu de *Dendrocalamus asper* saturado de água em condições ambientais de temperatura e pressão, após 48 horas de submersão. Com os corpos de prova saturados de água, foi avaliada a de perda da água retida pelo carvão ao longo do tempo até que fosse atingida a condição de equilíbrio com a umidade ambiente. Posteriormente os corpos de prova foram secados em estufa até a condição anidra novamente.

3 RESULTADOS

3.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados da absorção de água pelos carvões das diferentes espécies de bambu são mostrados nos gráficos 1 e 2. Verifica-se a capacidade de absorver água rapidamente, especialmente pelos carvões de mossô e de *B. tuldoides*.

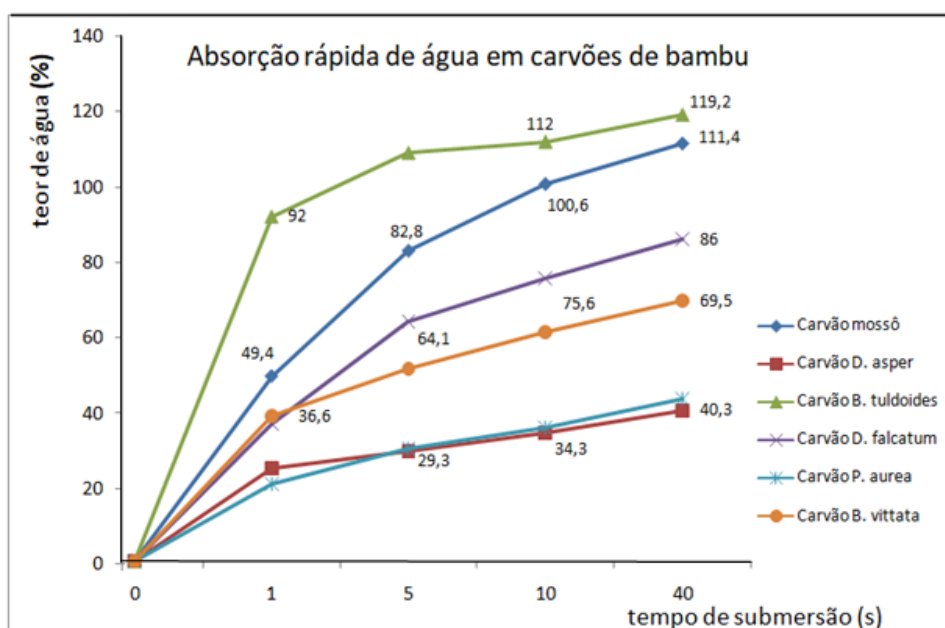


Gráfico 1: Variação do teor de água absorvida por submersão, a 20°C, em carvões anidros de diferentes espécies de bambu. Ensaio de absorção rápida de água. (Fonte: O autor)

No gráfico 2 verifica-se a grande capacidade de absorção de água, a temperatura ambiente, dos carvões de bambu.

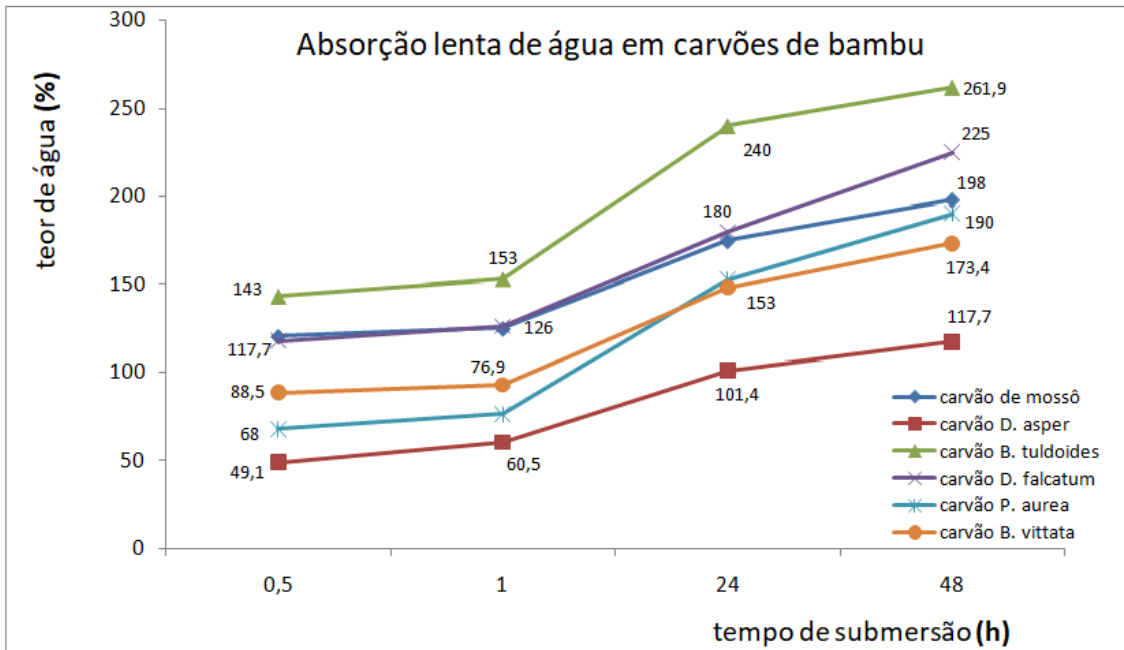


Gráfico 2: Variação do teor de água absorvida por submersão, a 20°C, em carvões anidros de diferentes espécies de bambu. Ensaio de absorção lenta de água. (Fonte: O autor)

No gráfico 3 pode-se perceber a influência do aumento da temperatura da água na capacidade de absorção dos carvões de bambu.

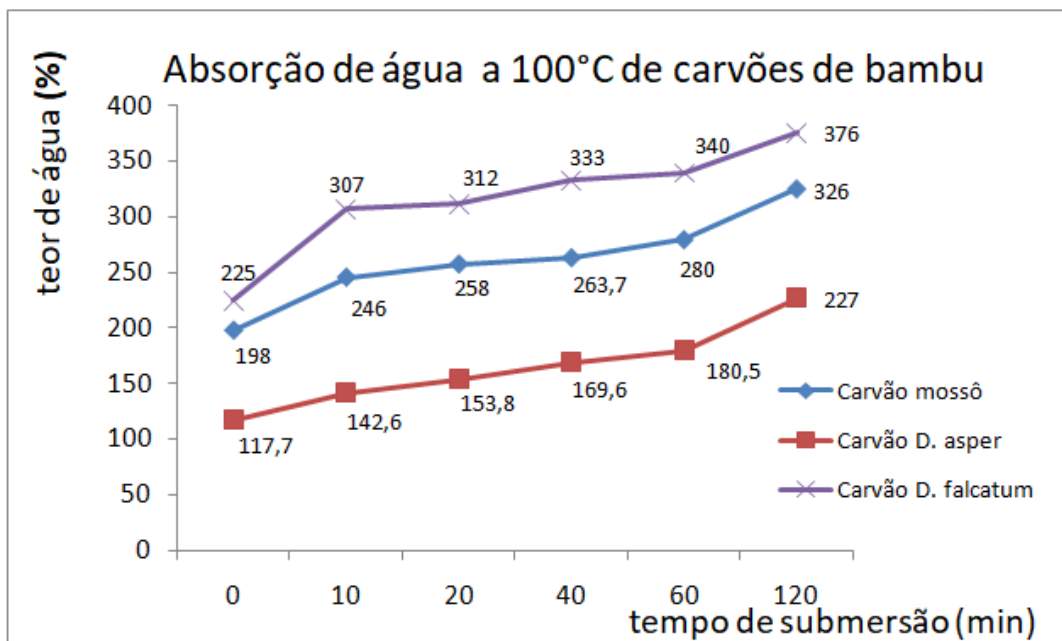


Gráfico 3: Aumento do teor de água absorvida por submersão em carvões de três espécies de bambu com água a 100°C. (Fonte: O autor)

Os valores finais de absorção de água pelos carvões de bambu, com água na condição ambiente (20°C) e depois a (100°C), são mostrados na tabela 1.

Espécie de bambu	Absorção de água a 20°C (%)	Absorção de água a 100°C (%)	Aumento na capacidade de absorção
<i>Drepanostachyum falcatum</i>	225	376	67,1%
<i>Phyllostachys pubescens</i>	198	326	64,6%
<i>Dendrocalamus asper</i>	117,7	227	92,8%

Tabela 1: Absorção máxima de água pelo carvão de três diferentes espécies, imerso por 48 horas na água a 20°C e na sequência, por 2 horas na água a 100°C. (Fonte: O autor)

Os resultados mostram a influência significativa do aumento da temperatura da água, na absorção total de água nos diferentes carvões de bambu.

No gráfico 4, são mostrados os resultados da absorção rápida de água pelo carvão de mossô produzido de peças com e sem a presença de nós.

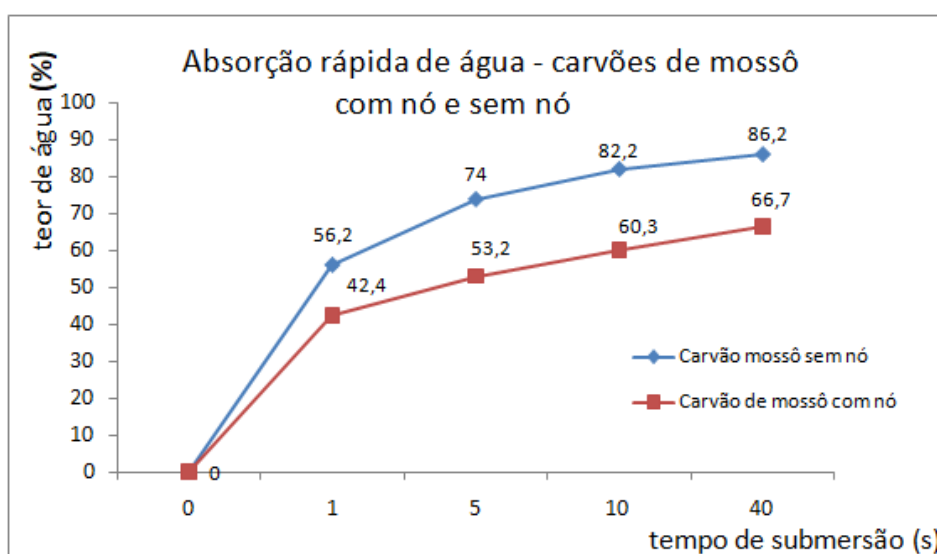


Gráfico 4: Variação do teor de água absorvida a 20°C, em carvões anidros de bambu mossô obtidos de peças com e sem a presença de nós. (Fonte: O autor)

3.2 PERDA DE ÁGUA

No ensaio de perda de água, em peças estreitas de carvão de bambu mossô, a média do teor máximo de água retida foi de 198%. A partir da condição inicial, saturada ou cheia de água, os corpos de prova de carvão de mossô levaram em média 10 dias para chegar a condição final de equilíbrio com o meio, como mostrado no gráfico 5.

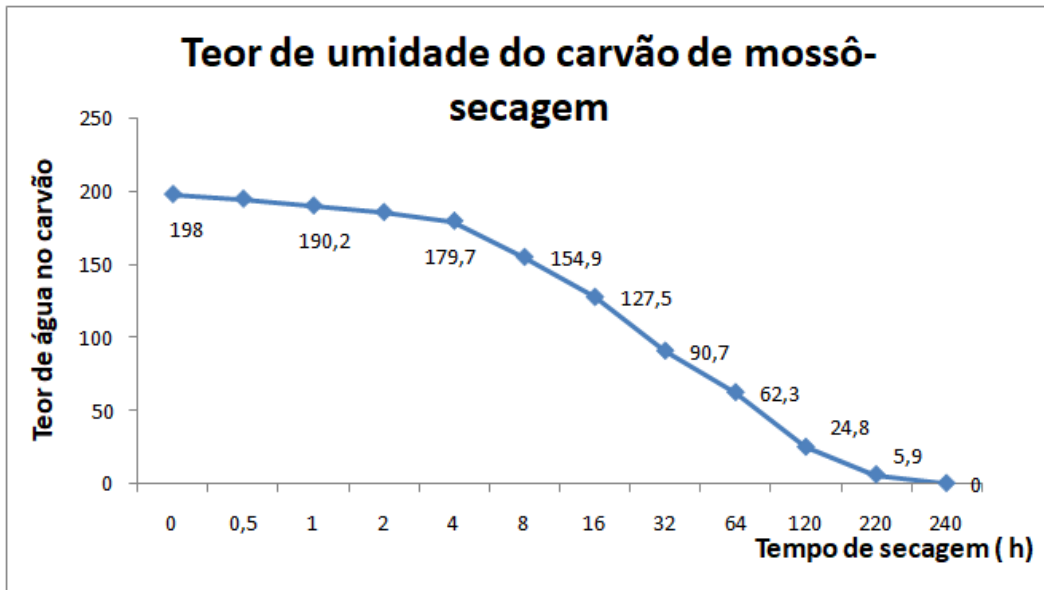


Gráfico 5: Secagem de carvão em tiras estreitas de *Phyllostachys pubescens*, a partir da condição saturada de água, a temperatura de 20°C, até a condição de equilíbrio com o meio ambiente.

No ensaio de perda de água para uma peça larga de carvão de *D. asper*, um corpo de prova com dimensão de (220 x 50 x 18)mm e massa de 81g, na condição saturada de água reteve 116,2g de água, na temperatura ambiente. Esta peça de carvão encharcada, demorou 3 semanas para entrar em equilíbrio com o ambiente. Este experimento mostrou que peças de carvão de bambu com maiores dimensões, podem reter água por períodos de tempo maior que peças com dimensões menores. O comportamento de secagem do corpo de prova, no meio ambiente é mostrado no Gráfico 6.

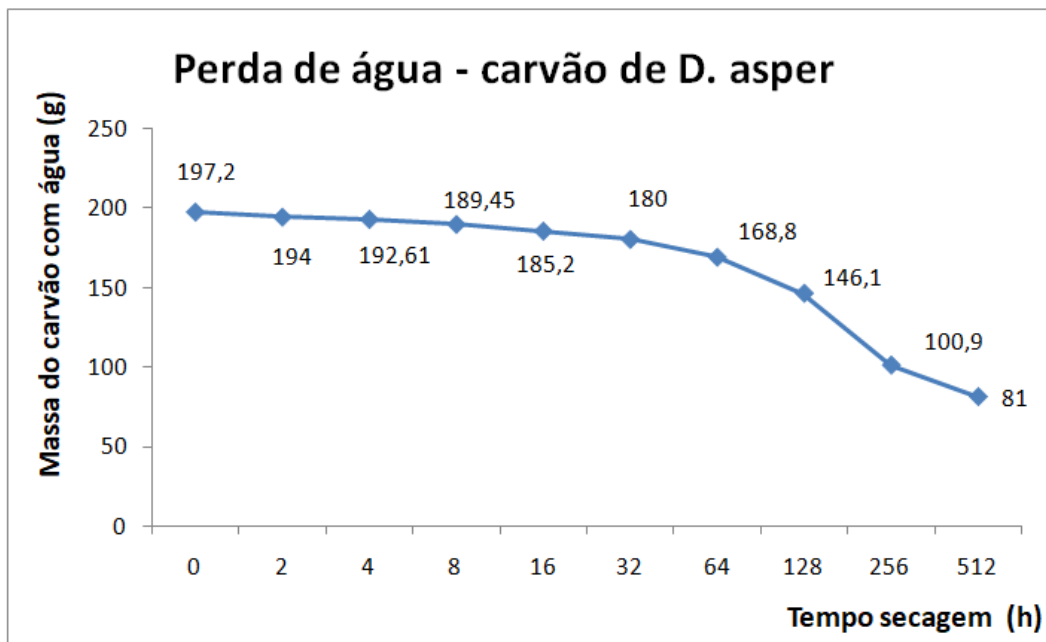


Gráfico 6: Secagem de uma peça larga de carvão de *D. asper*, saturada de água, até a condição de equilíbrio com o ambiente, variação na massa do carvão devido a perda de água.

4 DISCUSSÃO

Como o material lenhoso proveniente dos colmos do bambu apresenta gradiente funcional e anisotropia, as peças de carvão de bambu também mantém estas características. Porém, um carvão heterogêneo produzido a partir de peças grandes pode facilmente ser homogeneizado, através do processamento deste carvão para a forma de pó ou briquete.

