

Resiane Silveira (Org.)

Volume **1**
2022

ENGENHARIA

CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS

Resiane Silveira (Org.)

Volume **1**
2022

ENGENHARIA

CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS

2022 – Editora Uniesmero

www.uniesmero.com.br

uniesmero@gmail.com

Organizadora

Resiane Paula da Silveira

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editores e Arte: Resiane Paula da Silveira

Imagens, Arte e Capa: Freepik/Uniesmero

Revisão: Respective autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Ma. Jaciara Pinheiro de Souza, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Dra. Náyra de Oliveira Frederico Pinto, Universidade Federal do Ceará, UFC

Ma. Emile Ivana Fernandes Santos Costa, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Me. Rudvan Cicotti Alves de Jesus, Universidade Federal de Sergipe, UFS

Me. Heder Junior dos Santos, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP

Ma. Dayane Cristina Guarnieri, Universidade Estadual de Londrina, UEL

Me. Dirceu Manoel de Almeida Junior, Universidade de Brasília, UnB

Ma. Cinara Rejane Viana Oliveira, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Esp. Jader Luís da Silveira, Grupo MultiAtual Educacional

Esp. Resiane Paula da Silveira, Secretaria Municipal de Educação de Formiga, SMEF

Sr. Victor Matheus Marinho Dutra, Universidade do Estado do Pará, UEPA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S587e Silveira, Resiane Paula da
Engenharia: Construção de Conhecimentos - Volume 1 / Resiane Paula da Silveira (organizadora). – Formiga (MG): Editora Uniesmero, 2022. 192 p. : il.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-84599-44-4
DOI: 10.5281/zenodo.6532413

1. Engenharia. 2. Construção. 3. Produção. 4. Inovação Tecnológica. I. Silveira, Resiane Paula da. II. Título.

CDD: 620
CDU: 62

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora Uniesmero
CNPJ: 35.335.163/0001-00
Telefone: +55 (37) 99855-6001
www.uniesmero.com.br
uniesmero@gmail.com
Formiga - MG

Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:
<https://www.uniesmero.com.br/2022/05/engenharia-construcao-de-conhecimentos.html>



AUTORES

**ALAN CHRISTIE DA SILVA DANTAS
BRUNO MARINHO CALADO
CAIRO SCHULZ KLUG
CAMILA DE SOUSA MOURA ALMEIDA
DIENIFER RADTKE
ESTELLITO RANGEL JUNIOR
FILIPE WILTGEN
FLAVIA FASOLO
FRANCIELE KROESSIN
GUILHERME HIRSCH RAMOS
HENRIQUE PEGLOW DA SILVA
JOÃO GABRIEL RUPPENTHAL
JOELMA SILVA DE ALMEIDA
KAREN RAQUEL PENING KLITZKE
KELSON SILVA DE ALMEIDA
LETICIA COL DEBELLA SANTOS
LUAN MARTIN AREJANO
MARCELO LOPES
MARIA EDUARDA SANTOS FERREIRA
MARINA LUIZA BERNARSKI
MAURÍZIO SILVEIRA QUADRO
MURILO GONÇALVES RICKES
MURILO ROBERTO JESUS MAGANHA
RAFAEL MIRITZ BARTZ
RICARDO RIBEIRO
RITCHELLI TEIXEIRA DUARTE
RODRIGO VILLACA SANTOS
SAMUEL POETA
SAMUEL WACHHOLZ REICHOW
TALISSON NATAN TOCHTENHAGEN
THALIA STRELOV DOS SANTOS
WAGNER COMENALE
WAGNER SCHMIESCKI DOS SANTOS**

APRESENTAÇÃO

Uma Ciência tão antiga quanto a própria civilização, a engenharia acompanha a humanidade desde o princípio de sua evolução. A profissão foi fundamental para criar a sociedade como conhecemos atualmente. Então associada a outras ciências, permitiu que o homem saísse de condições nômades para fixar-se em uma local, evoluindo com o uso de recursos naturais. Essas criações que mudaram o rumo da sociedade como: alavancas, moinhos e polias, formaram a base técnica de inúmeras outras invenções mais complexas e são fruto do estudo dessa profissão.

Sendo assim, podemos descrever a engenharia como a utilização de conceitos teóricos e habilidades técnicas para o desenvolvimento. Seja de máquinas, edificações ou quaisquer outras formas de melhorar e facilitar a vida da sociedade.

A Engenharia está diretamente ligada ao desenvolvimento de uma nação. Sua valorização vem aumentando com o passar dos anos e, nos países emergentes, como o Brasil, torna-se um ponto chave no caminho para o progresso, pois oferece a possibilidade de ampliação de infraestruturas do país para a melhoria dos serviços prestados à sociedade e a resolução de problemas econômicos e sociais.

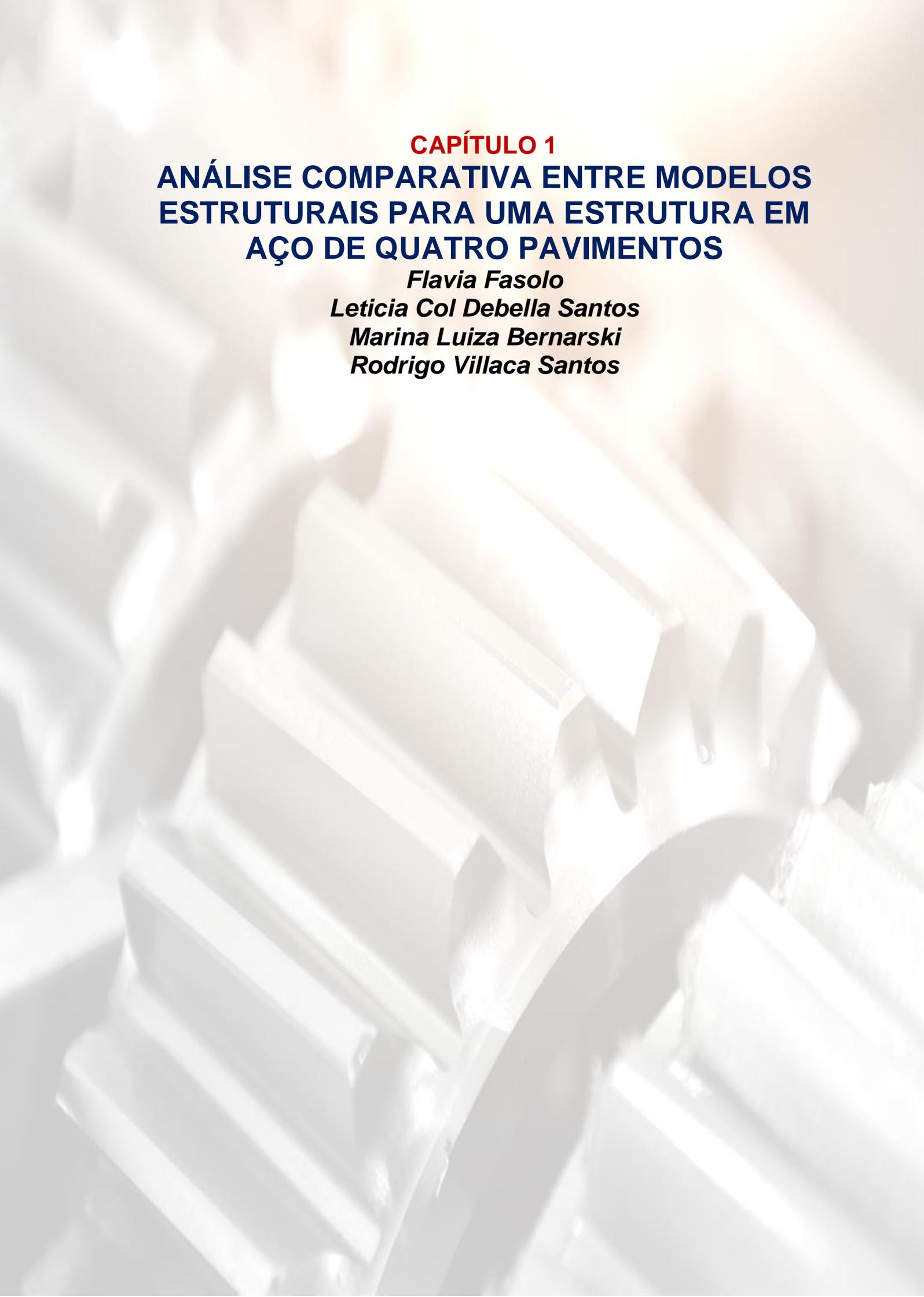
Os diferentes segmentos da Engenharia e entre os mais conhecidos estão as Engenharias Civil, Elétrica, Mecânica, Agrônoma, de Produção e Química, possibilitam o exercício de diversas áreas como planejamento, gestão de processos e produtos e desenvolvimento de tecnologias, o engenheiro tem uma atuação universal. A Engenharia é uma profissão que utiliza da sua Ciência para proporcionar, com responsabilidade, o desenvolvimento da sociedade a partir de estudo, planejamento e análise de projetos.

Em um mundo no qual as mudanças acontecem de forma rápida, e os recursos naturais são cada vez mais escassos, a engenharia tem papel importante para diminuir o impacto das adversidades climáticas e na preservação do meio ambiente. Isso só é possível graças às pesquisas e desenvolvimento de novos produtos de tecnologia verde.

SUMÁRIO

Capítulo 1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS ESTRUTURAIS PARA UMA ESTRUTURA EM AÇO DE QUATRO PAVIMENTOS <i>Flavia Fasolo; Leticia Col Debella Santos; Marina Luiza Bernarski; Rodrigo Villaca Santos</i>	9
Capítulo 2 DESENVOLVIMENTO DE COLETE COM SENSORES EMBARCADOS PARA APLICAÇÃO CIVIL E MILITAR <i>Ricardo Ribeiro; Filipe Wiltgen</i>	20
Capítulo 3 PROTÓTIPOS E PROTOTIPAGEM RÁPIDA ADITIVA: SUA IMPORTÂNCIA NO AUXÍLIO DO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO <i>Filipe Wiltgen</i>	36
Capítulo 4 A UTILIZAÇÃO DE CHAMOTE EM PRODUTOS DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA <i>Kelson Silva de Almeida; Maria Eduarda Santos Ferreira; Joelma Silva de Almeida; Camila de Sousa Moura Almeida</i>	48
Capítulo 5 ANÁLISE POR MICROSCOPIA EM ARGAMASSA DEVIDO À AÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS NOS MUNICÍPIOS DE JUAZEIRO BA / PETROLINA PE <i>Alan Christie da Silva Dantas; Bruno Marinho Calado</i>	60
Capítulo 6 MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA VOLTADA PARA SISTEMAS DE SEGURANÇA VEICULAR <i>Marcelo Lopes; Filipe Wiltgen</i>	75
Capítulo 7 TOTAL QUALITY MANAGEMENT (TQM): ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NA BASE SCOPUS <i>Murilo Roberto Jesus Maganha</i>	94
Capítulo 8 DEFINIÇÃO DE ÁREAS CLASSIFICADAS POR MODELOS DE DISPERSÃO DE GASES <i>Estellito Rangel Junior</i>	113
Capítulo 9 FUTURO REATOR A FUSÃO NUCLEAR DO TIPO TOKAMAK – MÁQUINA DE ENGENHARIA DESAFIADORA <i>Filipe Wiltgen</i>	122

Capítulo 10 ICONECTAGRO <i>Thalia Strellov dos Santos; Wagner Schmiescki dos Santos; Luan Martin Arejano; Cairo Schulz Klug; Henrique Peglow da Silva; Rafael Miritz Bartz; Dienifer Radtke; João Gabriel Ruppenthal; Franciele Kroessin; Maurício Silveira Quadro</i>	143
Capítulo 11 IMPACTOS DO PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL NA CARREIRA DOS EGRESSOS EX-BOLSISTAS DO CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS <i>Thalia Strellov dos Santos; Rafael Miritz Bartz; Guilherme Hirsch Ramos; Murilo Gonçalves Rickes; Ritchelli Teixeira Duarte; Wagner Schmiescki dos Santos; Talisson Natan Tochtenhagen; Samuel Wachholz Reichow; Karen Raquel Pening Klitzke; Maurício Silveira Quadro</i>	151
Capítulo 12 NÍVEL DE AVALIAÇÃO DA PLANTA DE IPTU DE PORTO ALEGRE: A DEFASAGEM EXISTENTE ATÉ 2020 <i>Samuel Poeta</i>	160
Capítulo 13 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL PARA A MANUFATURA AVANÇADA COM APOIO DA ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS <i>Wagner Comenale; Filipe Wiltgen</i>	169
Os Autores	186



CAPÍTULO 1
**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS
ESTRUTURAIS PARA UMA ESTRUTURA EM
AÇO DE QUATRO PAVIMENTOS**

Flavia Fasolo
Leticia Col Debella Santos
Marina Luiza Bernarski
Rodrigo Villaca Santos

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MODELOS ESTRUTURAIS PARA UMA ESTRUTURA EM AÇO DE QUATRO PAVIMENTOS

Flavia Fasolo

Mestranda no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFPR.

flaviarfasolo@gmail.com

Leticia Col Debella Santos

Doutoranda no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFPR.

Professora no Depto. De Engenharia Civil da Universidade Estadual de Ponta

Grossa. leticiacoldebella@hotmail.com

Marina Luiza Bernarski

Engenheira Civil na SMART sistemas construtivos. marinalubernarski@hotmail.com

Rodrigo Villaca Santos

Professor Doutor na Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

rodrigo.villaca@hotmail.com

Resumo: Com as diversas possibilidades de modelos estruturais disponíveis em programas computacionais de cálculo, torna-se, por vezes, complexa a definição correta do modelo a ser adotado. Nessa perspectiva, o objetivo desse trabalho é comparar e verificar os esforços de um edifício de quatro pavimentos a ser construído em aço A-36, pelo programa Ftool 4.0 e pelo programa SAP2000, visando verificar a viabilidade de planificação de estruturas para obtenção dos esforços cortantes e de momento fletor. Para tanto, utilizou-se do modelo estrutural de pórticos planos e espaciais, o que permitiu analisar o comportamento do edifício para cada um dos modelos estruturais adotados. Assim, torna-se evidente que por ser um método prático, o método de pórticos planos apresentou resultados em geral satisfatórios, possibilitando a planificação de estruturas para simulações de baixa complexidade. Tendo isso exposto, o presente trabalho torna-se relevante uma vez que tal decisão, de acordo com Kimura (2007), implicará diretamente no desempenho do projeto.

Palavras-chave: análise estrutural, modelos estruturais, estruturas em aço.

Abstract: With the various possibilities of structural models available in computational programs, the correct definition of the model to be adopted is sometimes complex. In this perspective, the objective of this work is to compare and verify the efforts of a four

floors building to be built in A-36 steel, by the Ftool 4.0 program and the SAP2000 program, aiming to verify the feasibility of planning structures to obtain cutting efforts and bending moment. For that, we used the structural model of flat and spatial frames, which allowed to analyze the behavior of the building for each of the structural models adopted. Thus, it is evident that as a practical method, the flat frame method has presented generally satisfactory results, allowing the planning of structures for low complexity simulations. Having said that, the present work becomes relevant since this decision, according to Kimura (2007), will directly imply the performance of the project. **Keywords:** Structural analysis, structural models, steel structure.

INTRODUÇÃO

De acordo com Vasconcelos (2003), grande parte do progresso existente em novas estruturas deve-se aos cálculos executados por intermédio de sistemas computacionais. Assim, há um ganho não só em redução considerável de horas de trabalho, bem como, das possibilidades do acometimento de falhas. Nessa perspectiva, simultaneamente ao computador houve o surgimento dos softwares, os quais tornaram-se indispensáveis na vida moderna. Entretanto, é fundamental a compreensão da dinâmica dos programas computacionais, assim como, o questionamento dos resultados obtidos na análise pelo engenheiro civil, uma vez que a utilização de tais ferramentas não o desresponsabiliza do projeto apresentado.

Segundo Chagas (2012), o avanço tecnológico possibilitou a minimização do superdimensionamento de estruturas, uma vez que as análises estruturais passaram a apresentar valores mais precisos e menos conservadores. Dessa forma, visando o cálculo do comportamento de estruturas é possível a adoção de diferentes modelos estruturais, os quais possuem suas próprias características que se propõem a simular uma estrutura real com base nos melhores resultados para cada análise de esforços.

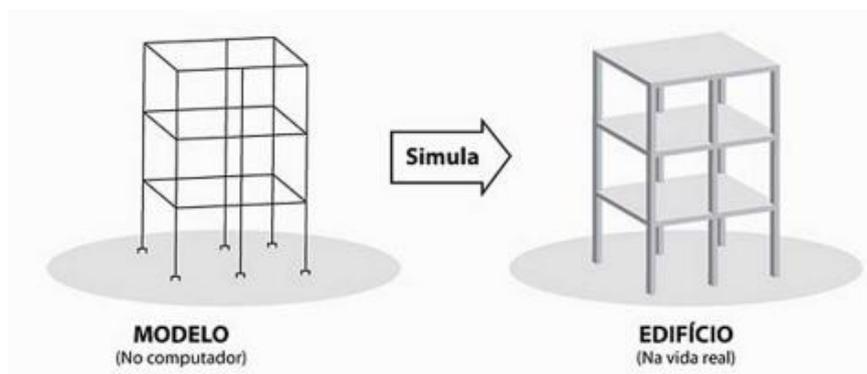
Assim sendo, no meio acadêmico, os educandos deparam-se frequentemente com softwares em formato bidimensional, como o Ftool, o qual tem como objetivo calcular um modelo de quatro planos para melhor compreensão das estruturas, todavia, de uma maneira mais simples e conservadora. Em contrapartida, há o SAP2000, um dos softwares utilizados para cálculo de estruturas tridimensionais, onde é possível considerar inúmeras diretrizes que fazem parte do cálculo estrutural de uma forma mais complexa.

Dentro dessa realidade, articulou-se esse trabalho, que tem como objetivo comparar e verificar as tensões e deformações de pórticos – planos e espaciais, pelos programas SAP2000 e Ftool.

ANÁLISE ESTRUTURAL

De acordo com a NBR 6118 (2003), o objetivo da análise estrutural consiste na obtenção dos efeitos gerados pelas ações atuantes, com base em um modelo estrutural que busca simular um edifício real a partir de meios computacionais. Em outros termos, citando KIMURA (2007), a análise consiste em averiguar os deslocamentos e esforços nas peças estruturais que compreendem uma estrutura. Ou ainda, segundo Martha (2007), é a etapa do projeto estrutural na qual é feita uma previsão do comportamento da estrutura.

Figura 1 - Modelo estrutural adotado para simular um edifício real

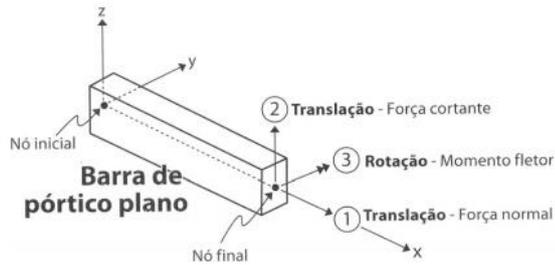


Fonte: KIMURA, 2007.

Em busca de uma definição do comportamento da estrutura real surge o modelo estrutural dos pórticos planos, os quais admitem a aplicação de cargas verticais e horizontais tendo em vista uma análise global de um edifício.

Nesse modelo, segundo Kimura (2007), cada nó apresenta três graus de liberdade, sendo duas translações e uma rotação. Ademais, a estrutura é analisada com base em barras – que representam as vigas e os pilares – dispostas em um mesmo plano vertical, sendo que a laje não compõe o modelo. Isso tudo, possibilita a obtenção dos deslocamentos e esforços (força normal, cortante e momento fletor) atuantes nas peças estruturais em análise.

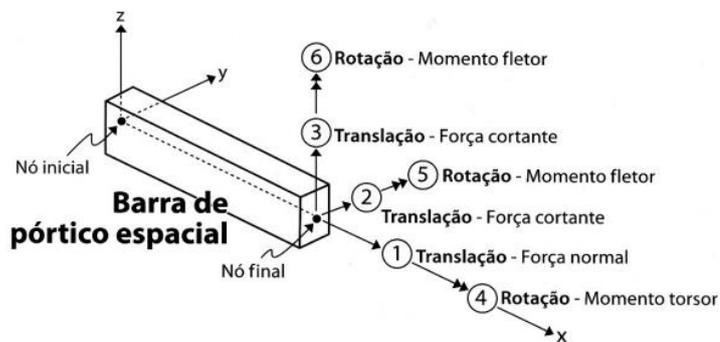
Figura 2 - Graus de liberdade de um nó de um pórtico plano



Fonte: KIMURA, 2007.

No entanto, em conformidade com Kimura (2007), o pórtico espacial consiste em um modelo tridimensional que viabiliza a aplicação simultânea de cargas verticais e horizontais, o que permite analisar o comportamento do edifício em todas as direções e sentidos. Cada nó possui seis graus de liberdade, sendo três translações e três rotações. Dessa forma, esse modelo permite a obtenção de deslocamentos e esforços (força normal, cortantes, momentos fletores e torsor) nas vigas e pilares de toda a estrutura.

Figura 3 - Graus de liberdade de um nó de um pórtico espacial



Fonte: KIMURA, 2007.

SAP2000

O SAP 2000 é um software de análise estrutural baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF). À vista disso, o programa discretiza a estrutura em pequenas regiões (pontos) onde se efetuam os cálculos, sendo a precisão dos resultados relacionada ao número de discretizações, conforme Velozza (2009). Nesse

sentido, nota-se que quanto mais refinada a malha de elementos finitos, melhores os resultados, todavia, demandará mais tempo para o processamento.

De acordo com Sudbrack (2016), este software oferece múltiplas possibilidades de carregamentos e solicitações, o que oportuniza sua aplicação para quaisquer análises estruturais, uma vez que é concebível a modelagem de diversos tipos de estrutura.

Segundo Melo (2016), o SAP2000 é um programa notavelmente flexível – em virtude das suas facilidades que tornam a sua interface intuitiva quando comparado a demais softwares que similarmente empregam o Método dos Elementos Finitos. Embora haja programas mais versáteis e completos, do ponto de vista didático, ele é uma ferramenta interessante para obtenção de esforços em estruturas, o que o torna muito presente no cotidiano de estudantes da disciplina.

Ftool

A análise não linear geométrica em projetos estruturais culminou no desenvolvimento do software Ftool, o qual destina-se à análise estrutural de pórticos planos com fins educacionais, apresentando os diagramas de força normal, cortante e momento fletor (SILVA; MENEZES; MARTHA, 2016).

De acordo com Andreatta da Costa e Ramiro (2017), trata-se de um sistema operacional que ocupa um ramo pouco explorado por programas educacionais. A sua simplicidade, bem como, sua praticidade, buscam incentivar o aprendizado do comportamento estrutural de pórticos planos, treliças e vigas por meio de verificações de inúmeras alternativas para a modelagem de estruturas.

O programa possibilita a obtenção imediata de todos os deslocamentos e esforços em barras. E, no que diz respeito ao método de cálculo do software, esse consiste em um meio matemático que contempla as condições necessárias para uma análise estrutural, sendo esse conhecido como método dos deslocamentos. Nessa análise, busca-se determinar as incógnitas com base nas soluções de deslocamentos que satisfazem as condições de compatibilidade e equilíbrio.

Assim sendo, o programa colabora para o melhor entendimento do comportamento das estruturas e melhor compreensão das disciplinas que envolvem a análise estrutural (RAMIRO; ANDREATTA-DA-COSTA; BERNARDES, 2014).

Materiais e métodos

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram analisados um pórtico plano e um espacial através dos softwares Ftool 4.00 e o SAP2000®, respectivamente. Tais estruturas foram submetidas as mesmas cargas, o que possibilitou a análise e comparação de diferentes panoramas de tensões entre ambos os modelos, a fim de verificar a viabilidade da planificação de elementos tridimensionais.

Dessa forma, o trabalho prevê a realização da análise de esforços em pórticos, os quais possuem um pavimento tipo com dimensões de 5 x 5 metros, equivalentes a um edifício de 4 pavimentos, sendo esses com um pé-direito de 3 metros. Essa análise é feita utilizando dois modelos válidos de obtenção de esforços, ou seja, a mesma estrutura será modelada duas vezes de acordo com o software mais adequado à rotina de cálculo característica de cada modelo. Assim, é possível obter os diferentes resultados que tais modelos fornecem para um mesmo elemento estrutural.

Para tanto, convencionou-se que as vigas e pilares serão constituídos de estruturas metálicas, sendo então empregue o aço A-36. Logo, adotou-se para os pilares o perfil W250x115,0 e, para as vigas, o perfil W310x52,0. As cargas uniformemente distribuídas são equivalentes em ambos os modelos e iguais a 50 kN/m nas vigas e 20 kN/m nos pilares, quanto às cargas concentradas verticais alternou-se entre os nós 110 kN e 130 kN e, para as cargas concentradas horizontais, adotou-se 50 kN e 60 kN.

Figura 4 - Análise pelo método estrutural do pórtico plano pelo software Ftool

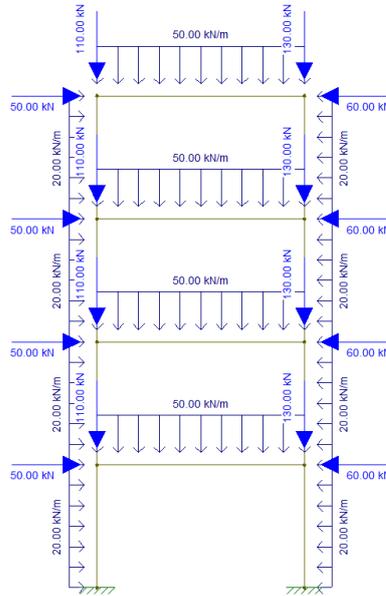
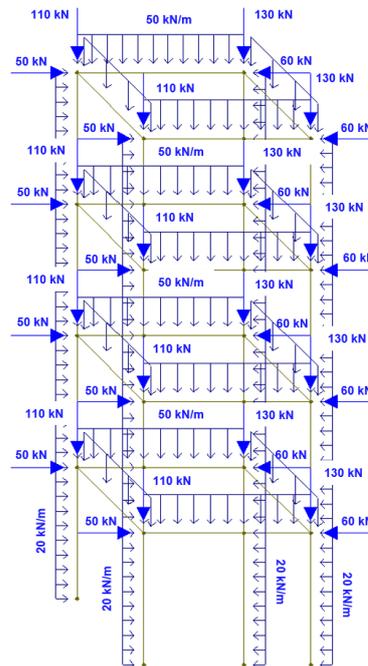


Figura 5 - Análise pelo método estrutural do pórtico espacial pelo software SAP2000



Resultados e discussões

As tabelas abaixo apresentam os esforços máximos – de esforço cortante e momento fletor, que foram obtidos para cada um dos quatros pavimentos analisados por meio das simulações realizadas tanto no Ftool quanto no SAP2000.

Tabela 1 - Comparação entre os esforços cortantes máximos obtidos para cada um dos 4 pavimentos pelo Ftool e pelo SAP2000

Esforço Cortante Máximo (Q) (kN)		
Pavimento	Ftool	SAP2000
1	139,27	143,94
2	138,43	140,87
3	134,07	135,33
4	129,88	130,12

Tabela 2 - Comparação entre os momentos fletores máximos obtidos para cada um dos 4 pavimentos pelo Ftool e pelo SAP2000

Momento Fletor Máximo (M) (kN.m)		
Pavimento	Ftool	SAP2000
1	131,8	129,11
2	131,73	125,39
3	122,07	113,35
4	104,07	88,34

Observa-se que o modelo de pórticos espaciais apresentou uma maior correspondência aos pórticos planos em relação aos esforços cortantes, denotando, em todos os casos, valores maiores que os averiguados pela análise realizada pelo Ftool. Em contrapartida, os momentos fletores proveniente da simulação realizada pelo SAP2000 apresentaram resultados que, apesar de menores que os obtidos pelo Ftool, demonstram-se ainda bastante correspondentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função da estrutura analisada ter uma configuração de pequena complexidade, a utilização dos modelos planejados apresentou resultados satisfatórios. Visto que os esforços obtidos utilizando o Ftool não apresentaram uma significativa distorção em comparação aos apontados pelo SAP2000, tanto no que diz respeito aos esforços cortantes, quanto aos momentos fletores.

Dessa forma, torna-se evidente que para estruturas mais simples é possível a utilização de modelos planos disponíveis em programas 2D, permitindo uma eficiente simulação a partir de uma ferramenta gratuita – como o Ftool, que também dispõe de um método mais simples de análise.

Todavia, apesar dos modelos mais simples serem aceitos e apresentarem bom desempenho na obtenção de esforços de estruturas simples, é preciso verificar se o emprego do modelo de pórticos espaciais acarretaria em um projeto estrutural com resultados mais próximos da realidade em estruturas mais complexas e esbeltas. Nessa perspectiva, sugere-se para a continuação do estudo a análise de tais estruturas.

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR. 6118: Projeto de estruturas de concreto–Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ANDREATTA-DA-COSTA, Luciano; DA SILVA RAMIRO, Fabiano. O estudo de estruturas hiperestáticas à luz da teoria da Aprendizagem Significativa. Revista Liberato, v. 18, n. 29, 2017.

CHAGAS, Daniel Pereira. Análise comparativa entre modelos estruturais para edifícios de concreto armado. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

KIMURA, Alio. Informática aplicada a estruturas de concreto armado. Oficina de Textos, 2018.

MARTHA, Luiz Fernando. FTOOL–Um programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas. Versão educacional, v. 2, p. 33, 2002.

MELO, Carlos Eduardo Luna de. ANÁLISE ESTRUTURAL COM O SAP 2000. 2016. 48 f. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia – Tec, Universidade de Brasília, Brasília, 2016

RAMIRO, F. S.; COSTA, L. A.; BERNADES, J. A. Softwares Educacionais–Seu Uso e Importância no Ensino–Aprendizagem dos Alunos de Engenharia Civil. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE), Juiz de Fora. 2014.

SILVA, Maria Flavia DS; MENEZES, Ivan FM; MARTHA, Luiz Fernando. Um método simplificado para análise não-linear geométrica no Ftool. Revista Interdisciplinar De Pesquisa Em Engenharia, v. 2, n. 24, p. 286-306, 2017.

SUDBRACK, Augusto. Análise de estruturas de concreto armado sob efeito do vento com auxílio de software computacional. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.

VASCONCELOS, A. C., O Engenheiro de estruturas se beneficia com o computador?, TQSNews nQ 18, São Paulo, 2003.

VELOZA, Lucas Tunis Martins. Análise Dinâmica de Estruturas, utilizando o software SAP 2000. 2009. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.



CAPÍTULO 2
DESENVOLVIMENTO DE COLETE COM
SENSORES EMBARCADOS
PARA APLICAÇÃO CIVIL E MILITAR

Ricardo Ribeiro
Filipe Wiltgen

DESENVOLVIMENTO DE COLETE COM SENSORES EMBARCADOS PARA APLICAÇÃO CIVIL E MILITAR

Eng. Ricardo Ribeiro

<https://orcid.org/0000-0003-4807-1425>

Engenheiro Eletricista (1998) pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Pós graduado (2008) em Administração Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Mestrando (2022) na Universidade de Taubaté (UNITAU). Engenheiro com experiência de mais de 20 anos de atuação em empresas de Alimentos e Bebidas, Química, Metalúrgica e de Autopeças. Atuando em engenharia e manutenção industrial e automação industrial, instrumentação e controle, energia e utilidades, melhoria continua e confiabilidade. Ricardo.Reno@uol.com.br

Prof. Dr. Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté (UNITAU), e também, Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC Pindamonhangaba e Bauru), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial. LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um colete sensorizado com tecnologia embarcada e vestível para ser aplicado como um tipo de assistente pessoal na realização de tarefas de natureza civil ou militar no qual o usuário cumpre uma missão cuja atenção é máxima, e assim, evitando se colocar em riscos desnecessários durante a realização das tarefas devido a eventos paralelos não associados diretamente a ação principal. Esse dispositivo deve ser capaz de fornecer ao usuário informações básicas como mudanças atmosféricas, presença de gases tóxicos,

orientação via bússola, orientação de inclinação, temperatura e oxigenação corporal, batimento cardíaco e localização. O protótipo do dispositivo proposto, dada a sua natureza complexa, deverá ter um plano sistematizado de testes e ensaios (procedimento detalhado) baseado em técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos visando verificar e comprovar o nível de maturidade do desenvolvimento.

Palavras-chave: Sensores, Sistemas Embarcados, Controle, Engenharia de Sistemas & Requisitos, Tecnologia Vestível.

ABSTRACT

This paper presents development of a sensorized vest with embedded and wearable technology to be applied as a type of personal assistant in carrying out tasks of a civil or military nature in which user fulfills a mission whose attention is maximum, and thus, avoiding putting himself in unnecessary risks during the performance of tasks due to side events not directly associated with the main action. This device must be able to provide the user with basic information such as atmospheric changes, presence of toxic gases, compass orientation, inclination orientation, body temperature and oxygenation, heartbeat and location. The proposed device prototype, given its complex nature, should have a systematized test and testing plan (detailed procedure) based on Systems & Requirements Engineering techniques to verify and prove the development maturity level.

Keywords: Sensors, Embedded Systems, Control, Systems & Requirements Engineering, Wearable Technology.

1. INTRODUÇÃO

O uso de uniformes especiais, tem como objetivo a proteção do usuário em situações de risco. Na indústria são classificados como equipamentos de proteção individual, podendo desempenhar diversos tipos de proteção (balística, térmica, sinalização, entre outras).

No Brasil, dado os altos índices de acidentes relacionados a tarefas profissionais, cerca de ~60% dos acidentes (MF, 2018). Todo o desenvolvimento de equipamentos relativos à segurança pessoal que possam dar auxílio e subsídio ao usuário são importantes.

Essas informações reforçam a necessidade de utilizar equipamentos de proteção que possam fornecer de forma substancial algum tipo de proteção real, e não apenas um elemento paliativo estático de proteção individual (KAYA e DAGDEVIREN, 2016).

O desenvolvimento de um colete sensorizado pode ser adequado para diversos cenários de operação e dispor de sensores extras se necessário. O dispositivo tem aplicações civis e militares.

Este desenvolvimento em particular deste colete sensorizado proposto nesta

pesquisa tem importância significativa para as forças de segurança, forças policiais, forças armadas, defesa civil, corpo de bombeiros, guarda costeira, busca, resgate e salvamento, além de profissionais em operações rotineiras de manutenção e montagens de redes de eletricidade, tv e telefonia suspensa, redes de gasodutos, transporte de energia elétrica em postes e torres de transmissão, de distribuição de gás encanado e em ambientes confinados.

O crescente desenvolvimento das tecnologias em equipamentos vestíveis aliados a uniformes profissionais vem disponibilizando diversas opções de implementação de sistemas eletrônicos vestíveis e embarcados possibilitando a interação homem-máquina, nesse caso homem-uniforme. Como a proposta visa utilizar este colete como um uniforme profissional capaz de simular um tipo de assistente pessoal artificial embarcado na forma de tecnologia vestível este dispositivo deve ser interpretado como uma máquina vestível, permitindo elevada capacidade de interação entre o equipamento e o usuário.

As constantes trocas de informações e coleta de sinais entre um equipamento eletrônico embarcado, de apoio ativo e um usuário, permite ao mesmo a liberdade para exercer outras atividades relevantes na ação operacional designada (RHODES, 1997).

Equipamentos vestíveis sensorizados permitem que informações importantes possam ser compartilhadas quase que instantaneamente, ajudando na decisão, tanto pelo indivíduo quanto pela equipe de apoio remoto, pois a possibilidade de comunicação remota permite essa flexibilidade na troca de informação.

O dispositivo tem a capacidade de oferecer o monitoramento em tempo real, e também, remoto das condições de saúde do usuário, com o uso de tecnologias específicas de sensores que podem estar em contato direto com o usuário integrados ao colete, tais como, o monitoramento de temperatura corporal, batimento cardíaco, níveis de glicose, oxigenação e outros. Permitindo assim, o controle efetivo de cada membro da equipe em campo e garantindo o acompanhamento evolutivo da operação.

No decorrer deste artigo tem-se a abordagem das tecnologias embarcadas vestíveis com destaque a pontos importantes relacionados a integração com dispositivos eletrônicos de uso profissional em campo, características e aplicações, procedimentos e planos sistemáticos de testes proposto para o colete, o tipo de sistema de controle e de comunicação implementados e a composição diversa do

sistema de sensores integrados que irão compor o sistema proposto para o colete sensorizado.

2. TECNOLOGIAS EMBARCADAS DO TIPO VESTÍVEL

As tecnologias embarcadas consistem em sistemas microcontroladores encapsulados no interior dos dispositivos controlados por eles, realizando a operação de controle, automação, comunicação ou monitoramento baseado nos requisitos específicos de projeto, mantendo total interação com o mundo físico real através de sensores e atuadores capazes de realizar as tarefas de entrada e saída.

O termo dispositivo vestível refere-se a toda tecnologia eletrônica ou computacional incorporada e embarcada diretamente em peças do vestuário ou nos acessórios utilizados por um indivíduo.

Esses dispositivos podem ser utilizados confortavelmente no dia a dia, assim como, ficar em contato direto com a superfície do corpo humano. Possuem a capacidade de executar tarefas semelhantes a de um computador, porém com a capacidade de utilização de sensores para a análise do ambiente em tempo real (MEHTAB e ABDULRAHMAN, 2018).

Atualmente existem diversos dispositivos vestíveis com tecnologias embarcadas (RIBEIRO e WILTGEN, 2021), tendo funções específicas que interagem com equipamentos móveis de comunicação agregadas com programas de aplicativos. Tem se como exemplo, os relógios de pulso inteligentes que contam passos, monitoram o sono e os batimentos cardíacos, assim como, óculos inteligentes com a função de realidade aumentada (NGUYEN-HUU *et al.*, 2018).

Em muitos casos tecnologias embarcadas possuem a capacidade de sensoriamento e rastreamento de variáveis biológicas e fisiológicas multiplicando a capacidade e a percepção humana, incorporando uma forma de consciência artificial em sua funcionalidade com o propósito de alertar e avisar o seu usuário quando houver mudanças do ambiente ao seu redor (PASCOE, 1998).

As aplicações de alta performance na área dos esportes utilizam de recursos das tecnologias vestíveis para realizar aquisição e monitorar uma diversidade de sinais biológicos que são analisados por aplicativos específicos, permitindo aos instrutores utilizarem as informações relevantes e que resultem em táticas assertivas, permitindo o alcance do máximo desempenho dos atletas. Na Figura 1 é possível notar a aplicação de dispositivos vestíveis coletando sinais de um atleta em treino (WILTGEN

e CHAGAS, 2022).

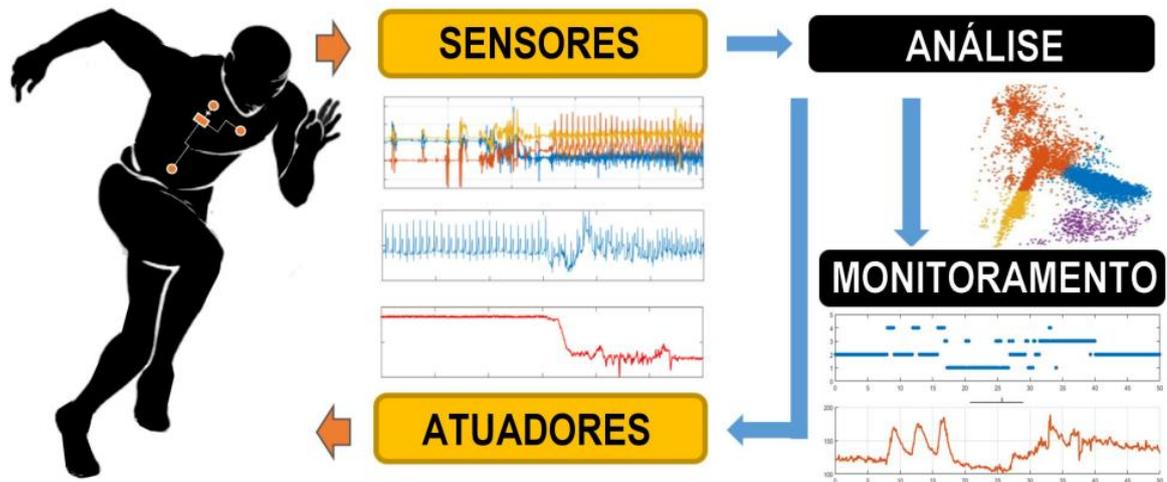


Figura 1. Dispositivos vestíveis embarcados.
Fonte: Próprios Autores.

Pesquisas e desenvolvimentos na área dos componentes têxteis eletrônicos utilizam fios do tecido revestidos por materiais especiais e de tecnologias avançadas, permitido a confecção de componentes eletrônicos incorporados aos sistemas embarcados, tais como sensores com diversas aplicações bioquímicas, sensores e tecnologias de radiofrequência agregados ao tecido, formando um único dispositivo vestível (DOLEZ *et al.*, 2020; ISLAM, *et al.*, 2020).

Além disso, existem tintas especiais e outros compostos químicos avançados que permitem o desenvolvimento de componentes como mini e micro supercapacitores incorporados junto às fibras do próprio tecido, que conseguem carregar e armazenar energia elétrica para alimentar os dispositivos vestíveis (AFROJ *et al.*, 2021; BEAG and LEE, 2020; HEO *et al.*, 2018; GU *et al.*, 2019; LAM PO TANG, 2007; PU *et al.*, 2016). Outro avanço em eficiência energética em dispositivos vestíveis está aliada ao uso de novas tecnologias para a conversão de energia eletromecânica usando como fonte primária os movimentos realizados pelo próprio corpo do usuário (QI *et al.*, 2010).

Na área da saúde, novos dispositivos permitem o monitoramento contínuo dos sinais fisiológicos dos pacientes, fora do ambiente hospitalar, o que implica em diagnósticos mais rápidos e assertivos auxiliando na prevenção de doenças (ERDEN *et al.*, 2016; BONATO, 2003).

Na Figura 2 É possível notar a grande quantidade de sinais, tanto humanos, quanto do ambiente que podem ser interpretados e analisados durante as atividades rotineiras.



Figura 2. Diferentes tipos de tecnologias vestíveis.
Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2015).

Integrações de dispositivos vestíveis embarcados ampliam as possibilidades de uso da tecnologia a campos de atuação profissional os quais ainda não foram devidamente mapeados e nem explorados (RODRIGUES *et al.*, 2018; ZDRAVEVSKI *et al.*, 2017; AMORIM, *et al.*, 2019; CHEN *et al.*, 2018; BILLINGHURST and STARNER, 1999; SILVA *et al.*, 2015; LUI and SUN, 2016).

Os dispositivos vestíveis com tecnologias embarcadas podem realizar a análise e recebimento de sinais com outros equipamentos remotos interligando diversos equipamentos e operando em conjunto obtendo dados interessantes e relevantes do comportamento humano em determinados ambientes e tarefas profissionais (ATZORI *et al.*, 2010; AL-FUQAHA *et al.*, 2015; MIHOVSKA and SARKAR, 2013; MAHMOUD and MOHAMAD, 2016; WEI, 2014).

3. CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DO COLETE SENSORIZADO

O objetivo dessa pesquisa é desenvolver, construir e testar um protótipo físico real do colete sensorizado é torná-lo um equipamento de apoio operacional ativo, nas

situações em que é necessário o monitoramento em tempo real como apoio ao usuário, localmente (sistema de controle assistente artificial) ou remotamente (base operacional assistente real) tornando o colete um equipamento complementar à segurança das pessoas envolvidas no evento (WILTGEN, 2022A; WILTGEN, 2019; WILTGEN, 2022B; WILTGEN, 2022C; WILTGEN, 2021).

O colete com todos os aparatos eletrônicos deve ter a funcionalidade de um uniforme profissional.

Como a função básica do sistema proposto é ser capaz de coletar e fazer análises preliminares dos parâmetros dos sensores, decidir qual informação deve ser transmitida ou informada ao usuário, cabe ao usuário atentar para as informações de alerta quando necessário, tanto na forma de texto quanto na forma de voz. O dispositivo tem uma função especial semelhante à de uma “caixa preta” de aeronaves, no qual todos os dados de registros operacionais relevantes, serão gravados em memória física, os quais podem ser recuperados em caso de emergência.

O sistema tem um módulo destinado apenas para o gerenciamento de energia elétrica que é capaz de prolongar a autonomia do colete diminuindo se necessário o fluxo de amostragem de sinais dos sensores, ou até mesmo, ligar ou desligar alguns sistemas de comunicação e sensores não prioritários a medida em que a energia elétrica do colete se tornar escassa.

Esse equipamento dada a sua natureza complexa, precisa de um plano de testes e ensaios na forma de um procedimento baseados em técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) conhecida como *RTD&E (Research, Test, Development and Evaluation)* que permite acompanhar e monitorar o amadurecimento tecnológico obtido via a análise de maturidade tecnológica medida pelo avanço do *TRL (Technology Readiness Level)* (WILTGEN, 2022B; WILTGEN, 2022C; WILTGEN, 2021; SILVA *et al.*, 2019).

A técnica baseada no planejamento de ensaios em ambiente controlado (*DT&E – Development Test and Evaluation*) é realizada antes dos ensaios operacionais de campo (*OT&E – Operacional Test and Evaluation*) perfazendo e completando todo o plano de ensaios *RTD&E* (WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2022B; WILTGEN, 2022C; WILTGEN, 2021; SILVA *et al.*, 2019).

Os ensaios em ambientes controlados *DT&E* preveem três tipos distintos de testes: os testes individuais, os testes de integração progressiva e os testes de integração completa.

Na Fase de Testes Individuais (FTI) cada componente e suas partes serão submetidos a testes de conformidade, de acordo com os seus dados de fabricação. Na Fase de Testes de Integração Progressiva (FTIP) serão agrupados por similaridades os subsistemas os quais serão testados e analisados. Neste momento os testes, em conjunto com as sub-rotinas do sistema de controle *firmware* passa a ser executado e subdividido apenas com as rotinas de teste. Por fim, na Fase de Testes de Integração Completa (FTIC) todos os subsistemas serão individualmente integrados, analisados e apenas após a constatação de que estejam funcionando corretamente é que um outro subsistema será integrado, assim seguirá até que todo sistema esteja completo.

Na Figura 3 é possível observar o planejamento detalhado a respeito dos ensaios *DT&E* utilizando a técnica de *IDEF0* de ESR que permite determinar as relações entre as fases de testes (WILTGEN, 2020).

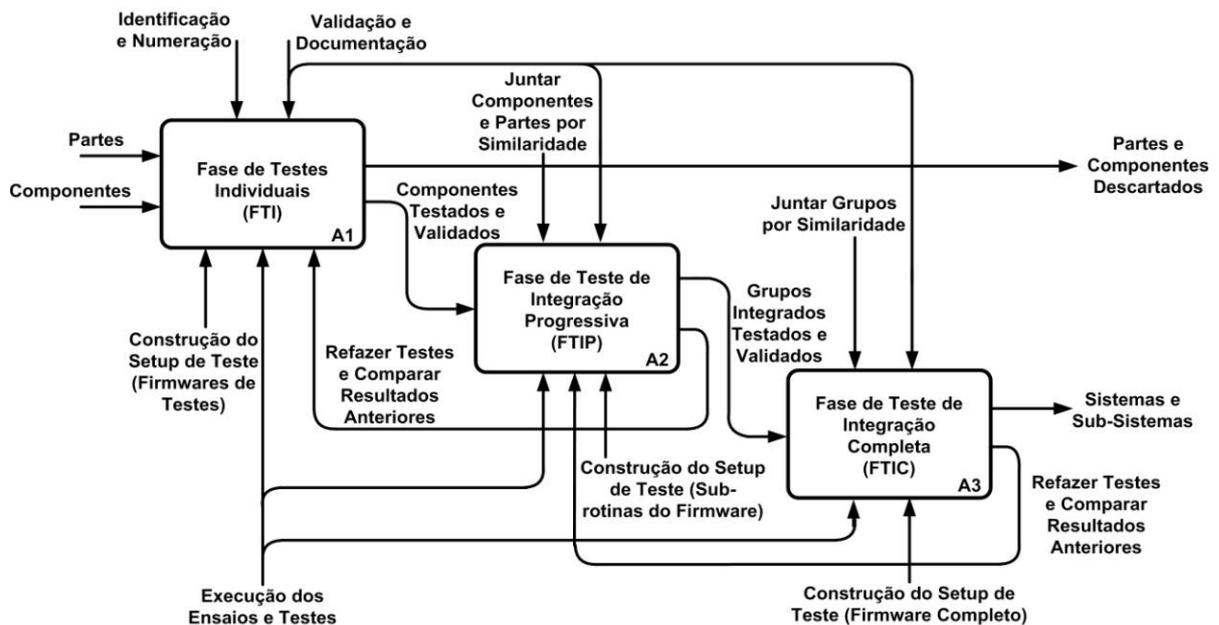


Figura 3. Distribuição dos sensores utilizados no protótipo do coletor.

Fonte: Wiltgen (2020).

O objetivo deste plano de ensaios, além de alcançar o desenvolvimento e maturidade tecnológica, é também, para minimizar o surgimento de panes ou falhas, tanto de componentes quanto de programação (*firmware*) do sistema de controle (WILTGEN, 2021).

4. SISTEMA DE CONTROLE E DE COMUNICAÇÃO DO COLETE

O sistema de controle adotado para o colete sensorizado é baseado no microcontrolador *Atmega 2560* em uma plataforma Arduino na família Mega.

Dada a flexibilidade de alimentação elétrica, gerenciamento de dados e de comunicação, optou-se pelo uso de dois microcontroladores operando em conjunto. Um microcontrolador será dedicado ao controle do sistema, gerenciamento de energia e das comunicações. O outro microcontrolador ficará dedicado ao gerenciamento dos sensores com os sinais de entrada e saída, bem como do armazenamento de dados de emergência (caixa preta).

A plataforma Arduino *Mega 2560* possui pequena dimensão e peso o que permite não atrapalhar os movimentos do usuário, facilitando também o seu condicionamento no interior do colete.

A quantidade de entradas e saídas disponíveis são ajustadas conforme a natureza das aplicações pretendidas, assim como, a facilidade de conexão de outros sistemas de comunicação, além da capacidade de comunicação serial *SPI*, *I2C* e *USB* para os mais diversos componentes.

O processador *Atmega 2560* possui 8 bits com arquitetura do tipo *RISC* com 256 kB na memória *Flash*, 8kB de memória *RAM* e 4kB na memória *EEPROM* e frequência de operação em 16MHz, alimentado via baterias elétricas. Seu *firmware* será desenvolvido com base em múltiplos *firmwares* operando de forma paralela tipo mestre-escravo no qual o Arduino de controle e comunicações vai operar como o mestre, e o Arduino de gerenciamento de sensores como escravo.

5. SENSORES UTILIZADOS NO COLETE

A disposição dos sensores no colete deverá seguir o modelo proposto na Figura 4.



Figura 4. Distribuição dos sensores utilizados no protótipo do colete.
Fonte: Wiltgen (2020).

Observe na Figura 4 que além dos dispositivos de entrada de sinais, representados pelo conjunto de sensores, há também, os elementos de saída e interação direta com usuário, assim como, a presença de dispositivos para comunicações remotas, apoio e interfaces de geração autônoma de energia elétrica.

No grupo sensores, as funcionalidades previstas estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1. Sensores do colete.

Grupo	Descrição
Gases	Sensor Gás CO - Monóxido de Carbono
	Sensor Gás CO ₂ – Dióxido de Carbono
	Sensor Gás O ₂ – Oxigênio
	Sensor de Gás Compostos - GLP
Posicionamento	Bússola Digital
	GPS
	Inclinômetro
	Acelerômetro
Ambiental	Sensor Temperatura
	Sensor Umidade
	Luminosidade
	Ultrassônico
	Estação Meteorologia (Pressão x Temperatura x Umidade)
Comunicação	Microfone

Grupo	Descrição
	<i>Câmera VGA</i>
Fisiológico	<i>Batimento Cardíaco</i>
	<i>Temperatura Corporal</i>

Os elementos que compõem a Tabela 1, permitem que em operação rotineira seja realizado o monitoramento em tempo real de todos os sensores com a única função de fornecer subsídios de informações do ambiente e do usuário durante um determinado evento cuidando de sua vida e sua saúde.

Na Tabela 2, é possível notar os sinais de apoio, fontes de energia elétrica, sistemas de comunicações e dispositivos térmicos utilizados no colete.

Tabela 2. Elementos de apoio, energia, comunicações e térmicos.

Grupo	Descrição
Apoio	<i>Iluminação Flash SOS</i>
	<i>Iluminação Infra Vermelho</i>
Energia Elétrica	<i>Baterias Recarregáveis</i>
	<i>Painel Fotovoltaico</i>
	<i>Gerador Termoelétrico Modelo Seeback</i>
Dispositivos Térmicos	<i>Resfriadores Modelo Peltier</i>
Sistemas de Comunicação	<i>SMS</i>
	<i>GPRS</i>
	<i>LoRa</i>
	<i>Painel de Comunicação via Texto</i>

O sistema de apoio em campo do colete tem como função fornecer a flexibilidade necessária para o usuário disponibilizando iluminação de emergência, iluminação tipo flash piscando em código Morse (SOS), iluminação do tipo infravermelho e ultravioleta, possibilitando a sua localização térmica sempre que outras interferências não permitirem a sua visualização pelos meios normais.

O sistema de comunicação disponível para envio de sinais é utilizado para o monitoramento remoto e o recebimento de informações de instruções importantes ou mesmo para os alertas necessários.

O sistema utiliza como fonte de alimentação externa dos microcontroladores será necessário adaptar um conjunto de baterias recarregáveis de alta intensidade e longa duração no interior do colete, além do uso alternativo e emergencial baseado no uso de células fotovoltaicas e geradores termoelétricos do tipo *Seebeck*. Ambos, fixados às áreas externas do colete e ligados ao gerenciador de carga do sistema de controle do colete.

A refrigeração do conjunto será fornecida por células do tipo *Peltier*, fixados ao colete em regiões estratégicas, permitindo o controle da temperatura nos dispositivos de controle microcontrolados (controle e comunicações), assim como, fornecendo o conforto necessário ao usuário do colete no controle da temperatura interna.

5. DISCUSSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A evolução tecnológica nos campos da eletrônica, dos materiais e da computação permitem o desenvolvimento de dispositivos embarcados, em especial os vestíveis, com tamanhos reduzidos e grande capacidade de processamento possibilitando um elevado nível de interação entre o ambiente e o usuário.

Metodologias que permitam o uso de técnicas e procedimentos baseados em planos de ensaios de desenvolvimento (*RDT&E*) dividem o projeto em duas fases, com os primeiros resultados obtidos em ambiente controlado como de um laboratório (*DT&E*) e posteriormente em ambientes relevantes ou operacionais em campo (*OT&E*).

O colete sensorizado iniciará a sua fase de testes em ambiente controlado (*DT&E*), em um laboratório, com a primeira etapa a ser executada sendo a fase de testes individuais (FTI) no qual todos os componentes serão testados individualmente e documentados tendo como referência os respectivos dados dos fabricantes.

Também haverá a necessidade de executar testes de validação operacional no conjunto eletrônico de controle principal que são as duas plataformas do tipo Arduino *Mega 2560*.

Após essa etapa com a conclusão dos testes integrados em ambiente controlado (*DT&E*) inicia-se a fase de testes operacionais em campo (*OT&E*).

O aspecto mais importante do teste operacional em campo é a validação independente de todos os requisitos do usuário no desenvolvimento do sistema. Isso contribui para que o projeto e desenvolvimento do colete alcance de forma sustentável e consistente a maturidade tecnológica (*TRL*) esperada para dispositivos dessa natureza.

Espera-se que dispositivos similares a este colete sensorizado possam no futuro próximo prover a segurança necessária ao usuário permitindo realizar suas tarefas de forma rápida, eficiente e com total segurança. A ideia de vestir uma máquina que possa lhe fornecer informações diversas do ambiente não é mais uma ficção científica, será disponibilizada na forma de dispositivos comerciais vestíveis como uniformes

profissionais autônomos e conscientes.

REFERÊNCIAS

- AFROJ, S., ISLAM, M.H., KARIM, N., ***Multifunctional Graphene-Based Wearable E-Textiles***. Multidiscip. Digit. Inst. Proc.. v.68(11), pp.11-13, 2021.
- AL-FUQAHA, A., GUIZANI, M., MOHAMMADI, M., ALEDHARI, M., AYYASH, M., ***Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications***. IEEE Commun. Surv. Tutorials. V.17(04), pp.2347-2376, 2015.
- AMORIM, V.P., SILVA, M.C., OLIVEIRA, R.R., ***Software and Hardware Requirements and Trade-Offs in Operating Systems for Wearables: A Tool to Improve Devices' Performance***. Sensors. v.19(08), 2019.
- ATZORI, L., IERA, A., MORABITO, G., ***The Internet of Things: A Survey***. Computers Networks. v.54(15), pp.2787-2805, 2010.
- BAEG, K.J., LEE, J., ***Flexible Electronic Systems on Plastic Substrates and Textiles for Smart Wearable Technologies***. Advanced Materials Technologies. v.05(07), pp.1-19, 2020.
- BILLINGHURST M., STARNER, T., ***Wearable Devices: New Ways To Manage Information***. Comput. IEEE. v.32(01), pp.57-64, 1999.
- BONATO, P., ***Wearable Sensors/Systems and Their Impact on Biomedical Engineering***. IEEE Eng. Med. Biol. Mag.. pp.18-20, 2003.
- CHEN, S.T., LIN, S.S., LAN, C.W., HSU, H.Y., ***Design and Development of a Wearable Device for Heat Stroke Detection***. Sensors. v.18(01), pp.1-15, 2018.
- DOLEZ, P.I., DECAENS, J., BUNS, T., LACHAPELLE, D., VERMEERSCH, O., ***Applications of Smart Textiles in Occupational Health and Safety***. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. v.827(01), pp.1-6, 2020.
- ERDEN, F., VELIPASALAR, S., ALKAR, A.Z., CETIN, A.E., ***Sensors in Assisted Living: A Survey of Signal and Image Processing Methods***. IEEE Signal Process. Mag.. v.33(02), pp.36-44, 2016.
- GU, Y., ZHANG, T., CHEN, H., WANG, F., PU, Y., GAO, C., ***Mini Review on Flexible e Wearable Electronics for Monitoring Human Health Information***. Nanoscale Research Letters. v.14(01), pp.1-15, 2019.
- HEO, J.S., EOM, J., KIM, Y.H., PARK, S.K., ***Recent Progress of Textile-Based Wearable Electronics: A Comprehensive Review of Materials, Devices, and Applications***. Small, v.14(03), pp.1-16, 2018.

ISLAM, G.N., ALI, A., COLLIE, E.S., ***Textile Sensors for Wearable Applications: A Comprehensive Review***. Cellulose, v.27(11), pp.6103-6131, 2020.

KAYA, B.Y., DAGDEVIREN, M., ***Selecting Occupational Safety Equipment by MCDM Approach Considering Universal Design Principles***. Human Factors Ergonomics Manufacturing Service and Industries. v.26(02), pp.224–242, 2016.

LAM PO TANG, S., ***Recent Developments in Flexible Wearable Electronics for Monitoring Applications***. Transactions Institute of Measurement and Control. v.29(03–04), pp.283-300, 2007.

LIU, J., SUN, W., ***Smart Attacks against Intelligent Wearables in People-Centric Internet of Things***. IEEE Commun. Mag.. v.54(12), pp.44-49, 2016.

MAHMOUD, M.S., MOHAMAD, A.A.H., ***A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications***. Scientific Research Publishing. v.06(02), pp.19-29, 2016.

MEHTAB, M., ABDULRAHMAN, A., ***Purpose, Scope, and Technical Considerations of Wearable Technologies***. Wearable Technologies. Concepts, Methodologies and Application. v.01(04), pp.1-20, 2018.

MF, Ministério da Fazenda, ***Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho: AEAT 2018***. v.01(04), 2018. 14p.

MIHOVSKA, A., SARKAR, M., ***Cooperative Human-Centric Sensing Connectivity***. Intech Open. V.32, pp.137-144, 2013.

NGUYEN-HUU, K., SONG, C.G., LEE, E.W., ***Smartwatch/Smartphone Cooperative Indoor Lifelogging System***. International Journal Engineering Technology. Innovattion. v.08(04), pp.261–273, 2018.

PASCOE, J., ***Adding Generic Contextual Capabilities to Wearable Computers***. Digest of Papers Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. N.98EX215). pp.92–99,1998.

PU, X., LIU, M., LI, L., HAN, S., LI, X., JIANG, C., DU, C., LUO, L., HU, W., WANG, Z., ***Wearable Textile-Based In-Plane Microsupercapacitors***. Advanced Energy Materials. v.6(24), pp.1-7, 2016.

QI, Y., JAFFERIS, N.T., LYONS, K., LEE, C.M., AHMAD, H., MCALPINE, M.C., ***Piezoelectric Ribbons Printed Onto Rubber For Flexible Energy Conversion***. American Chemical Society. v.10(02), pp.524-528, 2010.

RHODES, B.J., ***The Wearable Remembrance Agent: A System For Augmented Memory***. Personal Technologies. v.01(04), pp.218–224,1997.

RIBEIRO, R., WILTGEN, F. ***Desenvolvimento de Colete com Sensores Embarcados para Aplicação Civil e Militar***. XXIII Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa (SiGe). 28-29 setembro, pp.1-5, 2021.

RODRIGUES, J.C., REZENDE, D.B., JUNQUEIRA, H.A., SABINO, M.H., PRINCE, R.I., MUHTADI, J., ALBUQUERQUE, V.C., **Enabling Technologies for the Internet of Health Things**. IEEE. v.6, pp.13129-13141, 2018.

SILVA, B.C., RODRIGUES, J.C., DÍEZ, I., LÓPEZ-CORONADO, M., SALEEM, K., **Mobile-Health: A Review of Current State in 2015**. Journal Biomedical Informatics. v.56, pp.265-272, 2015.

SILVA, M.C., AMORIM, V.J.P., RIBEIRO, S.P., OLIVEIRA, R.A.R., **Field research cooperative wearable systems: Challenges in requirements, design and validation**. Sensors. V.19(20), pp.1-24, 2019.

WEI, J., **How Wearables Intersect with the Cloud and the Internet of Things: Considerations for the Developers of Wearables**. IEEE Consum. Electron. Mag.. v.03(03), pp.53-56, 2014.

WILTGEN, F., **Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. 10º Congresso Brasileiro Engenharia Fabricação (COBEF). São Carlos, 5-7 agosto, pp.1-5, 2019.

WILTGEN, F., **Fabricação de Protótipos para Testes Experimentais**. Revista de Engenharia e Tecnologia. v.14(02), pp.1-13, 2022A.

WILTGEN, F., **Técnica de Ensaios de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos**. Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas. v.04(01), pp.51-60, 2020.