Neste trabalho foram apresentados comportamentos médios de absorção de água para carvões das espécies, *Phyllostachys pubescens* (mossô), *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris vittata*, *Drepanostachyum falcatum* e *Dendrocalamus asper*, através da submersão em água e secagem ao ar, do carvão de *Phyllostachys pubescens* e de *Dendrocalamus asper*. Este trabalho mostrou:

Que é possível produzir carvão de um mesmo colmo e nas mesmas condições de carbonização, com propriedades de absorção de água diferentes. Esta conclusão precisa ser melhor estudada e é sugerida pelos resultados dos experimentos com o carvão de mossô, produzidos de regiões do colmo com e sem nó, mostrados neste trabalho.

Que o carvão de todas as espécies estudadas apresentou boa capacidade de absorção e retenção de água sendo que o carvão de *B. tuldoides* e mossô apresentaram as maiores taxas no ensaio de absorção rápida. Assim, se o carvão de bambu não for adequadamente armazenado, pode absorver rapidamente grandes quantidades de água do ar e aparentar estar seco. Então, dependendo do uso deste carvão, o mesmo deve ser armazenado em embalagens a vácuo.

Que a temperatura da água tem grande influência na taxa de absorção e na capacidade final de absorção para todos os carvões estudados. Quanto maior a temperatura da água, maior a absorção desta pelo carvão. Em todos os casos testados, o aumento da temperatura do meio, levou a um aumento significativo na capacidade de absorção de água pelo carvão.

O carvão de bambu tem muitos poros, distribuídos segundo um gradiente dimensional funcional que contém inicialmente ar. Quando o carvão é submergido em água, esta tende a ocupar o lugar do ar aprisionado nos poros e vazios. No entanto, a água fria (a 20°C) não consegue substituir todo o ar que fica retido numa parcela significativa nos poros de menor dimensão. Quando a água é aquecida (100°C) ela passa para um estado energético maior, assim como o carvão e o ar aprisionado. Nesta nova condição a viscosidade do ar e da água diminuem, liberando o ar que estava preso nos poros do carvão e permitindo que estes espaços sejam ocupados pela água aquecida.

5 CONCLUSÕES

Existem muitas espécies de bambu com potencial para produção de carvão para ser utilizado como controlador de umidade e melhorador de solos, no entanto, existem várias perguntas sem resposta que precisam ser estudadas. Um exemplo é a caracterização e comparação do carvão heterogêneo proveniente de regiões do colmo de bambu que tem comprovadamente densidade diferentes, a saber: região próxima a casca com a região interna; e entre as regiões da base, meio e topo do colmo. Também precisam ser avaliados colmos com diferentes idades, uma vez que a idade do colmo influencia na densidade do material base.

Outra questão importante a ser estudada é a dimensão das peças de carvão de bambu, fator que influencia diretamente no tempo de absorção e de retenção de água pelo carvão, e provavelmente na capacidade e velocidade de adsorção e dessorção de gases e outros líquidos.

Os carvões de bambu produzidos e analisados neste trabalho não foram ativados. No entanto, é importante ampliar o potencial de aplicação dos carvões de bambu através da ativação dos mesmos por meio químico, usando sal de cozinha ou soda cáustica como substância ativadora, como mostrado por Imbrosi (2015), que avaliou soluções produtivas de baixo custo, porém, adequadas para populações que vivem e trabalham nas florestas e em comunidades rurais.

REFERÊNCIAS

CHEN, Q., FANG, C., WANG, G., MA, X., LUO, J., CHEN, M., DAI, C., FEI, B., **Water vapor sorption behavior of bamboo pertaining to its hierarchical structure**. Nature – Scientific Reports n.11, 2021. Doi 10.1038/s41598-021-92103-4.

IMBROISI, B., **Uso do bambu nativo acreano *Guadua Weberbaueri* Pilger para o desenvolvimento de um carvão funcional em um sistema de baixo custo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia. Rio Branco, 2015, 116 f.

OSTAPIV, F., SALAMON, C. **O bambu como material para engenharia - Produtos, ensaios e modelamento**. In: A Engenharia Mecânica na UTFPR – Vol. 2, Editora Casalettras, Porto Alegre, p. 61-76. 2020. ISBN: 978-65-86625-14-1, Disponível em: https://www.casalettras.com/_files/ugd/4a0b98_c4654f26dbf8499b8fc01eaa8202b9cb.pdf

OSTAPIV, F., OSTAPIV, L.K., OSTAPIV, G. **“Inovação frugal no desenvolvimento de fornos de baixa capacidade para produção de carvão de bambu”**. In: A Engenharia Mecânica na UTFPR - Vol. 3, Editora Casalettras, Porto Alegre, p. 30 – 40, 2021. ISBN: 978-65-86625-33-2. Disponível em: https://www.casalettras.com/_files/ugd/4a0b98_c87699d0b9a04e47968783bb61e21322.pdf

OSTAPIV, G., OSTAPIV, F. **“Equipamento portátil para produção contínua de carvão vegetal com forno e reator feitos com barris de aço, com aproveitamento dos gases combustíveis da carbonização numa câmara de combustão anular através de queimadores tubulares de fluxo radial com possibilidade de inspeção e manipulação do reator durante o processo”** BR10-2022-002978-4, Pedido de Patente, INPI depositada em 16/02/2022.

TEIXEIRA, W.G., MARQUES, J.D.O., STEINER, C., FLANAGAN, R., **Retenção de água em carvão de bambu e madeira produzidos a diferentes temperaturas**. In: Bambus no Brasil – Da biologia à tecnologia. Instituto Ciência Hoje, Rio de Janeiro, 2017, p. 368-381

ZANETTI, M. **Uso de Subprodutos de Carvão Vegetal na Formulação do Porta Enxerto Limoeiro Cravo em Ambiente Protegido**. 2003. Dissertação de Mestrado. Produção Vegetal – UNESP, Jaboticabal. 2003.

SOBRE OS AUTORES:

Fabiano Ostapiv

Prof. Dr. Professor titular de Engenharia Mecânica da UTFPR Campus de Pato Branco. Especialista em Motores e Combustíveis (PUC, 2000). Fêz aperfeiçoamento na China (CBRC, 2006), mestrado (PPGEM –UTFPR-CT, 2007) e doutorado (UNESP-FEG, 2011) em engenharia mecânica estudando as perspectivas técnicas e econômicas da cadeia produtiva do bambu no Brasil. fabianoostapiv@utfpr.edu.br

Gabriel Ostapiv

Engenheiro Mecânico pela UTFPR-PB, 2020, desenvolveu em seu trabalho de conclusão de curso e patenteou uma inovadora muleta de bambu e um reator portátil tipo retorta para produção de carvão vegetal. gabrielostapiv@gmail.com

Celso Salamon

Prof. Dr. Professor titular de Engenharia Mecânica da UTFPR – Campus Curitiba, responsável pelas áreas de hidráulica e pneumática. Tem doutorado (UNESP-FEG, 2009) desenvolvendo métodos e equipamentos para processamento seguro e eficiente de colmos de bambu. salamon@utfpr.edu.br

DESENVOLVIMENTO DE PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA FORMALIZAÇÃO DE CONHECIMENTO TÁCITO

JHENYSON THIAGO DOS SANTOS⁽¹⁾, ROBSON CRISTHYAN MOSELE⁽²⁾, CARLOS CZIULIK⁽³⁾

⁽¹⁾ Empreendedor Beardown - Curitiba - PR - Brasil

⁽²⁾ Empreendedor Beardown - Curitiba - PR - Brasil

⁽³⁾ Professor do Curso de Engenharia Mecânica/UTFPR - Curitiba - PR - Brasil

E-mails: ⁽¹⁾ jhenyson@hotmail.com; ⁽²⁾ mosele@alunos.utfpr.edu.br; ⁽³⁾ cziulik@utfpr.edu.br

1 INTRODUÇÃO

As atribuições de um engenheiro em sua função, eram, até pouco tempo, essencialmente técnicas. Contudo, competências sociais, políticas e econômicas têm se tornado exigências de um mercado cada vez mais integrado e complexo (SILVEIRA, 2005).

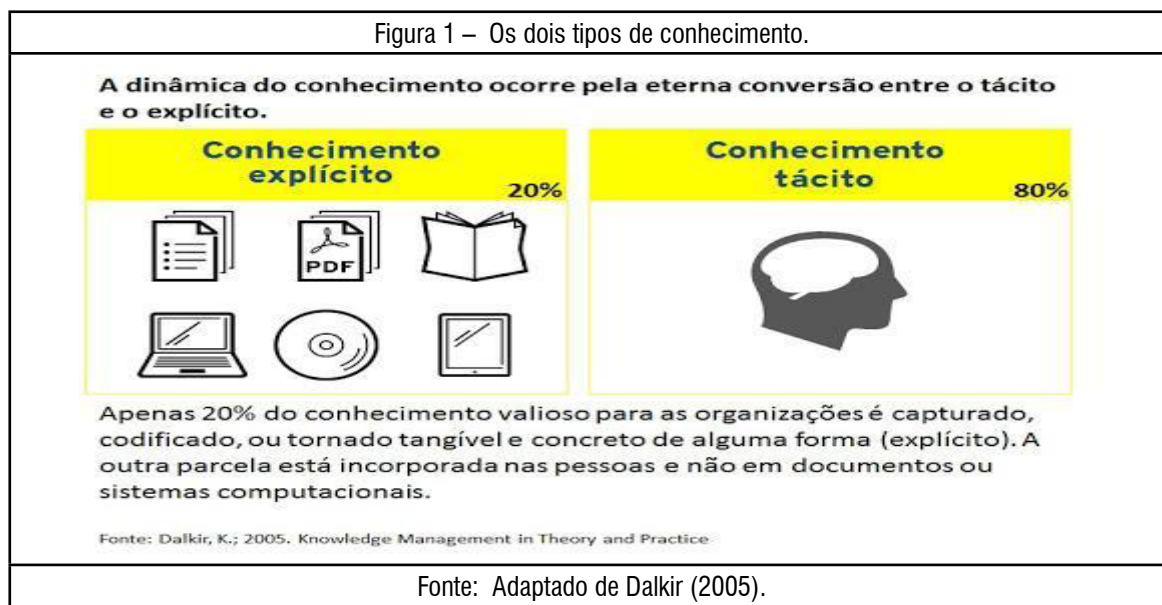
Por sua vez, as organizações têm grande dificuldade em encontrar a capacitação necessária para desenvolver equipes de alto rendimento e alinhadas ao pensamento estratégico e cultural da empresa. Se por um lado, há competência técnica e faltam habilidades sociais, por outro, não há domínio de ferramentas matemáticas e analíticas capazes de solucionar problemas cada vez mais complexos.

Silveira (2005) relata que Escolas de Engenharia já não mais conseguem acompanhar o ritmo da mudança de perfis e habilidades que um recém-formado deve possuir ao ingressar no mercado de trabalho. Tal mudança, acelerada pelo avanço de tecnologias em comunicação e pesquisa, tem afetado não só processos de trabalho, mas também os impactos relacionados à própria atividade produtiva.

Como bem explica Silva (2004), existem dois tipos de conhecimento que estão intrinsecamente relacionados: o formato explícito e o formato tácito. Para o autor, o conhecimento explícito é aquele que pode ser transformado em um padrão de uma maneira razoavelmente fácil, e transferido por meio de imagens, textos, esquemas e desenhos. Já o conhecimento tácito é subjetivo e inerente às pessoas, além disso é difícil de ser formalizado e disseminado para outrem. A Figura 1 ilustra esses dois tipos de conhecimento.

Por não existir uma abordagem definida para formalização do conhecimento tácito e conseqüentemente sua posterior disponibilização, verifica-se uma oportunidade de melhor aproveitar a experiência de campo de profissionais especialistas por meio da identificação de fatores que motivem a disseminação deste, visto que muitos não o fazem

por não possuírem domínio de ferramentas específicas que os auxiliem na explanação de seus conhecimentos, partindo da premissa de que tal ato é barrado não pela motivação intrínseca, e, sim, pela falta de motivação extrínseca, que pode ter seu efeito reduzido pela implementação de tal metodologia guia.



Baseado nestas informações, o presente capítulo apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para formalização do conhecimento tácito, visando facilitar a disseminação do mesmo em ambientes de ensino-aprendizado.

Ao atingir satisfatoriamente o objetivo declarado, entende-se que será possibilitada a ampliação da formalização do conhecimento tácito, promovendo maior alcance e reprodutibilidade por parte dos usuários, expandindo sua disseminação em diferentes domínios. Ou seja, maior adesão tanto de locutores quanto receptores, independente do segmento de atuação. Além disso, a partir da formalização desses conhecimentos, têm-se então dois fatores positivos: redução do tempo necessário para organização de ideias e conteúdo a serem externalizados (i.e. maior produtividade) e, também, maior eficácia na transmissão dos mesmos, visto que tais conhecimentos tácitos serão mais facilmente absorvidos pelo público de interesse, devido aos critérios adotados durante a concepção da metodologia.

Neste trabalho, tem-se uma pesquisa aplicada, já que são empregados conceitos na resolução de um problema e busca gerar conhecimentos para aplicação prática (COLLIS e HUSSEY, 2005). Por outro lado, pode ser caracterizado como um trabalho de pesquisa qualitativa, pois, de modo geral, privilegia a análise de micro processos por meio do estudo das ações sociais individuais e de grupos (MARTINS, 2004). Também é de caráter exploratório, pois tem por objetivo buscar entender as razões e motivações subentendidas para determinadas atitudes e comportamentos das pessoas. Ainda, segundo Tripodi et al. (1975), os estudos exploratórios são baseados na premissa de que por meio do uso de procedimentos relativamente sistemáticos, é possível desenvolver hipóteses relevantes a um determinado fenômeno. Deste modo, o objetivo exploratório se adequa ao desenvolvimento da metodologia para formalização do conhecimento tácito proposta,

dada a necessidade de análise das várias formas individuais de didática e propagação do conhecimento.

Inicialmente, foi conduzido um exame detalhado do referencial teórico envolvendo o conhecimento no seu contexto mais amplo, focando nas demandas explícitas para formalização do conhecimento tácito. Na sequência, foram contatados produtores de conteúdo e selecionados vídeos, com conteúdos específicos, disponíveis em diversas plataformas. A partir de protocolo desenvolvido, os materiais foram categorizados e analisados. Com isto, foi possível construir uma análise comparativa entre os referenciais teóricos e os materiais coletados na prática, permitindo identificar padrões e contrastes. A partir deste contexto, foi estruturada a proposta de metodologia, denominada Tácito em Tela. Foram conduzidos testes preliminares e de campo, visando examinar como detentores de conhecimento tácito avaliam a abordagem proposta.

2 O CONHECIMENTO TÁCITO E SUA FORMALIZAÇÃO: CONTEXTO E NECESSIDADES

Busca-se, no estado da arte, a relação de desenvolvimento de uma metodologia de propagação do conhecimento tácito e da Engenharia Mecânica, tendo por referências metodologias já conhecidas e bastante aplicadas nesta área técnica, sendo o referencial teórico dividido em três tópicos principais: Espiral do Conhecimento, Metodologias Ativas e Metodologias Ágeis.

De forma sucinta, o conhecimento pode ser dividido em duas partes: tácito e explícito. Dados estruturados compõe a objetividade e formalização do conhecimento explícito. Por sua vez, a percepção e interpretação das informações faz parte do âmbito subjetivo e, portanto, são parte do conhecimento tácito (SILVA, 2004). Já para Abele *et al* (2017), conhecimento tácito é aquele decorrente da experiência na execução de tarefas específicas. Há também a concepção mais simplista de que conhecimento tácito é aquele tipo de conhecimento que está na mente humana e é muito pessoal (ASBARI *et al.*, 2019). No entanto, por ser proveniente da experiência pessoal, esse tipo de conhecimento ainda pode apresentar riscos para a engenharia, como, por exemplo, a falta de compreensão ou omissão de riscos inerentes de alguma atividade, principalmente para aqueles que possuem dificuldade de transmiti-lo (ASTORGA VARGAS *et al.*, 2017), deixando clara a grande necessidade de padronização de disseminação do conhecimento tácito por meio de uma metodologia eficaz.

Para Nonaka e Konno (1998), a criação de novos conhecimentos pode ser obtida como um processo de transformação entre conhecimentos tácitos e explícitos de quatro formas diferentes: Socialização, Externalização, Combinação e Internalização, formando então a Espiral do Conhecimento. Ou seja, é por meio da interação e transição entre eles que o conhecimento se expande e consolida (PERROTI; VASCONCELLOS, 2005).