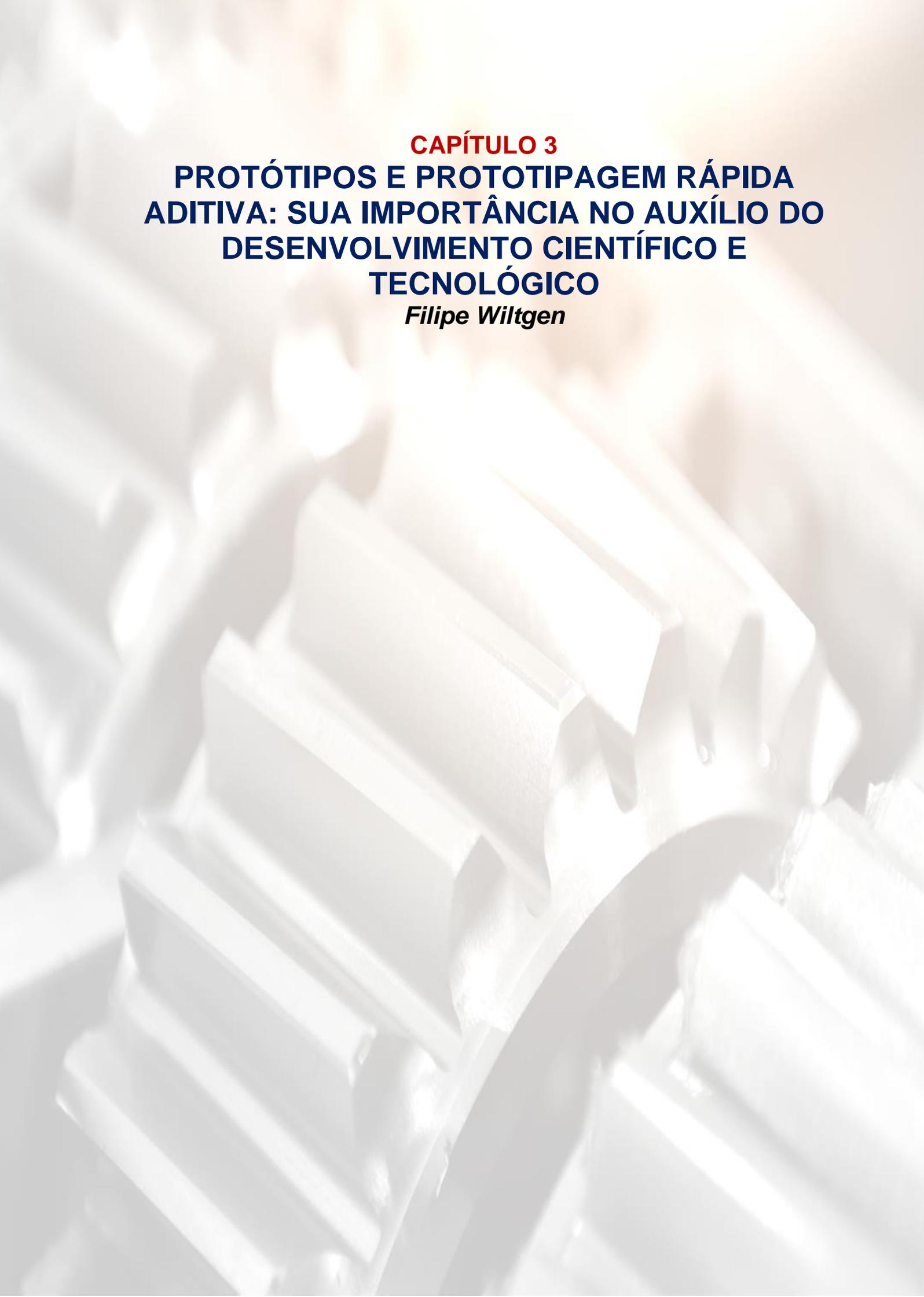
WILTGEN, F., **Testing Plan in Systems & Requirements Engineering for Strategic Engineering Areas**. 26º International Congress Mechanical. Engineering (COBEM). Curitiba, 22-26 novembro, pp.1–10, 2021.

WILTGEN, F., **Análise no Domínio do Problema com Técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos**. Revista Tecnologia, pp.1-20, 2022B, aguardando publicação.

WILTGEN, F., **Projetos Baseados em Requisitos**. Revista de Engenharia e Tecnologia. v.14(01), pp.240-251, 2022C.

WILTGEN, F., CHAGAS, F., **Dispositivo para a Medição de Intensidade e Acúmulo de Impactos para a Prática Esportiva**. Revista Tecnologia, pp.1–12, 2022, aguardando publicação.

ZDRAVEVSKI, E., LAMESKI, P., TRAJKOVIK, V., **Improving Activity Recognition Accuracy in Ambient-Assisted Living Systems by Automated Feature Engineering**. IEEE, v.5, pp.5262-5280, 2017.



CAPÍTULO 3
PROTÓTIPOS E PROTOTIPAGEM RÁPIDA
ADITIVA: SUA IMPORTÂNCIA NO AUXÍLIO DO
DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E
TECNOLÓGICO

Filipe Wiltgen

PROTÓTIPOS E PROTOTIPAGEM RÁPIDA ADITIVA: SUA IMPORTÂNCIA NO AUXÍLIO DO DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

Prof. Dr. Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté (UNITAU), e também, Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC Pindamonhangaba e Bauru), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial. LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

Resumo

Este artigo descreve a importância da construção de protótipos no desenvolvimento da pesquisa científica e tecnológica com a ajuda da prototipagem rápida aditiva. A manufatura baseada na prototipagem rápida aditiva disponibiliza a facilidade de testar uma peça, um dispositivo completo ou mesmo uma funcionalidade, o que permite agilizar o desenvolvimento tecnológico de inovação. A utilização de impressoras 3D com tecnologia de Modelagem por Deposição Fundida (FDM – Fused Deposition Modeling) devido ao custo acessível e a praticidade de utilização tem auxiliado muitos protótipos de testes os quais seriam difíceis de se obter por outro método de manufatura, quer pelo custo, quer pelo tempo e complexidade construtiva. A construção de protótipos no desenvolvimento técnico científico é de fundamental importância para a realização de ensaios físicos que permitem o amadurecimento tecnológico, o que faz parte de processos de construção e desenvolvimento principalmente de dispositivos considerados novos ou inovadores.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Prototipagem Rápida, Impressão 3D, Modelagem, Protótipo.

ABSTRACT

This article describes the importance of prototype construction in development of scientific and technological research with the help of additive rapid prototyping. Manufacturing based on additive rapid prototyping provides the ease of testing a part, a complete device, or even a feature, which enables faster technological development

of innovation. The use of 3D printers with Fused Deposition Modeling (FDM) technology due to affordable cost and practicality of use has aided many prototype tests which would be difficult to obtain by another manufacturing method either by cost, or by time and constructive complexity. The construction of prototypes in scientific technical development is of fundamental importance for physical realization tests that allow technological maturation, which is part of construction and development processes mainly of devices considered new or innovative.

Keywords: Additive Manufacturing, Rapid Prototyping, 3D printing, Modeling, Prototype.

1. INTRODUÇÃO

O surgimento de novas tecnologias de manufatura sempre criam quebras de paradigmas (Alcalde e Wiltgen, 2018; Wiltgen, 2019), o que ocorreu quando surgiu o primeiro torno elétrico, as primeiras máquinas de comando e controle numérico (CNC), foi assim também, com a primeira impressora 3D.

Uma impressora 3D é baseada na tecnologia de manufatura aditiva (Nishimura *et al.*, 2016) diferente de um torno, cuja tecnologia é de manufatura subtrativa. Como o próprio nome diz, na manufatura aditiva o objeto a ser construído é fabricado com a inserção de material, na quantidade e na posição pré-determinada por um modelo digital desenhado em um arquivo do tipo CAD (*Computer Aided Design* – Desenho Assistido por Computador). Desta forma, tornando esse tipo de fabricação mais econômica porque evita o desperdício de matéria prima.

A manufatura subtrativa (Rodrigues *et al.*, 2012) surgiu antes da manufatura aditiva. Esta é baseada na remoção de matéria prima para a construção de um objeto, de tal forma como faz um escultor. O objeto a ser construído é “*lapidado*” por uma máquina que retira a parte desnecessária do material para criar o objeto, com isto é necessário ter mais matéria prima do que a necessária para construir o objeto.

No desenvolvimento técnico e científico que leva a criação de novos e inovadores produtos (Volpato, 2007) sempre a necessidade de construir um objeto físico real para teste. Mesmo que este seja fabricado em escala reduzida não é uma tarefa fácil, e quase nunca economicamente viável. Isso porque esses dispositivos são na verdade descartáveis após os testes dado que sua função principal é permitir a realização de testes para melhorias no seu desenvolvimento.

O desenvolvimento de um dispositivo, peça, conjunto completo ou uma funcionalidade necessita da realização de simulações digitais com modelos digitais complexos, como vem sendo utilizado nas primeiras fases de criação e

desenvolvimento técnico científico, mas são os ensaios e testes funcionais com modelos físicos reais em protótipos que efetivamente geram o amadurecimento tecnológico permitindo os ajustes necessários para ter um produto comercializável (Rodrigues *et al.*, 2012 e Wohlers, 1999).

Sabe-se que a utilização de um protótipo físico real é uma etapa insubstituível no desenvolvimento tecnológico, pois o objeto é posto a prova em seu ambiente de uso real no qual muitas vezes não é possível simular em um computador devido a suas complexidades e suas imprevisibilidades que atuam diretamente nas funcionalidades do protótipo, e que desta forma possibilitam ao desenvolvedor a oportunidade de melhorar o projeto.

Sob o ponto de vista acadêmico científico a utilização de prototipagem rápida é uma ferramenta ímpar para acelerar as pesquisas realizadas no âmbito de pesquisas de mestrado e doutorado, principalmente no mestrado, no qual o tempo de desenvolvimento e obtenção de resultados é menor.

Desta forma, quer seja na indústria ou na academia (Alcalde e Wiltgen, 2018) a utilização de protótipos, e também, da manufatura aditiva se mostram como ferramentas importantes de auxílio no desenvolvimento de novos produtos.

2. IMPORTÂNCIA DOS PROTÓTIPOS

Testar e realizar ensaios é uma das tarefas de grande importância no desenvolvimento de novos dispositivos. Entretanto, para realizar testes e ensaios reais é necessário ter um modelo físico real que seja similar, mesmo que em escala reduzida, do dispositivo a ser testado. Este modelo recebe o nome de protótipo.

Durante o processo de desenvolvimento de novos produtos podem ser gerados vários protótipos para testes funcionais, até que o comportamento e as funcionalidades atendam aos requisitos de projeto, e assim se comportem como o esperado no ambiente de uso.

Os protótipos podem ser construídos a partir de qualquer coisa, mesmo em papel ou madeira, é comum na indústria automobilística fazer protótipos de novos projetos e designs com massa de modelar. O protótipo deve ser fiel a idéia do projeto, para que possa ser representativo do que se pretende testar. Atualmente muitas funcionalidades podem ser testadas via simulações computacionais, e assim é feito. Entretanto, em um determinado estágio do desenvolvimento é necessário trazer o modelamento digital matemático-geométrico para o mundo físico real (Lino *et al.*,

2000).

No mundo real as condições ambientais têm enorme influência no comportamento de um protótipo, quer seja, pela dilatação causada pela diferença de temperatura em um dia quente e úmido, quer seja, pela contração estrutural ocorrida em um dia seco e frio. O comportamento de um determinado dispositivo em um ambiente não pode ser perfeitamente simulado sem a realização dos testes físicos reais, que muitas vezes servem inclusive para melhorar o comportamento e os resultados das simulações computacionais.

Um protótipo físico real permite a equipe de desenvolvimento analisar detalhadamente todas as partes e funcionalidades de um objeto, permitindo manusear, movimentar, verificar a anatomia, a forma, o peso e a rigidez. Muitas vezes o protótipo real pode substituir parte ou um conjunto completo apenas para ver se a dimensão está realmente correta, principalmente quando ele é apenas uma parte de um todo. O material de que o protótipo é construído depende do estágio em que ele se encontra. Em geral testes iniciais dimensionais ou funcionais simples são produzidos com material de baixo custo, pois durante esta fase é possível que seja necessário construir muitos protótipos diferentes até que seja aprovado nos testes.

Durante esta fase a utilização de uma tecnologia de baixo custo e rápida na fabricação faz muita diferença (Canciglieri *et al.*, 2015). É nesta fase que utilizar a manufatura aditiva via impressão 3D se torna um diferencial importante para a confecção de protótipos utilizando a técnica de prototipagem rápida aditiva.

Após esta etapa, são construídos os protótipos finais que são na verdade o produto piloto a ser produzido com material mais nobre e idêntico ao do produto real. Os ensaios validam e comprovam as funcionalidades disponibilizando os resultados para verificação e amadurecimento do protótipo dentro da escala TRL (*Technology Readiness Levels*) que é o nível de maturidade tecnológica alcançado no desenvolvimento de um projeto ou produto.

4. PROTOTIPAGEM RÁPIDA ADITIVA

Ser capaz de desenvolver modelos físicos reais (Myers and Norton, 1998) sempre foi importante e não é algo novo. Desde muito tempo a manufatura faz uso de protótipos construídos com materiais mais macios, menos nobres e de menor custo. Entretanto, o tempo gasto com as técnicas convencionais de usinagem, ou mesmo de

construção de moldes usinados, além de ter alto custo, possui também, considerável tempo de execução. Isso sem contabilizar o fato de que essa técnica necessita de mais matéria prima do que realmente será útil na confecção do objeto.

A primeira manufatura aditiva realizada via impressão 3D (Alcalde e Wiltgen, 2018) utilizou a técnica conhecida com SLS (Estéreo Litografia a Laser) no qual a sinterização a laser de um fluido produz um objeto físico camada por camada (técnica mais comum de impressão 3D). O material é relativamente frágil e seu custo na época não parecia ser competitivo como atualmente.

Entretanto, em poucos anos surgiu um projeto simples e inovador de impressora 3D baseado em um sistema de extrusão de plástico, similar ao que é utilizado em injeção plástica, mas em miniatura e com controle total da quantidade de material a ser derretido, e ao invés de utilizar um molde, a máquina sozinha excursiona nos três eixos XYZ, através de três motores de passo, e um outro motor de passo extra, utilizado no controle do plástico a ser derretido ou fundido. Esta técnica ficou conhecida como FDM (*Fused Deposition Modeling*) que é na verdade o processo de deposição por material plástico fundido camada por camada, de forma similar a máquina SLS.

Utilizar plásticos moldados a altas temperaturas (*termoplásticos*) como matéria prima de impressão 3D foi uma idéia originalmente brilhante, tanto pelo fato da resistência física do material plástico, quanto pelo baixo custo da própria máquina e da matéria prima utilizada.

A matéria prima usada em máquinas FDM para construção de um objeto é fabricada na forma de um cordão de filamento plástico bobinado em carretéis de aproximadamente 1kg, com espessura de 1,75 mm de diâmetro. O bico da extrusora da impressora 3D FDM ao derreter o plástico, reduz o diâmetro para 0,4 mm (mais comum), de tal forma que os objetos produzidos possam ter a aparência superficial quase lisa ao olhos humanos. Os plásticos mais comuns utilizados em impressoras 3D FDM são o ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) e o PLA (*Polylactic Acid*) ambos produzidos em várias cores diferentes.

Cada tipo de plástico possui qualidades e procedimentos diferentes de impressão 3D. O mais simples de utilizar com melhor custo/benefício é o PLA. Este termoplástico é biodegradável, além de poder ser reaproveitado na confecção de novos filamentos para impressão 3D. A utilização do PLA, não necessita que a máquina de impressão 3D possua a mesa (plataforma de confecção de objetos)

aquecida, como é o caso do uso do ABS.

Apesar do tempo de manufatura da prototipagem rápida aditiva não ser tão curto quanto todos gostariam, ainda sim é uma opção muito boa para acelerar os processos de desenvolvimento de novos produtos (Canciglieri *et al.*, 2007). Atualmente uma impressão 3D em uma máquina pequena de uso comercial demora entre 01 (uma) hora para objetos simples e pequeno, e até 10 (dez) horas para fabricar objetos complexos (muitos detalhes) ou grandes (volume iguais ou maiores que 30 (trinta) cm³). Cabe lembrar que mesmo assim, esta técnica ainda é mais rápida e de menor custo (incluindo o material) do que outros processos de manufatura tradicionais.

Após a realização de todos os testes com os protótipos de baixo custo (Lino *et al.*, 2001) é possível utilizar outras técnicas de custo mais elevado para a produção final de um protótipo, com material real de projeto e com acabamento necessário para ser produzido em escala comercial. Deve ficar claro que a prototipagem rápida é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento e não para fabricação em escala comercial. É por este motivo que a técnica é chamada de prototipagem, só se destina a fazer protótipos, simples ou complexos, mas apenas protótipos.

4. CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPOS NO DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E CIENTÍFICO

O desenvolvimento técnico e científico é baseado no amadurecimento de uma idéia com bases científicas e pesquisa tecnológica capaz de formular requisitos baseados em premissas que possam “*dissecar*” um problema e propor soluções técnicas capazes de resolvê-los. Como são necessárias soluções técnicas, e não apenas uma solução, em muitos casos estas soluções necessitam ser testadas computacionalmente via simulação, ou mesmo fisicamente sendo construídas.

A construção de protótipos capazes de apresentar soluções práticas que atendem a requisitos de um determinado projeto de pesquisa ou produto tecnológico atuam em benefício da diminuição do tempo para obter resultados científicos que impactam na vida humana (Alcalde e Wiltgen, 2018).

Dispositivos médicos ou farmacêuticos capazes de serem testados via a prototipagem rápida permitem aos pesquisadores, obter respostas mais rápidas de seus experimentos, e assim, disponibilizar mais rapidamente no mercado produtos inovadores. Imagine uma pílula que contém micro dispositivos impressos em 3D mecanizados roboticamente e capazes de transportar medicamentos em quantidades

ínfimas para serem acionados apenas quando necessário, por exemplo antibióticos potentes injetados diretamente no estômago do paciente. E que sejam devidamente descartados e excretados naturalmente pelo corpo humano.

Imagine um *Dispositivo de Auxílio Humano* (DAH), capaz de substituir movimentos básicos de uma mão ou um braço humano, acionados apenas por energia mecânica, de baixo custo, leves, versáteis e de código aberto (*open source*) podendo ser confeccionado em qualquer impressora 3D. Isso é realidade desde 2008 na organização não governamental do E-Nable (*enablingthefuture.org*).

Este projeto tem como objetivo ajudar crianças, isso porque o custo de DAH em crianças é alto devido ao curto tempo de vida do dispositivo dado pelo crescimento físico da criança. A maioria das famílias não possui recursos necessários para as trocas constantes deste dispendiosos dispositivos comerciais. Entretanto, com a fabricação dos mesmos via prototipagem rápida aditiva a realidade é outra, seu baixo custo permite que as crianças possam fazer uso de DAH compatíveis com seu crescimento tornando uma importante ferramenta de inclusão social e tecnológica. Pela fração de aproximadamente 40 (quarenta) vezes menor que o valor de uma prótese comercial, as famílias podem adquirir uma impressora 3D pessoal e imprimir em suas próprias casas um DAH por ano, durante toda a infância e juventude desta criança.

Outrossim, existe um horizonte de oportunidades que se trata da construção de equipamentos completos e funcionais sem a necessidade de montagens, também considerado como um grande diferencial da manufatura aditiva, ou seja, sua construção incorpora o processo de montagem sem que esta tarefa tenha que ser executada por um ser humano. Quando o objeto fica pronto basta ser utilizado sem ter que passar pelo tradicional processo de montagem final, tornando-o economicamente atrativo a aquisição de equipamentos de manufatura aditivos (Canciglieri *et al.*, 2015). Isto faz grande diferença em pequenas e médias empresas que começam a suas produções sem muitos funcionários podendo diminuir o custo final do produto, sem afetar muito a margem de lucro, baseando-se apenas na redução de custos fixos devido a esta tecnologia.

Na engenharia a prototipagem tem fundamental impacto, isso porque o projeto de uma máquina de impressão 3D é um produto tecnológico que ainda está se desenvolvendo, novas técnicas, novos materiais e novas máquinas devem ser foco desta área em ampla expansão.

Na engenharia (Vasconcelos *et al.*, 2001) a utilização de protótipos faz parte do processo criativo e científico. Na metodologia de engenharia de requisitos e de sistemas é fundamental ter como meta de desenvolvimento o planejamento de ensaios de protótipos para galgar os níveis mais altos de TRL, que em determinado momento habilitam o novo “*produto*” (Nevins and Whitney, 1989) passar para o estágio de fabricação para vendas utilizando a escala de níveis MRL (*Manufacturing Readiness Level*) que é o nível de maturidade de manufatura alcançado no desenvolvimento de um projeto ou produto.

Todos os estágios de um projeto são impactados a partir dos resultados dos ensaios dos protótipos. Estes ensaios têm o propósito de aperfeiçoar o desenvolvimento e acompanhar sua evolução sempre guiada pelos requisitos de projeto. A área de engenharia faz planejamento de campanhas de ensaios de protótipos de naturezas diferentes para ambientes e objetivos de testes diferentes. Os resultados dos ensaios permitem as melhorias necessárias para ter um produto que possa ser considerado confiável, de tal forma que o atendimento dos requisitos foram amplamente atingidos.

Os resultados de protótipos revelam suas melhorias a cada nova interação “*modelagem-teste-resultado*”. A informação dos resultados dos ensaios é devidamente traduzida na forma de uma nova modelagem, que novamente será fabricada e testada, gerando um novo resultado. Se o resultado satisfizer todos os requisitos de projeto não há a necessidade de continuar a refazer a modelagem digital. Entretanto, até que o resultado seja satisfatório é venha a ser validado, a interação “*modelagem-teste-resultado*” continua a solicitar a construção de novos protótipos para teste.

O cuidado no planejamento do protótipo e nos roteiros os ensaios são definitivos para obter resultados válidos e confiáveis. Em uma campanha de ensaios com protótipos, a prototipagem rápida aditiva se mostra a candidata perfeita para replicar protótipos. Construir protótipos iguais, com massas iguais e iguais dimensões, são definitivamente importantes a fim de não causar discrepâncias nos resultados experimentais. Um processo de manufatura de protótipos deve ter controle dimensional rígido para evitar que os resultados sejam invalidados.

Ensaio com protótipos construídos via prototipagem rápida aditiva, devem passar por inspeção dimensional completa incluindo a pesagem.

No caso de impressão 3D a grande maioria dos objetos não são construídos

sólidos (*a menos que seja necessário*), em geral são construídos com áreas de ocupação interna entre 10 (dez) e 80 (oitenta) % do volume, e em formato hexagonal (*mais comum formato de favo de mel*) o que confere ao objeto rigidez mecânica e leveza. Deve-se portanto ficar atento a imperfeições internas na confecção do objeto que podem alterar a massa de cada protótipo. Em testes de avaliação de características e esforços mecânicos, estas possíveis imperfeições internas podem alterar a massa e mudar também a configuração de rigidez mecânica de cada protótipo construído o que pode invalidar os resultados comparativos.

Apesar da prototipagem rápida aditiva ter uma boa repetibilidade é uma boa prática construir os protótipos de um determinado conjunto de ensaios na mesma máquina, e se possível no mesmo momento, já que impressoras 3D permitem construir várias peças de um só vez. Isso pode minimizar problemas dimensionais e acelera a realização dos ensaios e análise dos resultados.

5. CONCLUSÕES

Para discutir sobre as vantagens de se utilizar um protótipo deve-se primeiro verificar as contribuições e a relevância dos resultados obtidos com a sua utilização na realização de testes em ensaios. Seus resultados são sem dúvida uma fonte inestimável de conhecimento a respeito do desenvolvimento de um projeto ou produto. A resposta dada por um protótipo submetido a diversos tipos de testes deve agregar valor a seu amadurecimento tecnológico acelerando seu desenvolvimento e trilhando assim um breve caminho ao produto.

Esforços concentrados no desenvolvimento de novas técnicas e máquinas de prototipagem rápida aditiva tornam os processos mais rápidos, com menor custo e com diversos materiais novos que vão permitir aproximar os protótipos de testes cada vez mais aos produtos finais.

Sabe-se que o caminho para tornar a manufatura aditiva uma realidade economicamente viável em grande escala industrial ainda é longa. Entretanto, sabe-se também, do grande esforço e empenho mundial aplicado no crescimento desta área.

O desenvolvimento de novos materiais líquidos devem permitir a confecção do objeto de uma única vez sem a necessidade de construir camada por camada, acelerando muito o tempo de construção nas prototipagens rápidas aditivas. A solidificação o material no objeto completo projetado deve abrir caminho para escalas

produtivas maiores, permitindo que venha a se tornar competitiva no tempo e no custo.

Em um futuro não muito distante a manufatura aditiva permitirá a construção completa de um dispositivo, mesmo que este possua em sua composição diversos tipos de materiais diferentes. A intercambialidade automática de materiais na fabricação aditiva será algo revolucionário, e permitirá a pequena empresa criar seu produto completo em uma única máquina e de uma só vez, permitindo que a realização de ensaios e testes se transforme em algo absolutamente rotineiro e rápido.

Pode-se imaginar que esta forma de construção aditiva instantânea e com múltiplos materiais vai alterar profundamente a forma de encarar os processos produtivos, bem como, o conceito de indústria de manufatura.

A concepção de novas idéias podem ser mais facilmente desenvolvidas, tanto no âmbito científico e tecnológico, quanto no meio comercial e industrial utilizando protótipos e a prototipagem rápida aditiva, tornando o desenvolvimento técnico científico mais eficaz em sua essência, o que nada mais é, do que permitir aos seres humanos entender os mecanismos e o funcionamento da natureza, possibilitando melhorar a qualidade e a diversidade da vida no planeta.

REFERÊNCIAS

BIEL, W., LACKNER, K., SAUTER, O., WENNINGER, R., ZOHRM, H., **Comment on the Fusion Triple Product and Fusion Power Gain of Tokamak Pilot Plants and Reactors**. Nuclear Fusion. v.57, pp.038001, 2017.

ALCALDE, E., WILTGEN, F. **Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro**. Revista de Ciências Exatas, Universidade de Taubaté (UNITAU), v. 24(02), pp.12-20, 2018

CANCIGLIERI, O.J., SELHORST, A.J., SANT'ANNA, A.M.O., **Método de Decisão dos Processos de Prototipagem Rápida na Concepção de Novos Produtos**. Gestão de Produção, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 345-355, 2015.

Canciglieri, O. J., Junior, A.S. e Neto, A.I., **Processos de prototipagem rápida por deposição ou remoção de material na concepção de novos produtos uma abordagem comparativa**. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, 09-11 outubro, 2007.

LINO NETO, F. J., VASCONCELOS, M. T., VASCONCELOS, P. V., PEREIRA, A. V., SILVA, C. E. **Diluição de Fronteiras Entre o Design e a Indústria através da Prototipagem Rápida - Um Caso de Estudo**. Cadernos Empresariais, v.1(07), pp.58-63, 2000.

LINO, F.J., CAMBOA, H., PAIVA, B. E NETO, R.J., ***Direct Conversion of Rapid Prototyping Models***. Proceedings of the 1st International Materials Symposium, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Coimbra, 9-11 abril, 2001.

MYERS, Y., NORTON, J., ***Rapid Manufacturing with Rapid Tooling***. Prototyping Technology International. v.98, pp.30-34, 1998.

NEVINS, J.L., WHITNEY, D.E., ***Concurrent Design of Products and Processes***, McGrawHill, NY, 1989. 1002p.

NISHIMURA, P.L.G., RODRIGUES, O. V., JÚNIOR, G.B., DA SILVA, L.A., ***Prototipagem Rápida: Um Comparativo entre uma Tecnologia Aditiva e uma Subtrativa***. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, Belo Horizonte, 04-07 outubro, 2016.

RODRIGUES, O.V., ALENCAR, F., BARATA T.Q.F. ***Combining Rapid Prototyping with more Conventional Production Processes***. 5th International PMI Conference Proceedings. University College Ghent, v.1, p. 147-150, 2012.

VASCONCELOS, P., LINO, F.J. E NETO, R.J. ***O Fabrico Rápido de Ferramentas ao Serviço da Engenharia Concorrente***. Portugal, TECNOMETAL, 2001.

VOLPATO, N., ***Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações***. Edgard Blucher, 1ª edição. 2007. 272p.

WILTGEN, F., ***Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico***. 10 Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF 2019, São Carlos, 05-07 agosto, pp.1-6, 2019.

WOHLERS, T.T., ***Rapid Prototyping & Tooling – State of the Industry***. Worldwide Progress Report, 1999.



CAPÍTULO 4
**A UTILIZAÇÃO DE CHAMOTE EM PRODUTOS
DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA:
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Kelson Silva de Almeida
Maria Eduarda Santos Ferreira
Joelma Silva de Almeida
Camila de Sousa Moura Almeida

A UTILIZAÇÃO DE CHAMOTE EM PRODUTOS DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Kelson Silva de Almeida

Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano

e-mail: eng.kelson@ifpi.edu.br

Maria Eduarda Santos Ferreira

Instituto Federal do Piauí – Campus Floriano

Joelma Silva de Almeida

Prefeitura Municipal de Oeiras - PI

Camila de Sousa Moura Almeida

Governo do Piauí - Secretaria de Estado da Saúde

Resumo

O setor de cerâmica vermelha é apontado como grande gerador de resíduos, devido a sua produção e aumento de demanda, em especial o resíduo cerâmico queimado conhecido como chamote, o que tem provocado impacto negativo ao meio ambiente. A reciclagem de resíduos está cada vez mais em evidência em razão do volume gerado. A indústria de cerâmica vermelha, por sua característica heterogênea, tem se destacado na incorporação de resíduos, tanto por apresentar vantagens, quanto pelo maior rigor das leis atuais. Assim, este trabalho tem por finalidade expor uma visão geral sobre os efeitos da utilização de chamote em indústria de cerâmica vermelha, apresentando também resultados de artigos publicados de 2011 a 2021. O principal resultado esperado para o trabalho é a viabilidade de uso de chamote em produtos da indústria de cerâmica vermelha. Os resultados apontam quantidade escassa de pesquisas na área de reciclagem de chamote no período estudado, e que a utilização do mesmo em massa cerâmica está em conformidade com a legislação vigente e ainda contribui para a redução dos impactos negativos causados ao meio ambiente devido ao seu descarte em locais indevidos.

Palavras-chave: Cerâmica Vermelha, Chamote, Resíduo, Reciclagem.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os conceitos de reciclagem de resíduos e diminuição do uso de

matérias-primas tem estado cada vez mais em evidência, principalmente devido aos problemas ambientais causados pela disposição inadequada dos mesmos.

A indústria cerâmica se apresenta como grande geradora de resíduos e tem como principal o produto fora de especificação ou resíduo cerâmico queimado, conhecido como chamote. A reciclagem de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável, que diminui o impacto no meio ambiente, seja por minorar a quantidade de resíduos a descartar, seja por reutilizar os materiais poupando recursos naturais que, de outra maneira, seriam extraídos da natureza, notadamente no que concerne às matérias-primas para a construção civil (CAVALCANTI et al., 2017). Atualmente há um conceito chamado ecologia industrial que se trata de uma ferramenta que busca orientar o setor industrial a fim de usar materiais e energia de forma sustentável e também reduzir a geração de resíduos. Esta ferramenta considera os resíduos industriais como sendo subprodutos ou materiais alternativos que podem alimentar outra indústria (INOCENTE et al., 2018).

A Figura 1 apresenta o chamote e é possível analisar o descarte inadequado deste resíduo, o que pode gerar impactos negativos.

Figura 1 – Chamote - resíduo cerâmico queimado.



Fonte: Autoria Própria

Neste sentido o trabalho busca analisar, por meio de uma revisão bibliográfica, a utilização de chamote como matéria-prima cerâmica, devido ao caráter heterogêneo das massas de argila utilizadas pela indústria de cerâmica vermelha.

A principal motivação para o trabalho é a apontar a viabilidade de uso deste

resíduo e a partir disso reduzir os impactos negativos ao meio ambiente. Além disso busca-se apresentar uma revisão bibliográfica que sirva de base para trabalhos futuros.

Ressalta-se a importância do estudo a ser realizado tendo em vista a necessidade de reciclagem de chamote e a possibilidade de utilização dos mesmos na indústria de cerâmica vermelha, contribuindo para a reciclagem e manutenção ambiental, desenvolvimento de novos materiais e a sustentabilidade do setor cerâmico. Além disso, o trabalho apresenta possibilidade de contribuição para o tema de reciclagem de resíduos e também para diversos trabalhos que possam utilizá-lo como referência.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O setor da construção civil, em particular na manufatura de insumos, está em constante crescimento, o mesmo, embora seja responsável por relevante demanda ambiental, também apresenta grande impacto positivo na sociedade e na economia. No Brasil, este setor representa atualmente 5% do PIB nacional e estão entre os mais utilizados na construção civil (INOCENTE, 2018).

O setor de cerâmica vermelha se destaca também como grande gerador de resíduos, onde em toda a sua cadeia produtiva (da extração de matéria-prima a expedição dos produtos) gera algum tipo de impacto ambiental ou rejeito. (NAGALLI, 2014; SINDUSCON, 2015).

Cabe ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia avaliar a conformidade dos produtos cerâmicos, por meio da regulamentação técnica de caráter compulsório, assim, produtos fora de especificação não podem ser comercializados e é passível de advertência, multa, interdição da empresa ou apreensão de produtos em caso de descumprimento (INMETRO, 2019).

Os resíduos da indústria de cerâmica vermelha representam atualmente até 7% da produção global de materiais cerâmicos, o que implica em milhões de toneladas descartadas anualmente, a maior parte destes resíduos tem origem no descarte de peças defeituosas na queima na indústria ou aplicação final em construção, chamado de chamote (ARAUJO et al., 2019; BREKAILO et al., 2019).

A geração de resíduos de cerâmica vermelha (chamote) é um problema preocupante tendo em vista que a capacidade de deposição dos mesmos é cada vez mais limitada, assim, não há locais para armazenamento haja vista o volume produzido (WRIGHT; BOORSE, 2016). Assim, a fim de reduzir o impacto ambiental negativo, a reciclagem e reutilização dos resíduos de construção civil, em especial os de cerâmica vermelha, são importantes como forma de minimizar o emprego indiscriminado de materiais virgens, a degradação ambiental dada pela grande extração de recursos naturais e a deposição de rejeitos em aterros ou locais não regulamentados, além da redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes e melhoria da saúde e segurança da população (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002; CARMO; MAIA; CESAR, 2012).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) menciona a importância da prevenção e a redução na geração de resíduos, através da adoção da prática de hábitos sustentáveis, como a minimização da geração dos resíduos e da reciclagem, da reutilização e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, ou seja, todo o material que não pode ser reciclado ou reaproveitado (BRASIL, 2010). Assim, é essencial que haja maneiras de diminuir o impacto ambiental provocado pelo chamote, como por exemplo, a incorporação de resíduos em substituição parcial da argila em massas cerâmicas (MONTEIRO; VIEIRA, 2005).

Atualmente as indústrias têm buscado formas de minimizar os resíduos gerados, assim como encontrar meios de reutilizar os mesmos de maneira adequada, principalmente devido às novas leis ambientais em vigor. A incorporação em produtos cerâmicos é uma forma de tratamento para os resíduos industriais, reduzindo o volume de matéria-prima e imobilizando os mesmos a fim de evitar o impacto negativo ao meio ambiente. A indústria de cerâmica vermelha tem apresentado interesse em desenvolver materiais novos com a incorporação de resíduos como o chamote, podendo apresentar propriedades tecnológicas melhores e assim buscar o desenvolvimento de novas tecnologias viáveis para a reutilização desses resíduos (ROCHA; ZOREL; LANDO, 2017).

3. METODOLOGIA

A metodologia usada para a revisão bibliográfica, será identificar as publicações

científicas sobre o uso de chamote (resíduo cerâmico queimado) objetivando conhecer o que existe de publicação científica nesta área.

A pergunta norteadora definida neste estudo foi: quais as possibilidades de utilização de chamote em produtos da indústria de cerâmica vermelha?

Os critérios de seleção dos artigos utilizados foram: publicações disponíveis online nas plataformas de pesquisa como portal de periódicos da CAPES, Scielo, Google Acadêmico e Science Direct; em língua portuguesa ou estrangeira, de estudos desenvolvidos por pesquisadores publicados de 2011 a 2021. Serão considerados para o trabalho apenas artigos científicos, sendo retirados da pesquisa teses, monografias e trabalhos de conclusão de curso, buscando-se, quando possível, artigos derivados dos mesmos. Os descritores a serem utilizados são: chamote, chamote.

Após esta etapa de busca será realizada a leitura dos artigos para verificar quais estão enquadrados dentro da temática e período estabelecidos, em seguida será realizada a confecção do artigo de revisão bibliográfica para ser apresentado em congresso ou workshop e ainda para publicação em revista científica.

4. RESULTADO

O estudo iniciou com a seleção de artigos nas plataformas de pesquisa, utilizando-se os descritores, o resumo do resultado está apresentado na Tabela 01.

Tabela 1: Resultado da seleção de artigos.

Base	Resultados	Selecionados
Periódicos CAPES	368	10
Scielo	6	2
Google Acadêmico	253	12
Science Direct	204	6
Total	831	28

Após a fase de leitura, análise e seleção de artigos, alguns trabalhos significativos são apresentados na etapa de discussão do trabalho. Os artigos selecionados mostram o uso de chamote em formulações para produtos da indústria de cerâmica vermelha (telhas, tijolos, pavers, entre outros). Os outros artigos apresentados no resultado da pesquisa e não selecionados apresentam resultados diferentes do proposto pelo trabalho (uso de chamote em formulações para concreto e argamassa, análise do chamote como resíduo, simples citações ao termo chamote, entre outras).

5. DISCUSSÃO

Os artigos selecionado apontam o grande potencial da indústria de cerâmica vermelha em reciclar resíduos de diversos locais, haja vista que possui grande quantidade de argila, e que o chamote por ter característica fina (ou por possuir a capacidade de ser facilmente triturado) pode ser adicionado à massa cerâmica, diminuindo a possibilidade de acondicionamento inadequado dos mesmos, minimizando-se assim impactos negativos ao meio ambiente e em alguns casos podendo melhorar as características do produto final. Outro ponto importante são as técnicas de processamento relativamente simples (principalmente extrusão e prensagem) e também a heterogeneidade dos materiais. Neste sentido é evidente a capacidade de reciclagem de resíduos pela indústria de cerâmica vermelha (CARREIRO et al., 2016).

O chamote é classificado como inerte e reciclável, podendo ser utilizado como material incorporado à massa cerâmica. A sua utilização como material desta natureza está condicionada à sua granulometria, podendo ser encontrada em forma de pó ou pedaços maiores, assim o chamote classifica-se como material redutor de plasticidade, podendo provocar mudanças nas propriedades mecânicas, retração e absorção de água do produto de cerâmica vermelha formado.

Outro ponto importante do efeito da utilização do chamote é a possibilidade do aumento da dureza e densificação dos produtos de cerâmica vermelha, devido ao enriquecimento da massa de argila com o quartzo presente no resíduo e também pela

formação de maior quantidade de fase vítrea.

Nesta parte são apresentados trabalhos realizados na área de aproveitamento do chamote em cerâmica vermelha com seus resultados obtidos.

Azevedo *et al.* (2020) analisaram a possibilidade de utilização de chamote para produção de telhas cerâmicas. Os resultados apontaram que o chamote mostrou-se adequado para utilização na produção cerâmica. Isso gera menor emissão de CO₂ em relação à etapa de queima na produção de telhas convencionais, além de promover o reaproveitamento dos resíduos, sendo uma alternativa que contribui para a sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

Silva e Soares (2020) analisaram o efeito da adição de chamote nas propriedades tecnológicas do adoquim. Foram realizadas formulações com percentuais de 0%, 2,5%, 5%, 10% e 20% de chamote. Os resultados obtidos apontaram a viabilidade da adição de chamote na produção do adoquim, pois foram obtidas excelentes propriedades tecnológicas nos corpos de prova.

Medeiros *et al.* (2019) estudaram a incorporação dos resíduos de tijolos cerâmicos (chamote) em misturas cerâmicas para a produção de tijolos cerâmicos. Concluiu-se que a incorporação de até 30% de chamote é tecnicamente viável considerando a faixa de temperatura avaliada. Dessa forma, surge um produto que agrega sustentabilidade e desempenho técnico à indústria cerâmica.

Zaccaron *et al.* (2018) estudaram as propriedades tecnológicas de resistência mecânica e absorção de água em peças de cerâmica vermelha, com adição de diferentes percentuais de chamote. O estudo utilizou 5 quatro formulações com diferentes percentuais (0, 5, 10, 15 e 20%) de adição do chamote como matéria-prima alternativa. Os resultados apontaram uma diminuição da resistência mecânica e aumento da absorção de água com maiores percentuais de resíduos.

Souza *et al.* (2017) avaliaram a incorporação de diferentes teores de chamote em massas cerâmicas contendo argila ball clay, alumina e talco para produção de cerâmicas porosas de cordierita, utilizando-se composições contendo 0, 10, 20, 30 e 40% em peso de chamote. Os resultados indicaram que a adição de até 10% de chamote nas formulações promoveu melhoria no comportamento mecânico.

Zouaoui e Bouaziz (2017) analisaram o desempenho dos produtos cerâmicos pela adição de areia, chamote e resíduos de tijolo a uma argila porosa de Bir Mcherga

(Tunísia). Os resultados apontaram a possibilidade de utilização dos resíduos para os produtos cerâmicos e que as propriedades físico-mecânicas dos produtos queimados são aprimoradas com o aumento da temperatura de queima.

Prado *et al.* (2016) estudaram a influência da incorporação de tijolos descartados em pó (chamote) em concentrações variáveis (0, 10, 20, 30, 40 e 50% em peso) a uma massa industrial constituída por misturas (1:1) de duas argilas caulínicas. Os resultados obtidos mostraram que os materiais tratados entre 850-950 °C apresentam valores de resistência mecânica que não ultrapassam 5 MPa, o que limita o uso destas massas para fabricação de tijolos furados (5,5 MPa) e telhas (6,5 MPa). Acima dos 950°C ocorre um incremento da resistência mecânica (> 5,5 MPa) e retração linear baixa.

Soares *et al.* (2016) estudaram o reaproveitamento do chamote de telhas, fazendo-se a reincorporação deste material na massa cerâmica para a produção de blocos cerâmicos de vedação, utilizando percentuais de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de chamote na massa cerâmica. Os resultados mostraram que a incorporação do chamote na massa cerâmica é viável sendo que em alguns casos melhorou as propriedades tecnológicas do produto final.

Candido *et al.* (2013) buscaram desenvolver uma massa cerâmica com argilas caulínicas, chamote e argilito visando à obtenção de pavimento intertravado tipo adoquim. Os resultados apontaram que o chamote reduziu a retração diametral de queima e a resistência mecânica. Quanto à absorção de água o chamote não alterou significativamente esta propriedade.

Rajamanan *et al.* (2013) analisaram as mudanças no comportamento do material argiloso utilizado na indústria cerâmica devido à adição do chamote (0 ± 50% em peso), produzido na indústria cerâmica. Os resultados dos testes indicam que o chamote pode ser utilizado em tijolos cerâmicos, aumentando assim a possibilidade de seu reaproveitamento de forma segura e sustentável.

Castro *et al.* (2012) verificar a potencialidade de se produzir revestimento cerâmico, incorporando chamote de telhas a uma massa básica típica para produção de revestimento semi-poroso, com massa básica aditivada com 5%, 10%, 15% e 20% de chamote. Os resultados encontrados mostraram que a adição de chamote de telhas provoca redução da resistência mecânica e aumento de absorção de água. Mesmo

assim, os resultados encontrados para a formulação dopada com até 20% de chamote encontram-se dentro dos valores estabelecidos pela norma vigente.

CONCLUSÃO

Este trabalho realizou uma revisão bibliográfica sobre utilização de chamote em produtos da indústria de cerâmica vermelha. Nas bases de dados pesquisadas, entre os anos de 2016 a 2021, foram encontrados 349 trabalhos, demonstrando uma variedade de aplicações e grande potencial para inovações.

No Brasil, ainda são escassos estudos relevantes e pesquisas na área de reciclagem de resíduos, quando se leva em consideração a sua enorme quantidade produzida e que é descartada anualmente pelas indústrias.

Os resultados das pesquisas apontam que o uso de chamote na indústria de cerâmica vermelha é uma alternativa viável para o aumento da qualidade técnica do produto cerâmico e o melhora da qualidade ambiental. O uso de chamote na produção cerâmica além de contribuir com a qualidade do meio ambiente, diminuindo assim os impactos ambientais negativos que possam ser causados por este resíduo, apresentou resultados dentro dos padrões estabelecidos pelas legislações vigentes.

Os trabalhos não apontaram a utilização dos resíduos para produção em escala industrial, evidenciando a necessidade de conscientização de empresas sobre a potencialidade de utilização de resíduos em massas cerâmicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Piauí – IFPI Campus Floriano e ao Grupo de Pesquisa NEMEC (Núcleo de Estudos em Materiais e Engenharia Civil).

BIBLIOGRAFIA

ARAÚJO, R. A.; MENEZES, A. L. R.; CABRAL, K. C.; NÓBREGA, A. K. C.; MARTINELLI, A. E.; DANTAS, K. G. M. Evaluation of the pozzolanic activity of red ceramic waste using mechanical and physicochemical methods. **Cerâmica**, v. 65, n. 375, p. 461-469, 2019.

AZEVEDO, A.R.G.; VIEIRA, C.M.F.; FERREIRA, W.M.; FARIA, K.C.P.; PEDROTI, L.G.; MENDES, B.C.. Potential use of ceramic waste as precursor in the

geopolymerization reaction for the production of ceramic roof tiles. **Journal Of Building Engineering**, v. 29, p. 101156, 020.

BRASIL. **Lei nº. 12.305/2010** - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília. Diário Oficial da União – DOU, 2010.

BREKAILO, F.; PEREIRA, E.; PEREIRA, E.; HOPPE FILHO, J.; MEDEIROS, M. H. F. Avaliação do potencial reativo de adições de resíduos de blocos de cerâmica vermelha e de concreto cominuído de RCD em matriz cimentícia. **Cerâmica**, v. 65, n. 375, p. 351-358, 2019.

CANDIDO, V. S.; PINHEIRO, R. M.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F.. Desenvolvimento de adoquim cerâmico com argilas caulínicas, chamote e argilito. **Cerâmica**, v. 59, n. 350, p. 310-316, 2013.

CARMO, D. S.; MAIA, N. S.; CÉSAR, C. G. Avaliação da tipologia dos resíduos de construção civil entregues nas usinas de beneficiamento de Belo Horizonte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 187-192, 2012.

CARREIRO, M. E. A., SANTOS, R. C., SILVA, V. J., LIRA, H. L., NEVES, G. A., MENEZES, R. R., SANTANA, L. N. L. Resíduo de quartzito - matéria-prima alternativa para uso em massas de cerâmica estrutural. **Cerâmica**, v. 62, n. 362, pp. 170-178, 2016.

CASTRO, R. J. S.; SOARES, R. A. L.; NASCIMENTO, R. M.. Produção de revestimento cerâmico semi-poroso com adição de chamote de telhas. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 1166-1175, 2012.

CAVALCANTI, L. F. M., OLIVEIRA, F. M. C., MELO, E. B., FERNANDES, A. C., “Granito Azul Sucuru: caracterização tecnológica por meio do aproveitamento do material”, **Revista Principia**, n. 33 pp. 11-20, 2017.

INOCENTE, J. M., NANDI, V. S., ROSSO F., OLIVEIRA, A., ZACCARON, A., “Estudo de Recuperação de Resíduos Vítreos na Formulação de Cerâmica Vermelha”, **Cerâmica Industrial**, v. 23, n. 3, pp. 34-39, Jul. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Produtos de cerâmica vermelha: avaliação da conformidade. **Cartilha**, Rio de Janeiro, 16 p., 2019.

MEDEIROS, V. S. C.; PEDROTI, L. G.; MENDES, B. C.; PITANGA, H. N.; SILVA, T. O. Study of mixtures using simplex design for the addition of chamotte in clay bricks. **International Journal Of Applied Ceramic Technology**, [S.L.], v. 16, n. 6, p. 2349-2361, 16 ago. 2019.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.

MONTEIRO, S. N., VIEIRA, C. M. F. Effect of oily waste addition to clay ceramic. **Ceramics International**, v. 31, n. 2, pp. 353-358, 2005.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 176 p., 2014.

PRADO, A.; BEDOYA, R.; MERCURY, J. Influência da incorporação de chamote nas propriedades físico-mecânicas de materiais cerâmicos estruturais. **Engevista**, v. 18, n. 1, p. 158-173, 2016.

RAJAMANAN B., VIRUTHAGIRI G. e JAWAHAR K.S. Effect of grog addition on the Technological properties of ceramic Brick. **International Journal of Latest Research in Science and Technology**, v. 2, n. 6, pp. 81-84. 2013

ROCHA, R. D. C., ZOREL, H. E., LANDO, T. Use of experimental design in the study of galvanic sludge immobilization in red ceramic for environmental impact minimization. **Cerâmica**, v. 63, n. 365, pp. 1-10, 2017.

SILVA, J. P. S.; SOARES, R. A. L. Efeito da adição de chamote nas propriedades tecnológicas do adoquim. **Cerâmica Industrial**, v. 25, p. 1-8, 2020.

SINDUSCON-SP. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. Obra Limpa Comércio e Serviços Ltda., I&T – **Informações e Técnicas em Construção: Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil a experiência do Sinduscon-SP**. São Paulo, 2015

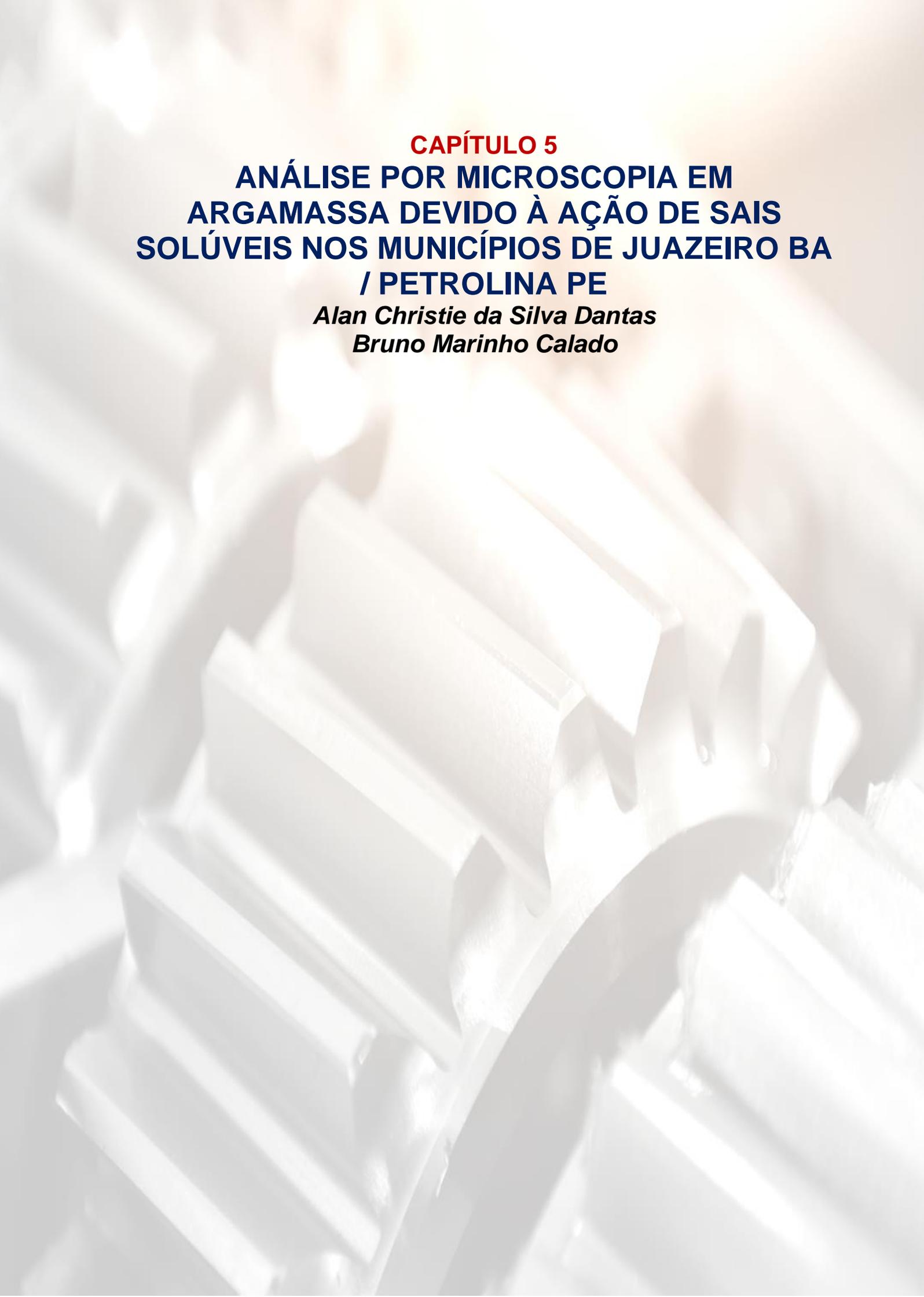
SOARES, R. A. L. OLIVEIRA, Y. L.; LINHARES, Z.; ANCELMO, L. Estudo da Reutilização de Resíduos de Telha Cerâmica (Chamote) em Formulação de Massa para Blocos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 21, n. 2, p. 45-50, 2016

SOUZA, M.; LIRA, H.; SANTANA, L. Cerâmica porosa - Incorporação de chamote em massas contendo ball clay, alumina e talco. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 12 n. 3, 2017.

WRIGHT, R.; BOORSE, D. F. **Environmental Science: Towardt A. Sustainable Future**, 13ª Ed. Londres, Pearson, 672 p., 2016.

ZACCARON, A.; GALATTO, S.; NANDI, V.; FERNANDES, P. Avaliação da resistência mecânica e absorção de água em cerâmica vermelha com incorporação de chamote. **Scientia plena**, v.14, n. 2 2018.

ZOUAOU, H.; BOUAZIZ, J. Performance enhancement of the ceramic products by adding the sand, chamotte and waste brick to a porous clay from Bir Mcherga (Tunisia). **Applied Clay Science**, v. 143, p. 430-436, 2017.



CAPÍTULO 5
ANÁLISE POR MICROSCOPIA EM
ARGAMASSA DEVIDO À AÇÃO DE SAIS
SOLÚVEIS NOS MUNICÍPIOS DE JUAZEIRO BA
/ PETROLINA PE

Alan Christie da Silva Dantas
Bruno Marinho Calado

ANÁLISE POR MICROSCOPIA EM ARGAMASSA DEVIDO À AÇÃO DE SAIS SOLÚVEIS NOS MUNICÍPIOS DE JUAZEIRO BA / PETROLINA PE

Alan Christie da Silva Dantas

<https://orcid.org/0000-0002-2357-5427>

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Coordenação de Engenharia

Mecânica

E-mail: alancsd@gmail.com

Bruno Marinho Calado

<https://orcid.org/0000-0003-3416-8314>

Instituto Federal do Sertão Pernambucano, Coordenação de Edificações

E-mail: bruno.calado@ifsertao-pe.edu.br

RESUMO

A argamassa de revestimento é muito importante para a indústria da construção civil, possuindo funções que variam conforme a sua aplicação. Um dos materiais utilizados na produção da argamassa é o agregado, e sua principal função é conferir resistência e durabilidade. Tanto os efeitos físicos como os efeitos químicos podem influenciar de forma negativa na durabilidade de concretos e argamassas, causando o aparecimento de patologias graves. Na região do Vale do São Francisco as patologias nas estruturas das edificações tem sido um problema bastante comum. Estudos relacionados ao uso de aditivos, buscando melhorar algumas propriedades mecânicas das argamassas começam a se desenvolver, como é o caso dos impermeabilizantes. A função principal desses impermeabilizantes, é fornecer à argamassa uma maior proteção às patologias nocivas. Neste sentido, esse trabalho teve como objetivo analisar as propriedades mecânicas de corpos de prova produzidos com dois tipos de agregados miúdos, após 180 dias em que estes foram submetidos a diferentes tipos de acondicionamento que favorecem o aparecimento de patologias devidas a ação de sais solúveis, analisando o desempenho no uso de impermeabilizantes. Após as análises constatou-se que o uso de impermeabilizantes propiciou um ganho de resistência apenas nos primeiros dias de exposição, sem inibir a formação de cristais característicos da etringita, que é um fator nocivo a argamassa.

Palavras-chave: Construção Civil, Patologia de Materiais, Argamassa, Inspeção Predial, Sais Solúveis.

ABSTRACT

The coating mortar is very important for the construction industry, having functions that vary according to its application. One of the materials used in the production of mortar is the aggregate, and its main function is to provide strength and durability. Both physical and chemical effects can influence negatively the durability of concrete and mortar, causing the appearance of serious pathologies. In the São Francisco Valley region, pathologies in building structures have been a very common problem. Studies related to the use of additives, seeking to improve some mechanical properties of mortars to develop, such as waterproofing. The main function of these waterproofing products is to provide the mortar with greater protection against harmful pathologies. In this sense, this work aimed to analyze the mechanical properties of specimens with two types of sands, after 180 days in which they were different types of packaging that favor the appearance of pathologies due to the action of soluble salts, analyzing the performance in the use of waterproofing. After the analysis, it was found that the use of waterproofing agents provided a resistance gain only in the first days of exposure, without inhibiting the formation of crystals characteristic of Etringite, which is a harmful factor in mortar.

Keywords: Civil Construction, Materials Pathology, Mortar, Building Inspection, Soluble Salts.

1. INTRODUÇÃO

A falta de conhecimento da composição química das argamassas e das consequências de alteração da sua composição por agentes químicos deletérios (danosos ou agressivos) tem ocasionado muitos problemas no pós obra com o aparecimento de danos físicos e perda de propriedades relevantes que reduzem a vida útil da própria argamassa e do conjunto da edificação. A busca por soluções empíricas, muitas vezes orientadas por profissionais sem conhecimento técnico e tudo baseado em dados de experiências sem comprovação de êxito levam a recorrência dos danos com perda de recursos financeiros e risco à saúde.

Este quadro refere-se a muita aplicabilidade no município de Petrolina, situado no Sertão Pernambucano, às margens do Rio São Francisco, onde fica muito caracterizado pela construção em massa e sem controle, ocasionando o descolamento do revestimento ou seu esfarelamento superficial.

A falta de conhecimento dessa alteração da composição química da argamassa acarretam em soluções empíricas, muitas vezes orientada por profissionais sem conhecimento técnico e tudo baseado em dados de experiências sem comprovação de êxito e, sempre com a justificativa de que não se resolve e que a patologia irá ocorrer novamente. Tudo contraditório às exigências normativas.

Entendendo que as causas das contaminações em edificações podem ser diversas, tais como: **Cloreto de Sódio**; encontramos na água do mar ou resultante do intemperismo em produtos salgados armazenados nas construções e no solo, recorrente de rejeito de dessalinizadores ou ainda fósseis geológicos depositados em salinas. **Nitratos**; podem ser oriundos de fertilizantes orgânicos utilizados no solo ou excremento animais. **Sulfato de Sódio**; pode ser oriundo de solos fertilizados ou mesmo de produtos cerâmicos (Golçalves, 2007 apud Puim, 2010). **Sulfato de Magnésio**; pode ser oriundo de materiais cerâmicos (Golçalves, 2007 apud Puim, 2010). **Sais Carbonatos**; podem resultar da reação entre os álcalis do cimento Portland e o CO₂ do ar (Golçalves, 2007 apud Puim, 2010). **Gesso**; a sulfatação dos materiais carbonatados (pedras calcárias) a partir do dióxido de enxofre (SO₂) existente em atmosfera poluída. (Viler, 1997 apud Puim, 2010). **Nitrato de Cálcio**; com reações de diferentes óxidos existentes em atmosfera poluída e vapor de água, proporcionam formação de ácidos susceptíveis, e causará transformação de carbonato de cálcio em nitrato de cálcio (Ranalli, et al 2000 apud Puim, 2010).

Para que ocorram o depósito de sais minerais nos materiais utilizados na edificação é necessária a presença da água, que será utilizada como transporte desses sais. Sais solúveis em água e expostos a condições climáticas e ambientais desfavoráveis, proporcionarão a percolação e evaporação da água, deixando os sais solúveis de forma residuais na edificação.

Essa contextualização para o surgimento de danos às edificações causados pelo caminhamento dos sais solúveis toma maior gravidade pois após a cristalização dos sais, com a evaporação da água, surge uma força expansiva de maior gravidade, na qual danifica a estrutura cristalina da argamassa de revestimento, determinando assim a deterioração dos elementos que compõem a edificação.

Utilizando as amostras caracterizadas pela perda de resistência à compressão em relação ao tempo e modo de exposição, estas amostras foram analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), possibilitando a caracterização da composição da argamassa e o percentual existente de cada elemento.

Diante dessa verificação pôde ser observada a alteração final na composição da argamassa, demonstrando claramente a alteração química na mistura. Essa alteração pode justificar a perda de cristalização da massa referente a constituição do material, e conseqüentemente a perda de resistência. Além dessa verificação,

observamos também a característica do surgimento de etringita na argamassa, fato que se comprova através do surgimento do “agulhamento” na cristalização dos materiais. O que justifica a expansão interna da massa e, seu esfarelamento.

Buscando analisar um melhor entendimento da patologia, encontramos fatos de muita relevância na composição final da amostra, podendo ser um marco inicial para um melhor diagnóstico para um problema que tanto incomoda os construtores e proprietários de imóveis na região.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo das propriedades físicas, químicas e mineralógicas dos materiais objetivou analisar os parâmetros que pudessem influir no processo de formação e desenvolvimento de sais solúveis, bem como determinar as características relacionadas a variação do teor de sais existente nos agregados miúdos. Além disso, para a caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa, foram adotados métodos de ensaios normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e Norma Mercosul (NM).

Para o experimento, inicialmente, foram simuladas quatro (04) situações distintas para os corpos de prova, considerando as condições de exposição e variações térmicas e de temperatura.

Quanto as condições de exposição dos corpos de prova, seguem:

- Imerso em areia seca (sem umidade), imerso em areia úmida; areia da Jazida da Serra da Batateira com umidade de 20%;
- Imerso em vala natural (escavado), localizado no próprio campus da UNIVASF Juazeiro-BA, a aproximadamente 200 metros da margem do rio São Francisco, sendo essa situação (Campus Juazeiro/BA) considerada uma situação aleatória e idealizada como situação corriqueira na região;
- Exposto em Câmara Úmida, com umidade relativa do ar por volta de 70%. Adequando a condições normativas.

O experimento consistiu em realizar uma microscopia eletrônica de varredura, em amostras pré-selecionadas, e descritas anteriormente, para desenvolver uma

análise microestrutural da superfície dos corpos de prova além de uma análise química.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida (Dedavid *et al.*, 2007). O princípio do MEV consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra e transmitir o sinal do detector a uma tela. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra. O sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor, permitindo a observação (Dedavid *et al.*, 2007).