Tratando-se de metodologias ativas de ensino, Sobral e Campos (2012) as definem como um conceito educativo voltado ao estímulo de atividades que incentivam a participação do educando em seu próprio processo de aprendizado. Este conceito é corroborado por Barbosa e Moura (2014), também.

Em comum, tanto metodologias ágeis quanto metodologias ativas têm como foco a valorização do estudante e sua interação com o meio em detrimento de materiais e

instruções predefinidas, capacidade de resposta a eventos não previstos, habilidade de aprender durante o processo, de acordo com o próprio desenvolvimento da atividade e também a dependência da efetividade de transmissão dos conhecimentos entre os envolvidos (BOEHM, 2004; STEWART et al., 2009).

Conforme apontado por Silveira (2005), a partir do século XX o engenheiro é classificado como um guardião da inteligência de processos, um resolvidor de problemas capacitado a formalizar, modelar, negociar e implementar soluções de base tecnológica, além de outras atribuições. Assim, mesmo fora de suas competências apreendidas nas escolas de Engenharia, esse profissional tem o papel de constantemente buscar informações técnicas e atualizações tecnológicas na resolução e comunicação dos problemas gerados nas interfaces empresariais.

Como complemento e contraste do referencial teórico abordado, os autores desenvolveram uma análise de vídeos em vias de observar, verificar e identificar padrões didáticos que possam ser adaptados e/ou utilizados em uma possível metodologia capaz de capturar, formalizar e disseminar o conhecimento tácito dentro do ambiente de Engenharia Mecânica.

Constantes avanços tecnológicos e organizacionais demandam mecanismos capazes de capturar e disseminar conhecimento de forma eficaz e produtiva. Em contrapartida, outras áreas do conhecimento possuem procedimentos e técnicas detalhadas e documentadas acerca de como estruturar suas ações – como exemplo, pode-se citar o desenvolvimento de softwares e *co-design*.

Ainda, observou-se diversas tentativas de vários portadores de conhecimento tácito em disponibilizar conteúdos em diferentes formatos. Assim, detectou-se uma lacuna entre os que detêm o conhecimento tácito e não dispõem de mecanismos e ferramentas que facilitem sua captura, formalização e disseminação. Desta forma, este trabalho pretende preencher tal lacuna identificada.

3 SELEÇÃO DE INFLUENCIADORES E VÍDEOS COM RESPECTIVO PROTOCOLO DE ANÁLISE

Inicialmente, foi realizado um contato prévio com 15 influenciadores que possuíam alguma correlação com Engenharia Mecânica e/ou com desenvolvimento profissional e/ou um alto engajamento na plataforma do *YouTube*. Como resultado, após o contato com todos os nomes elencados, os autores obtiveram apenas algumas respostas, em geral da assessoria de cada um dos influenciadores, todos com uma negativa.

Para que o estudo fosse viabilizado, os pesquisadores optaram por seguir embasados em três métodos de avaliação para desenvolvimento da proposta de metodologia para disseminação do conhecimento tácito: i/ análise dos vídeos; ii/ correlação com o referencial teórico; e iii/ experiência prática e profissional dos próprios autores. Estes critérios foram aplicados a quatro canais selecionados para posterior análise de três vídeos de cada um deles, totalizando 12 vídeos.

O protocolo utilizado para análise dos vídeos foi construído baseado no referencial teórico já pesquisado, onde os autores optaram por separar a análise em três blocos distintos, em semelhança a textos dissertativo-argumentativos, possuindo: i/ introdução; ii/ desenvolvimento (aqui chamado de conteúdo); e iii/ conclusão (definido como finalização).

Na Figura 2, tem-se um descritivo dos canais e respectivos vídeos selecionados para condução da análise individual e, depois, comparativa.

Figura 2: Canais e Vídeos selecionados

Influenciador	Informações Canal	Informações vídeos	Vídeo	Link
Atila Iamarino	Sobre o canal: Divulgador científico e explorador do mundo por opção	Você sabe como funciona a caneta azul? Duração: 21:04 Visualizações: 3.443.370 [26/06/2021 12h00] Interações totais: 49.516 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=z8PYB-c-ij0&t=1087s
	Tempo de existência do canal: 8 anos	Parafusos são incríveis Duração: 12:00 Visualizações: 357.566 [26/06/2021 12h20] Interações totais: 55.529 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=SpxLGjI-rRE
	Quantidade de inscritos: 1,49Mi	Como construíram as pirâmides Duração: 6:26 Visualizações: 1.591.078 [26/06/2021 12h50] Interações totais: 1.221.100 % Interações Positivas: 99%		https://youtube.be/q7zwX7PK9E?list=FLvRd7Q37-DUgAqJ3Z7aALEnqFamHy80
Manual do Mundo	Sobre o canal: Manual do Mundo. Desbravadores do Conhecimento	Forjamos um Machadot!! Duração: 17:08 Visualizações: 1.041.635 [26/06/2021 13h00] Interações totais: 1.21.969 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=EphhQZDyHAo
	Tempo de existência do canal: 14 anos	Como FUNCIONA um MOTOR TURBO Duração: 13:14 Visualizações: 6.71.719 [26/06/2021 13h30] Interações totais: 65.725 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=qrfWu1Fu8dg
	Quantidade de inscritos: 14,7Mi	Por que seu MOTOR tem CAVALOS? Duração: 8:45 Visualizações: 1.986.554 [26/06/2021 13h45] Interações totais: 1.03.500 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=BYr7GxXXJvE
Arata Academy	Sobre o canal: -	A Pirâmide de Aprendizagem Duração: 8:20 Visualizações: 23.085 [26/06/2021 15h00] Interações totais: 2.818 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=rq3z0uELeE
	Tempo de existência do canal: 11 anos	Estratégias para vencer a curva do esquecimento Duração: 13:26 Visualizações: 30.019 [26/06/2021 15h30] Interações totais: 4.323 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=sfa-jnXtA84
	Quantidade de inscritos: 1,73Mi	Usando o método científico para resolver seus maiores problemas Duração: 14:23 Visualizações: 27.241 [26/06/2021 15h50] Interações totais: 3.424 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=WvQlhMjGo4M
Nostalgia	Sobre o canal: Ensinando e divertindo	OS EFEITOS DA BOMBA ATÔMICA Duração: 9:09 Visualizações: 733.272 [26/06/2021 16h00] Interações totais: 6.05.900 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=atoLuf0TRyo
	Tempo de existência do canal: 12 anos	O GIGANTESCO PROBLEMA DO LIXO NO MUNDO Duração: 14:05 Visualizações: 733.272 [26/06/2021 16h20] Interações totais: 1.92.300 % Interações Positivas: 99%		https://www.youtube.com/watch?v=H-jJ6_EHNQ&list=FLYjrJH3e_wDMoASUeBMkvpn_eQWAVaZoT&index=11
	Quantidade de inscritos: 13,7Mi	BURACO NEGRO, como eles surgem? Duração: 16:01 Visualizações: 6.159.433 [26/06/2021 16h40] Interações totais: 839.000 % Interações Positivas: 99%		https://youtube.be/1l19Sqs55ov

Fonte: Os autores (2021).

Quanto à caracterização da análise do protocolo, optou-se por utilizar perguntas objetivas que permitissem catalogar as respostas em três formatos distintos, sendo: i/ ausência ou presença; ii/ múltipla escolha; ou iii/ frequência de ocorrência. Deste modo, buscou-se evitar avaliações subjetivas e que permitissem alto grau de variação entre análises. Os critérios compilados de classificação do protocolo são mostrados na Figura 3.

Figura 3: Critérios de classificação do Protocolo

Bloco	Critério	Tipo	Referencial
INTRODUÇÃO	Criador	Informação geral	-
	Vídeo	Informação geral	-
	Formato de introdução (Empatia, história, curiosidade ou questionamento)	Múltipla escolha	Experiência dos autores
	Faz uso de perguntas na introdução do tema?	Ausência/Presença	Interrogação elaborativa
	Quantidade de questionamentos levantados	Frequência	-
	Introduz a relevância do vídeo	Ausência/Presença	Experiência dos autores
	Uso de humor	Ausência/Presença	Uso de humor como ferramenta de aprendizado
	Existe separação entre introdução e conteúdo?	Ausência/Presença	Formatação Dissertativa-Argumentativa
CONTEÚDO	Principal recurso explicativo: Texto ou legenda; Imagem estática; Imagem dinâmica	Múltipla escolha	Visualização
	Utilização de analogias para explicar conceitos mais complexos	Ausência/Presença	Auto explicação
	Faz uso do recurso de repetição para firmar conceitos? Qual a recorrência?	Ausência/Presença Frequência	Experiência dos autores
	Uso de humor como quebra de conteúdo	Ausência/Presença	Uso de humor como ferramenta de aprendizado
	Utiliza exemplos do dia a dia?	Ausência/Presença	Auto explicação
	A explicação contém curiosidades sobre o tema?	Ausência/Presença	-
	Existe utilização de conflito entre senso comum e conhecimento científico dentro do tema abordado?	Ausência/Presença	Interrogação elaborativa
	Utiliza o recurso histórico para contextualização?	Ausência/Presença	Experiência dos autores
FINALIZAÇÃO	Faz uso do recurso de curiosidade para chamada a outros vídeos / continuações?	Ausência/Presença	-
	Demonstra a relação do conteúdo com o mundo prático?	Ausência/Presença	Auto explicação
	Quantidade de questionamentos respondidos	Frequência	-

Fonte: Os autores (2021).

4 ANÁLISE DOS VÍDEOS SELECIONADOS

4.1 ANÁLISE DOS VÍDEOS DO *YOUTUBE* CONFORME PROTOCOLO

Após a aplicação do protocolo e seleção dos 12 vídeos que compõem o acervo de mídia proveniente da plataforma do *YouTube*, partiu-se para a aplicação dos critérios previamente estabelecidos. Com isso, foram identificados os padrões existentes e o detalhamento é mostrado na sequência, nas seções seguintes, fazendo-se a diferenciação entre introdução, conteúdo e finalização.

4.1.1 INTRODUÇÃO

Considera-se como introdução do vídeo o conjunto de cenas e informações mostradas nos primeiros segundos de vídeo, sendo normalmente de fácil identificação devido à utilização de pausa na fala no momento de transição entre introdução e início do conteúdo propriamente dito.

Como resultado da aplicação dos critérios levantados na seção 3, pôde-se induzir que não há um padrão de formato ideal de introdução utilizado pelos criadores. De toda forma, faz sentido dizer que a maior parte questiona o ouvinte como forma de iniciar a apresentação da explicação. É possível afirmar também que interpelar os espectadores durante a parte introdutória é algo comum entre os criadores analisados com a frequência média de um a três questionamentos levantados nessa parte dos vídeos. Ainda na introdução, também foi analisado se os criadores do vídeo introduzem a relevância do assunto, verificando-se que 92% de fato ambientam o ouvinte já na introdução. Quanto ao uso de humor, observou-se que é um recurso dependente da personalidade do disseminador do conhecimento e do assunto abordado no vídeo. Não foi encontrado consenso entre os criadores sobre utilizar ou não algum recurso transitivo para interligar introdução e conteúdo, sendo um critério considerado pouco relevante.

4.1.2 CONTEÚDO

Considera-se como conteúdo toda a parte do vídeo que contém as principais informações sobre o assunto, que aparece, na maior parte das vezes, após a introdução, quando a mesma é claramente existente, quando não há uma divisão clara, considera-se conteúdo tudo aquilo que trata do assunto referido no vídeo. Seguindo o protocolo estabelecido previamente, analisou-se qual é o principal recurso explicativo utilizado pelo disseminador do conhecimento no conteúdo do vídeo, sendo unanimidade o uso de imagem dinâmica. Para contextualização, imagem dinâmica se refere a qualquer tipo de movimentação ou troca de perspectiva de câmera, animação, ou quaisquer outros tipos de dinamismo empregados visualmente no vídeo. Quanto ao principal recurso secundário utilizado, observou-se que 50% deles faz uso de exemplificação, outros 25% realizam cortes de câmera e 25% aplicam detalhamento sobre o assunto. Em 75% dos vídeos a utilização de analogias é caracterizada como “Muito frequente”, enquanto a utilização de repetição é um recurso aplicado repetidas vezes pela maioria dos criadores em seus vídeos. Assim como no caso da utilização de humor na introdução, sua frequência de uso está relacionada à personalidade do disseminador do conhecimento. Outras unanimidades

encontradas estão relacionadas ao uso de exemplos do cotidiano durante a disseminação do conteúdo e demonstração de curiosidades sobre o tema, presentes em todos os vídeos e criadores analisados. Uma prática disseminada por boa parte dos criadores e presente em 75% dos vídeos analisados refere-se à ambientação histórica do tema. Quanto ao critério de exposição de conflitos entre senso comum e conhecimento científico, não foi identificado consenso na utilização, dependendo também da existência do mesmo ou sua correlação com o foco dentro do tema abordado.

4.1.3 FINALIZAÇÃO

Como finalização, entende-se como os últimos segundos do vídeo, onde o disseminador parte para a conclusão do que foi falado anteriormente.

Quanto aos critérios adotados, observou-se que 75% dos vídeos analisados fazem uso do recurso de curiosidade para chamada de outros vídeos ou continuações. Todos demonstram a relação do conteúdo abordado com o mundo prático em geral e, também, costumam responder todos os questionamentos levantados durante as fases anteriores.

4.2 ANÁLISE DOS VÍDEOS ACADÊMICOS CONFORME PROTOCOLO

Além dos 12 vídeos da plataforma do *YouTube*, os autores analisaram também, com base no mesmo protocolo, dois vídeos acadêmicos da plataforma on-line da Universidade Presbiteriana Mackenzie, disponibilizados gratuita e publicamente pela própria instituição de ensino em seu *site*, com o objetivo de ter um comparativo entre a forma de disseminação de conhecimento proveniente dos criadores do *YouTube*, que não necessariamente possuem formação acadêmica, e de professores certificados de uma renomada instituição.

4.2.1 ANÁLISE DO VÍDEO “AQUECENDO OS MOTORES”

4.2.1.1 INTRODUÇÃO

O formato de introdução do vídeo se dá por meio de uma história, não havendo o uso de recursos como questionamentos, empatia ou curiosidade. Além disso, o disseminador de conhecimento do vídeo em questão não faz uso de nenhum questionamento na introdução. Também, não é realizado nenhum questionamento por parte do disseminador de conhecimento. A explanação da relevância do vídeo é realizada antes de adentrar ao conteúdo e não é utilizada qualquer forma de humor. Não existe também nenhuma separação clara entre a introdução e o início do desenvolvimento do conteúdo no vídeo em questão, seguindo uma mesma linha de raciocínio, sem quebras.

4.2.1.2 CONTEÚDO

Já com relação ao conteúdo, o principal recurso explicativo utilizado foi a imagem dinâmica, sendo totalmente comparável aos 100% de utilização de tal recurso para os vídeos analisados provenientes da plataforma do *YouTube*. Como recurso secundário utilizado, o vídeo apresenta slides dinâmicos que vão e voltam pela tela, prendendo mais a atenção do espectador. Observou-se a utilização de analogias de maneira muito

frequente, indo de encontro ao que foi identificado na maioria dos vídeos analisados da plataforma do *YouTube*, bem como o recurso de repetição se mostrou frequente. Caracterizado por sua formalidade, não foi utilizado humor na exposição do conteúdo. Há o emprego do recurso de utilização de exemplos do cotidiano para explicação do conteúdo abordado e também a utilização de curiosidades, indo de encontro ao que foi observado nos vídeos da plataforma do *YouTube*. Também, não foi realizada nenhuma exposição de conflito entre senso comum e conhecimento científico no vídeo analisado.

4.2.1.3 FINALIZAÇÃO

No vídeo analisado observou-se que o professor aguça a curiosidade do aluno espectador durante a finalização chamando-o para a próxima vídeo aula, assim como acontece em 75% dos vídeos analisados da plataforma do *YouTube*. Também, há o uso do recurso de relacionar o conteúdo ensinado no vídeo com o mundo prático. Não foi respondido nenhum questionamento na conclusão, visto que não foi levantado nenhum questionamento na introdução.

4.2.2 ANÁLISE DO VÍDEO “COMO INICIAR AS VENDAS COM *DELIVERY*”

4.2.2.1 INTRODUÇÃO

O formato de introdução do vídeo se dá por meio da empatia, não havendo o uso de recursos como questionamentos, história ou curiosidade. O disseminador de conhecimento do vídeo em questão, assim como no primeiro vídeo analisado, não faz uso de nenhum questionamento na introdução, também não é realizado nenhum questionamento por parte do disseminador de conhecimento. Além disso, assim como no primeiro vídeo, o professor realiza a explanação da relevância do vídeo antes de adentrar ao conteúdo. Não é utilizada qualquer forma de humor durante a introdução do vídeo analisado. Tal fator pode ser explicado pela formalidade da instituição e dos conteúdos abordados na plataforma.

4.2.2.2 CONTEÚDO

Foi verificada uma clara separação entre introdução e conteúdo, sendo realizada por uma vinheta padrão que contém dinamismo visual e auditivo. Assim como no vídeo da Seção 4.2.1, o principal recurso explicativo utilizado é a imagem dinâmica e como recurso secundário utilizado, o vídeo apresenta transições que vão e voltam pela tela, o que chama a atenção do espectador. Quanto à utilização de analogias, observou-se sua adoção de maneira muito frequente, indo também de encontro ao que foi identificado na maioria dos vídeos analisados da plataforma do *YouTube*. Neste vídeo não foi aplicado qualquer tipo de repetição para reforço do conteúdo explanado. Não foi utilizado humor na exposição do conteúdo, caracterizando-se como um vídeo bastante formal. Foi verificado que há o emprego do recurso de utilização de exemplos do cotidiano para explicação do conteúdo abordado e também que o disseminador de conhecimento faz a utilização de curiosidades durante a explicação do conteúdo, bem como uso de repetição.

4.2.2.3 FINALIZAÇÃO

Não foi realizada nenhuma exposição de conflito entre senso comum e conhecimento científico no vídeo analisado. Também não é aplicado qualquer tipo de chamada para o próximo vídeo, bem como nenhuma curiosidade é levantada na finalização.

4.3 COMPARATIVO ENTRE DOIS VÍDEOS ANALISADOS DA PLATAFORMA MACKENZIE E OS VÍDEOS DA PLATAFORMA YOUTUBE

Foi verificado um certo padrão na maioria dos critérios analisados entre os vídeos da plataforma da Mackenzie. Porém, esse padrão não se aplica se estes são comparados aos vídeos do *YouTube*. Há, de toda forma, alguns itens em comum dentre os critérios. Todavia, não se verifica uma considerável similaridade entre os conteúdos. Isso pode ocorrer devido à formalidade exigida pela instituição, o que não necessariamente se aplica aos conteúdos disponibilizados na plataforma do *YouTube*.

5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O REFERENCIAL TEÓRICO E OS PADRÕES OBSERVADOS NOS VÍDEOS

Aqui serão sintetizadas as informações obtidas entre o referencial teórico pesquisado e os padrões evidenciados na análise dos vídeos da plataforma *YouTube*, buscando-se descrever paralelos, caso existam, entre os principais temas abordados durante o levantamento do estado da arte com os resultados obtidos das observações de boas práticas realizadas pelos produtores de conteúdo escolhidos.

5.1 PILARES DO REFERENCIAL TEÓRICO

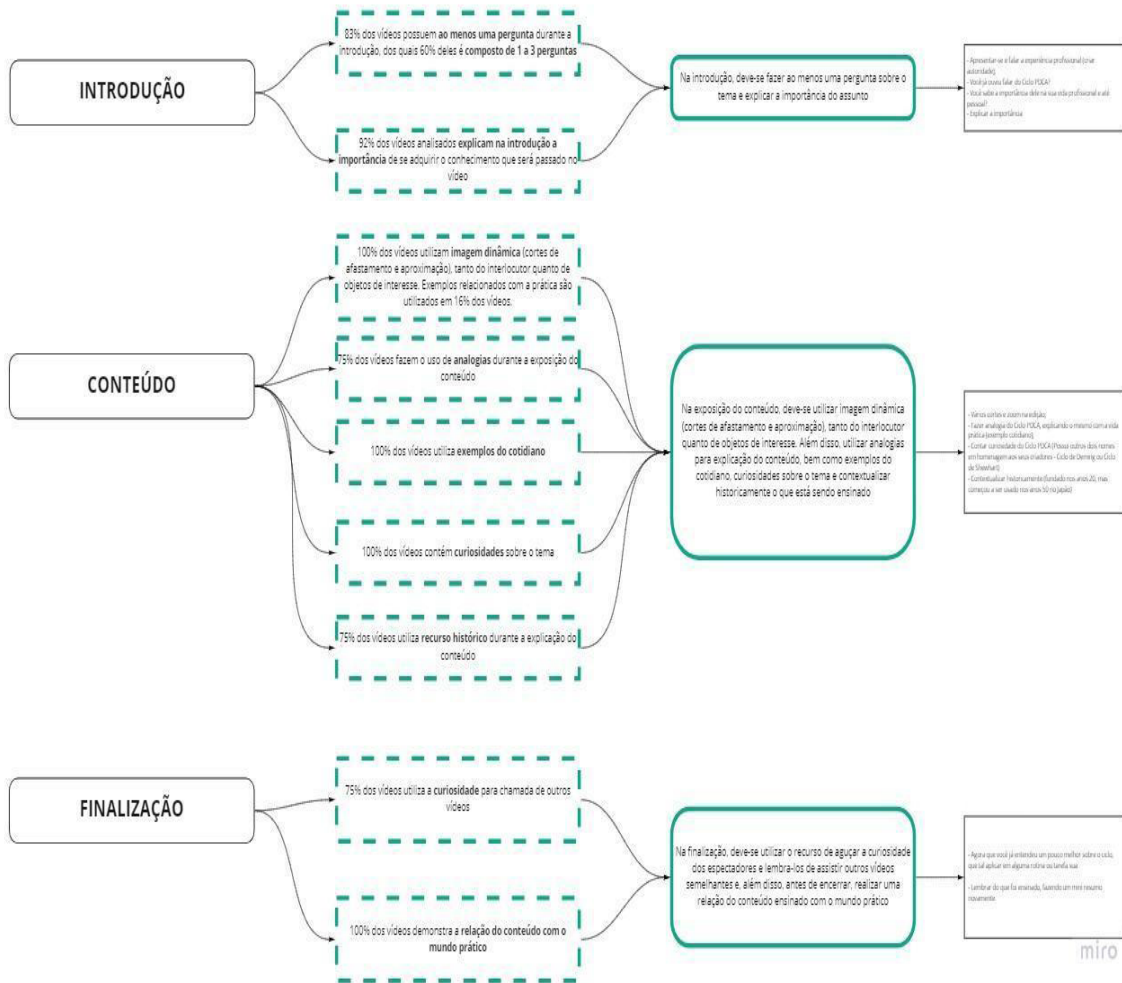
Sucintamente, é possível agrupar o estado da arte em três blocos distintos e complementares, são eles Espiral do Conhecimento, Metodologia Ágil e Metodologia Ativa de Ensino.

O primeiro bloco diz respeito sobre como acontece a criação, transformação e disseminação do conhecimento, seja ele tácito ou explícito. O segundo bloco descreve um método de otimização de processos com o intuito de agilizar o desenvolvimento de projetos e envolver os principais interessados desde etapas iniciais, priorizando a satisfação do cliente. Já o terceiro bloco evidencia a utilização de ferramentas para aumentar a eficácia de processos de aprendizado, tomando como base facilitar a compreensão de conteúdos, bem como sua melhor fixação a médio e longo prazo.

5.2 PADRÕES OBSERVADOS

Para tal sintetização, faz-se necessário primeiramente resumir e agrupar as informações extraídas da análise dos vídeos selecionados. Este resumo pode ser encontrado na Figura 4.

Figura 4: Resumo dos padrões observados nos vídeos analisados.



Fonte: Os autores (2021).

5.3 CONEXÕES ENTRE REFERENCIAL TEÓRICO E VÍDEOS ANALISADOS

De forma geral, embora possuam formações, públicos e objetivos distintos, tanto o referencial teórico quanto os vídeos abordados possuem características semelhantes, mesmo que não necessariamente intencionais.

Em se tratando da Espiral do Conhecimento, os processos de transformação do conhecimento tácito em explícito e vice-versa, evidenciados pelas etapas de Socialização, Externalização, Combinação e Internalização podem ser facilmente observadas em vídeos e materiais educacionais. Afinal, o próprio formato aluno-professor ou divulgador-sociedade implica em uma transferência de conhecimento entre indivíduos, seja ele algo estritamente teórico ou experimental, individualmente ou com potencial de alcance de milhões de pessoas.

A Metodologia Ágil pode ser relacionada à formação dos vídeos em geral, que costumam abranger um único assunto por vídeo, focado em solucionar determinado problema ou dúvida, de curta duração, contendo apenas um pedaço de todo o conhecimento existente. No âmbito macro do canal do criador de conteúdo, cada vídeo individualmente atua como uma entrega parcial imbuída de compreender melhor as

necessidades do cliente, onde há a possibilidade de os alunos comentarem e darem *feedbacks* (por escrito e por meio de *likes* e *dislikes*), proporcionando a melhoria da forma de ensino do professor nos próximos vídeos produzidos.

Diretamente ligadas ao formato de explicação adotado pelos vídeos analisados através da utilização de analogias, exemplificações, questionamentos elaborativos e incentivos ao aprofundamento dos assuntos abordados, as Metodologias Ativas de Ensino suportam a adoção de videoaulas e, principalmente, a disseminação de conhecimentos práticos como ferramenta de aprendizado contínuo.

6 PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA FORMALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO TÁCITO

Esta proposta está voltada ao desenvolvimento de um roteiro para captação, formalização e disseminação de conhecimento tácito e fundamenta-se no referencial teórico já abordado, além da experiência pessoal dos autores e não possui o intuito de definir, reger ou estabelecer rigidamente uma estrutura única e inalterável, mas de conduzir o usuário durante o processo de organização e captação do conhecimento visando sua disseminação em ambientes de ensino-aprendizado.

A Metodologia Tácito em Tela consiste na organização do conteúdo programado em formato de roteiro e sua divisão em blocos menores, para facilitar o processo de captação e memorização das informações.

6.1 PROPOSTA DA METODOLOGIA TÁCITO EM TELA

6.1.1 ROTEIRO

Este passo consiste em definir o tema e planejar todo o conteúdo a ser apresentado ao redor de uma ideia principal. Os pontos mais importantes desta etapa consistem na definição do objetivo do conteúdo, detalhando e contextualizando sua explicação e na observância de que o roteirista, como especialista, deve sempre imaginar que o espectador/ouvinte desconhece sobre o tema ao ponto de questionar se o que se entende como óbvio também será assim entendido pelo usuário. Detalhamentos e contextualizações são importantes, contudo, não se deve perder de vista o objetivo principal.

6.1.2 SEGMENTAÇÃO

Ao finalizar o roteiro, deve-se dedicar um tempo para dividi-lo em três partes principais: introdução, conteúdo e finalização. Isso garantirá uma coerência e padronização nos processos de captação e organização dos pensamentos ao longo da estrutura principal.

Recomenda-se ainda que o roteiro seja organizado em tópicos, facilitando a memorização das ideias a serem explanadas. Sempre que aplicável, definir a prioridade de cada tópico anotado para os casos em que o tempo disponível seja um parâmetro importante.

6.1.3 INTRODUÇÃO

Embora ocupe um pequeno espaço do tempo total, a introdução possui importância crucial no estímulo e interesse do espectador. Este momento deve ser utilizado para se apresentar ao público, realizar um questionamento que faça o usuário pensar sobre o assunto a ser tratado e demonstrar a relevância do que se tem a dizer sobre o tema.

6.1.4 CONTEÚDO

O conteúdo é a parte mais densa e contínua do roteiro. Deve-se revisar os tópicos assinalados no roteiro e garantir que todos os argumentos estejam bem conectados. Outro fator importante reside na observação do assunto a partir da perspectiva do ouvinte/espectador e procurar explicar da maneira mais acessível possível, seja utilizando exemplos cotidianos, analogias ou situações em que o conceito seja corretamente aplicável. Detectou-se também, em pesquisa realizada pelos autores que a utilização de repetições ao longo do conteúdo é bastante utilizada para fixação do tópico apresentado.

Exemplificando o que foi descrito acima em uma analogia, por exemplo, é possível entender a montagem do roteiro como uma receita de bolo, em que cada ingrediente deve ser colocado na quantidade e ordem corretas para assegurar um resultado satisfatório.

É durante o conteúdo também que se deve, sempre que possível e aplicável, utilizar recursos gráficos complementares ao que está sendo apresentado. Novamente exemplificando a partir da analogia anterior, ao mencionar o uso de claras em neve, recomenda-se gravar pequenos vídeos rápidos de como bater claras em neve. Apesar de trazer um fator de dificuldade a mais, esse pequeno cuidado pode facilitar a compreensão geral do assunto, tornando o vídeo mais assertivo e rico em detalhes.

6.1.5 FINALIZAÇÃO

Este é o momento de averiguar se todo o conteúdo programado foi efetivamente abordado. A sugestão é que se faça um resumo dos principais pontos abordados, incitando o aluno a colocar o aprendizado em prática assim que possível e se despedir. Quando aplicável, deve-se também convidar o ouvinte a acessar conteúdos complementares ao que foi exposto.

6.1.6 LUZ, CÂMERA, AÇÃO!

Uma vez que o roteiro esteja preparado, é possível iniciar o planejamento para gravação do conteúdo. Voltando ao paralelo da receita de bolo, é muito importante assegurar que o sabor da massa e do recheio - referentes, nesse caso, ao conteúdo preparado – sejam muito bons. No entanto, se o bolo for decorado de qualquer maneira, sua aparência grosseira não contribuirá positivamente no potencial de alcance e engajamento do conteúdo.

Nesse contexto, a decoração do bolo se resume a garantir condições de iluminação, silêncio e privacidade suficientes para gravar, regravar, errar e acertar quantas vezes se considerem necessárias para atingir o resultado desejado de modo padronizado. E embora seja recomendável, equipamentos de iluminação, sustentação, áudio e edição não são necessários para iniciar a produção de conteúdo para ambientes de ensino aprendizagem.

A Figura 5 contém uma representação gráfica da abordagem examinada neste capítulo.

As seções seguintes apresentam alguns dos testes e respectivos resultados, considerando a aplicação da Metodologia Tácito em Tela.

Figura 4: Modelo Gráfico - Metodologia Tácito em Tela.

METODOLOGIA TÁCITO EM TELA

Guia prático de como melhorar suas gravações e ainda organizar a estrutura do seu roteiro para ter maior clareza e alcance com seus vídeos [educacionais]

?
Ao pensar em gravar um vídeo, muitas pessoas se imaginam em dois extremos, ou querem fazer logo - quase espontâneo, ou se intimidam demais ao pensar em olhar para a câmera e esquecer o que iam falar. As duas situações trazem um ponto em comum: geralmente o resultado não sai conforme desejado - ou você esquece de algo importante, ou se prolonga em algo desnecessário. Se você se visualizou nas descrições acima, esse guia é para você!

COMECE PELO INÍCIO
Não importa qual seja o assunto do seu vídeo, ele precisa de um roteiro. O roteiro vai te ajudar a organizar o seu pensamento e te lembrar de pontos importantes que você deve passar ao seu espectador.

DIVIDIR PARA CONQUISTAR
Quando o seu roteiro estiver finalizado, sugere-se que você o divida em 3 partes, isso vai facilitar a gravação e ainda te ajudar a conferir se não esqueceu de nada enquanto estava com a câmera ligada. A recomendação é separar em **INTRODUÇÃO**, **CONTEÚDO** e **FINALIZAÇÃO**.

INTRODUÇÃO E FINALIZAÇÃO
São momentos muito importantes e geralmente negligenciados, então tome cuidado!
Na **INTRODUÇÃO**, aproveite para se apresentar e gerar curiosidade, questionar se o espectador conhece sobre o assunto e falar da importância desse tema.
Durante a **FINALIZAÇÃO**, busque resumir o que foi dito, reforçando os pontos mais importantes e incentivando que a pessoa coloque a mão na massa e tente aplicar o que foi ensinado - quando aplicável.

CONTEÚDO
É aqui que todo o seu conhecimento vai ser explorado. Aproveite para explicar detalhadamente o que deseja ensinar e use o máximo de recursos disponíveis ao seu favor - faça gravações e vídeos de detalhes da execução ou daquilo que esteja explicando, de modo a ilustrar melhor a ideia que deseja passar. Apesar de ser a parte mais extensa do vídeo, o conteúdo costuma ser mais rápido de produzir, já que se resume ao que você sabe sobre o assunto, no entanto, é muito fácil esquecer algum ponto importante, por isso, sempre tenha o seu roteiro em mãos, para conferir cada um dos tópicos a serem comunicados.