Antes de serem submetidas ao MEV, as amostras foram colocadas em uma fita adesiva plástica de carbono dupla face e levadas para recobrimento em banho em forma de ouro em pó, utilizando a metalizadora Quorum Technologies Q150R.

Após o recobrimento com ouro, as amostras foram colocadas no porta amostra do microscópio para o início das análises. O MEV utilizado nesta pesquisa foi da marca TESCAN, modelo VEGA3, de propriedade da Universidade Federal do Vale do São Francisco.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

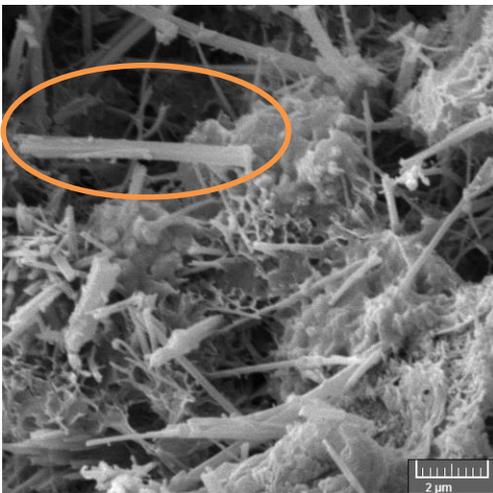
3.1 MICOSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA (MEV)

Análises de microscopia eletrônica de varredura foram utilizadas para obter imagens que permitissem a visualização das características microestruturais dos corpos de prova, onde pudéssemos obter informações que justificassem a alteração na resistência à compressão. Para a determinação da quantidade de amostras utilizadas para análises, foram considerados os critérios que mais assemelharam a realidade local de obra, ao tipo de agregado utilizado com maior quantidade, como também ao tipo de exposição que pudesse ser comparada a situação real de campo.

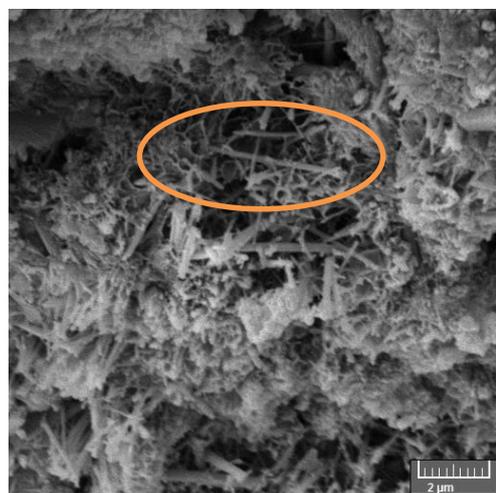
Segundo Brunetaud (2005), a resistência à compressão pode ser comprometida pela formação de etringita, devido as expansões dos cristais. Sendo essa definição muito importante para o estudo, uma vez que a existência de etringita está relacionada ao processo de cura do material, e ainda relacionada a variação térmica e de umidade.

As amostras acondicionadas em vala escavada e em câmara úmida, considerando o período de exposição até 180 dias, as figuras 1c e 1d, respectivamente, não apresentaram formação de cristais agulhados. Diferente das figuras 1a e 1b. Este fato pode estar relacionado a todo o processo de exposição da amostra, sem a ocorrência de grandes variações térmicas no início de sua cura, proporcionando a amostra uma maior possibilidade de vida útil e um processo de cura menos agressivo.

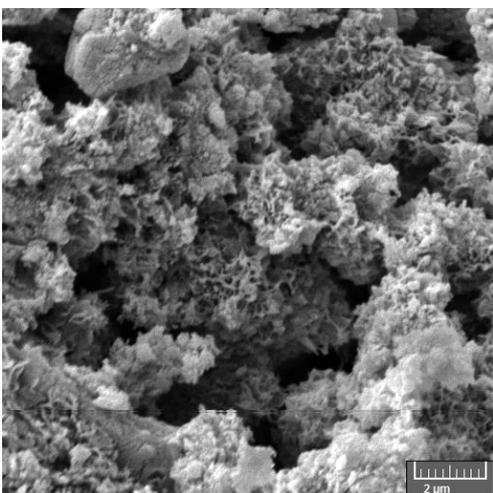
Figura 1 - Superfícies de fratura dos corpos submetidos à diferentes tipos de acondicionamento: a) Areia seca; b) Areia úmida; c) Vala; d) Câmara úmida



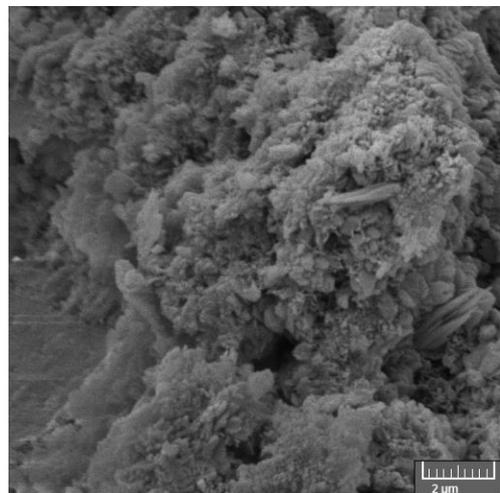
(A)



(B)



(C)



(D)

Essa presença de poros na superfície da amostra, figuras 1c e 1d, pode estar relacionada ao grau de exposição da amostra no processo de cura, estando em condições naturais e sujeita as intempéries existentes no solo natural.

Ryshkewitch (1953), desenvolveu uma expressão matemática (Equação 1) que descreve a relação entre a resistência mecânica e a quantidade de poros presentes nas estruturas dos corpos.

$$\sigma = \sigma_0 e^{-BP} \quad (1)$$

Onde:

σ : é a resistência do corpo poroso;

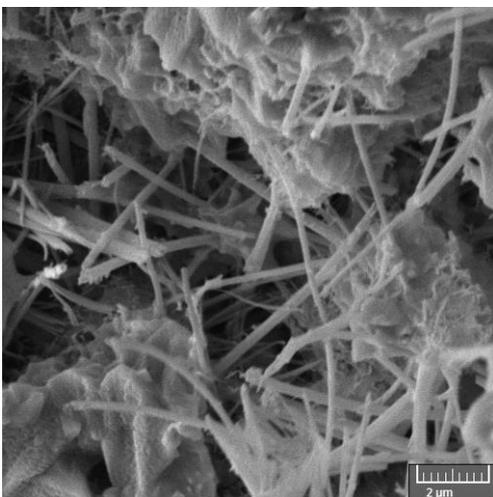
σ_0 : é a resistência do corpo não poroso do mesmo material;

B : é uma constante que depende do tipo de material;

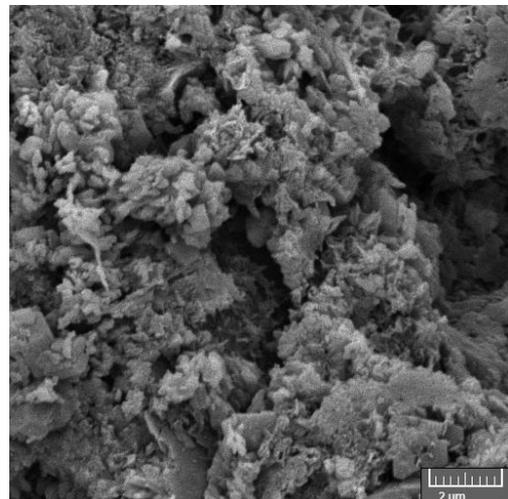
P : porosidade expressada por uma fração (0 a 100%).

O aumento da quantidade de poros nos corpos está diretamente ligado à perda de resistência mecânica, pois se o corpo não for poroso ($P = 0$), a expressão matemática resulta em: $\sigma = \sigma_0$. Ou seja, o corpo não sofrerá perda de resistência. Quanto maior for a porosidade, maior será o P , e menor será σ .

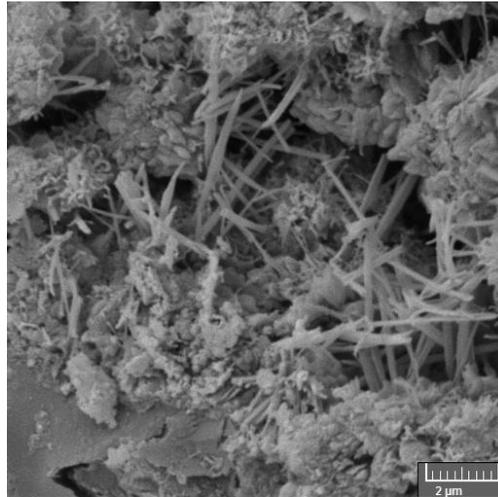
Figura 2 - Superfícies de fratura dos corpos de prova submetidos à diferentes tipos de acondicionamento: a) Areia úmida; b) Vala; c) Câmara úmida



(A)



(B)

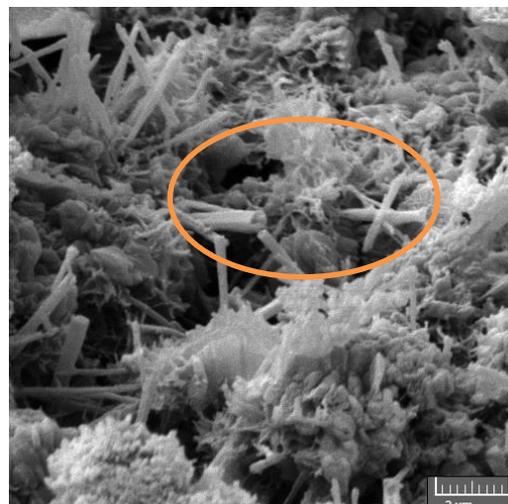


(C)

Para as análises das superfícies de fratura dos corpos de prova com areia de maior teor de salinidade, foi utilizada apenas a situação de acondicionamento em câmara úmida, para criar referências para trabalhos futuros, pois, segundo Silva (2009), este procedimento segue as condições estabelecidas pela norma e dá origem aos valores de referência. Na figura 2 podem ser vistos os diferentes tipos de acondicionamento com as respectivas amostras.

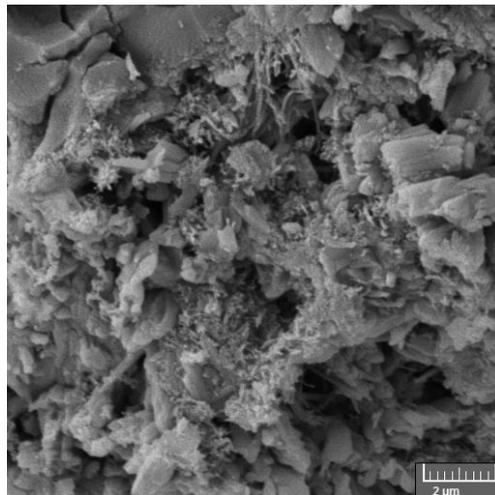
A superfície de fratura do corpo de prova, acondicionado em câmara úmida, é mostrada na Figura 3. Onde pode ser observada a formação de cristais aciculares. Esta amostra também apresentou perda de resistência à compressão após 180 dias de acondicionamento.

Figura 3 - Superfície de fratura do corpo de prova acondicionado em câmara úmida



A superfície de fratura do corpo de prova com a adição de impermeabilizante, acondicionado em câmara úmida, é mostrada na Figura 4, onde observou-se que a amostra não apresentou formação de cristais aciculares, e sim um aumento da porosidade caracterizado pelos vazios existentes. Esta amostra apresentou um leve ganho de resistência à compressão após 180 dias de acondicionamento. Com isso podemos dizer que, considerando o agregado com maior presença de sais e, conseqüentemente, demonstrando ter uma perda maior de resistência ao longo do tempo, o fato de ter a exposição em câmara úmida altera o comportamento da amostra ao longo do tempo, inibindo ação dos sais devido ao controle do processo de cura. Ainda de maior grau quando da adição de impermeabilizante. Ou seja, o controle do processo de cura interfere diretamente na qualidade e durabilidade final da amostra.

Figura 4 - Superfície de fratura do corpo SC acondicionado em câmara úmida



A partir dos resultados do MEV é possível perceber que a perda de resistência à compressão nos corpos de prova está diretamente ligada à formação de cristais aciculares característicos de etringita nas microestruturas das amostras analisadas, conforme demonstrado nas figuras 1 a 4, desenvolvidos pelo ataque de sulfatos. Sendo tal ação, possivelmente justificada, pela exposição à grande variação térmica e de umidade existente na região.

3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Com base em todos os dados obtidos durante a pesquisa, foi realizada a análise química das amostras que foram rompidas a 180 dias de exposição com o

objetivo de entender melhor a formação de etringita e que tipo de alterações estariam ocorrendo. Foi feita uma análise química preliminar em 2 corpos de prova acondicionados em câmara úmida que apresentaram formação de cristais.

As caracterizações químicas das amostras encontram-se nas figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 5 - Caracterização química da amostra com impermeabilizante acondicionada em câmara úmida

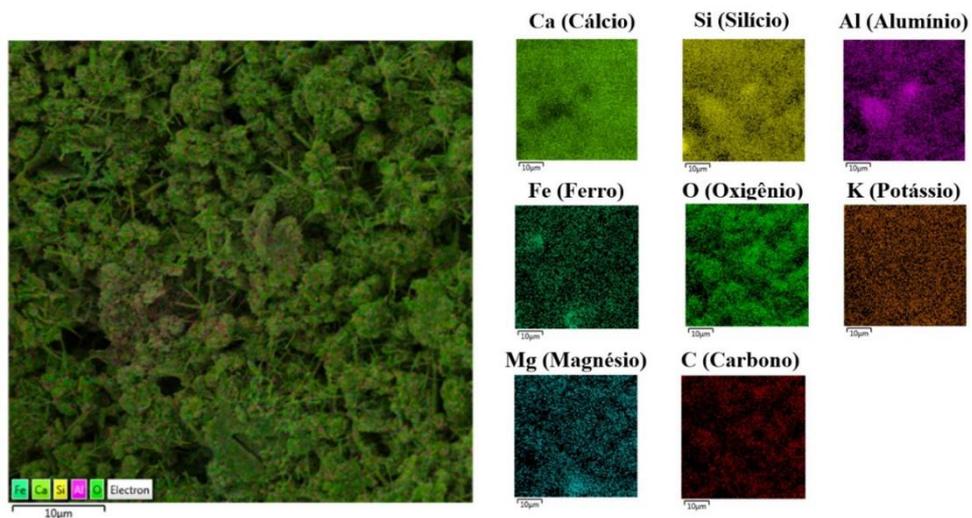
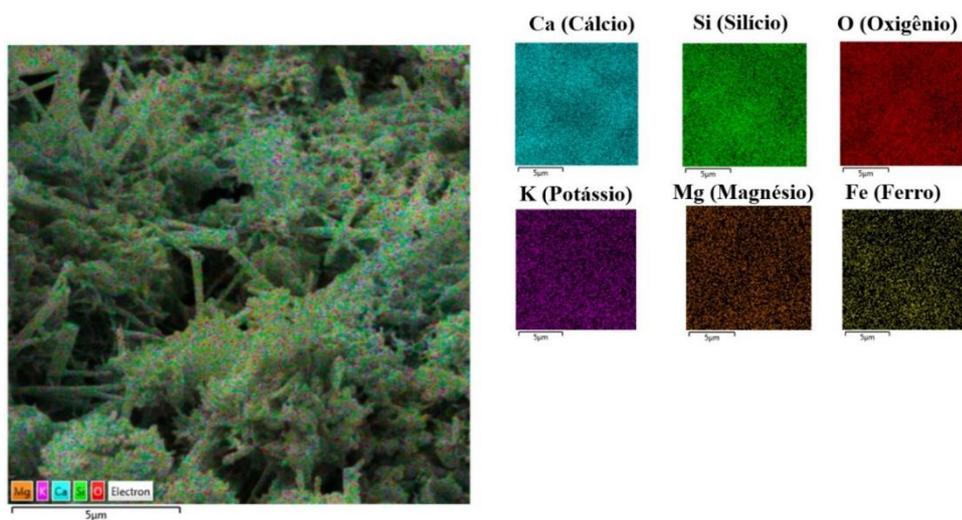


Figura 6 – Caracterização química da amostra sem impermeabilizante acondicionada em câmara úmida



De acordo com Bauer (1994), os componentes essenciais do cimento Portland são cal (CaO), sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3), constituindo de 95 a 96% do total de óxidos. Outros componentes estão presentes em menores

quantidades, como magnésia (MgO), anidro sulfúrico (SO₃), óxido de sódio (Na₂O), óxido de potássio (K₂O), óxido de titânio (TiO₂), entre outros.

Nas amostras foram encontrados os elementos químicos provenientes do cimento: silício (Si), cálcio (Ca), Alumínio (Al), magnésio (Mg), ferro (Fe) e potássio (K).

Segundo Melo (2010), os elementos químicos constituintes da etringita são o cálcio (Ca), o alumínio (Al) e o sulfato (SO₃) e a água (H₂O). Assim, para o entendimento da formação da etringita tardia, é importante conhecer a forma que esses elementos são apresentados para a reação.

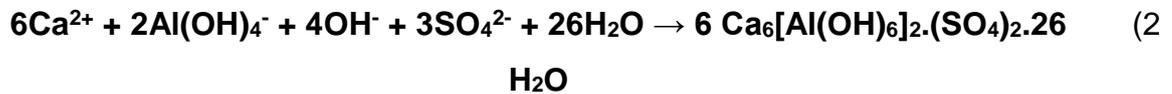
De acordo com Taylor, Famy e Scrivener (2001), ao final da cura térmica, uma grande quantidade de Al₂O₃ e SO₃ está nos silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), sendo que o alumínio é encontrado fortemente incorporado neste produto, substituindo a sílica e fixando-se nos espaços entre as suas camadas. O alumínio poderá, também, estar combinado em fases aluminatos hidratados como hidrogranada (C₃AH₆). Por sua vez, os sulfatos podem estar presentes na solução do poro, no monossulfato ou adsorvido no C-S-H.

Quando o material é armazenado sob condições de temperatura ambiente e alta umidade, a maior parte do alumínio que entrou no C-S-H se mantém nesta fase, o que está presente na hidrogranada se encontra fortemente ligado. A disponibilização do alumínio para a reação poderá ocorrer a partir da hidratação contínua do clínquer, porém a sua concentração na superfície do poro é extremamente baixa. A maior fonte do Al₂O₃ é o monossulfato, o que torna mais provável que a etringita se forme a partir deste hidrato (Melo, 2010). Desta maneira, os principais reagentes para a formação da etringita tardia são C-S-H, solução do poro e monossulfato, sendo que cada um disponibiliza os íons mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Íons fornecidos pelos reagentes na formação da etringita tardia

Reagentes	Íons Fornecidos
C-S-H	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , OH ⁻ , H ₂ O
Monossulfato	Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , OH ⁻ , Al(OH) ₄ ⁻ , H ₂ O
Solução do poro	H ₂ O, SO ₄ ²⁻

A reação para formar a etringita pode ocorrer somente por dissolução-precipitação (Melo, 2010) e está mostrada na Equação 2.



A partir da análise das figuras 5 e 6, observou-se a presença de elementos químicos característicos da etringita, porém o fato desses elementos químicos também constituírem a composição química do cimento Portland dificultou-se a visualização da caracterização dos cristais formados, exigindo técnicas mais específicas para caracterização da formação da fase etringita.

Thaulow, Johansen e Jacobsen (1997) e, mais tarde, Johansen e Thaulow (1999) definiram a formação da etringita tardia como um tipo especial de ataque por sulfato interno, que envolve altas temperaturas de cura e cuja fonte de sulfatos é o próprio cimento. Quanto ao agregado ser uma fonte interna de sulfato, recentemente descobriu-se que não somente agregados contaminados por sulfatos, mas também os que contêm sulfetos em sua composição mineralógica são também fontes internas de sulfato, podendo causar um ataque interno, conforme constatado por Gomides (2009).

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados é possível afirmar que a perda de resistência à compressão nos corpos de prova está diretamente ligada à formação de cristais aciculares, característicos de etringita, nas microestruturas das amostras analisadas.

A situação de acondicionamento em areia seca foi a situação mais crítica, pois todos os corpos de prova submetidos a essa condição apresentaram perda de resistência à compressão.

Observa-se que o uso do impermeabilizante só propiciou um ganho significativo de resistência nos primeiros dias de exposição. Porém, não evitou o surgimento de cristais aciculares, que é um fator nocivo a argamassa.

Em termos práticos a composição da argamassa nas cidades de Juazeiro-BA e Petrolina-PE acarretará no surgimento de cristais, devido as condições dos agregados miúdos comercializados nessa região.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para assentamento – Requisitos** – NBR 13281,2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** – NBR 13279,2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2007.

BRUNETAUD, X. **Etude de l'influence de différents paramètres et de leurs interactions sur la cinétique et l'amplitude de la réaction sulfatique interne au béton**. 2005. 265f. Thèse de doctorat (Physico-Chimie des Matériaux), Ecole Centrale des Arts et Manufactures, Ecole Centrale Paris, France, 2005.

COELHO, N. A. **Caracterização dos agregados miúdos encontrados no Vale do São Francisco no polo Juazeiro/Petrolina**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Juazeiro, 2009.

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.

GOMIDES, M.J. **Investigação de agregados contendo sulfetos e seus efeitos sobre a durabilidade do concreto**. 2009. 280 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MELO, S. K. **Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, UFG, Goiânia, 2010.

NBR, ABNT. "5738 - **Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.**" *Rio de Janeiro* (2003).

NBR, ABNT. "NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos-Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.**" *Rio de Janeiro* (2005).

RYSHKEWITCH, E. **Compression strength of porous sintered alumina and zirconia.** *J. Am. Ceram. Soc.* 36 (2), 1953.

SILVA, B. A. **Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2009.

TAYLOR, H.F.W.; FAMY, C.; SCRIVENER, K.L. Delayed ettringite formation. **Cement and concrete research**, v. 31, p. 683-693, 2001.

THAULOW, N.; JOHANSEN V.; JAKOBSEN U.H. **What causes Delayed Ettringite Formation? In: Proceedings of the materials research society's. In: SCRIVENER, K. L.; YOUNG, J.F (editors). Mechanisms of chemical degradation of cement-based systems.** Boston, USA: E&FN SPON, 1997.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação.** São Paulo: Editora Pini, 2007: IPT: PUSP, 1989.



CAPÍTULO 6
**MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA VOLTADA PARA SISTEMAS DE
SEGURANÇA VEICULAR**

Marcelo Lopes
Filipe Wiltgen

MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA VOLTADA PARA SISTEMAS DE SEGURANÇA VEICULAR

Marcelo Lopes

<https://orcid.org/0000-0002-4067-008X>

Graduação Em Engenharia Mecânica pela Universidade Paulista , MBA - Gestão de Engenharia de Produto (PECE) pela USP- Universidade de São Paulo. Mestrando em Engenharia Mecânica pela UNITAU. Linha de pesquisa é voltada para a área de Desenvolvimento de Segurança Veicular e Manufatura Aditiva. Engenheiro de pesquisa e desenvolvimento de sistemas de segurança veicular.
marcelolopes5x@gmail.com

Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté (UNITAU), e também, Professor na Faculdade de Tecnologia (FATEC Pindamonhangaba e Bauru), desde 2021 no Curso de Manutenção Industrial e Automação Industrial no Centro Paula Souza no Estado de São Paulo. LFWBarbosa@gmail.com

Resumo

Este artigo refere-se a pesquisa que avalia as oportunidades em utilizar diferentes tecnologias de manufatura aditiva durante o projeto de desenvolvimento de um produto de segurança veicular. Esse projeto deve atender requisitos severos e cada fase possui diferentes critérios, desde a análise de requisitos, construção de protótipos para análise de montagens até a construção de uma peça com as propriedades físicas idênticas ao processo produtivo definitivo para a realização de ensaios de validação. A competitividade na indústria automobilística mundial, tem estimulado o desenvolvimento e a aplicação de novas técnicas as quais ainda estão em consolidação e adaptação na indústria o que permite a pesquisa científica aplicada ser inovadora neste seguimento. A pesquisa apresenta a análise de diferentes

tecnologias de manufatura aditiva considerando matérias-primas de polímeros de alta resistência e metálicos para a construção das peças ou meio produtivo para produzi-las. As perspectivas são promissoras e são apresentados no decorrer deste artigo, que permite especular que com o amadurecimento em técnicas, máquinas e materiais o uso da manufatura aditiva aplicada no desenvolvimento de produto vai permitir muitos avanços na indústria ao longo do futuro próximo.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Segurança Veicular. Desenvolvimento de Produto.

ABSTRACT

This article refers to research that evaluates the opportunities to use different additive manufacturing technologies during the development project of a vehicle safety product. This project must meet severe requirements and each phase has different criteria, from the analysis of requirements, construction of prototypes for analysis of assemblies to the construction of a part with physical properties identical to the definitive production process for carrying out validation tests. The competitiveness in the global automobile industry has stimulated the development and application of new techniques which are still being consolidated and adapted in the industry, which allows applied scientific research to be innovative in this segment. The research presents the analysis of different technologies of additive manufacturing considering raw materials of high resistance polymers and metallic for the construction of the parts or productive means to produce them. The prospects are promising and are presented in the course of this article, which allows us to speculate that with the maturation in techniques, machines and materials, the use of additive manufacturing applied in product development will allow many advances in the industry over the near future.

Keywords: Additive Manufacturing. Vehicle Safety. Product Development.

1. Introdução

O avanço tecnológico dos veículos vem de encontro as expectativas dos clientes, incluem avanços no conforto, motores mais potentes com menos emissão de poluentes e devido a uma exigência mundial devem possuir maior segurança aos ocupantes e pedestres. Estes fatores tendem a impactar na tecnologia e complexidade dos produtos, obrigando os fornecedores, as autopeças, a projetar novos produtos ou aprimorar os existentes.

Este artigo se limitara a tratar sobre a segurança veicular, sendo que as premissas deste seguimento é desenvolver produtos com alto desempenho de desempenho e qualidade, com velocidade e custo reduzido. Em contrapartida a evolução dos produtos contribui para manter a perenidade da corporação e propicia um aumento no nível de competitividade (PAULA; MELLO, 2013).

Para o atendimento destas premissas o desenvolvimento de um produto deve ser conduzido por uma metodologia sistêmica robusta e com aplicação de recursos

tecnológicos disponíveis para a obtenção dos objetivos da corporação. Um método sistêmico determina uma sequência clara e lógica das atividades, podemos citar que as principais fases são a análise de requisitos, seguida pela fase de projeto para definir os modelos conceituais do produto, a construção de protótipos representativos, análises do meio produtivo, a construção de protótipos funcionais com as características idênticas ao processo produtivo definitivo para a validação da peça. Quando o produto em questão se trata do seguimento de segurança veicular as exigências se tornam mais rigorosas e com custos elevados.

Pesquisas com foco em desenvolvimento de produtos são realizadas a muito tempo com abordagens como processos de gestão, metodologias e programas de CAD (*Computer Aided Design*), porém, a partir do início deste século a manufatura aditiva surge como uma tecnologia inovadora que a princípio tinha uma tímida participação no processo de desenvolvimento, mas com a evolução tecnológica da manufatura aditiva surgem oportunidades promissoras que são apresentados neste artigo que permite especular que a sua utilização vai de encontro com as melhores práticas de custo e prazo e quebra alguns paradigmas da metodologia atual.

1.1. Objetivo e Justificativa

Esta pesquisa tem por objetivo estudar diferentes tecnologias de manufatura aditiva e baseado nos requisitos imposto em diferentes fases do projeto de desenvolvimento de um sistema de cinto de segurança, identificar a que melhor se adequa em custo e qualidade e assim apontar as vantagens e desvantagens desta técnica.

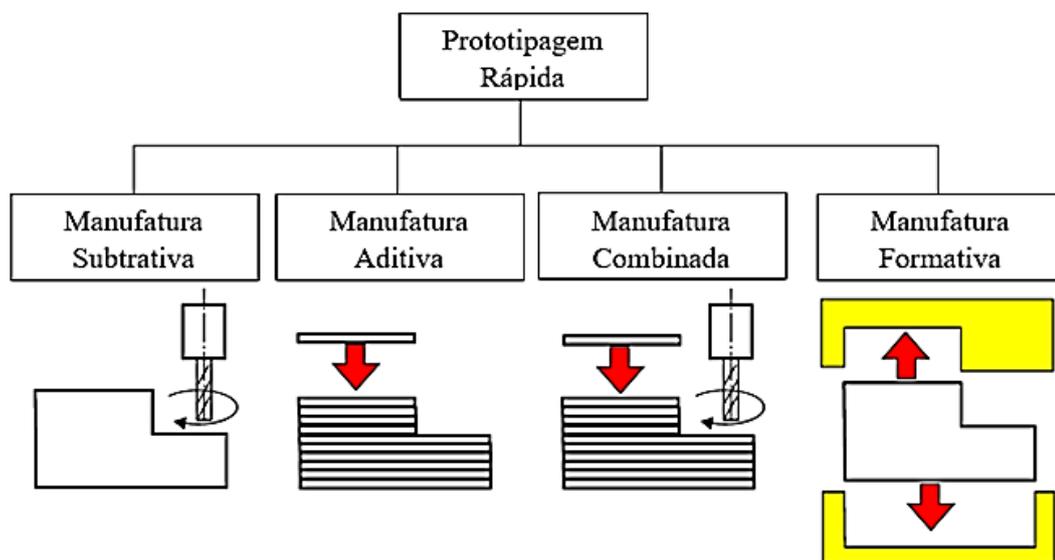
A proposta da pesquisa possui relevância científica para a evolução da engenharia de desenvolvimento de produto permitindo o aumento da flexibilidade construtiva e a redução do tempo de produção.

2. Manufatura Aditiva - Tecnologias e Oportunidades

A manufatura aditiva é totalmente diferente de manufatura formativa ou subtrativa tradicional, pois consegue produzir peças com a geometria exata como foi projetada no CAD, independentemente de sua complexidade, enquanto processos como injeção plástica ou fundição, que se enquadram como manufatura formativa, e dependem de conformação de matérias em moldes para ser manufaturada, a usinagem com remoção de material que é uma característica da manufatura

subtrativa, e ainda pode ser citada a manufatura combinada (híbrida) que é a união da manufatura subtrativa e a manufatura aditiva, como pode ser observado na Figura1 (ZIVANOVIC *et al.*, 2019). Cada um desses processos possui vantagens e desvantagens inerentes aos limites construtivos impostos pela tecnologia utilizada em cada tipo de manufatura, porem a versatilidade e as tecnologias disponíveis atualmente permitem que a manufatura aditiva seja adaptada em diversos setores da indústria a ponto de ser posicionada como um dos pilares da indústria 4.0.

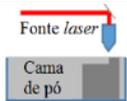
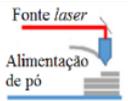
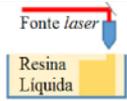
Figura 1 - Classificação dos tipos de prototipagem rápida conforme a manufatura.



Fonte: adaptado de ZIVANOVIC *et al.*, 2019.

O processo da manufatura aditiva (MA) pode ser definido como uma técnica de mistura de materiais por ligação, solidificação ou fusão de materiais, como resina líquida ou pó. A MA constrói a peça camada por camada a partir de um modelo matemático gerado por um CAD que é convertido para o formato STL que contém as informações da geometria da peça, este arquivo é enviado para a máquina, e após a manufatura da peça pode ser realizado o dimensional ou os ensaios, conforme a necessidade propostas (Figura 2). O fato de ser manufatura camada por camada possibilita uma flexibilidade em construir peças complexas e precisas o que não acontece com a manufatura subtrativa.

Quadro 1 - Características da categoria de manufatura aditiva (ASTM).