RECURSOS ADICIONAIS

- Caso esteja ao seu alcance e seja do interesse, procure investir em recursos de edição básica dos vídeos, além de equipamentos que auxiliem na captação das imagens e áudio, com o intuito de proporcionar ainda mais a qualidade final dos vídeos.

Fonte: Os autores (2021).

7 TESTES PRELIMINARES DE VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Com o objetivo de validar se a metodologia proposta pelos autores para disseminação do conhecimento tácito de fato funciona em situações práticas, os mesmos optaram por realizar três testes. O primeiro deles envolvendo a aplicação prática da metodologia em ambiente controlado. O segundo, por meio de um formulário voltado ao público geral. E um terceiro teste envolvendo a aplicação da metodologia por meio de um questionário enviado a profissionais de áreas diversas, sem o acompanhamento dos pesquisadores, para verificação da aplicabilidade e eficácia da metodologia em cenários em que não há auxílio direto dos autores.

7.1 APLICAÇÃO PRÁTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA

Tal aplicação se faz necessária como uma verificação do potencial da mesma e, para isso, a metodologia foi aplicada em cenário controlado, contando com a participação de dois profissionais da área de Qualidade, com experiência técnica bastante similar, ambos tendo trabalhado juntos na mesma empresa e no mesmo setor. O objetivo principal da aplicação foi verificar a eficácia prática da metodologia proposta, além de coletar *feedbacks* dos usuários quanto à facilidade de uso da mesma para organização das ideias, facilitação da lembrança de todos os conhecimentos a serem transmitidos e simplificação da comunicação a ser utilizada.

7.1.1 REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A aplicação da metodologia ocorreu no dia 24 de junho de 2021 na residência de um dos pesquisadores, tendo início às 14:00 e término às 17:00, tendo sido convocados dois profissionais da área da Qualidade: Vinicius Félix e Álafi Marques, ambos com experiência profissional de aproximadamente três anos, os dois na mesma fábrica e no mesmo período.

Tudo ocorreu em ambiente controlado, no qual foi proposto aos participantes da dinâmica para que cada um explicasse, com os conhecimentos que já possui, o que é e para que serve a Ferramenta de Qualidade Ciclo PDCA. Também foi realizada uma breve introdução aos dois profissionais, individualmente, deixando claro o objetivo do experimento e o cunho totalmente acadêmico. Optou-se por explicar individualmente e em momentos distintos a cada um dos profissionais, visando alcançar o máximo de equidade de informações a respeito da pesquisa e a redução das possibilidades de troca de conhecimentos entre ambos.

Para os profissionais que participaram do experimento, o método utilizado para a aplicação foi de, inicialmente, nenhum dos dois receberem direcionamento quanto ao tempo de gravação total, iluminação mais favorável e divisão dos conteúdos a serem apresentados, e nenhuma outra orientação adicional, sendo realizada a primeira gravação com ambos os participantes, em momentos distintos. Após isso, foi explicada a metodologia para ambos e a gravação foi realizada novamente com cada um. Para critérios de análise dos resultados, o vídeo final sem aplicação da metodologia foi nomeado como “Vídeo 1” e o vídeo final com a aplicação da metodologia foi nomeado como “Vídeo 2”.

Quando da gravação sem metodologia, nenhum recurso tecnológico adicional foi disponibilizado ou solicitado pelos participantes. Toda a gravação ocorreu com o aparelho celular, sem acessórios.

No momento da aplicação da metodologia, foram utilizados os seguintes recursos tecnológicos:

1. 1x ring light com tripé dimmer;
2. 1x microfone de lapela da marca Boya M1;
3. 1x notebook para captação do áudio.

Porém, mesmo tendo sido utilizados tais recursos, é importante salientar que nenhum deles é pré-requisito para a aplicação da metodologia aqui proposta. A utilização de tais ferramentas assistivas apenas aumenta a qualidade do vídeo final, mas pode ser totalmente desprezada caso não esteja disponível no momento da gravação por quaisquer pessoas que possam vir a utilizar o exposto neste trabalho futuramente.

7.1.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O EXPERIMENTO

Diante dos cenários propostos e realizados durante a execução do experimento, verificou-se completo entendimento por parte dos participantes quanto à dinâmica. Em momento algum houve contra-argumentos que inviabilizassem a prática proposta.

Além disso, verificou-se que a lógica de realizar a gravação com ambos os participantes nos dois cenários, sem e com a metodologia proposta, gerou uma evidente evolução da qualidade da explanação do conhecimento para ambos os participantes, gerando *feedbacks* positivos de ambas as partes.

Verificou-se também um certo grau de espanto nos profissionais, pois ações simples como o posicionamento da câmera em orientação paisagem, ao invés de retrato, eleva muito a qualidade do vídeo final, já postado na plataforma do *YouTube*, visto que bordas pretas de preenchimento são inexistentes quando na orientação paisagem, enquanto aparecem nas gravações na orientação retrato. Tal fato é importante, pois ambos os indivíduos inicialmente realizaram a gravação em retrato. Porém, após receberem o nosso direcionamento de mudar a orientação, ficaram surpresos em como simplesmente não haviam pensado em tal quesito.

Como conclusão do experimento, comprovou-se a eficácia na organização das ideias dos profissionais após a aplicação da metodologia proposta, bem como a considerável melhoria nos aspectos de captação de imagem e áudio, provenientes da experiência dos pesquisadores.

7.2 ANÁLISE QUALITATIVA DA METODOLOGIA PROPOSTA POR MEIO DE FEEDBACKS

Após a concepção e aplicação prática da metodologia em ambiente controlado, partiu-se então para a verificação da eficácia da mesma. Para isso, os pesquisadores optaram por aplicar um questionário voltado ao público geral, utilizando a ferramenta livre do Google Forms.

O questionário foi composto por um total de oito perguntas, todas de múltipla escolha, e buscam avaliar a percepção do público quanto à facilidade de obtenção do conteúdo disseminado pelos portadores de tal conhecimento.

O questionário foi divulgado e 30 respostas individuais foram obtidas.

As perguntas utilizadas com suas respectivas respostas de maior percentual de escolha são mostradas na sequência.

1. *Você assistiu os dois vídeos por completo?*
 - a. 93,3% escolheram “Assisti os dois vídeos inteiros”
2. *Para você, ficou mais fácil aprender com o vídeo 1 ou com o vídeo 2?*
 - a. 86,7% escolheram “Aprendi mais facilmente com o vídeo 2”
3. *Se precisasse indicar apenas um dos dois vídeos para alguém que deseja aprender sobre o tema “Ciclo PDCA”, qual dos dois vídeos você indicaria?*
 - a. 86,7% escolheram “Eu indicaria o vídeo 2”
4. *Como você avalia a qualidade de ensino no vídeo 1, em uma escala de 1 a 5, sendo 1: “muito ruim” e 5: “muito bom”?*
 - a. 36,7% escolheram “3”
5. *Como você avalia a qualidade de ensino no vídeo 2, em uma escala de 1 a 5, sendo 1: “muito ruim” e 5: “muito bom”?*
 - a. 60% escolheram “5”
6. *Qual dos dois vídeos prendeu mais a sua atenção?*
 - a. 86,7% escolheram “O vídeo 2 prendeu mais a minha atenção”
7. *No caso do vídeo 1, como foi acompanhar o conteúdo até o final?*
 - a. 66,7% escolheram “Foi monótono, mas cheguei até o final”
8. *No caso do vídeo 2, como foi acompanhar o conteúdo até o final?*
 - a. 73,3% escolheram “Assisti ao vídeo facilmente”

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Iniciando a discussão dos resultados obtidos, faz-se necessário dividir o objetivo do emprego da metodologia em duas partes: i/ quanto à captação e formalização do conhecimento tácito; e ii/ quanto a posterior disseminação do conhecimento capturado.

Desta forma, a avaliação da eficácia da ferramenta também precisou ser dividida em duas partes: i/ a partir dos *feedbacks* coletados dos profissionais que a utilizaram e ii/ comparando as avaliações dos espectadores entre as versões com e sem aplicação da metodologia a partir do formulário desenvolvido pelos autores.

8.1 FEEDBACKS COLETADOS DOS PROFISSIONAIS

Com relação aos testemunhos coletados pelos pesquisadores, provenientes dos profissionais participantes da pesquisa realizada durante a execução do presente trabalho, Nas seções a seguir, estão replicados tais testemunhos obtidos após a exposição da metodologia e submetidas às duas gravações.

8.1.1 ÁLAFI MARQUES

O primeiro especialista demonstrou grande desenvoltura e adaptabilidade quando submetido à metodologia. Sua principal dificuldade demonstrada na primeira gravação consistiu em entender como estruturar a explicação do conteúdo, o que gerou falta de confiança e se refletiu na oratória e linguagem corporal oscilantes durante a gravação. Assim, os autores entendem que a metodologia contribuiu para organização do conhecimento em uma linha lógica capaz de abranger todo o conteúdo solicitado, facilitando também o planejamento e execução das gravações em tópicos por ele predefinidos.

“Eu achei muito mais didático como resultado final e muito mais fácil de explicar o conhecimento que eu já tinha. Com certeza a metodologia agrega muito no sentido de disseminar o meu conhecimento para pessoas que não possuem conhecimento técnico de uma forma fácil e que seja entendida por qualquer um.” (Álafi Marques)

8.1.2 VINICIUS FÉLIX

O segundo especialista demonstrou desenvoltura e facilidade comunicativa já no primeiro vídeo gravado – sem metodologia. Entretanto, o modo retrato utilizado para a gravação, bem como sua movimentação durante o vídeo interferiram na obtenção de uma qualidade razoável em termos audiovisuais. Quando da aplicação da metodologia, o profissional sentiu maior segurança quanto à explicação do conteúdo sem esquecer pontos importantes. Contudo, relatou não se sentir à vontade com os aparatos utilizados para gravação, gerando certo nervosismo e necessitando de diversas gravações para chegar ao resultado desejado.

Ainda assim, relatou que a diferença de qualidade observada é mais significativa do que a adaptação à proposta de padronização que a metodologia oferece, dando resultado jus ao esforço empregado.

“O meu primeiro vídeo eu achei incrível. Fui com total confiança e só me concentrei no que eu estava explicando. Quando foi apresentada a metodologia e eu refiz a gravação, percebi que havia esquecido vários pontos importantes tanto relacionado ao conteúdo quanto à formatação do vídeo pensando na plataforma de destino. Gostei muito mais do resultado com a metodologia, embora tenha me sentido menos confortável em gravar sem o formato selfie no celular.” (Vinicius Felix)

Apesar da indicação dos autores de aplicação da metodologia em uma amostra maior de profissionais com outras áreas de atuação, a partir dos testemunhos coletados é possível verificar que a ferramenta Tácito em Tela, de fato, contribui com a captação e formalização do conhecimento tácito, independente de aptidões e experiências prévias dos usuários, facilitando também a organização do conteúdo a ser explanado. De igual forma, a aplicação de um roteiro com fase de planejamento prévio e atividades de observação do ambiente antes da gravação, bem como posterior atividade de conferência e possível edição do material tornaram o tempo necessário para realizar a tarefa consideravelmente maior quando da não aplicação da metodologia. Contudo, espera-se que com o incremento de iterações e maior familiaridade com a ferramenta reduzam o tempo médio de realização por vídeo pelo estabelecimento da rotina de aplicação.

8.2 FORMULÁRIO APLICADO

A partir da análise das 30 respostas obtidas no formulário aplicado a terceiros pelos autores, é possível inferir que a aplicação da metodologia resultou em um vídeo mais bem avaliado pelos espectadores, obtendo comparativamente melhores resultados quanto à facilidade de entendimento, recomendação a terceiros, inclinação ao acompanhamento integral do conteúdo e avaliação geral da qualidade de gravação, aprimorando também o engajamento do público, avaliado a partir da mensuração qualitativa da dificuldade em se assistir o conteúdo por completo.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi identificada uma lacuna no âmbito da formalização de conhecimento tácito, em que profissionais especialistas em seus campos de atuação não são motivados a compartilharem seus conhecimentos por falta de uma ferramenta específica que os auxiliem na organização e explanação de seus conhecimentos, partindo do pressuposto de que a existência de uma ferramenta auxiliar incrementa o desejo pela disseminação de tais ativos intelectuais.

Não foram identificadas sistemáticas disponíveis na literatura para isso.

Assim, este trabalho apresenta uma proposta de sistemática, ainda, em estágios iniciais para formalização de conhecimento tácito, a qual é baseada em referenciais teóricos, análise de vídeos produzidos por criadores de conteúdo da plataforma digital *YouTube* (os quais foram aprovados em critérios preestabelecidos pela equipe), bem como *know-how* dos pesquisadores.

A metodologia proposta foi também testada com detentores de conhecimento tácito, que afirmaram que o uso da mesma contribui positivamente na organização das informações, planejamento de conteúdo e memorização dos tópicos levantados.

Outro indicador de verificação da eficácia do modelo proposto, diz respeito aos *feedbacks* obtidos por meio de formulário aplicado a terceiros, que não necessariamente são habituados aos termos e linguagem técnicos empregados, evidenciando clara diferença da aplicação da metodologia com relação à facilidade de compreensão do conteúdo exposto, bem como potencializa a probabilidade de indicação do conteúdo assistido a novos espectadores.

Diante do estudo realizado e dos resultados obtidos e discutidos, os autores concluem que a aplicação da Metodologia Tácito em Tela, contém potencial de prover uma melhora significativa tanto na captação, organização e formalização do conhecimento tácito, passando pela disseminação do mesmo em ambientes de ensino aprendizagem, atingindo também melhor absorção por parte dos aprendizes, contribuindo na facilitação do acompanhamento integral e engajamento durante a exposição do conteúdo, a partir da inserção de aspectos já propostos anteriormente, como o levantamento de questionamentos, exposição de curiosidades sobre o tema, contextualização histórica e demais itens supracitados e presentes na metodologia proposta.

10 REFERÊNCIAS

- ABELE, E. et al. Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 66, n. 2, p. 803–826, 2017.
- ASBARI, M. et al. Effect of tacit and explicit knowledge sharing on teacher innovation capability. **Dinamika Pendidikan**, v. 14, n. 2, p. 227–243, 2019.
- ASTORGA VARGAS, M. A. et al. Explicit and tacit knowledge conversion effects, in software engineering undergraduate students. **Knowledge Management Research and Practice**, v. 15, n. 3, p. 336–345, 2017.
- BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. DE. Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. **XIII International Conference on Engineering and Technology Education**. p. 110–116, 2014.
- BOEHM, B. Balancing agility and discipline: A guide for the perplexed. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 3026, p. 1, 2004.
- COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Business Research: A Practical Guide for Undergraduate and Postgraduate Students**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- DALKIR, K. **Knowledge management in theory and practice**. London: Routledge, 2005.
- MARTINS, H. H. T. DE S. Metodologia qualitativa de pesquisa. **Educação e Pesquisa**, v. 30, n. 2, p. 289–300, 2004.
- MOSELE, R. C.; SANTOS, J. T. dos. **Desenvolvimento de proposta de metodologia para formalização de conhecimento tácito**. Trabalho de Conclusão de Curso: Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.
- NONAKA, I.; KONNO, N. The concept of “Ba”: building a foundation for knowledge creation. **California Management Review**. [s.l: s.n.].
- PERROTTI, E.; VASCONCELLOS, E. P. G. DE. Estrutura organizacional e gestão do conhecimento. **Revista Eletrônica de Ciências Administrativas**, v. 4, n. 2, p. 1–18, 2005.
- SILVA, S. L. DA. Gestão do conhecimento: uma revisão crítica orientada pela abordagem da criação do conhecimento. **Ciência da Informação**, v. 33, n. 2, p. 143–151, 2004.
- SILVEIRA, M. A. DA. **A Formação do engenheiro inovador - uma visão internacional**. [s.l: s.n.].
- SOBRAL, Fernanda Ribeiro; CAMPOS, Claudinei José Gomes. Utilização de metodologia ativa no ensino e assistência de enfermagem na produção nacional: revisão integrativa. **Rev. Esc. Enferm.**, São Paulo v. 46, n. 1, p. 208-18, 2012.
- STEWART, J. C. et al. Evaluating agile principles in active and cooperative learning. **Student-Faculty Research Day, CSIS, Pace University**, n. May, p. B3- 3.8, 2009.
- TRIPODI, T. et al. **Análise da pesquisa social diretrizes para o uso de pesquisa em serviço social e ciências sociais**. São Paulo: Editora Francisco Alves, 1975.

BIOGRAFIA DOS AUTORES

Jhenyson Thiago dos Santos

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Durante a graduação trabalhou como efetivo na Perfimec S.A. na área de Engenharia. Também, realizou estágio no Laboratório de Testes da Faurecia S.A. na área de Fadiga e Validação de peças e bancos automotivos. Atualmente, trabalha como líder de projetos em uma logtech de Curitiba. E-mail: jhenyson@hotmail.com

Robson Cristhyan Mosele

Formado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Durante a graduação trabalhou como efetivo na fábrica de motores da FCA Campo Largo (Fiat Chrysler Automobiles), na área de Qualidade de Fornecedores. Também, realizou iniciação científica no NUFER, no campo de impressão 3D de materiais cerâmicos. Enquanto aluno, fundou uma empresa de educação on-line chamada Beardown. Atualmente, trabalha como squad lead em uma agência de comunicação e eventos da Cervejaria Ambev. E-mail: cristhyan_utfpr@hotmail.com

Carlos Cziulik

Concluiu o doutorado em Engenharia Mecânica pela University of Surrey, Inglaterra em 1998. Seu mestrado foi concluído em 1990, junto ao Departamento de Engenharia de Produção da UFSC, na área de Engenharia de Produto (desenvolvimento de máquinas agrícolas), sob a orientação do Professor Nelson Back. Atualmente, é Professor da Titular-EBTT da UTFPR, onde tem desenvolvido atividades de ensino e pesquisa nos últimos 41 anos. Publicou vários artigos em revistas e eventos. Orientou mais de 100 trabalhos (dissertações de mestrado, Trabalhos de Conclusão de Curso, Monografias, Trabalhos de Iniciação Científica). Tem experiência na área de Engenharia de Produção e ramos da Engenharia Mecânica, com ênfase em Desenvolvimento de Produto, atuando principalmente nas seguintes áreas: desenvolvimento de produto e protótipo, projeto conceitual e metodologia de projeto. E-mail: cziulik@utfpr.edu.br

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE TRÊS COMPOSIÇÕES DOS REFINADORES DE TI-B NA MICROESTRUTURA DA LIGA DE ALUMÍNIO A380

CAMILA EMILIO¹; MARIA CAROLINA LEITÃO CZERWONKA²
SANDRA MARA KAMINSKI TRAMONTIN³; LUCIANO AUGUSTO LOURENÇATO⁴

^(1,2) Engenheira Mecânica/UTFPR/Ponta Grossa, Brasil

^(3,4) Professor-Departamento Acadêmico de Mecânica/UTFPR/Ponta Grossa, Brasil

INTRODUÇÃO

Para que um material possa ser usado devidamente, sem que ocorram fraturas ou deformações excessivas, deve-se conhecer as propriedades mecânicas do mesmo, como dureza, ductilidade, rigidez e resistência mecânica. Conhecer as características do material se faz importante para que se possa entender a correlação entre a sua resposta à aplicação de forças e cargas e a sua deformação. (CALLISTER, 2006).

Tendo em vista a facilidade em que o alumínio se combina a outros materiais, e visando a melhoria de suas propriedades mecânicas, criam-se diversas ligas que permitem o seu ajuste a projetos variados. (GUIMARÃES, et al, 2018).

O alumínio é o metal não-ferroso mais importante e seu consumo teve recentemente um aumento considerável. É o segundo metal mais consumido anualmente. Em 1809 se descobriu o alumínio, porém, só foi isolado em 1825 e apenas em 1886 desenvolveu-se um processo de redução economicamente viável. A redução de alumina em alumínio se deu por um processo eletrolítico, tal procedimento é denominado Hall-Héroult, pois Charles Martin Hall e Paul Louis Héroult desenvolveram concomitantemente em países diferentes o mesmo método. O óxido de alumínio (Al_2O_3) é encontrado em abundância na terra, e no Brasil, na área amazônica, encontram-se jazidas de “bauxita”, o mais importante minério industrial. (ABAL, 2007).

A adição de refinadores de grão em liga de alumínio pode influenciar nas propriedades mecânicas tais quais a diminuição das tensões internas e diminuição da tendência de formação de trincas. Existem alguns refinadores comumente utilizados, como Ti-Al, Al-Ti-C, Al-B e Al-Ti-B. (CRUZ et al., 2018).

O titânio e o boro se complementam como refinadores pois o boro potencializa o efeito do titânio quando adicionados juntos em uma liga, tal efeito se dá pela formação

de partículas dispersas de Al₃Ti que funcionam como núcleos para os grãos primários formados na solidificação do material. (RODRIGUES et al., 2014).

LIGAS DE ALUMÍNIO

As ligas de alumínio podem ser divididas em dois grupos, as para trabalho e conformação e as para fundição. O primeiro grupo, também chamado de *Wrought alloys* é constituído por laminados planos, laminados não planos, perfis extrudados e componentes forjados, ou seja, ligas com o objetivo de fabricação de produtos semiacabados. (VIANA, et. al, 2009).

Já o segundo grupo, *Cast alloys* tem como composição ligas para componentes fundidos. (VIANA, et. al, 2009).

A liga A380 é pertencente ao subgrupo 3xx.x das ligas de alumínio, tais ligas possuem cobre na sua formulação e tem o silício como elemento de liga principal, e é uma das ligas mais utilizadas atualmente nos processos de fundição pois possui um grande equilíbrio entre custo dos materiais e resistência. Podem ser provenientes de um processo de reaproveitamento ou reciclagem e possui tolerância bastante grande para seus elementos componentes. (GUIMARÃES, et. al, 2018). Na tabela 1 encontra-se a composição química padrão da liga A380.

Tabela 1 - Composição química da liga em porcentagem

Liga	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Sn	Outros
380	7,5 – 9,5	2,0	3,0 – 4,0	0,5	0,1	0,5	3,0	0,35	0,5

Fonte: ASM (2004)

REFINADORES DE GRÃOS

De acordo com Lourençato (2008), a pesquisa sobre diminuição do tamanho de grão tem grande interesse na área de fundição pois causa melhoria das propriedades mecânicas dos materiais.

Quando há a adição de refinadores de grão na fundição, no processo de solidificação das ligas ocorre a formação de pontos de nucleação aumentando assim a elasticidade do alumínio fundido. A adição de tais refinadores é uma prática recorrente em fundições, chegando a casos em que só é realizada a fundição com tal adição. (CRUZ, et. al, 2018).

A diminuição das tensões internas que o refino de grão traz para a liga gera a melhoria de propriedades mecânicas como limite de escoamento e resistência mecânica, propicia um acabamento mais homogêneo na superfície e redução da tendência de formação de trincas. Ti-Al, Al-Ti-C, Al-B e Al-Ti-B são muito utilizados como refinadores. (CRUZ et al., 2018)

Quando é adicionado a liga de alumínio, o titânio possibilita a teoria do peritético, que é quando os cristais do intermetálico são cobertos pelo alumínio via reação peritética. Já o boro aumenta o refino causado pelo titânio. (ROBERT, 1979).

MATERIAIS E MÉTODOS

METODOLOGIA

As ligas analisadas foram obtidas por fundição, em forma de lingotes, da liga de alumínio A380 com adição dos refinadores, nas seguintes composições: 5Ti1B, 5Ti2B e 3Ti1B, nas temperaturas de vazamento de 650°C e 680°C, as tabelas 2 e 3 a seguir apresentam as massas referentes aos refinadores presentes na fundição dos materiais estudados com vazamento nas temperaturas de 650°C e 680°C respectivamente.

Tabela 2 - Composição ligas vazadas à 650°C

	5Ti2 B	5Ti1 B	3Ti1 B	Sem refinadores
Alumínio [Kg]	1,990	2,046	1,934	2,050
Refinadores [Kg]	0,150	0,131	0,081	-

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 - Composição ligas vazadas à 680°C

	5Ti2 B	5Ti1 B	3Ti1 B	Sem refinadores
Alumínio [Kg]	1,940	1,927	1,980	2,08
Refinadores [Kg]	0,146	0,123	0,082	-

Fonte: Autoria própria

Após solidificação e resfriamento, os lingotes foram identificados e usinados em forma de cilindros para facilitar o corte das amostras.

Posteriormente, foram separados por composições e marcados com fita nas extremidades, para não ocorrer mistura de composições, conforme mostra a figura 1. As amostras foram separadas em 5Ti1B para a temperatura de 680°C, 5Ti2B para a temperatura de 650°C, 3Ti1B para a temperatura de 680°C, 3Ti2B para a temperatura de 650°C, 5Ti2B para a temperatura de 680°C e as ligas sem refinadores de 650°C e 680°C, totalizando 8 lotes de amostras.

Figura 1 - Lingotes fundidos separados por composição e temperatura



Fonte: Autoria própria

Após identificação e separação, as amostras foram centralizadas, desbastadas e usinadas. Para cada composição e temperatura foram selecionadas 16 amostras a serem analisadas.

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após o desbaste e corte, a preparação das amostras iniciou-se no laboratório de Caracterização de Materiais (LabCMat) da UTFPR-PG. As amostras foram submetidas inicialmente a lixa com granulometria de 220, para remoção da marca do torno. Posteriormente, foram submetidas a lixas com granulometria de 320, 400 e 600 mesh, nessa sequência. Após o término da utilização de cada lixa, antes de passar para a próxima lixa, a amostra era rotacionada 90°, para eliminar possíveis riscos existentes. O lixamento foi realizado na lixadeira metalográfica dupla da marca AROTEC.

Finalizado o lixamento, a próxima etapa foi o polimento das amostras, até que os corpos de prova estivessem isentos de marcas. O polimento foi realizado na politriz automática da marca BUEHLER e modelo VECTOR POWER HEAD. Foi utilizado pano de feltro com aplicação de suspensão de diamante de 0,3 μm e 0,25 μm . Foram polidas 4 amostras por vez, com o tempo de 20min cada amostra, sendo que a cada 5min era realizado uma pausa para visualização da superfície da amostra e acréscimo de suspensão de diamante. A limpeza das amostras durante o polimento foi realizada com álcool etílico.

Após o término do polimento, as amostras foram atacadas superficialmente com solução de ácido clorídrico e água destilada em concentração de 5%, por imersão, durante 1 minuto.

ANÁLISE DAS AMOSTRAS

Para análise metalográfica, por microscopia ótica, foi utilizado o microscópio ótico, modelo AXIO da marca ZEISS.

Após análise e seleção das regiões de análise, as imagens foram capturadas com auxílio do software de captura AxioVision®SE64, com ampliação de 100x para análise da microestrutura da liga A380 nas condições de vazamento.

A região escolhida na microscopia ótica foi delimitada com uma marcação à caneta, para posterior análise no MEV da mesma região.

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi feita utilizando o equipamento TESCAN VEGA da marca TESCAN. A partir da captura de 1000x foi realizada análise das fases e composição química dos microconstituintes com a técnica de espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

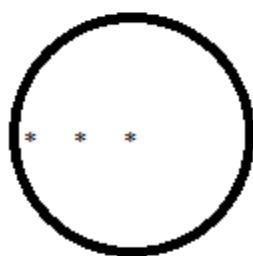
ENSAIO DE DUREZA

Após a análise por microscopia, foi realizado ensaio de dureza nos corpos de prova, com o objetivo de comparar os resultados alcançados.

O método do ensaio utilizado foi o Rockwell K com edentado de esfera de aço temperado de 3,175mm de diâmetro, o que permite uma boa área de contato para este material heterogêneo, composto por diversas fases de composições diferentes.

A carga de ensaio foi de 150kgf, e pré-carga de 10kgf, este sendo realizado no laboratório de Ensaios destrutivos e não destrutivos da UTFPR-PG. As identificações foram realizadas em 3 regiões diferentes das amostras, no sentido da borda para o centro do lingote fundido, como representado na figura 2. Para cada corpo de prova foram obtidas 6 medições, sendo duas nas bordas, duas no centro e duas entre a borda e o centro.

Figura 2 - Esquema das marcações HRK



Fonte: Autoria própria

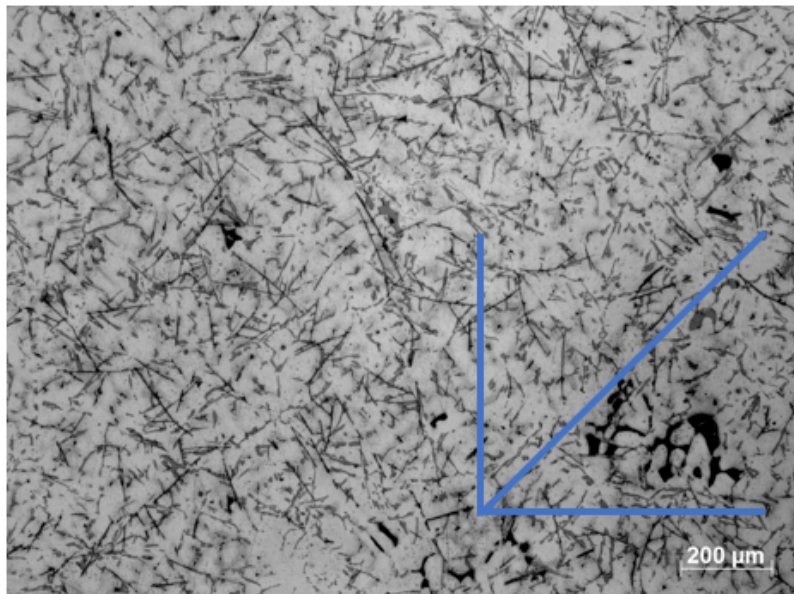
DETERMINAÇÃO DE TAMANHOS DE GRÃOS

Existem diversos métodos para realização da contagem dos grãos, o escolhido para o presente trabalho foi o Método de Interceptos e a contagem de grãos foi feita em todas as amostras que passaram pela microscopia ótica. Para realizar a contagem, ao capturar a imagem no microscópio ótico, colocou-se no canto inferior direito da imagem uma escala graduada indicando a proporção do aumento da imagem.

As imagens a serem analisadas foram posicionadas no Excel e medido o tamanho da escala indicada no canto inferior direito da imagem. O tamanho desta escala foi então multiplicado por três para traçar três linhas do mesmo tamanho, nas posições: horizontal, vertical e formando um ângulo de 45°, conforme mostra a figura 3.

Com as linhas agrupadas, foram colocadas em 5 posições distintas em cada uma das imagens e então fazia-se a contagem dos glóbulos pelos quais as linhas passavam. A contagem para cada linha foi realizada separadamente, ou seja, contava-se na vertical, horizontal e em 45°. Calculou-se também a média e o desvio padrão para cada contagem. O tamanho médio dos grãos é dado através da divisão entre a proporção da imagem pela média da contagem nas três direções

Figura 3 - Método utilizado para realização da contagem



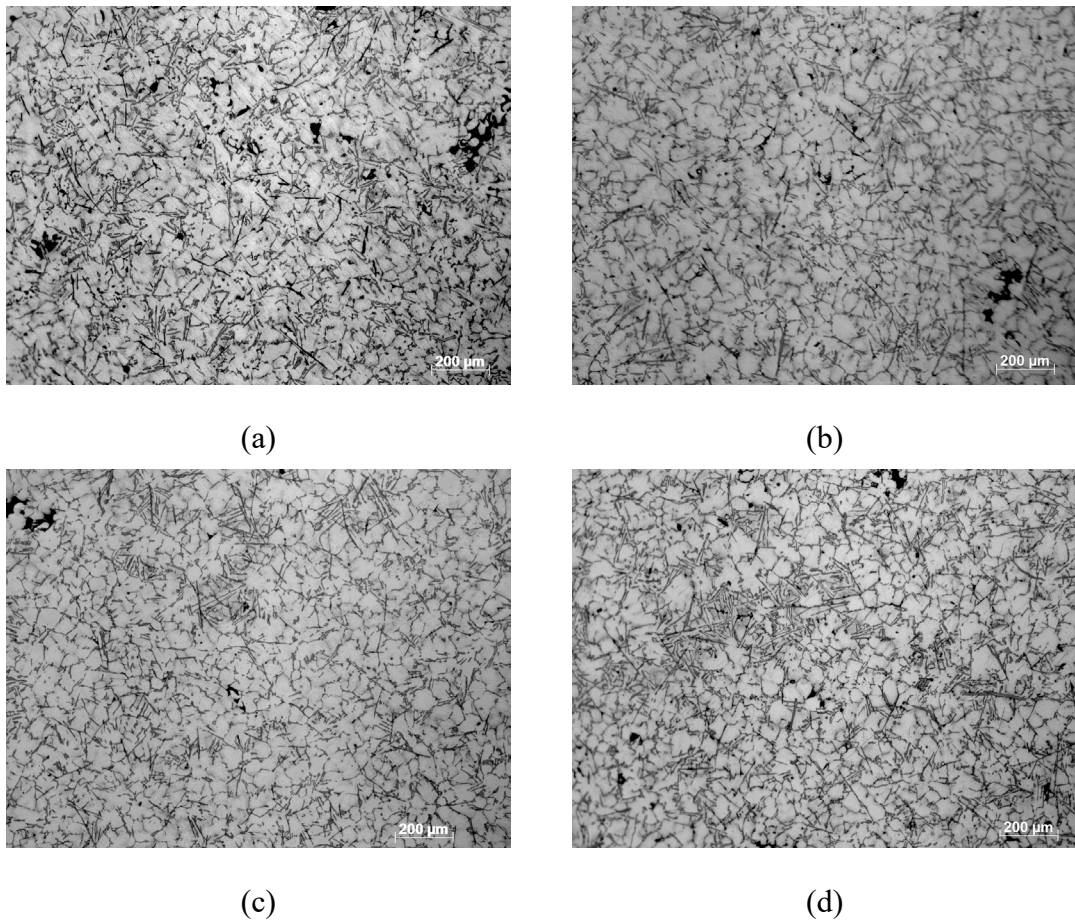
Fonte: Autoria própria

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MICROSCOPIA ÓTICA (MO) PARA AS LIGAS VAZADAS A 650 °C

A figura 4 apresenta as microscopias das amostras vazadas a 650°C sem refinadores (a) e com os seguintes refinadores 3Ti1B (b), 5Ti2B (c) e 5Ti1B (d) nesta ordem.