Categoria ASTM	Fusão em leito de pó	Deposição de energia dirigida	Fotopolimerização em cubas	Extrusão de material	Jateamento de material	Jato de aglutinante	Laminação de folhas
	PBF	DED	VP	ME	MJ	BJ	SL
Desenho esquemático							
Conceito básico	A energia térmica funde uma pequena região do leito de pó do material de construção.	A energia térmica concentrada derrete os materiais durante a deposição.	O polímero líquido em uma cuba é fotopolimerizado.	O material fundido é empurrado para fora através de um bico.	Gotículas de materiais de construção são depositadas.	Jato de resina líquida é impressa em camadas finas.	Folhas de materiais são coladas.
Tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> Fusão de feixe de elétrons (EBM); Sinterização direta a laser de metal (DMLS); Sinterização / fusão seletiva a laser (SLS / SLM). 	<ul style="list-style-type: none"> Deposição de laser (LD); Modelagem de rede projetada a laser (LENS); Feixe de elétrons; Derretimento de arco de plasma. 	<ul style="list-style-type: none"> Estereolitografia (SLA); Processamento digital de luz (DLP). 	<ul style="list-style-type: none"> Modelagem por Deposição Fundida (FDM); Fabricação de Filamento Fundido (FFF); Modelagem por Camada Fundida (FLM). 	<ul style="list-style-type: none"> (IJP) – PolyJet. (IJP) – InVision 3D Systems 	<ul style="list-style-type: none"> Jateamento de material. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricação de objetos laminados (LOM); Fabricação de aditivos de ultrassom (UC / UAM).
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> Baixo custo; Cama de pó atua como uma estrutura de suporte integrada; Grande variedade de materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> Alto grau de controle da estrutura de grãos; Peças de alta qualidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Peças grandes; Excelente precisão; Excelente acabamento de superfície e detalhes. 	<ul style="list-style-type: none"> Baixo custo; Pode construir peças totalmente funcionais. 	<ul style="list-style-type: none"> Alta precisão de deposição de gotículas; Multicor. 	<ul style="list-style-type: none"> Peças frágeis com propriedades mecânicas limitadas; Pode exigir pós-processamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Alta velocidade; Baixo custo; Facilidade de manuseio de materiais.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> Relativamente lento; Limitações de tamanho; Alta potência necessária; O acabamento depende do tamanho do pó do precursor. 	<ul style="list-style-type: none"> A qualidade da superfície e a velocidade requerem um equilíbrio; Limitado a metais. 	<ul style="list-style-type: none"> Limitado apenas a fotopolímeros; Baixa vida útil, propriedades mecânicas pobres de fotopolímeros; Processo de construção lento. 	<ul style="list-style-type: none"> Anisotropia vertical; Superfície estruturada em degraus; Não é receptiva a detalhes finos. 	<ul style="list-style-type: none"> Necessário material de suporte; Possem ser usadas fotopolímeros e resinas termofixas. 	<ul style="list-style-type: none"> Propriedades mecânicas limitadas; Pode exigir pós-processamento. 	<ul style="list-style-type: none"> A resistência depende do adesivo usado; Os acabamentos podem exigir pós-processamento; Uso limitado do material.
Material	<ul style="list-style-type: none"> Metais; Cerâmica; Polímeros; Compósitos. Híbrido 	<ul style="list-style-type: none"> Metais. 	<ul style="list-style-type: none"> Polímeros; Cerâmica. 	<ul style="list-style-type: none"> Polímeros; Compósitos. 	<ul style="list-style-type: none"> Polímeros; Cerâmica; Compósitos; Híbrido; Biológicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Polímeros; Cerâmica; Compósitos; Metais; Híbrido. 	<ul style="list-style-type: none"> Polímeros; Metais; Cerâmica; Híbridos.

Fonte: Adaptado de SANTANA, 2019 e SYED *et al.*, 2018.

As diferentes tecnologias de MA possuem suas vantagens e desvantagens como é mostrado no Quadro 1. Nenhuma dessas tecnologias é completa em todas as características. A técnica FDM, tem menor resistência mecânica que o EBM, porém o custo do EBM é maior, com isso é impossível comparar as tecnologias. O objetivo desta pesquisa é definir o processo adequado em função dos requisitos de aplicação. Em algumas aplicações mesmo com as peças com baixa resistência mecânica é suficiente para atingir a necessidade desejada. Existem situações em que se pode utilizar uma manufatura híbrida (MH), que é a manufatura subtrativa em conjunto com

a manufatura aditiva para que as deficiências de cada tecnologia seja superada (ABDULHAMEED *et al.*, 2019).

3. Conceitos de Cintos de Segurança

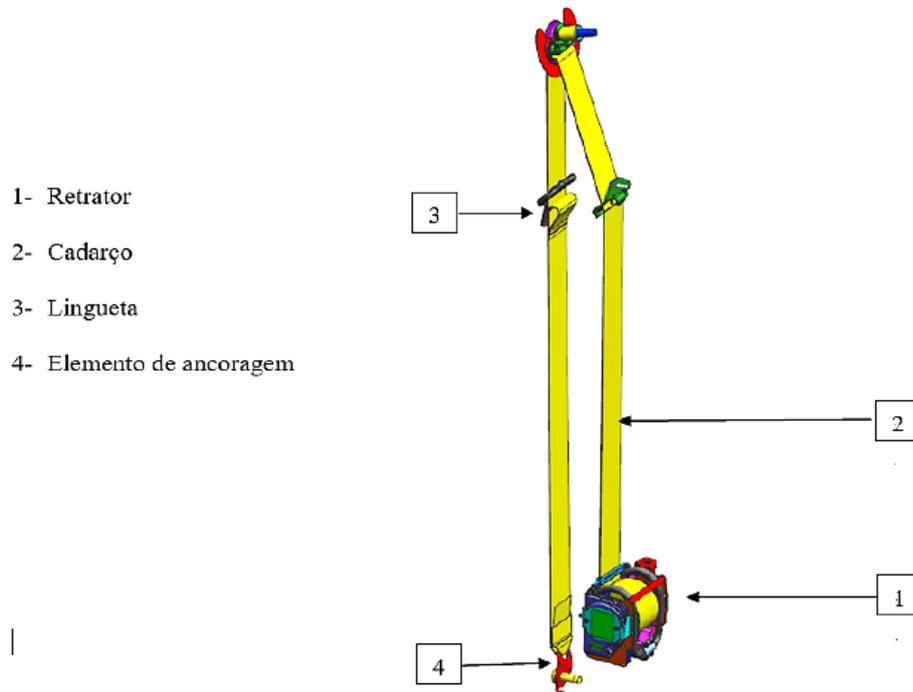
Os sistemas de segurança presente nos veículos estão classificados em diferentes momentos da colisão, sendo que os dispositivos de segurança ativa atuam para evitar que o acidente ocorra, tais como o sistema de frenagem ABS (*Anti-lock Braking System*), que impede que as rodas travem, e assim, os pneus não derrapem sobre a pista. Os dispositivos de segurança passiva atuam no momento da colisão ou desaceleração abrupta do veículo (SILVA, 2018; IKEDA, 2012), são projetados para atuar, sem a intervenção dos ocupantes, reduzindo as lesões causadas nos acidentes. São os cintos de segurança, dispositivos de retenção infantil, airbags e encosto de cabeça, que operam simultaneamente colaborando ativamente para o aumento de segurança no veículo.

Dentre todos estes sistemas o cinto de segurança é considerado o que possui maior participação na redução de lesão, segundo o Instituto de Segurança de Trânsito. O uso do cinto de segurança diminui o risco de morte em 50% sendo que esses números levam em conta todos os tipos de colisão. A eficácia do cinto depende do tipo de colisão (frontal, lateral, traseira), da velocidade e do tipo de veículo. O cinto de segurança tem como principal objetivo reduzir a movimentação do usuário contribuindo para reduzir os riscos de ferimentos na cabeça, rosto, pescoço, membros inferiores e coluna, é item obrigatório em todos os automóveis.

Existem poucos modelos de cintos de segurança regulamentados, sendo que com a resolução 518/15 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), o órgão que regulamenta os equipamentos de segurança nos veículos no Brasil, estabeleceu que a partir de 2020, os veículos devem ser produzidos com cinto de segurança de três pontos, fica assim proibido a fabricação de cintos subabdominais de dois pontos, este é um exemplo de como a regulamentação governamental influencia a necessidade de desenvolver novas tecnologias.

Os requisitos e métodos de ensaios em cintos de segurança em veículos automotores são definidos pela norma ABNT NBR 7337:2014, além de requisitos específicos de cada montadora do veículo. Seguindo esta norma o cinto de segurança pode ser dividido em subconjuntos, são eles: Retratores, Cadastrarço, Lingueta, Elementos de ancoragem (Figura 3).

Figura 3– Cinto de segurança de 3 pontos.



Fonte: Próprios Autores.

Todos estes componentes colaboram para atender a função primária de um cinto de segurança, que é reter o usuário no momento de desaceleração do veículo, porém, é o retractor que possui as principais características que define o desempenho do cinto de segurança. Acomoda o cinto de segurança, oferece um grau de liberdade ao ocupante, extraíndo e recolhendo o cinto de segurança em função da movimentação do usuário, e bloqueia o deslocamento do ocupante em colisões que provocam desaceleração no veículo (acima de $\sim 0,45$ G).

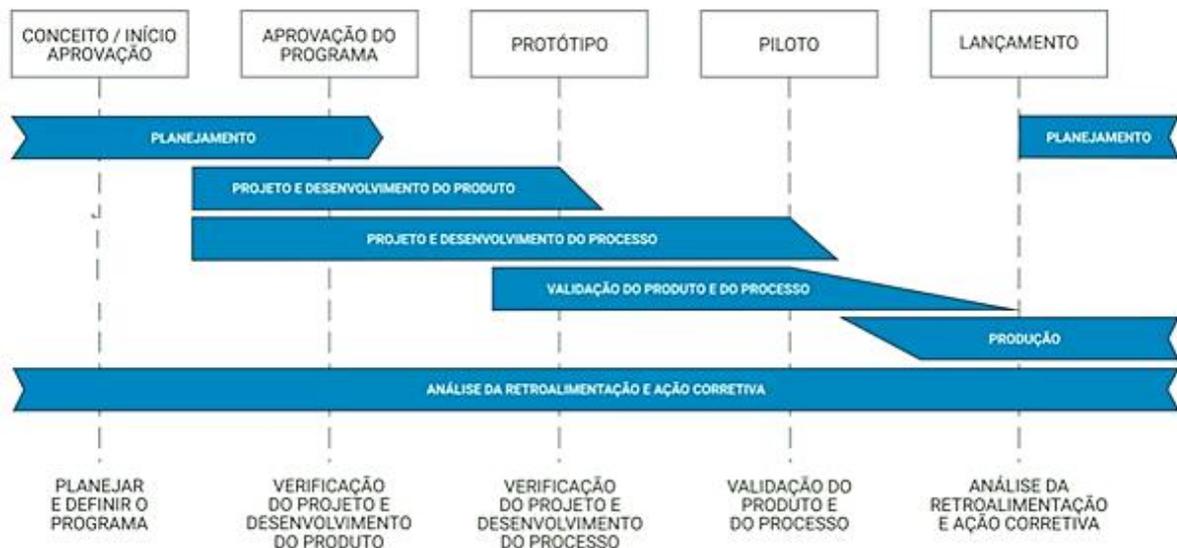
Existem modelos de retratores com recursos de pré-tensionador com redução de carga, que usualmente são instalados na posição dianteira do veículo. Possuem características extras de recolher o cinto de segurança durante o início do evento de desaceleração (colisão), retirando a folga do ocupante e o banco do veículo que aumenta a efetividade da retenção do usuário nos primeiros segundos do acidente, evitando toques regiões rígidas no veículo e posicionando o ocupante corretamente para a entrada do airbag. Após a pretensão o ocupante se desloca em direção ao painel frontal, e na retenção pelo cinto de segurança gera uma carga no tórax devido, a força desta carga é gerenciada pelo retractor com redução de carga, reduzindo compressão torácica e do deslocamento da região pélvica.

4. Desenvolvimento de um Retrator de Cintos de Segurança

A importância em abordar o desenvolvimento de um projeto e suas respectivas fases deve representar a correlação entre os requisitos de cada fase com a tecnologia de MA com melhor custo benefício a ser empregada.

Existem algumas metodologias para o desenvolvimento de um produto, em setores de autopeças o APQP (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto) (TOLEDO *et al.*, 2008). A sua função é definir uma sequência lógica das atividades que devem ser cumpridas em determinadas fases do processo de desenvolvimento do produto aplicando as ferramentas e técnicas descritas no tempo correto. O APQP não elimina os cronogramas de planejamento de projeto, os complementa, informando as atividades e processo a ser executada em cada fase para alinhar as informações entre fornecedor e cliente. O APQP é formado por cinco fases conforme pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Fases do APQP.



Fonte: Adaptado de TOLEDO (2008) e PMBOK (2013).

Na primeira fase de Planejamento de Produto são definidos as necessidades dos clientes e seus requisitos. São executados estudos do produto, com comunicação direta com o cliente. Entende-se como cliente tanto o meio produtivo, a montadora e o próprio cliente final.

Com a finalização da segunda fase tem-se a conclusão do design do produto.

As principais etapas que devem ser concluídas são: revisão e verificação de projeto, especificações de materiais, potenciais modo de falha do projeto e planos de controle para construção dos protótipos do produto.

Na terceira fase conclui-se o planejamento do processo de fabricação que produzirá o produto. O objetivo é executar estudos do processo de produção para atender as especificações, qualidade e custos. O processo deve ter capacidade produtiva para atender a demanda do cliente.

A quarta fase é uma fase de teste do produto, assim como, de todo o processo de fabricação, com objetivo na qualidade do produto final. É certificado a eficiência e confiabilidade do produto e do processo produtivo.

Na quinta e última fase é a produção e entrega do produto em escala produtiva, monitorando se todos os indicadores tangíveis.

Mesmo com a aplicação desta metodologia consolidada, qualquer tipo de projeto de inovação está exposto a incertezas e riscos (JALONEN, 2012). O vínculo entre risco e incerteza representa um evento ou condição incerta que, se ocorrer, tem um efeito negativo sobre pelo menos um objetivo do projeto (PMI, 2013). Para reduzir os riscos em diferentes fases no processo a manufatura aditiva tem-se mostrado uma excelente opção, o protótipo físico real permite uma análise minuciosa de todas as características e aplicabilidades de uma peça (WILTGEN, 2019), em muitos casos representa o produto em sua condição final, tornando o processo de desenvolvimento mais ágil e assertivo sendo possível avaliar as incertezas e sua viabilidade, e a qualquer momento reavaliar o problema que se está executando.

5. Aplicação de Diferentes Tecnologias de Manufatura Aditiva no Projeto

A prototipagem em projetos de engenharia é sem dúvida uma fase importante, e indispensável no desenvolvimento de novos produtos, e técnicas na indústria e na academia (WILTGEN, 2019). A indústria automotiva utiliza para desenvolver sistemas de segurança veicular.

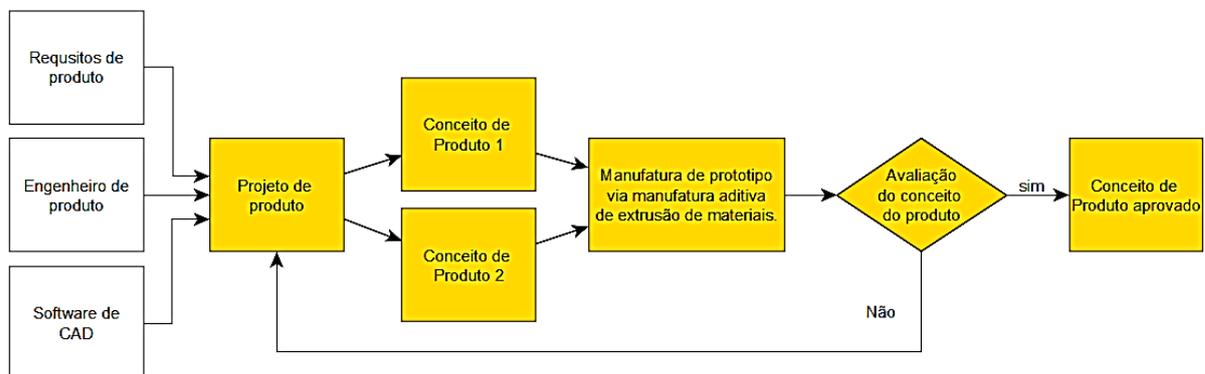
A fase 2 do APQP é o processo do desenvolvimento do produto, ou seja, transforma as informações adquiridas em um projeto válido, especificando dados técnicos como requisitos, matérias e o desenvolvimento de um protótipo. Com a aplicação cada vez mais comum da MA para a construção de protótipos é possível materializar as ideias candidatas a soluções que auxiliam a decisão dos clientes. Estas proporcionam a aprendizagem, e por vezes, a própria validação da ideia. Nesta

fase é o momento de analisar a viabilidade do protótipo, construir um fluxograma dos processos do meio produtivo, e analisar a possibilidades de problemas na produção.

Após as análises de requisitos e das necessidades é projetada uma solução em CAD, na qual é construído os protótipos via AM, para definir o conceito. Nesta fase os protótipos não necessitam de muita sofisticação, porém os recursos da MA proporcionam a percepção real do usuário, tornando mais eficiente para avaliar o conceito. Na Figura 5 é apresentado o fluxo de validação do conceito do produto. Os protótipos tornam possível constatar realmente o que está bom ou ruim, as forças e fraquezas. Quanto mais rápido se constrói protótipos, mais rápido as ideias evoluem, e melhores resultados são alcançados (BROWN, 2010; WILTGEN, 2019).

Um protótipo para análise de conceitos, sem grandes sofisticações, é recomendada a aplicação da tecnologia de extrusão de materiais (FDM, FFF e FLM) por ser um dos métodos mais difundidos em MA. Possui como principal vantagem seu alto custo benefício, além de atender as expectativas com velocidade.

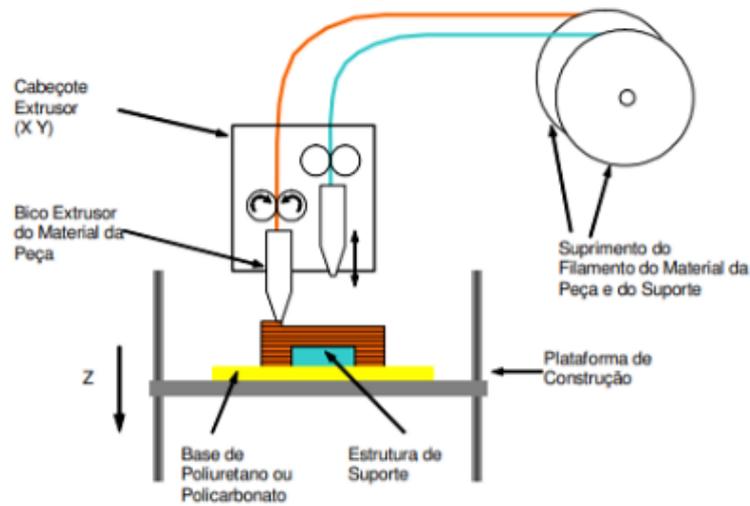
Figura 5- Fluxo de construção e aprovação do conceito do produto.



Fonte: Próprios Autores.

A Modelagem por Deposição Fundida (MDF ou FDM) é um processo por extrusão de filamentos de material por um cabeçote extrusor, construindo a peça camada por camada (Figura 6).

Figura 6– Princípio do processo FDM.

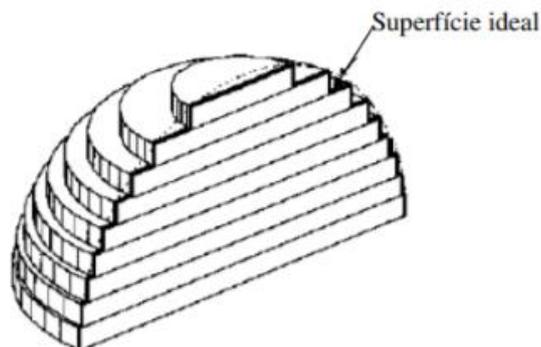


Fonte: Adaptado de ALMEIDA (2007).

As desvantagens desta tecnologia que não impactam nos requisitos desta fase são:

- *Anisotropia vertical, que é uma propriedade física de um material em possuir diferentes resistências mecânicas para diferentes direções quando aplicado cargas de tração ou compressão (FORTULAN; LOVO, 2017; ALMEIDA, 2007);*
- *Superfície estruturada em degraus, que varia em função da camada de depósito de material e da geometria da peça (Figura 7);*
- *Não é receptiva a detalhes finos;*
- *Operam somente com polímeros.*

Figura 7 – Degraus gerados devido a espessura de camada e geometria.

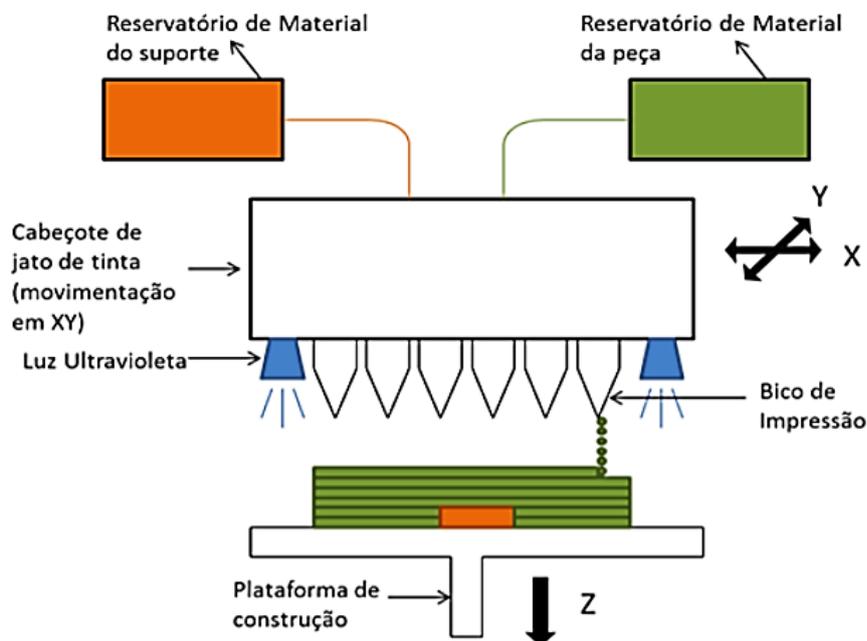


Fonte: Adaptado de ALMEIDA (2007).

Após a avaliação e aprovação do conceito do produto, ainda na fase 2, é necessário analisar a funcionalidade do produto para detectar possíveis modos de falha. Encontrar os problemas em protótipos é muito importante no processo de desenvolvimento de uma peça, pois possibilita a correção das peças com custo muito inferior se comparado com a necessidade de modificação de uma peça na fase de produção (CARVALHO, 2017).

Esta etapa exige um protótipo com as características geométricas realista e em conformidade com o produto final. As peças de retratores de cintos de segurança são produzidas em polímeros, uma tecnologia de MA que pode atender esta fase é a de Jateamento de Material (JM). O JM do tipo *PolyJet* utiliza material fotocurável. Funciona com o jateamento de gotas de resina sobre uma mesa, em seguida é aplicada uma luz UV para o processo de cura. Possui boa precisão e qualidade superficial (GIORDANO *et al.*, 2016). Ao final da impressão a peça finalizada deve ser removida da resina de suporte com jateamento de água (Figura 8). Os materiais disponíveis para o processo se limitam às resinas poliméricas e termoplásticas.

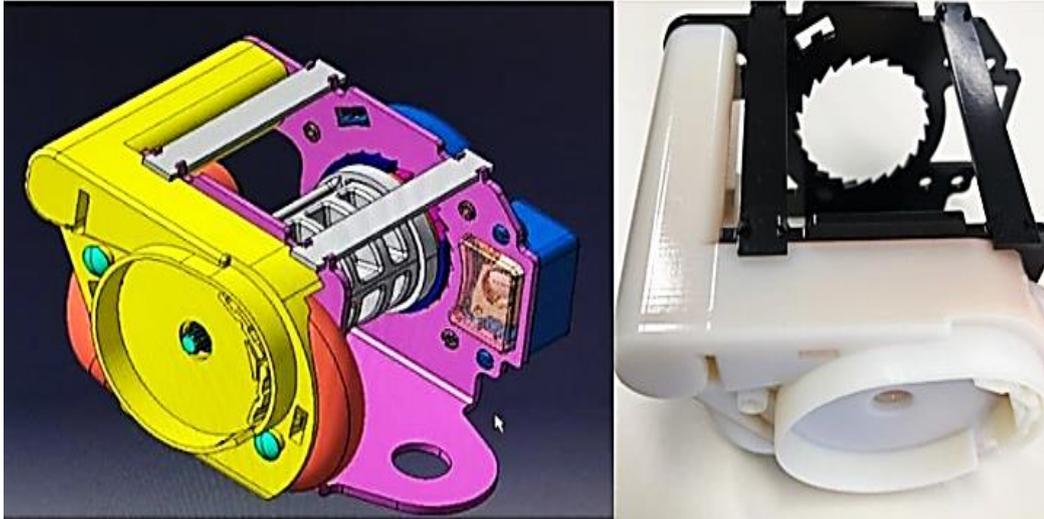
Figura 8 – Esquema funcional do processo de impressão por jato de tinta (IJP).



Fonte: Adaptado de GIORDANO *et al.* (2016).

O protótipo é avaliado nas montagens (Figura 9). No processo produtivo é constituído um fluxograma do processo e manuseios ergonômicos para testes físicos reais.

Figura 9- Projeto realizado em CAD para a construção de protótipos via manufatura aditiva.



Fonte: Próprios Autores.

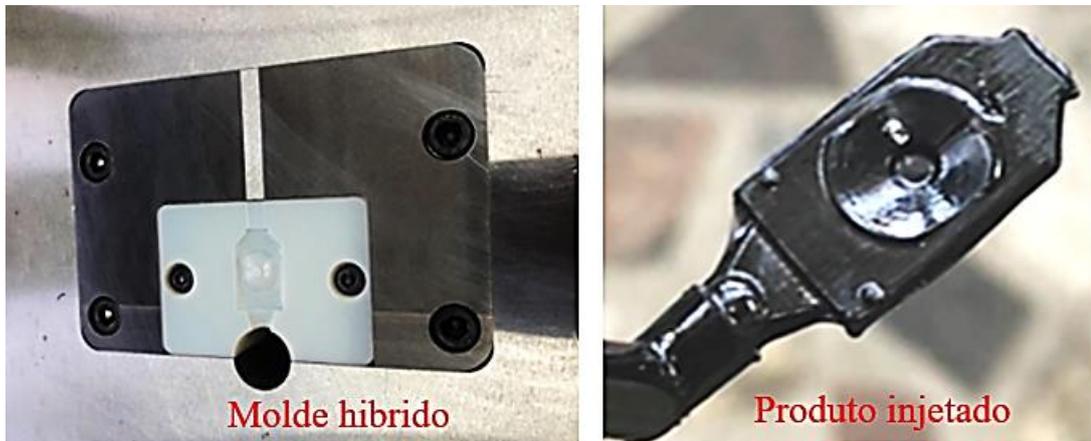
A quarta fase é a etapa de validação do produto e do processo de fabricação, para verificar se o produto atende todos os requisitos do projeto. É avaliado a eficiência e a confiabilidade do produto no processo produtivo.

Para o desenvolvimento de peças de segurança veicular é necessária a construção de protótipos funcionais com as características idênticas da peça original para a análise de tensões, fadiga e testes em campo para a avaliação da eficiência funcional.

Um método que tem se mostrado eficiente para produzir pequenos lotes de peças para teste é o uso de moldes mecânicos híbridos. Diferentemente dos processos convencionais via a manufatura subtrativa, no qual o custo e o tempo quase sempre são um problema, a ideia é fundir a manufatura aditiva com a manufatura subtrativa, aproveira o melhor das duas técnicas no desenvolvimento de moldes mecânicos híbridos.

É possível aplicar a técnica de MA em Jateamento de Material via *PolyJet* com a utilização de matéria-prima do tipo *digital ABS*, que é uma resina de alta resistência, para a construção das matrizes do molde mecânico (Figura 10) (GRIFFIN, 2019). Existem limitações relacionados a geometria, matéria-prima e quantidade da peça a ser produzida via os moldes mecânicos híbridos os quais devem sempre serem observados.

Figura 10- Molde mecânico híbrido com matriz fabricada via MA e peças fabricadas.

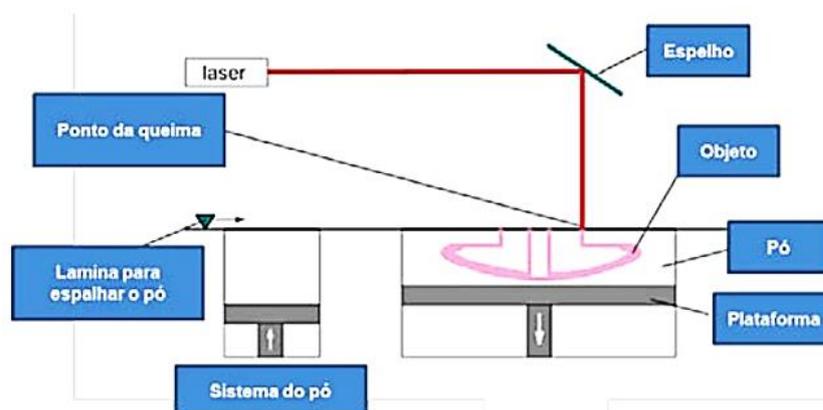


Fonte: Próprios Autores.

Para suprir as limitações da tecnologia JM, pode-se aplicar MA em metais, existe uma variedade de materiais metálicos disponíveis que podem ser aplicados (GOMES; WILTGEN, 2020). Portanto, no caso da fabricação das matrizes em metal pode-se aumentar a produtividade destes moldes, além da qualidade final das peças injetadas. Isso devido a maior eficiência na troca térmica obtida pela construção de canais de resfriamento com geometrias eficientes (ARORA, 2019).

A Fusão em Leito de Pó (FLP ou PBF) com a tecnologia de Sinterização Direta a Laser em Metal (SDLM ou DMLS) é um tipo de MA que constrói peças metálicas. Em uma impressora 3D uma camada ultrafina do pó metálico é espalhada pela mesa, e na sequência um laser funde com precisão o pó nos pontos definidos pelo modelo em CAD. Assim, uma camada é concluída e o procedimento se repete até que a peça seja finalizada (Figura 11).

Figura 11 - Esquema de funcionamento da técnica DMSL/SLM.



Fonte: Adaptado de GOMES e WILTGEN (2020).

As peças metálicas produzidas pelo processo DMLS são resistentes e funcionais, possuem boas propriedades mecânicas em todas as direções. É possível fabricar as peças com mais de 20 diferentes ligas metálicas e com camadas de ~40 μ m e precisão de \pm 50 μ m (EOS, 2017).

A tecnologia de Sinterização Direta a Laser em Metal possui vantagens sobre o *JM PolyJet*, porém, seu custo é mais elevado, e isso deve ser decidido em função da necessidade de cada projeto.

6. Conclusão

O objetivo desta pesquisa aplicada é apontar os benefícios que diferentes tecnologias de manufatura aditiva proporcionam quando aplicadas em diversas fases do desenvolvimento de produtos no seguimento automotivo de segurança veicular.

Diferentes tecnologias de manufatura aditiva possuem a capacidade para fabricar pequenos lotes de produtos atualmente estão difundidas pelas indústrias médicas e aeroespaciais. Porém, no seguimento automotivo encontra-se no início de aplicação, sendo que não existe dúvida que estas novas tecnologias possuem vantagens evidentes para os processos de desenvolvimento de produtos.