Figura 4 - Microscopia ótica 650°C 100x



Fonte: Autoria própria

Após análise por microscopia ótica, pode-se perceber a redução no tamanho de grão com a adição dos refinadores 5Ti2B e 5TiB, sendo a primeira com diminuição mais acentuada quando comparada à liga de referência sem a adição de refinadores a temperatura de 650°C, o refinador 3Ti1B não se mostrou eficaz quando seu objetivo é a redução do tamanho de grão.

TAMANHO DE GRÃO E DUREZA (HRK) - LIGAS VAZADAS A 650 °C

A tabela 4 apresenta os resultados da contagem de grão, tamanho médio de grão e dureza HRK para todas as composições de amostras vazadas na temperatura de 650°C.

Tabela 4 – Tamanho de Grão e Dureza 650°C

Composição das Amostras	Média	Desvio Padrão	Tamanho médio(μm)	Dureza (HRK)
650°C sem refinador	7,4	0,7	81,4	33,3
3Ti1B 650°C	8,5	0,2	70,3	49,5
5Ti2B 650°C	10,4	1,1	58,1	58,5
5Ti1B 650°C	8	2,3	82,3	43,8

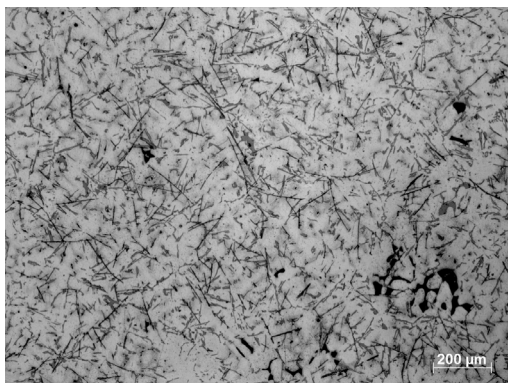
Fonte: Autoria própria

Comparando somente as amostras da temperatura de 650°C, observou-se que os refinadores originaram aumento de dureza significativa na liga estudada, quando comparada a liga sem refinadores. O maior acréscimo de dureza ocorreu nas amostras com 5Ti2B, seguidos pelas amostras 3Ti2B e finalmente as amostras de 5Ti1B.

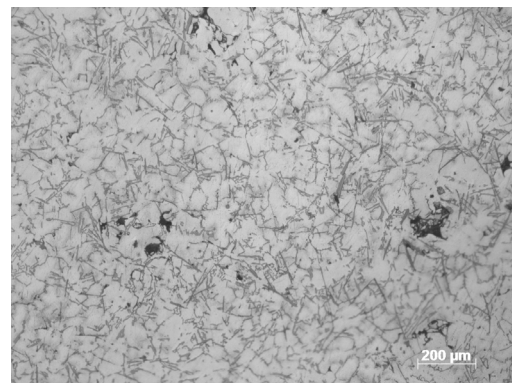
MICROSCOPIA ÓTICA (MO) - LIGAS VAZADAS A 680 °C

A figura 5 apresenta as microscopias das amostras vazadas a 680°C sem refinadores (a) e com os seguintes refinadores 3Ti1B (b), 5Ti2B (c) e 5Ti1B (d) respectivamente.

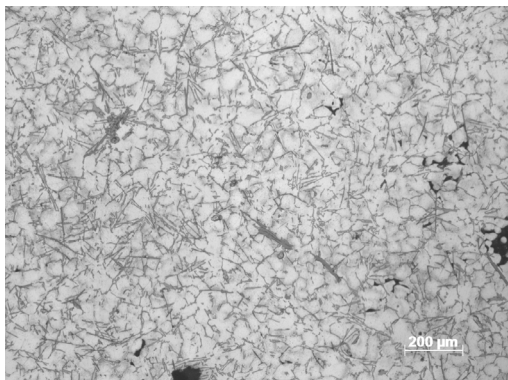
Figura 5 - Microscopia ótica 680°C 100x



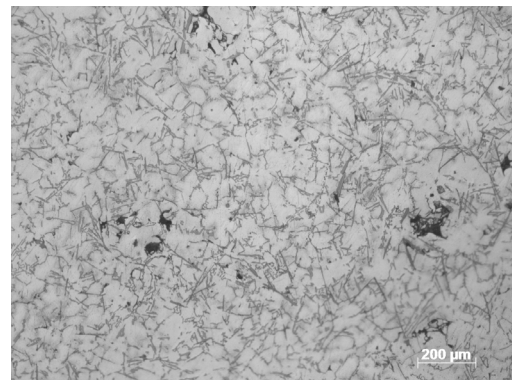
(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autoria própria

Seguindo a mesma tendência das amostras analisadas anteriormente, notou-se que o refinador de grão 5Ti2B propicia uma maior redução do tamanho de grão quando comparado ao 5Ti1B, também se percebe que o refinador 3Ti1B não apresentou alterações significativas no tamanho de grão na análise por microscopia ótica.

TAMANHO DE GRÃO E DUREZA (HRK) - LIGAS VAZADAS A 680 °C

A tabela 5 apresenta os resultados da contagem de grão, tamanho médio de grão e dureza HRK para todas as amostras vazadas na temperatura de 680°C.

Tabela 5 – Tamanho de Grão e Dureza 680°C

Composição das Amostras	Média	Desvio Padrão	Tamanho médio (μm)	Dureza (HRK)
680°C sem refinador	5,9	0,5	102,4	36
3Ti1B 680°C	7	0,9	87,8	47,3
5Ti2B 680°C	8,1	0,9	75	55
5Ti1B 680°C	7,2	0,7	84,7	35,8

Fonte: Autoria própria

A maior dureza ocorre também na amostra de 5Ti2B na região mediana com o valor de 60HRK.

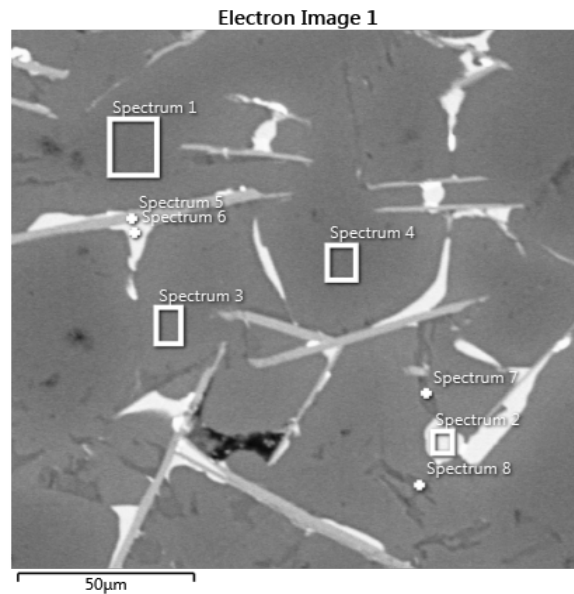
Na comparação geral pode-se perceber que a dureza segue o mesmo padrão apresentado nas análises da temperatura de 650°C, sendo a composição de maior dureza a 5Ti2B sendo seguida pela composição com 3Ti1B e finalmente a amostra de 5Ti1B se mostrando como a menos dura.

Em relação aos resultados de dureza Rockwell K para as ligas de alumínio, deve-se levar em consideração o forte efeito causado pelas fases precipitadas na fase matriz, pois as morfologias destas, sua distribuição e composição química influenciam significativamente nas propriedades mecânicas destas ligas, juntamente ao tamanho de grão da fase matriz.

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

As análises por MEV indicaram a composição das fases matriz e precipitadas que compõem as amostras. A figura 6 e a tabela 6 são referentes à análise da amostra vazada a 650°C, sem presença de refinadores.

Figura 6 - MEV 650°C sem refinadores



Fonte: BORRI E STÜRMER (2021)

Tabela 6 - Composição 650°C sem refinadores

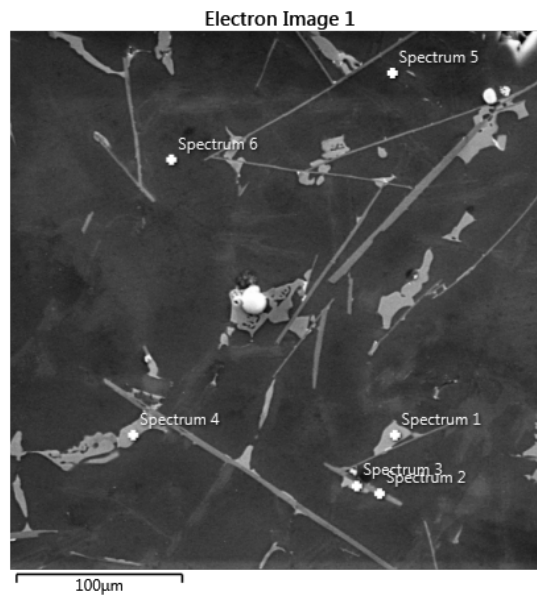
	Espec.1	Espec.2	Espec.3	Espec.4	Espec.5	Espec.6	Espec.7	Espec.8
Alumínio	94,1%	51,5%	89,2%	95,4%	51,8%	73,5%	46,4%	20,0%
Cobre	1,5%	43,0%	3,0%	1,0%	37,3%	21,5%	1,5%	0,9%
Níquel	-	2,9%	-	-	2,7%	1,4%	-	-
Zinco	3,2%	1,6%	4,0%	3,2%	1,1%	2,8%	2,3%	1,3%
Silício	1,2%	1,1%	-	-	3,8%	0,8%	49,7%	73,0%
Ferro	-	-	-	-	2,9%	-	-	-
Manganês	-	-	-	-	0,5%	-	-	-
Titânio	-	-	-	0,4%	-	-	-	-
Rubídio	-	-	-	-	-	-	-	4,9%

Fonte: BORRI E STÜRMER (2021)

Na liga A380 sem refinadores vazada a 650°C temos demonstrado na tabela 6 e na figura 20 acima que a matriz de alumínio está representada nos espectros 1 e 4 pois apresentam elevada porcentagem de alumínio em sua composição, o espectro 2 mostra alto grau de cobre em sua composição, já o silício pode ser notado mais presente no espectro 8.

Para a liga vazada a 680°C obtiveram-se os dados mostrados na figura 7 e tabela 7.

Figura 7 - MEV 680°C sem refinadores



Fonte: Autoria própria

Tabela 7 - Composição 680°C sem refinadores

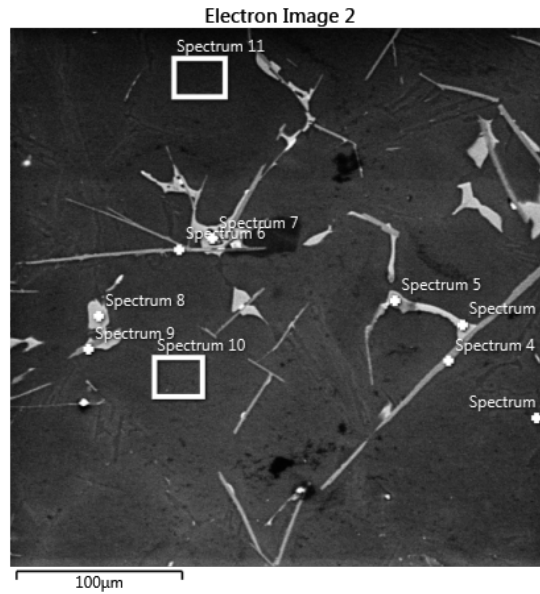
	Espec. 1	Espec. 2	Espec. 3	Espec. 4	Espec. 5	Espec. 6
Alumínio	48,1%	59,8%	49,4%	47,8%	15,2%	90,9%
Cobre	46,5%	0,6%	43,4%	47,5%	0,7%	1,6%
Níquel	3,2%	-	2,5%	2,7%	-	-
Zinco	1,1%	1,5%	1,2%	1,0%	0,7%	3,2%
Silício	1,1%	15,1%	2,4%	1,0%	83,4%	1,1%
Ferro	-	21,0%	1,1%	-	-	-
Manganês	-	2,0%	-	-	-	-
Carbono	-	-	-	-	-	3,3%

Fonte: Autoria própria

A matriz no caso da liga A380 com temperatura de 680°C está sendo mostrada no espectro 6, pode-se perceber a presença acentuada de cobre nos espectros 1, 3 e 4, e elevada porcentagem de silício no espectro 5.

Com 94,9% e 95% de alumínio em sua composição os espectros 10 e 11 respectivamente representam a matriz da composição com 5Ti2B à temperatura de 650°C, o silício está fortemente presente no espectro 2 e o cobre nos espectros 5, 6 e 7, como mostrado na figura 8 e tabela 8.

Figura 8 - MEV 5Ti2B 650°C



Fonte: Autoria própria

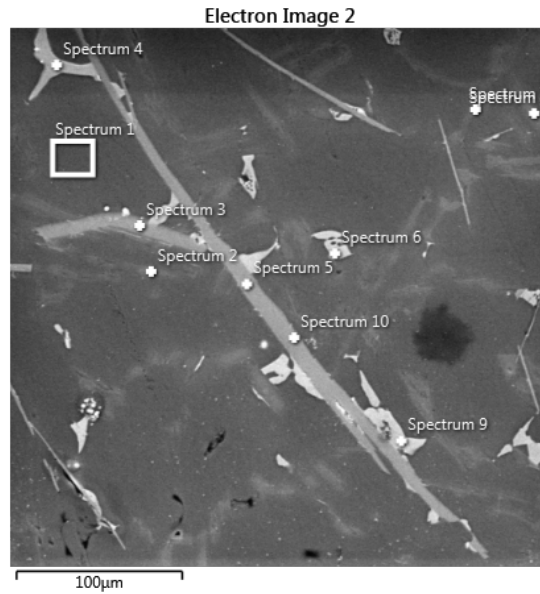
Tabela 8 - Composição 5Ti2B 650°C

	Espec.2	Espec.3	Espec.4	Espec.5	Espec.6	Espec.7	Espec.8	Espec.9	Espec.10
Alumínio	23,4%	56,8%	67,6%	48,7%	61,0%	49,2%	46,6%	59,7%	94,9%
Cobre	0,5%	36,8%	0,9%	46,2%	5,2%	44,8%	44,7%	1,7%	0,9%
Níquel	-	2,2%	-	2,9%	0,6%	3,1%	3,2%	0,6%	-
Zinco	0,7%	2,7%	1,8%	1,1%	0,9%	1,4%	1,2%	1,1%	2,5%
Silício	75,4%	1,1%	12,5%	1,1%	13,0%	1,2%	1,0%	14,1%	1,3%
Ferro	-	0,3%	15,4%	-	17,5%	0,3%	-	20,0%	-
Manganês	-	-	1,9%	-	1,9%	-	-	2,7%	-
Carbono	-	-	-	-	-	-	2,5%	-	-
Oxigênio	-	-	-	-	-	-	0,8%	-	-
Titânio	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4%

Fonte: Autoria própria

Como apresentado na imagem da figura 9 e tabela 9, para e mesma composição 5Ti2B, porém com temperatura de 680°C a matriz está representada no espectro 1, o cobre está presente em maior quantidade nos espectros 4 e 9, o ferro se mostra fortemente nos espectros 3, 5 e 10, os espectros 2 e 8 são marcados pela presença de silício.

Figura 9 - MEV 5Ti2B 680°C



Fonte: Autoria própria

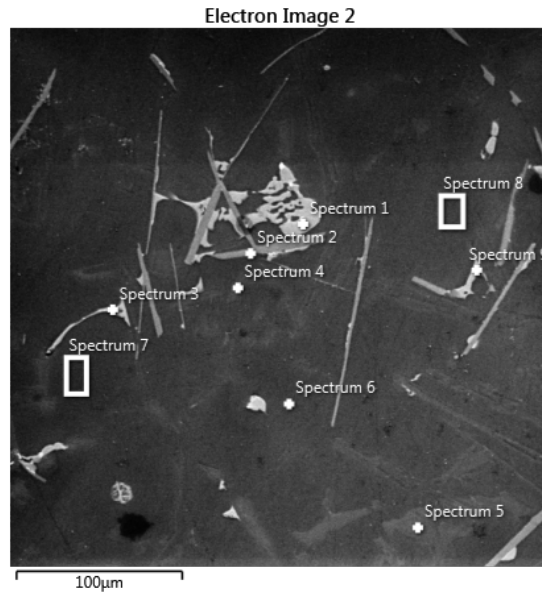
Tabela 9 - Composição 5Ti2B 680°C

	Espec.1	Espec.2	Espec.3	Espec.4	Espec.5	Espec.6	Espec.7	Espec.8	Espec.9
Alumínio	94,7%	15,3%	57,7%	48,6%	55,6%	50,9%	64,8%	10,5%	48,7%
Cobre	1,1%	-	0,7%	46,4%	-	32,3%	1,3%	0,4%	45,6%
Níquel	-	-	0,4%	2,9%	-	2,9%	-	-	3,0%
Zinco	2,7%	-	1,0%	0,9%	0,7%	1,4%	2,1%	0,5%	1,4%
Silício	1,2%	84,4%	18,3%	1,1%	17,8%	4,5%	31,8%	88,6%	1,1%
Ferro	-	0,3%	20,0%	-	23,8%	4,4%	-	-	0,2%
Manganês	-	-	2,0%	-	2,2%	2,7%	-	-	-
Titânio	0,2%	-	-	-	-	-	-	-	-
Cromo	-	-	-	-	-	0,9%	-	-	-

Fonte: Autoria própria

No caso da composição com refinador 3Ti1B à temperatura de 650°C a matriz de alumínio está representada nos espectros 6, 7 e 8, o cobre está presente em maior quantidade nos espectros 1, 3 e 9, o ferro no espectro 2 e o silício nos espectros 4 e 5, como apresentado acima na figura 10 e tabela 10.

Figura 10 - MEV 3Ti1B 650°C



Fonte: Autoria própria

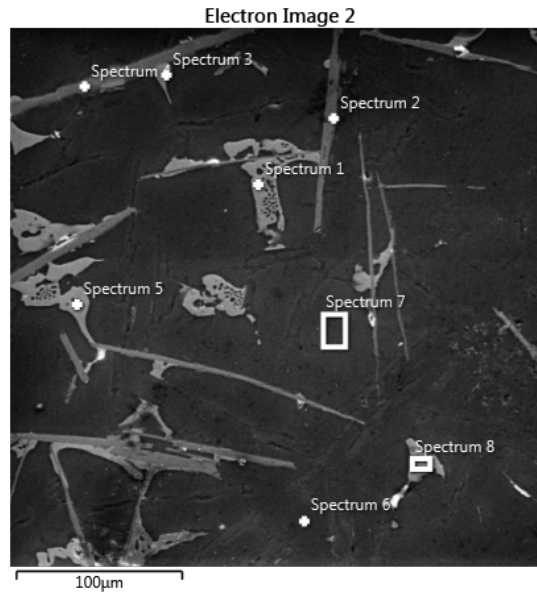
Tabela 10 - Composição 3Ti1B 650°C

	Espec.1	Espec.2	Espec.3	Espec.4	Espec.5	Espec.6	Espec.7	Espec.8	Espec.9
Alumínio	47,2%	60,6%	52,7%	22,2%	36,4%	95,2%	94,6%	94,5%	49
Cobre	47,8%	0,5%	36,7%	0,6%	0,8%	1,0%	1,4%	1,1%	44
Níquel	2,8%	-	4,9%	-	-	-	-	-	2,
Zinco	1,2%	0,9%	1,2%	0,6%	1,6%	2,6%	2,8%	3,1%	1,
Silício	1,1%	13,7%	1,7%	76,5%	61,2%	1,3%	1,2%	1,0%	1,
Ferro	-	22,3%	2,4%	-	-	-	-	-	
Manganês	-	2,1%	0,5%	-	-	-	-	-	
Titânio	-	-	-	-	-	-	-	0,3%	

Fonte: Autoria própria

Como se pode perceber na figura 11 e tabela 11, no caso da liga composta com o refinador 3Ti1B e com vazamento à 680°C o alumínio é dominante nos espectros 6 e 7, o cobre nos espectros 1 e 5 e ferro nas regiões 2 e 4.

Figura 11 - MEV 3Ti1B 680°C



Fonte: Autoria própria

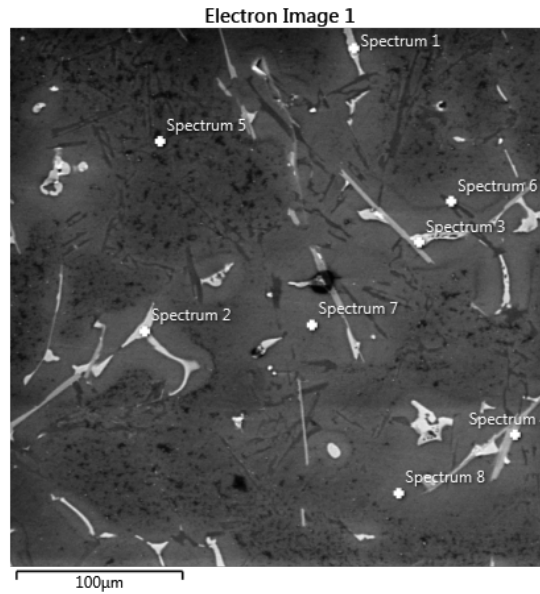
Tabela 11 - Composição 3Ti1B 680°C

	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.
	1	2	3	4	5	6	7	8
Alumínio	47,6%	66,7%	62,4%	55,7%	48,4%	90,5%	90,0%	45,9%
Cobre	47,2%	3,7%	31,2%	1,5%	46,5%	2,3%	2,7%	32,9%
Níquel	2,8%	-	2,0%	-	2,7%	-	-	2,9%
Zinco	1,3%	1,4%	2,9%	0,8%	1,4%	3,2%	4,3%	1,4%
Silício	1,2%	12,0%	1,3%	16,0%	1,0%	0,9%	-	3,4%
Ferro	-	15,0%	0,2%	20,9%	-	-	-	4,4%
Manganês	-	1,2%	-	2,2%	-	-	-	1,8%
Cromo	-	-	-	-	-	-	-	0,4%

Fonte: Autoria própria

Foi perceptível a predominância do alumínio nas regiões 5, 7 e 8, assim como a predominância do cobre nas regiões 2 e 3 e o silício bastante presente na região do espectro 6, na liga composta por 5Ti1B à temperatura de 650°C. Mostrado na imagem 12 e tabela 12.

Figura 12- MEV 5Ti1B 650°C



Fonte: Autoria própria

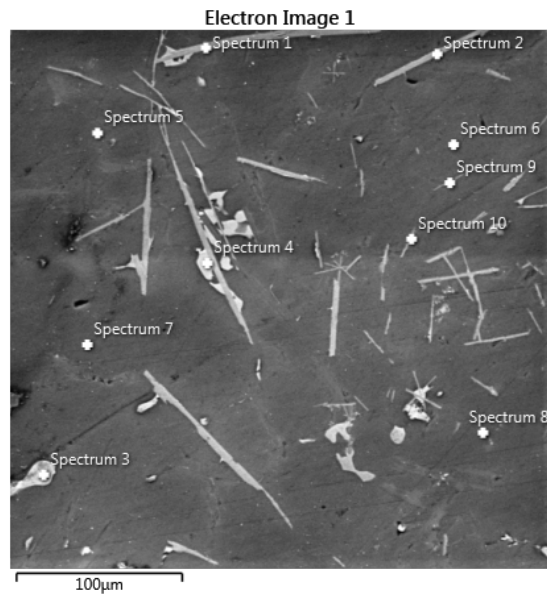
Tabela 12 - Composição 5Ti1B 650°C

	Espec. 1	Espec. 2	Espec. 3	Espec. 4	Espec. 5	Espec. 6	Espec. 7	Espec. 8
Alumínio	40,0%	49,0%	47,6%	88,6%	94,5%	51,9%	94,0%	93,5%
Cobre	38,6%	45,6%	49,1%	3,2%	1,7%	1,5%	1,6%	1,7%
Níquel	1,3%	2,9%	0,8%	-	-	-	-	-
Zinco	1,8%	1,0%	1,1%	4,1%	2,8%	2,3%	3,3%	3,2%
Silício	0,7%	1,2%	0,9%	2,5%	1,0%	44,3%	1,2%	1,2%
Ferro	-	0,2%	0,4%	1,2%	-	-	-	-
Manganês	-	-	-	0,3%	-	-	-	-
Estanho	17,5%	-	-	-	-	-	-	-
Titânio	-	-	-	-	-	-	-	0,4%

Fonte: Autoria própria

Finalizando as análises pelo MEV, a composição da liga com refinador 5Ti1B com vazamento na temperatura de 680°C mostra sua matriz nos espectros 6, 7 e 8, o silício está fortemente presente nos espectros 1, 2 e 9, o cobre se apresenta nos espectros 3 e 4, e o ferro está mais presente nos espectros 1 e 2, como pode se perceber na tabela 13 e figura 13.

Figura 13 - MEV 5Ti1B 680°C



Fonte: Autoria própria

Tabela 13 – Composição 5Ti1B 680°C

	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.	Espec.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Alumínio	51,6%	58,3%	48,5%	47,9%	88,1%	94,8%	95,3%	95,4%	65,4%
Cobre	-	-	45,6%	46,3%	2,1%	1,5%	0,8%	0,9%	0,9%
Níquel	-	-	3,3%	3,1%	-	-	-	-	-
Zinco	-	0,7%	1,4%	1,3%	2,9%	2,7%	2,4%	2,3%	1,5%
Silício	23,2%	18,1%	1,2%	1,1%	6,9%	1,0%	1,2%	1,0%	21,9%
Ferro	23,1%	21,1%	-	0,4%	-	-	-	-	-
Manganês	2,1%	1,8%	-	-	-	-	-	-	-
s									
Titânio	-	-	-	-	-	-	0,3%	0,4%	10,4%

Fonte: Autoria própria

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pode-se perceber que a adição dos refinadores de grão 5Ti2B, 3Ti1B e 5Ti1B alteraram a microestrutura da liga de referência A380, reduzindo o seu tamanho de grão, sendo a maior diferença na liga com a adição do 5Ti2B e a menor com 5Ti1B.

Observou-se também que a dureza da liga foi modificada após a adição dos refinadores à liga base. A adição do refinador 5Ti2B aumentou a dureza da liga A380, sendo seguido pelo refinador 3Ti1B e 5Ti1B respectivamente, com menor acréscimo de dureza.

Em contrapartida, a variação de temperatura de vazamento do material utilizada neste trabalho não apresentou influência significativa na dureza e na microestrutura quando comparadas a liga de referência.

A utilização de refinadores de grãos, influenciam significativamente na propriedade mecânicas de dureza destas ligas pelo refinamento dos grã da fase matriz.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **ABAL** Características químicas e físicas. Disponível em: <<http://abal.org.br/aluminio/caracteristicas-quimicas-e-fisicas/>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). **Fundamentos e aplicação do alumínio**. 2007.

ABENDI. **Ensaio não destrutivos e inspeção**. 2019. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly=>>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

ASM INTERNATIONAL. **Handbook of Thermal Spray Technology**. Thermal Spray Society, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 407-99**: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys, 2015.

BAPTÍSTA, André Luís de Brito; SOARES, Ângelo Rosestolato; NASCIMENTO, Ivaldo Assis do. **O Ensaio Metalográfico no Controle da Qualidade**. Disponível em Acesso em: 25 mai. 2022.

BORGES, J. N. **Preparação de amostras para análise microestrutural**. Santa Catarina: UFSC, 2009.

BORRI, Gabriel Augusto. STÜRMER, Matheus. **Influência da Temperatura de Vazamento na Microestrutura e Dureza da Liga Fundida de Alumínio A380 com Adição do Refinador 5Ti-1B**. 2021. 42p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Ponta Grossa, 2021.

BRADASCHIA, C. **Técnicas de Fundição do Alumínio e suas Ligas**. São Paulo: ABM, 1988a.

CALLISTER, Jr., W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CALLISTER, Jr., W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais: uma abordagem integrada**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica**. 2 ed. São Paulo, McGraw Hill, 1986.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. São Paulo: Edgar Blucher, 1994.

CRUZ, L. C.; et. al. **Influência da concentração de refinador de grãos na liga de alumínio fundida A356**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2018, Foz do Iguaçu, UEA.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

FOGAÇA, J. R. V.; **Ligas Metálicas**; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/ligas-metalicas.htm>>. Acesso em: 11 de junho de 2019.

GUIMARÃES, B. L.; et. al. **Análise da microestrutura e dureza da liga de alumínio A.380 sob diferentes teores de estrôncio após tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento**. 2018, Ponta Grossa: UTFPR – PG.

LOURENÇATO, L.A. **Tixofornabilidade e Tixoforjamento de Ligas AlXwt%Si-0,5wt%Mg em Prensa Excêntrica com Matriz Aberta**. 2008. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2008.

OLIVEIRA, R. R. **Avaliação da tensão residual em alumínio 7050 conformado pelo processo peen forming**. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, autarquia associada à USP. São Paulo, 2011.

QUINTAO, C. R.; ALMEIDA, F. P. **Conformação Mecânica (Fundição)**. Disponível em: <<https://memorialmetalurgia.ouropreto.ifmg.edu.br/wp-content/uploads/sites/50/2019/07/a8.pdf>>. Acesso em: 02 de julho de 2022.

ROBERT, M. H. **Comportamento de aluminatos no alumínio líquido e implicações para o refino de grão do alumínio**. 1979, Campinas, UNICAMP.

RODRIGUES, Josienei P.; OLIVEIRA, Larissa S.; Almeida, Natália C. **Produção de alumínio**. FACET. Belo Horizonte, 2014.b

ROHDE, R. A. **Metalografia preparação de amostras: uma abordagem prática**. Vol 3. 2010, Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais. Santo Ângelo.

SOUSA, B. B.; et. al. **Estudo da velocidade de corrosão em ligas de Al-3%Cu E Al-5%Cu**. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. 2015, Campinas, UNICAMP.

VIANA, S. M.; et. al. **Alumínio e suas ligas**. UFF, 2009.

ZOLIN, I. **Curso técnico em automação industrial: ensaios mecânicos e análise de falhas**. 2010, Santa Maria, UFSM.

A engenharia é uma ciência multi-facetada. O engenheiro, por definição, é um profissional generalista, cuja formação deve prepará-lo para contribuir com as mais diversas áreas de conhecimento. A coleção “Tecnologias e Desafios na Engenharia” se propõe a divulgar a engenharia dentro dessa concepção: Diversidade e Inovações Tecnológicas. Neste primeiro volume apresentamos trabalhos que transitam desde a impressão 3D de materiais compósitos até a metalurgia do alumínio, passando por metodologias de gestão de projetos, de formação de profissionais de engenharia, simulação operacional e soluções para agricultura sustentável pela utilização de carvão de bambus. Esperamos que esta coleção, que se inicia agora, possa ser um reflexo da imensa diversidade que é a engenharia. Desejamos uma proveitosa leitura!

Os organizadores



ISBN: 978-65-86625-63-9