Na fase de validação do conceito do produto se comparado com a utilização de técnicas tradicionais a decisão se torna mais assertiva devido a materialização da ideia. Além disso, para várias interações possíveis no projeto nas fases de protótipos conceituais, é possível fabricar uma nova solução em apenas um dia. Aplicar o a MA reduz o tempo de espera e investimentos para tomadas de decisão. O mesmo acontece com a definição do fluxo e controle do meio produtivo, pois a avaliação do modo de falha, assim como, o teste ergonômico da peça fica mais eficiente.

A solução adotada na fase de validação do produto, que é mandatório a construção de protótipos funcionais, foi extremamente vantajosa. Demonstra que limitações da MA, podem ser superadas quando aplicadas em conjunto com a manufatura subtrativa. A opção de construir um molde híbrido em comparação com um molde convencional representa uma vantagem em custo e em tempo. A redução em tempo foi de ~80% na construção dos moldes, sendo que este número cresce progressivamente para cada alteração do projeto devido a novas possibilidades.

A tecnologia de Sinterização Direta a Laser em Metal aplicada na construção de moldes pode vir a se tornar uma realidade em breve, inclusive para a construção de moldes definitivos devido sua capacidade de fabricar geometrias complexas, com

canais de refrigeração mais eficientes aumentando a produtividade do molde mecânico, devido a redução do tempo de resfriamento, e melhoria na qualidade geométrica das peças.

O custo da MA pode ser categorizado no material, na tecnologia da máquina, no tempo de construção e no volume da peça. Com isso é fundamental avaliar a tecnologia aplicada em requisitos para cada fase e evitar impactos no custo.

Com base na pesquisa realizada é importante perceber que existe uma tendência na evolução desta tecnologia, com significativa redução nos custos das peças construídas via MA. Essa ascensão na qualidade das peças possibilita a abertura de novas aplicações industriais em diferentes seguimentos.

REFERÊNCIAS

ABDULHAMEED, O., AL-AHMARI, A., AMEEN, W., MIAN, S.H. **Additive Manufacturing: Challenges, Trends, and Applications**. Advances in Mechanical Engineering. v.11(2), pp.1–27, 2019.

ALCALDE, E.; WILTGEN, F. **Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro**. Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté. v.24(02), pp.1-9, 2018.

ALMEIDA, W.J. **Otimização Estrutural de Protótipos Fabricados pela Tecnologia FDM Utilizando os Métodos dos Elementos Finitos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. 2007. 119p.

ARORA, N. **Design and Manufacturing Injection Mould Conformal Cooling Channels Using Additive Manufacturing**. International Journal of Mechanical and Production Engineering. v.7, pp.56-57, 2019.

CARVALHO, J.G.G. **Inovação e Engenharia de Produção: Uma Visão Geral da Construção de Protótipos Industriais e Dois Casos Práticos em uma Fábrica de Alimentos**. Engenharia de Produção da Escola Politécnica. 2017. 89p.

PAULA, J.O.; MELLO, C.H.P. **Seleção de um Modelo de Referência de PDP para uma Empresa de Autopeças Através de um Método de Auxílio à Decisão por Múltiplos Critérios**. Produção, v.23(01), pp.144-156, 2013.

EOS. **Electro Optical Systems**. Data Sheet. pp.1-5, 2017.

FORTULAN, C.A.; LOVO, J.F.P. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Anisotropia em Peças Fabricadas por Manufatura Aditiva Tipo FDM**. 1º SiPGEM Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. pp.1-7, 2017

GIORDANO, C.M.; ZANCUL, E.S.; RODRIGUES, V.P. **Análise dos Custos da Produção por Manufatura Aditiva em Comparação a Métodos Convencionais**. Revista Produção Online. v.16(02), pp.499-523, 2016.

GRIFFIN, M. **3D Printing vs Injection Molding – Know the Differences**. All3DP 3D Printing Magazine. pp.1-8, 2019.

GOMES, J.; WILTGEN, F. **Avanços na Manufatura Aditiva em Metais: Técnicas, Materiais e Máquinas**. Revista Tecnologia, v.41(01), pp.1-16, 2020.

IKEDA, T. **Segurança Veicular Dispositivos de Segurança Passiva – Descrição e Recomendações**. Engenharia Automotiva Mauá. 2012. 74p.

JALONEN, H. *The Uncertainty of Innovation: A Systematic Review of the Literature*. **Journal of Management Research**. v.4(01), pp.1-47, 2012.

PMBOK. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**. Project Management Institute (PMI). pp.1- 595, 2013.

SANTANA, L. **Avaliação das Capacidades da Impressão 3D de Baixo Custo na Fabricação de Snap**. Tese de Doutorado Universidade do Porto. 2019. 251p.

SYED, A.M.T; KOUMOULOS, E. P.; AMIT, B.; SUSMITA, B.; O'DONOGHUE, L.; CHARITIDIS, C. **Additive Manufacturing: Scientific and Technological Challenges, Market Uptake and Opportunities**. Materials Today. v.21(01), pp.22-37, 2018.

SILVA, D.S. **Análise de Impacto por Elementos Finitos sobre Dispositivo Estrutural de Segurança Veicular Lateral**. Monografia Universidade de Brasília Engenharia Automotiva. 2018. 174p.

TOLEDO, J.C.; ALLIPRANDINI, D.H.; MARTINS, M.F.; FERRARI, F.M. **Práticas de Gestão no Desenvolvimento de Produtos em Empresas de Autopeças**. Produção. v.18(02), pp.405-422, 2008.

WILTGEN, F. **Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF) na UFSCar, São Carlos-SP, 5 a 7 agosto, pp.1-6, 2019.

ZIVANOVIC, S.T.; PJEVIC, M. D.; POPOVIC, M.D.; SLAVKOVIC, N. R.; VORKAPIC N.M. **An Overview of Rapid Prototyping Technologies Using Subtractive, Additive and Formative Processes**. University of Belgrade. v.48, pp.1-8, 2019.



CAPÍTULO 7
TOTAL QUALITY MANAGEMENT (TQM):
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO
CIENTÍFICA NA BASE SCOPUS

Murilo Roberto Jesus Maganha

TOTAL QUALITY MANAGEMENT (TQM): ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NA BASE SCOPUS

Murilo Roberto Jesus Maganha

Professor Universitário, Doutor em Engenharia de Produção pela UFSCar/São

Carlos, murilorjm@hotmail.com

Resumo: Este estudo tem como principal objetivo apresentar um panorama das publicações científicas na área da gestão da qualidade, mais precisamente no tema de gestão da qualidade total (GQT). Através dos dados recolhidos na base de dados Scopus (Elsevier), realizou-se uma análise bibliométrica verificando as publicações científicas no período de 1990 a 2015. Embora esses assuntos tenham um histórico significativo de publicações já bem descritas, justifica-se a atual análise por poucos estudos realizados a partir de análise quantitativa e classificações das publicações nessa temática. A seleção dos trabalhos se deu a partir da combinação de termos em inglês que estivessem contidos no título, resumo e palavras chave das publicações. Este estudo emprega várias medidas como a classificação do fator de impacto no indicador da Scimago Journal Rank (SJR) aplicados aos periódicos e verificação do h-index dos pesquisadores. Parâmetros analisados incluíram também: contagens de citações para avaliar a produtividade, desempenho dos países, periódicos relevantes, artigos relevantes, palavras-chaves mais citadas, tipos de documentos e fontes com maior número, disciplinas mais investigadas, autores e instituição de pesquisa com maiores publicações. Constatou-se uma evolução temporal da referida temática na literatura, com os EUA sendo o país com maiores publicações.

Palavras-chave: análise bibliométrica. gestão da qualidade. gestão da qualidade tota. Scopus.

Abstract: The main objective of this study is to present an overview of scientific publications in the area of quality management, more precisely on the topic of total quality management (TQM). Through the data collected in the Scopus database (Elsevier), a bibliometric analysis was carried out verifying the scientific publications in the period from 1990 to 2015. Although these subjects have a significant history of publications already well described, the current analysis by few studies carried out based on quantitative analysis and classifications of publications on this topic. The selection of works was based on the combination of terms in English that were contained in the title, abstract and keywords of the publications. This study employs various measures such as the impact factor rating on the Scimago Journal Rank (SJR) indicator applied to journals and verification of the researchers' h-index. Parameters analyzed also included: citation counts to assess productivity, country performance, relevant journals, relevant articles, most cited keywords, most cited types of documents and sources, most investigated disciplines, authors and research institution with most publications . There has been a temporal evolution of this theme in the literature, with the USA being the country with the largest publications.

Keywords: bibliometric analysis; quality management; total quality management; Scopus.

INTRODUÇÃO

No meio da rápida mudança da concorrência global, mudanças dinâmicas estão tomando lugares no nível de estratégia das empresas. Organizações estão prestando mais atenção na otimização em suas práticas de gestão, que devem ser feitas de forma proativa por meios de esforços de melhoria contínua (JUNG e WANG, 2006; HIETSCHOLD et al. 2014).

Principalmente a partir da década de 80, as práticas de melhoria têm sido associadas aos conceitos de Gestão da Qualidade Total (GQT), ou na terminologia inglesa Total Quality Management (TQM) (WAY et al. 2016). A partir desse período com mudança no ambiente corporativo, fez com que empresas ocidentais implantassem práticas de TQM, como forma de melhorar a sua competitividade, enfrentando os desafios tanto no mercado doméstico como o mercado internacional (HOMAID et al. 2015; WAY et al. 2016), em resposta aos desafios competitivos principalmente das empresas japonesas (PRAJOGO e SOHAL, 2001).

Práticas de Total Quality Management (TQM) não só ajudam a melhorar a qualidade dos produtos e serviços, mas também ajudam a reduzir o desperdício, retrabalho e a necessidade de estoque regulador através do estabelecimento de um processo de produção estável (SILA, 2007). TQM tem sido amplamente aceito como um modelo de gestão que proporciona vantagem competitiva, se implantada com sucesso (PRAJOGO e SOHAL, 2001).

Total Quality Management (TQM) está sendo usado por muitas organizações em todo o mundo, como um método para melhorar os sistemas de produção e produzir produtos de alta qualidade (ZHENG et al. 2009; YOUSOFF et al. 2016).

Dessa forma, a Total Quality Management (TQM) tem se tornado um tema de grande interesse para ambos os pesquisadores, gestores e profissionais durante décadas em todo o mundo devido ao seu forte impacto sobre o desempenho dos negócios, satisfação do cliente e rentabilidade (TALIB et al. 2012; HIETSCHOLD et al. 2014; HOMAID et al. 2015). Contudo, identifica-se a importância e grande

preocupação em escrever trabalhos que possam contribuir para outros pesquisadores e organizações.

Assim sendo, o objetivo do presente trabalho é fornecer um panorama quantitativo da produção científica sobre Total Quality Management (TQM), por meio de uma análise bibliométrica, a partir da base de dados Scopus. A análise bibliométrica é uma ferramenta útil para compreender o status atual e o futuro das pesquisas em uma área de estudos (WALLACE et al. 2011; ZYOUNG et al. 2014). Ainda esse tipo de análise traz ao pesquisador dentre outros resultados, por exemplo, o conhecimento dos periódicos mais relevantes nessa disciplina estudada, principais autores, quais países, universidades, tem desenvolvido mais pesquisa sobre o assunto, etc. (COBO et al. 2015).

MÉTODO DE PESQUISA

Esse estudo emprega uma análise bibliométrica, o qual tem sido cada vez mais utilizado nas avaliações de trabalhos, no intuito de localizar elementos quantitativos que representam o grupo de trabalhos publicados em um campo de estudos (WALLACE et al. 2011; ZYOUNG et al. 2014). Para Bakri e Willett (2011) as análises bibliométrica são capazes de avaliar além da quantidade (a partir da avaliação do número de publicações), verificar também a qualidade de trabalhos (através da quantidade de citações recebidas das pesquisas).

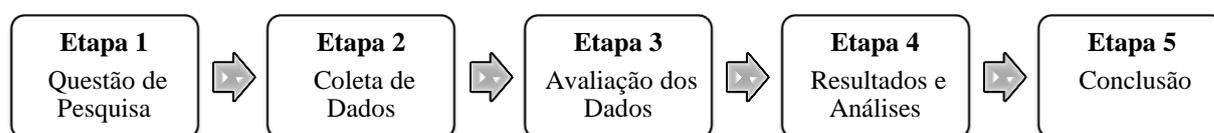
Utilizou-se como fonte de dados a literatura sobre Total Quality Management (TQM), considerando as produções desenvolvidas que compreendesse o período de 1990 a 2015.

A análise se fundamentou em trabalhos publicados, que estão nas bases de dados Scopus, da Editora Elsevier. Justifica-se a adoção dessa base, por ser uma das maiores editoras de agrupamento de referências e citações de literatura científica do mundo. Indexa aproximadamente 21.500 títulos de mais de 5.000 editoras internacionais, contendo mais de 60 milhões de registros em sua base de dados (SCOPUS, 2016). O Scopus é considerado uma das bases de dados bibliográficas mais confiáveis (GOMEZ-JAUREGUI et al. 2014).

Os resultados serão analisados, dentro de uma abordagem quantitativa, através da classificação e mensuração das informações tabuladas, de acordo com oito parâmetros: i) números de publicações de trabalhos entre os anos de 1990 a 2015; ii) números de trabalhos por tipo de documento e fonte; iii) números de trabalhos por disciplinas investigadas, iv) quantidade de trabalhos publicados por periódicos; v) Quantidade de Publicações por Autores mais produtivos e influentes; vi) Palavras-Chave aplicadas aos trabalhos; vii) Artigos mais citados e viii) nacionalidades das Instituições que pertencem os autores (ZYOUUD et al., 2014; HUAQI e HO, 2015; HERADIO et al. 2016).

A análise bibliométrica será baseada e adaptada da estrutura de Randolph (2009) para revisão bibliográfica (FIGURA 1). A primeira etapa da análise é a formulação da questão de pesquisa, logo depois é feito a coleta de dados, em sequência a filtragem e avaliação dos dados, a análise e interpretação dos dados com uso de ferramentas, e por fim, apresentação das conclusões do estudo (QUADRO 1).

FIGURA 1 – Etapas da Análise Bibliométrica



Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Randolph (2009).

QUADRO 1 – Etapas da Análise Bibliométrica

Etapa 1	Questão de Pesquisa Formulação do Problema de Pesquisa	A definição de uma pergunta ou questão no estudo é um dos passos mais importantes em qualquer investigação científica e define o modo como o problema é abordado. A questão, que norteia essa pesquisa: <i>Como tem evoluído as publicações científicas sobre Total Quality Management (TQM) entre os anos de 1990 a 2015 na base de dados Scopus?</i>
Etapa 2	Coleta de Dados Combinação e busca de palavras chaves nas bases de dados	Na coleta de dados, foram selecionados dois grupos de palavras relacionados aos conceitos que se pretendia investigar – <i>TQM e Total Quality Management</i> , como estratégia realizou-se buscas com cruzamentos das palavras. A fim de que as buscas retornassem a combinação dos termos desejados, fez o uso de combinações de palavras - operadores booleanos: (<i>TITLE-ABS-KEY ("TQM") AND TITLE-ABS-KEY ("TOTAL QUALITY MANAGEMENT")</i>) AND <i>PUBYEAR > 1989 AND PUBYEAR < 2016</i> O critério utilizado para a escolha e análise dos trabalhos foi o fato de eles conterem as combinações das palavras. Além desse critério adotado, filtros foram usados para o refinamento das buscas, termos que pudesse estar contidos no título do artigo, no resumo ou nas palavras-chave dos trabalhos indexados na base de dados.

Etapa 3	<p>Avaliação dos Dados</p> <p>Uso de filtros e avaliação dos artigos</p>	<p>Pelo fato de se retornar uma extensa quantidade de trabalhos após a utilização dos filtros de busca, os textos na sua íntegra, não foram avaliados individualmente.</p> <p>Os critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos foram definidos de acordo com as necessidades e expectativas reais da pesquisa, de tal forma que, algumas áreas ou campos de interesses foram incluídos.</p>
Etapas 4 e 5	<p>Resultados/Análises</p> <p>Uso de Ferramentas de Auxílio e Conclusão</p>	<p>O resultado final da busca dos trabalhos foram tabulados e analisados a partir do <i>software Microsoft Office Excel</i> 2010. Foram desenvolvidas tabelas, quadros e figuras que pudessem mostrar de forma organizada e didática os resultados levantados. Foram utilizados para medir a produtividade dos autores o <i>h-Index</i> e dos periódicos o Fator de Impacto (FI) no <i>SCImago Journal & Country Rank</i> (SJR) (Baseado nos dados do <i>Scopus</i>).</p>

Fonte: Desenvolvido pelo autor a partir de Randolph (2009).

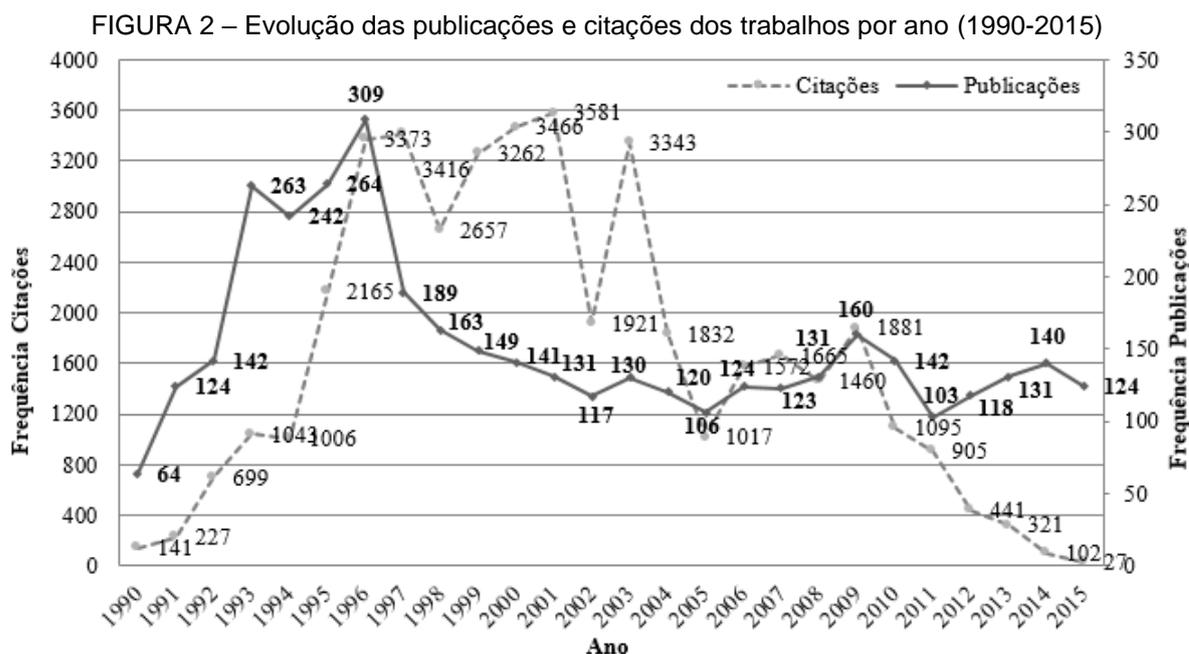
RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção apresenta e discute a partir de tabelas, quadros e figuras os resultados e análises das publicações na base de dados - *Scopus*, de acordo com os oito parâmetros previamente definidos no capítulo anterior de método.

i) Números de publicações de trabalhos

De acordo com os critérios e filtros pré-definidos na metodologia, o número total de publicações levantado na base de dados *Scopus* no período de 1990 a 2015 foi de 3950 trabalhos científicos. Nos anos anteriores a 1990, houve apenas 20 publicações (1984-1989) referentes ao tema pesquisado.

A Figura 2 ilustra a evolução temporal das publicações e citações dos trabalhos publicados, em que a linha sólida representa a evolução das publicações e a tracejada das citações.



Fonte: Dados da pesquisa.

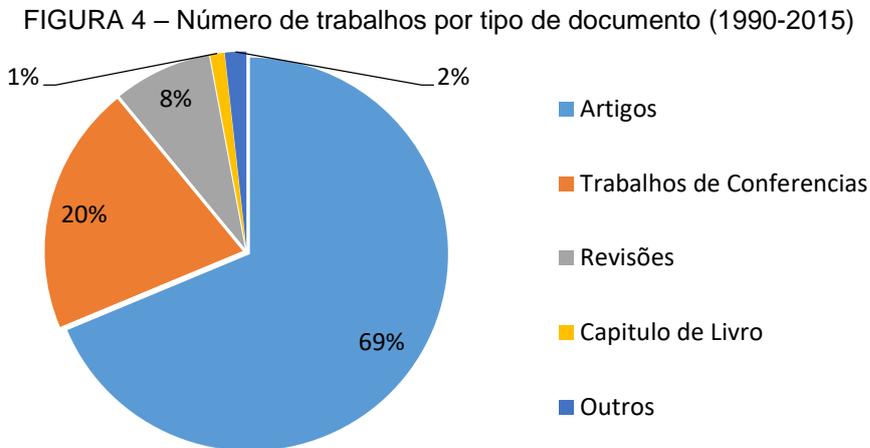
Verifica-se a partir da amostra, grande número de trabalhos publicados ao longo dos anos 90 e a partir da década de 2000 os trabalhos no tema foram estabilizados, tendo alguns anos com maiores picos de produções. O período mais produtivo foi entre os anos de 1993 a 1996 com 28% do total publicado. Observa-se que no ano de 1996 obteve os maiores números de publicações, bem acima da média, sendo 309 trabalhos publicados, em compensação o ano de 1997 teve uma diminuição para 189 trabalhos e 1998 nota-se uma baixa nas publicações de 163 trabalhos. Os dez primeiros anos de publicação correspondem a aproximadamente 50% dos números de publicações de todo o período estudado.

Já em relação às citações, a análise da amostra dos 3950 artigos apontou que eles receberam um total de 37337 citações entre 1990-2015. O ano com publicações com maior número de citação foi o de 2001, com um total de 3581 citações, 1426 pesquisas (36%) não receberam citações e 200 trabalhos (5%) concentram 59% do total de citações recebidas.

ii) Números de trabalhos por tipo de documento e tipo de fonte

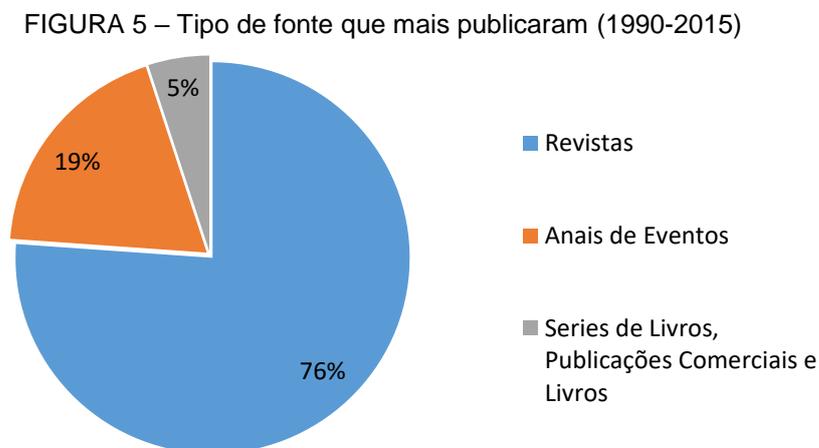
Analisando o número de trabalhos por tipo de documento (Artigos, Trabalhos de Conferências, Revisões, Capítulo de Livro e Outros), dos tipos de documentos mais

relevante, destacam-se dois: os artigos de revistas e os trabalhos de conferências, que juntos correspondem a 3519 publicações, 89% do total (FIGURA 4).



Fonte: Dados da pesquisa.

Já em relação ao tipo de fonte de pesquisa (Revistas, Anais de Eventos, Série de Livros, Publicações Comerciais e Livros), dos 3950 trabalhos analisados, verifica-se que os trabalhos em Revistas são 3007 (76%), seguidos por Anais de Eventos com 745 (19%), são os dois tipos de fonte mais publicados, e são responsáveis por 95% do total de trabalhos escritos. Em sequência as séries de livros, publicações comerciais e os livros somam 198 (5%) das publicações existentes na área de pesquisa da Gestão da Qualidade Total (FIGURA 5).

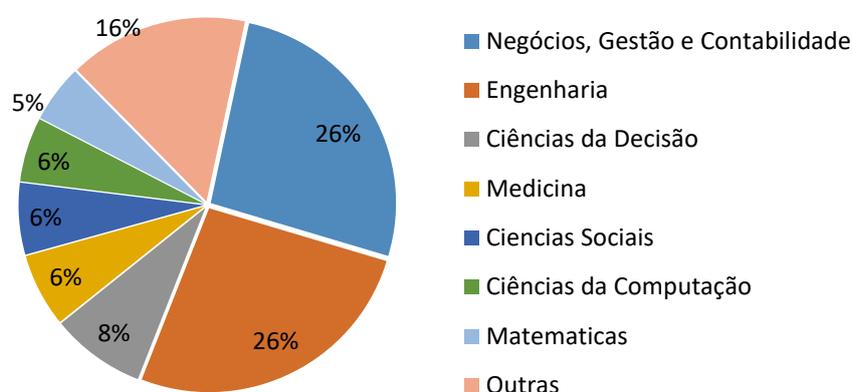


Fonte: Dados da pesquisa.

iii) Números de trabalhos por disciplinas investigadas

Dos trabalhos analisados, 26% foram publicadas nas disciplinas de Negócios, Gestão e Controladoria e Engenharia, sendo essas as disciplinas que mais contribuíram. A terceira que mais contribui foi a Ciências da Decisão 8% e a quarta que mais contribuíram foram Medicina, Ciências Sociais e Ciências da Computação com 6%. Em sequência, com 5% foi publicada pela disciplina de Matemática. Outras disciplinas somaram 16% do total (FIGURA 6).

FIGURA 6 – Trabalhos por disciplinas investigadas (1990-2015)



Fonte: Dados da pesquisa.

iv) Quantidades de trabalhos publicados por periódicos

Se referindo a quantidade de artigo publicado por periódico, identificaram-se os vinte que mais publicaram trabalhos sobre *Total Quality Management* (TQM). Os vinte periódicos que mais desenvolveram trabalhos juntos produziram 1406 publicações que compreende 36% das contribuições dos pesquisadores em todo mundo durante 1990-2015. O Fator de Impacto (FI) no *SCImago Journal & Country Rank* (SJR) – Indicador (2008-2015) variam entre 0,13-2,75 (TABELA 1).

TABELA 1 – Periódicos que mais publicaram (1990-2015)

Periódicos	FI	Total
<i>TQM Magazine</i>	*N/P	247
<i>Total Quality Management And Business Excellence</i>	0,66	177
<i>Total Quality Management</i>	*N/P	158

Engenharia: Construção de Conhecimentos

<i>Annual Quality Congress Transactions</i>	*N/P	131
<i>International Journal Of Quality And Reliability Management</i>	0,54	130
<i>Quality Progress</i>	0,13	98
<i>Proceedings Annual Meeting Of The Decision Sciences Institute</i>	*N/P	58
<i>TQM Journal</i>	0,40	56
<i>International Journal Of Productivity And Quality Management</i>	0,38	47
<i>International Journal Of Health Care Quality Assurance</i>	0,35	34
<i>Annual International Conference Proceedings American Production And ICS</i>	*N/P	33
<i>International Journal Of Production Economics</i>	2,75	33
<i>International Journal Of Production Research</i>	1,44	33
<i>Journal Of Management In Engineering</i>	1,06	32
<i>ASEE Annual Conference Proceedings</i>	*N/P	25
<i>Industrial Management And Data Systems</i>	0,63	24
<i>International Journal Of Operations And Production Management</i>	2,20	24
<i>Benchmarking</i>	0,56	22
<i>EMJ Engineering Management Journal</i>	0,31	22
<i>Quality Management In Health Care</i>	0,42	22
Total		1406

FI – Fator de Impacto no SCImago Journal & Country Rank (SJR);

* N/P - Não possui fator de impacto no SCImago Journal & Country Rank (SJR)

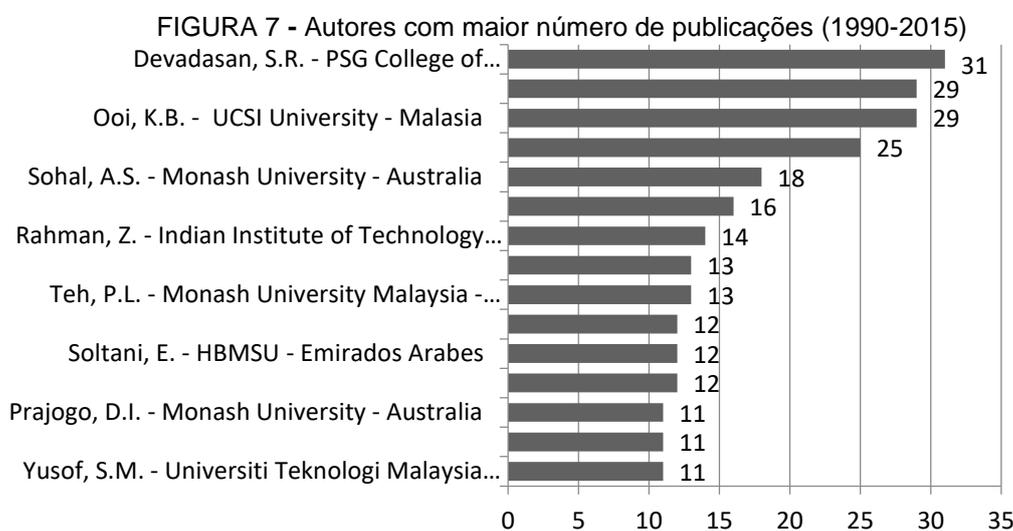
Fonte: Dados da pesquisa.

Desses vinte periódicos de maior destaque em publicar nas temáticas em questão, a *TQM Magazine* é a revista que mais publicou 247 pesquisas. Não possui fator de impacto no SJR.

v) Autores mais produtivos e influentes

Quanto ao número de autores mais produtivos, utilizou-se como critério para apresentação o *ranking* dos 15 autores e suas respectivas Instituições/País com maiores publicações nesse tema de pesquisa (FIGURA 7). Por outro lado, os 15 principais autores mais produtivos são reformulados na Tabela 3, que classifica os autores com base em seu *h-Index*. O *h-Index* tem impacto na influência do autor, pois é calculado pela relação do número de trabalhos publicados e suas citações. Por

exemplo, um autor tem *h-Index* = 7 se os seus 7 artigos mais citados tiverem pelo menos 7 citações cada um.



Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 3 - Autores mais influentes

Autores	<i>h-Index</i>	TDS	TC *	QDC *	AI
1. Gunasekaran, A. - EUA	44	357	9153	7053	1985
2. Sohal, A.S. – Australia	36	196	4412	3448	1986
3. Wilkinson, A. - Australia	27	151	2303	1834	1989
4. Dale, B.G.- Reino Unido	27	187	2516	2013	1982
5. Zairi, M. – Reino Unido	26	116	2320	2053	1991
6. Ooi, K.B. - Malasia	25	91	1610	1012	2006
7. Prajogo, D.I. - Malasia	23	62	1894	1373	2001
8. McAdam, R. – Reino Unido	22	126	1787	1604	1996
9. Ahire, S.L. - EUA	17	35	1737	1497	1994
10. Devadasan, S.R. - India	16	133	867	612	1995
11. Rahman, Z. - India	13	54	456	368	2003
12. Soltani, E. - HBMSU - Emirados Arabes	12	37	345	275	2003
13. Yusof, S.M. - Universiti Teknologi Malaysia - Malasia	11	38	533	438	1995
14. Teh, P.L. – Malasia	11	37	268	219	2008
15. Talib, F. - India	9	16	237	192	2003

TDS - Total de documentos na Base *Scopus*; TC – Total de Citações de outros autores; QDC – Quantidade de documentos citados na Base *Scopus*; AI – Ano de inclusão do Autor na Base *Scopus*.

* Dados levantados até 26/07/2016

Fonte: Dados da pesquisa.

Guiado pelo propósito de traçar um panorama amplo da produção científica, esta pesquisa buscou alencrar também os autores que mais influenciam tomando por base citações de suas pesquisas (TABELA 3). O autor mais influente é Gunasekaran, A. - EUA., o qual teve o *h-Index* mais alto entre todos $h=44$, tendo um total de citações de 9153 em 7053 publicações de outras pesquisas. Em segundo autor mais influente está Sohal, A.S. com $h=36$, tendo um total de citações de 4412 em 3448 trabalhos científicos de outros autores. Nota-se que ambos autores começaram a ter inclusão de seus trabalhos na base *Scopus* a partir da metade dos anos 80. Verifica-se ainda que os dois primeiros autores mais influentes são de países diferentes: EUA e Austrália.

vi) Palavras-Chave aplicadas aos trabalhos

Além das palavras utilizadas na busca - título, resumo ou palavras chave das publicações (*TOTAL QUALITY MANAGEMENT; TQM*), ao localizar as publicações na base de dados *Scopus*, foi identificada uma grande heterogeneidade de termos utilizados. A tabela 4 apresenta as quinze palavras-chave mais citadas nas publicações.

TABELA 4 – Palavras-chave com maior frequência (1990-2015)

Palavras-Chave	Nº Frequência
1. <i>Quality Control</i>	839
2. <i>Quality Assurance</i>	611
3. <i>Article</i>	442
4. <i>Societies And Institutions</i>	381
5. <i>Total Quality Management (TQM)</i>	338
6. <i>Industrial Management</i>	336
7. <i>Management</i>	304
8. <i>Organization And Management</i>	296
9. <i>Customer Satisfaction</i>	292
10. <i>United States</i>	285

11. <i>Standard</i>	281
12. <i>Human</i>	280
13. <i>Strategic Planning</i>	267
14. <i>Quality Management</i>	237
15. <i>Personnel</i>	232

Fonte: Dados da pesquisa.

Como eram esperadas, as quinze palavras-chave mais citadas informada na tabela 4, estão altamente relacionadas com as palavras utilizadas na pesquisa - *TOTAL QUALITY MANAGEMENT*; *TQM*, isso valida à busca realizada de acordo com o objetivo do trabalho.

vii) Artigos mais citados na base Scopus

O número de citações tem sido amplamente aceito como indicador do impacto de uma pesquisa. Em geral, os melhores artigos são publicados em periódicos com fatores de alto impacto (BLOCH, 2002; ROBINSON e CAILLEN, 2010; HUAQI e HO, 2015).

Em nível de citações dos artigos na base *Scopus*, variou de 708 citações do primeiro maior artigo para 301 citações do décimo artigo mais citado. O artigo mais citado foi publicado em 2003 no periódico *Journal of Operations Management* (Fator de Impacto = 5,05 no *SCImago Journal & Country Rank* (SJR) – Indicador (2008-2015) por Shah, R., Ward, P.T. citado 708 vezes na base de dados *Scopus*. As outras nove publicações que foram mais citadas no campo da pesquisa - *TOTAL QUALITY MANAGEMENT* são apresentadas na Tabela 5.

TABELA 5 – Os artigos mais citados (1990-2015)

Autor (es)	Título	Periódico	AP	FI	TC
1. Shah, R., Ward, P.T..	<i>Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance</i>	<i>Journal of Operations Management</i>	2003	5,05	708
2. Samson, D., Terziovski, M.	<i>Relationship between total quality management practices and operational performance</i>	<i>Journal of Operations Management</i>	1999	5,05	632
3. Westphal, J.D., Gulati, R., Shortell, S.M.	<i>Customization or conformity? An institutional and network perspective on the content and consequences of TQM adoption</i>	<i>Administrative Science Quarterly</i>	1997	10,57	618
4. Kaynak, H.	<i>The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance</i>	<i>Journal of Operations Management</i>	2003	5,05	554
5. Black, S.A., Porter, L.J.	<i>Identification of the critical factors of TQM</i>	<i>Decision Sciences</i>	1996	1,59	502

6. Cua, K.O., McKone, K.E., Schroeder, R.G.	<i>Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance</i>	<i>Journal of Operations Management</i>	2001	5,05	420
7. Hendricks, K.B., Singhal, V.R.	<i>Does implementing an effective TQM program actually improve operating performance? Empirical evidence from firms that have won quality awards</i>	<i>Management Science</i>	1997	4,38	392
8. Shortell, S.M., O'Brien, J.L., Carman, J.M., Boerstler, H., O'Connor, E.J.	<i>Assessing the impact of continuous quality improvement/total quality management: Concept versus implementation</i>	<i>Health Services Research</i>	1995	2,37	376
9. Zbaracki, M.J.	<i>The rhetoric and reality of total quality management</i>	<i>Administrative Science Quarterly</i>	1998	10,57	370
10. Detert, J.R., Schroeder, R.G., Mauriel, J.J.	<i>A framework for linking culture and improvement initiatives in organizations</i>	<i>Source of the Document Academy of Management Review</i>	2000	8,83	301

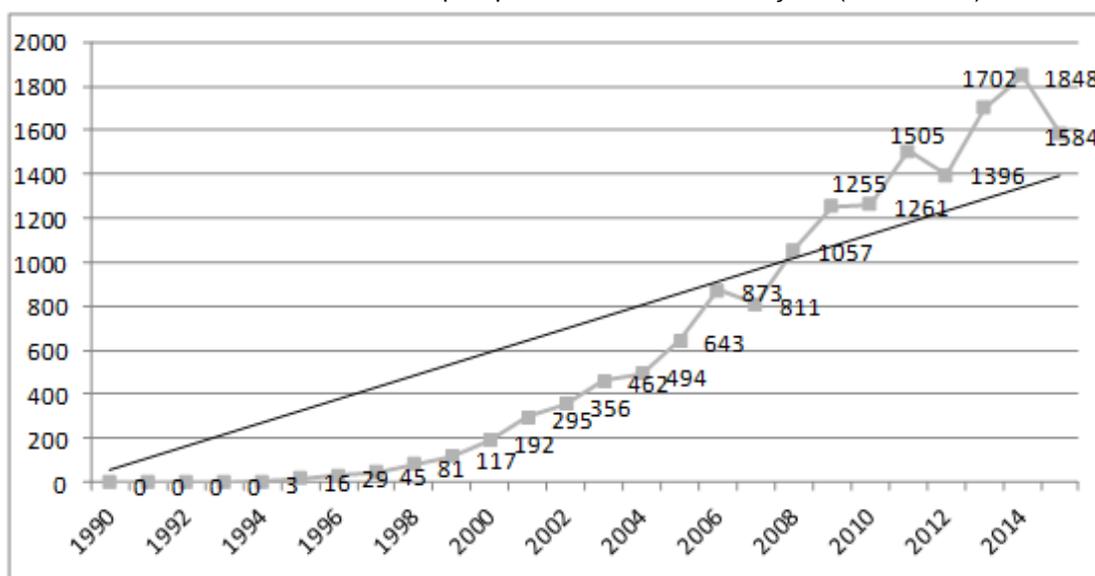
AP – Ano de Publicação; FI – Fator de Impacto; TC – Total de Citações;

*N/P - Não possui fator de impacto no SCImago Journal & Country Rank (SJR)

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com os trabalhos desenvolvidos dentre os anos de 1990-2015 sobre o as 100 publicações científicas que tiveram mais citações em outras pesquisas destacam-se os trabalhos desenvolvidos no ano de 2014 que corresponde a 1848 do total de 16025 das 100 publicações com maior citação (FIGURA 9). Conforme reflete a linha de tendência, dados indicam que as citações das produções científicas em geral aumentaram ao longo dos anos, mas sofreram uma ligeira queda nos anos de 2007, 2012 e 2015.

FIGURA 9 – Cem pesquisas com maiores citações (1990-2015).



Fonte: Dados da pesquisa.

viii) Nacionalidades das Instituições que pertencem os autores

Dos 3950 trabalhos selecionados, 2969 pesquisas sobre o tema estão distribuídas entre quinze países. Levou-se em consideração a nacionalidade das instituições as quais somente os autores principais dos artigos estavam vinculados (TABELA 6).

TABELA 6 – Nacionalidades das instituições que pertencem os autores (1990-2015)

País - Pesquisador	Frequência		Frequência Relativa Acumulada (%)
	Absoluta	Relativa (%)	
1. Estados Unidos	1241	31,42	31,42
2. Reino Unido	479	12,13	43,54
3. Índia	241	6,10	49,65
4. Malasia	157	3,97	53,62
5. Austrália	148	3,75	57,37
6. Espanha	97	2,46	59,82
7. Canada	93	2,35	62,18
8. Taiwan	93	2,35	64,53
9. Hong Kong	87	2,20	66,73
10. Alemanha	75	1,90	68,63
11. Suécia	69	1,75	70,38
12. China	56	1,42	71,80
13. Grécia	49	1,24	73,04
14. Singapura	43	1,09	74,13
15. Irã	41	1,04	75,16
Outros	981	24,84	100,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Conforme pode ser observado, os Estados Unidos lidera a lista com 1241 autores, vinda seguida o Reino Unido com 479 pesquisadores e Índia com 241 autores com publicações. As quinze primeiras nacionalidades contabilizam mais de 75% do total publicado. No total foram 84 nacionalidades de diversas instituições que publicaram os trabalhos. Vale ressaltar que não se está avaliando a qualidade das publicações, mas as quantidades de acordo com os critérios e filtros utilizados.

Dos 3950 trabalhos analisados, vinte e seis foram originadas por instituições Brasileiras, publicados entre os anos de 1990 a 2015, de autores e coautores diferentes, em dezesseis tipos de periódicos.

Outro fator de importância que devemos atentar é o idioma que se publica os trabalhos, 97,52% dos trabalhos foram feitos em Inglês e apenas 1,40% em Alemão, e os outros 1,08% foram publicados em outras línguas. Essa dominância do idioma inglês nas publicações é advinda principalmente do pós II Guerra Mundial, onde se tornou a “língua franca da ciência” (VOLPATO, 2008).

4. CONCLUSÕES

O presente estudo teve por objetivo apresentar um panorama, por meio da análise bibliométrica os resultados quantitativos e análises das publicações científicas sobre o tema – Gestão da Qualidade Total no período de 1990 a 2015. Destaca-se a importância da realização de estudos bibliométricos, pois apoiam o embasamento teórico e prático, para a construção do pensamento lógico sobre qualquer tema pesquisado.

Com base na amostra analisada de 3950 publicações na base *Scopus*, além da ascensão ao longo dos 26 anos de pesquisas relacionados à proposta do estudo e o aumento de citações desses estudos, após a análise das publicações alguns outros aspectos foram destacados: i) *TQM Magazine* é o periódico que mais publicou artigos relacionados ao tema; ii) Trabalhos de Conferências e Artigos são os tipos de documentos mais relevantes; iii) As três disciplinas que mais publicam são: Negócios, Gestão e Contabilidade; Engenharia e Ciências da Decisão; iv) *University of Manchester* do Reino Unido, é que apresenta o maior número de artigos com destaque para o pesquisador Dale, B.G. com 29 publicações, sendo o segundo que mais publicou sobre o tema; v) O autor mais influente é, Gunasekaran, A. - EUA com *h-Index*=44, da *University of Massachusetts Dartmouth* - EUA; vi) Estados Unidos, Reino Unido e Índia lideram a maior quantidade de trabalhos publicados; vii) A obra mais citada no período foi “*Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance*”, autores Shah, R., Ward, P.T., datado em 2003, na *Journal of Operations Management*; ix) A palavra-chave que mais se destacou além dos *strings* utilizados foram a “*Quality Control*” com 839 aparições, seguido de “*Quality Assurance*” com 611 aparições.

Salienta-se que a presente pesquisa possui algumas limitações e devem ser elucidadas. Primeiramente, embora a análise bibliométrica seja considerada um método bem estabelecido para analisar quantidade de trabalhos publicados e identificar os padrões ou tendências, ainda existe algumas desvantagens com este método. Palavras-chave pré-definidas são limitante, pois variam de pessoa para pessoa, dessa forma pode existir inconsistências entre as palavras-chave selecionadas pelos autores do artigo. Ressalta-se, também, que a análise da literatura foi baseada em uma seleção de artigos escolhidos a partir da base de dados *Scopus Elsevier*. Mesmo a *Scopus* sendo uma das maiores bases de dados multidisciplinares da literatura científica e amplamente usada como fonte de dados em estudos que descrevem a dinâmica da ciência e da tecnologia, há uma possibilidade de que alguma literatura no domínio não pode ser incluída na base de dados.

Para estudos futuros poderão considerar a realização de uma análise de conteúdo, tanto quantitativa como qualitativamente, nesta área particular. Isto poderia identificar mais lacunas na literatura e outros pesquisadores. Aconselha-se, que sejam realizados estudos para obtenção de informações do processo de constituição de redes de cooperação do desenvolvimento de trabalhos.

Por fim, acredita-se que a pesquisa reportada neste trabalho tenha contribuído para o estudo sobre o tema - *Total Quality Management (TQM)*, ao destacar algumas das características das principais publicações sobre o mesmo, apresentando uma visão geral do tema que parecem necessitar de uma maior atenção dos pesquisadores.

REFERÊNCIAS

BAKRI, A.; WILLET, P. *Computer science research in Malaysia: a bibliometric analysis*. *Aslib Proc.* v. 63 , p. 321-335, 2011.

BOU-LLUSAR, J. C.; ESCRIG-TENA, A. B.; ROCA-PUIG, V.; BELTRAÍN-MARTÍN, I. *An empirical assessment of the EFQM Excellence Model: Evaluation as a TQM framework relative to the MBNQA Model*. *Journal of Operations Management*. v. 27, p. 1-22, 2009.

COBO, M. J.; MARTINEZ, M. A.; GUTIÉRREZ-SALCEDO, M.; FUJITA, H.; HERRERA-VIDEVA E. *25 years at Knowledge-Based Systems: A bibliometric analysis*. *Knowledge-Based Systems*. v. 80, p. 3-13, 2015.

GOMEZ-JAUREGUI, V.; GOMEZ-JAUREGUI, C.; MANCHADO, C.; OTERO, C. *Information management and improvement of citation indices*. International Journal of Information Management, v. 2, p. 257-271, 2014.

HERADIO, R.; LA TORRE, L.; GALAN, D.; CABRERIZO, F. J.; HERRERA-VIEDMA, E.; DORMINDO, S. *Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis*. Computers & Education. v. 98, p. 14-38, 2016.

HIETSCHOLD, N.; REINHARDT, R.; GURTNER, S. *Measuring critical success factors of TQM implementation successfully – a systematic literature review*. International Journal of Production Research. v. 52, n. 21, p. 6254-6272, 2014.

HO, S. K. *Are ISO 9000 and TQM routes for logistics excellence?*. Logistics Information Management. v. 10, n. 6, p. 275-283, 1997.

HOMAIID, A. A.; MINAI, M. S.; RAHMAN, H.A. *TQM and Performance Linkage in the Microfinance Institutions: The Mediating Role of IT Capability*. Asian Social Science. v. 11, n. 21, p. 213-230, 2015.

HUAQI, C.; HO, Y. S. *Highly cited articles in biomass research: A bibliometric analysis*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 49, p. 12-20, 2015.

JUNG, J. Y.; WANG, Y. J. *Relationship between total quality management (TQM) and continuous improvement of international project management (CIIPM)*. Technovation. v. 26, n. 5-6, p. 716-722, 2006.

PRAJOGO, D. I.; SOHAL, A. S. *TQM and innovation: a literature review and research framework*. Technovation. v. 21, n. 9, p. 539-558, 2001.

PRAJOGO, D.I., SOHAL, A.S. *The multidimensionality of TQM practices in determining quality and innovation performance—an empirical examination*. Technovation. v. 24, n. 6 443–453, 2004.

RANDOLPH, J.J. *A Guide to Writing the Dissertation Literature Review*. Practical Assessment, Research & Evaluation, v.14, n.13, p.1-13, 2009.

SCOPUS. Scopus: Content coverage guide. 2016; Disponível em: <https://www.elsevier.com/__data/assets/pdf_file/0007/69451/scopus_content_coverage_guide.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2016.

SILA, I. *Examining the effects of contextual factors on TQM and performance through the lens of organizational theories: An empirical study*. Journal of Operations Management. v. 25, n. 1, p. 83-109, 2007.

TALIB, F.; RAHMAN, Z.; QURESHI, M.N. *Total quality management in service sector: a literature review*. Int. J. of Business Innovation and Research. v. 6, n. 3, p.259 – 301, 2012.

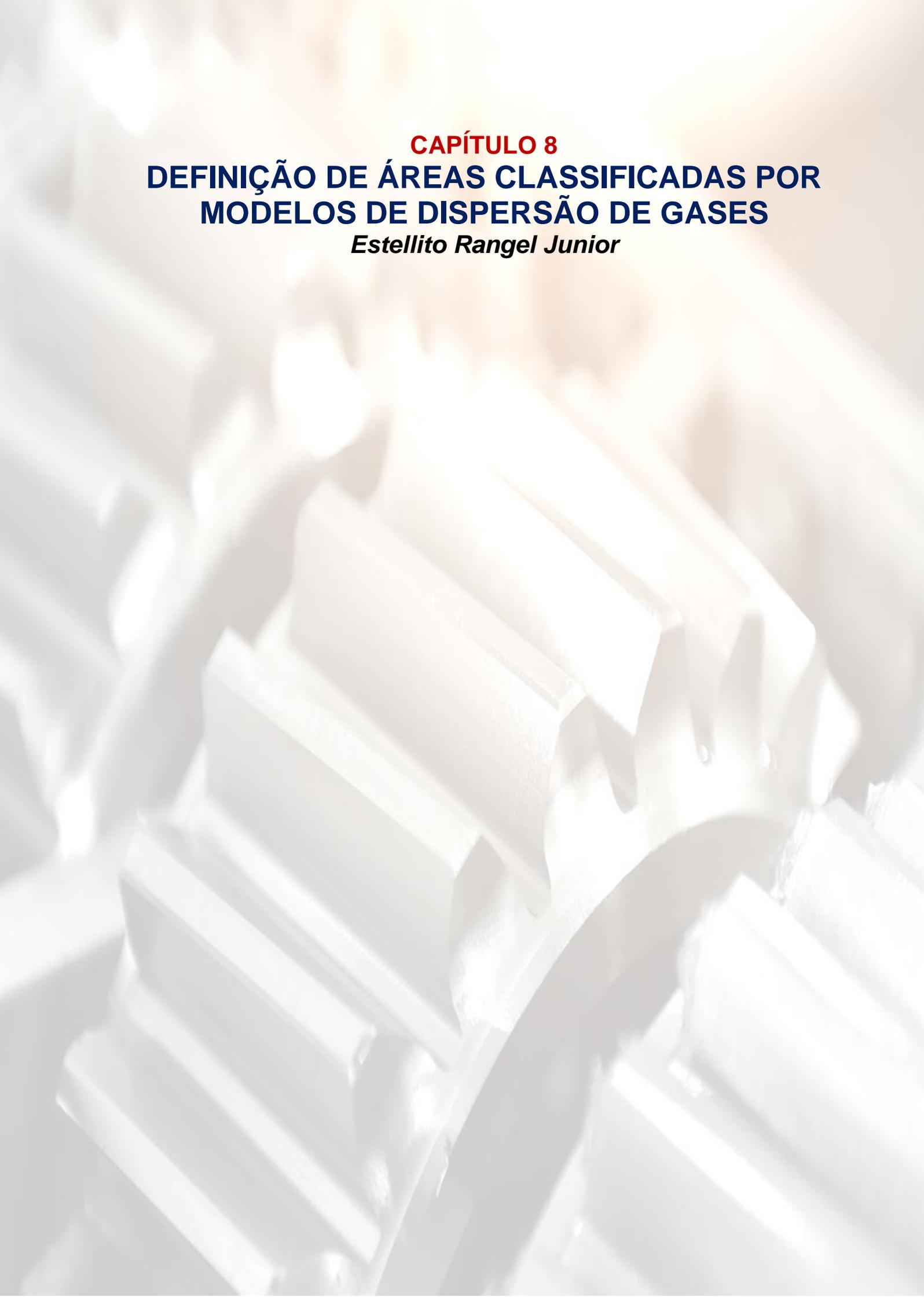
WALLACE, D.; FLEET, C.; DOWNS, L. *The research core of the knowledge management literature*. International Journal of Information Management, v. 31, v. 1, p. 14-20, 2011.

WAY, Y.; AICHOUNI, M.; BADAWI, I.; BOUJELBENE, M. *A survey on the implementation of Total Quality Management (TQM) at manufacturing industries in north region, Kingdom of Saudi Arabia*. 2016 2nd International Conference on Information Management (ICIM). p. 84-88, 2016.

YUSOFF, W.; BADAWI, I.; AICHOUNI, M. *A survey on the implementation of Total Quality Management (TQM) at manufacturing industries in north region, Kingdom of Saudi Arabia*. 2nd International Conference on Information Management (ICIM). p. 1-5, 2016.

ZHENG, Y.; ZHAO, H. *Total Quality Management. Management and Service Science MASS 09*. International Conference on. p. 1-4, 2009.

ZYOUD, S.; AL-JABI, S.; SWEILEH, W.; AWANG, R. *A bibliometric analysis of research productivity of Malaysian publications in leading toxicology journals during a 10-year period (2003–2012)*. Hum. Exp. Toxicol. v. 33, p. 1284 - 1293, 2014.



CAPÍTULO 8
**DEFINIÇÃO DE ÁREAS CLASSIFICADAS POR
MODELOS DE DISPERSÃO DE GASES**

Estellito Rangel Junior

DEFINIÇÃO DE ÁREAS CLASSIFICADAS POR MODELOS DE DISPERSÃO DE GASES

Estellito Rangel Junior

Engenheiro Eletricista

IEEE, Instituto dos Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos, Rio de Janeiro, RJ,

estellito@ieee.org

RESUMO: Este artigo aborda a execução dos estudos de classificação de áreas quanto ao risco de formação de atmosferas explosivas, indispensáveis para a execução do projeto das instalações elétricas na indústria do petróleo e outras que processam produtos inflamáveis, e compara as dimensões mostradas nas figuras genéricas apresentadas na literatura americana, com os resultados obtidos pelo uso de um software de modelagem de dispersão de gases inflamáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas classificadas. Dispersão de gases. Limites de explosividade.

ABSTRACT: This article discusses the elaboration of the area classification study, which is indispensable for the design development of the electrical installations in the oil & gas industry and other industries with flammable materials, and compares the extents given by the generic figures presented the American literature, with the results obtained by using a gas dispersion software.

KEYWORDS: Classified locations. Gas dispersion. Explosive limits.

INTRODUÇÃO

Define-se como “área classificada” a região que possui a possibilidade de ocorrência de uma atmosfera explosiva. Uma atmosfera explosiva é definida como a mistura com o ar, sob condições atmosféricas, de vapores ou gases inflamáveis, na qual, após a ignição, permite a propagação da chama de forma autossustentada. Para fins de classificação de áreas, é considerada como uma potencial atmosfera explosiva de gás ou vapor, aquela com possibilidade de ocorrência de concentração da substância inflamável acima de seu Limite Inferior de Explosividade (LIE).

Uma vez que os líquidos e gases inflamáveis correm no interior das tubulações e equipamentos de processo, uma atmosfera explosiva apenas será formada no

ambiente quando houver liberação da substância inflamável, o que pode ocorrer em determinadas situações operacionais, como nos casos de vazamentos em tubulações de processo. Cabe ao estudo de classificação de áreas, a partir da estimativa da taxa de liberação, da ventilação do local e das características físico-químicas do produto inflamável, identificar até que distância de cada provável ponto de liberação, a concentração da mistura inflamável se manterá acima do LIE e assinalá-la nos documentos de projeto, o que permitirá então a correta especificação dos equipamentos elétricos e eletrônicos a serem instalados naquelas regiões, garantindo a segurança da planta contra explosões.

Como os desenhos de classificação de áreas são consultados também para a elaboração dos procedimentos de segurança na operação e na manutenção da unidade, é imprescindível que eles sejam elaborados com base nos dados específicos de cada planta industrial.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

São conhecidas duas correntes para a classificação de áreas com relação à presença de atmosferas explosivas: a americana, cuja discriminação se dá por “Divisões”, e a da *International Electrotechnical Commission* (IEC), que se dá por “Zonas”.

A Tabela 1 mostra a correlação entre as definições empregadas nas duas correntes.

Tabela 1. Correlação entre as terminologias IEC e americana

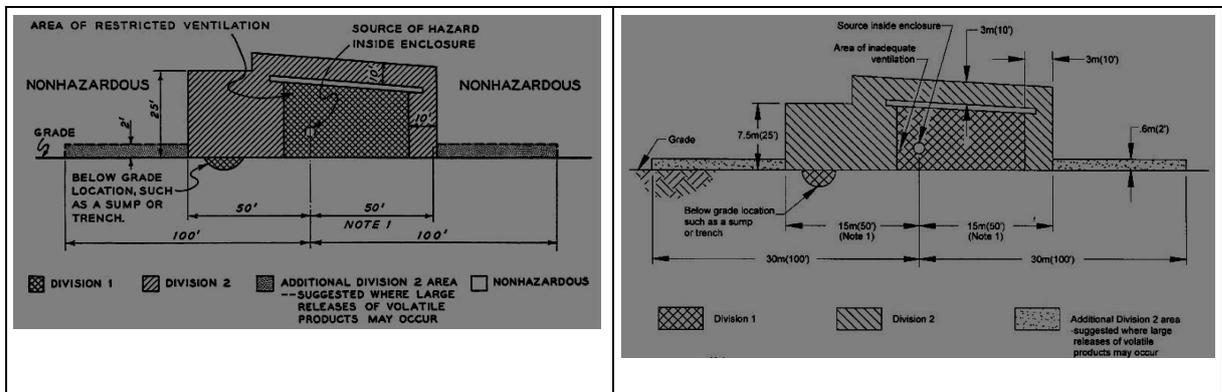
IEC	Americana	Definição
Zona 0	Divisão 1	Local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa está presente continuamente, ou por longos períodos, ou frequentemente
Zona 1		Local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa é provável de ocorrer, ocasionalmente, em operação normal.
Zona 2	Divisão 2	Local no qual uma atmosfera explosiva consistindo em uma mistura com o ar de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor ou névoa não é provável de ocorrer em operação normal e, se ocorrer, existirá somente por um curto período de tempo.

Abordemos alguns dos documentos para a confecção dos desenhos de classificação de áreas:

API RP-500

Equivocadamente referenciada como “norma”, este documento é uma “Prática Recomendada”, emitida pelo American Petroleum Institute (API). Uma norma estabelece os requisitos mínimos para execução de um serviço ou fabricação de um produto; uma “Prática Recomendada” apenas sugere soluções, sem detalhar as considerações adotadas. (Driscoll et al., 2012). A API RP-500 (2012) tem como objetivo “fornecer orientações para a classificação de regiões Classe I Divisão 1 e Divisão 2 em instalações de petróleo, devendo ser tratada como um guia, e ser aplicada mediante adequada análise de engenharia”. Na Figura 1, exemplos da API RP-500, edições de 1957 e 2012.

Figura 1. À esquerda, figura da API RP-500 (1957); à direita, da edição 2012



Na API RP-500 (2012), encontramos a figura 22 (à esquerda) com extensões idênticas à da edição de 1957. Considerando as diversas modificações nos processos da indústria de petróleo ao longo daqueles 55 anos, fica claro que tais figuras não são determinações. E, pela Prática Recomendada não conter a identificação das substâncias inflamáveis, nem as características dos respectivos processos e tampouco a ventilação considerada na elaboração das distâncias mostradas nas figuras, elas não podem ser simplesmente reproduzidas para toda e qualquer unidade da indústria de petróleo, conforme ressaltado em seu item 7.1.2.

O API publicou também a RP-505, com estrutura similar à API RP-500, porém utilizando a terminologia de “Zonas” utilizada pela IEC. (Rangel Jr. e Naegeli, 2001). As mesmas notas da API RP-500 alertando quanto à necessária análise de engenharia, e fazendo restrições à simples reprodução de suas figuras, também constam na API RP-505.

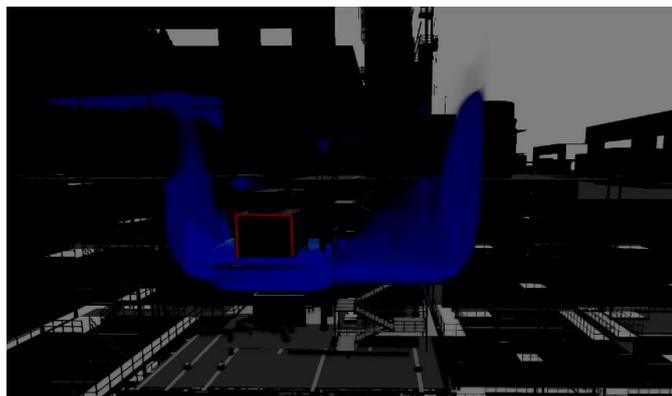
NBR IEC 60079-10-1

Esta norma ABNT foi emitida a partir de tradução integral da norma IEC 60079-10-1 (Rangel Jr., 2002). A edição atual deste documento técnico traz algumas equações para estimativa das extensões das áreas classificadas e alguns exemplos de classificação de áreas em seu Anexo E, com uma ressalva similar à encontrada nas Práticas Recomendadas americanas, que os mesmos não devem ser diretamente aplicados, pois cada empresa possui seus processos específicos. (Jordão, 2010).

METODOLOGIA DA PESQUISA

Uma vez que as Práticas Recomendadas alertam que suas “figuras” não podem ser simplesmente reproduzidas (Rangel Jr., 2010), e enfatizam a necessidade de um estudo caso-a-caso, onde as influências do ambiente e as características dos processos sejam cuidadosamente analisadas, a utilização de ferramentas baseadas em modelos matemáticos, para os estudos de classificação de áreas, é um importante recurso. (Cabral et al., 2008). Na prática, o formato da nuvem de gás inflamável pode se mostrar bem diferente das figuras mostradas nas referências técnicas citadas, como ressaltado em azul na Figura 2. (Rogstadkjernet, 2015)

Figura 2 – Simulação de vazamento de gás em plataforma de petróleo offshore.



As simulações têm como base modelos matemáticos. (Cox et al., 1990)

Para estimar a vazão mássica de gás, pode ser utilizado o modelo gaussiano para a pluma em seu caso mais simples: um jato subsônico emitido por um orifício circular. (Cox et al., 1990)

A Equação 1 descreve o modelo de forma simplificada. (Fontes e Filippo, 2006)

$$\frac{C_x}{C_o} = 5 \frac{d_o}{x} \sqrt{\left(\frac{\rho_A}{\rho_o}\right)},$$

(1)

Onde:

- C_x concentração volumétrica a x metros (m^3/m^3)
- C_o concentração volumétrica no orifício (m^3/m^3)
- d_o diâmetro do orifício (m)
- x distância axial (m)
- ρ_A a densidade do ar no local ($kg \cdot m^{-3}$)
- ρ_o a densidade do gás no orifício ($kg \cdot m^{-3}$)

Maior precisão neste modelo é obtida introduzindo-se fatores para refletir as influências da pressão e da densidade do gás inflamável na extensão da área classificada, vide Equação 2.

$$x = \frac{5C_o d_o}{0.2 \times LEL} \left(\frac{\rho_x}{\rho_o}\right)^{0.5} k_{\rho_o} k_{p_{ref}}$$

(2)

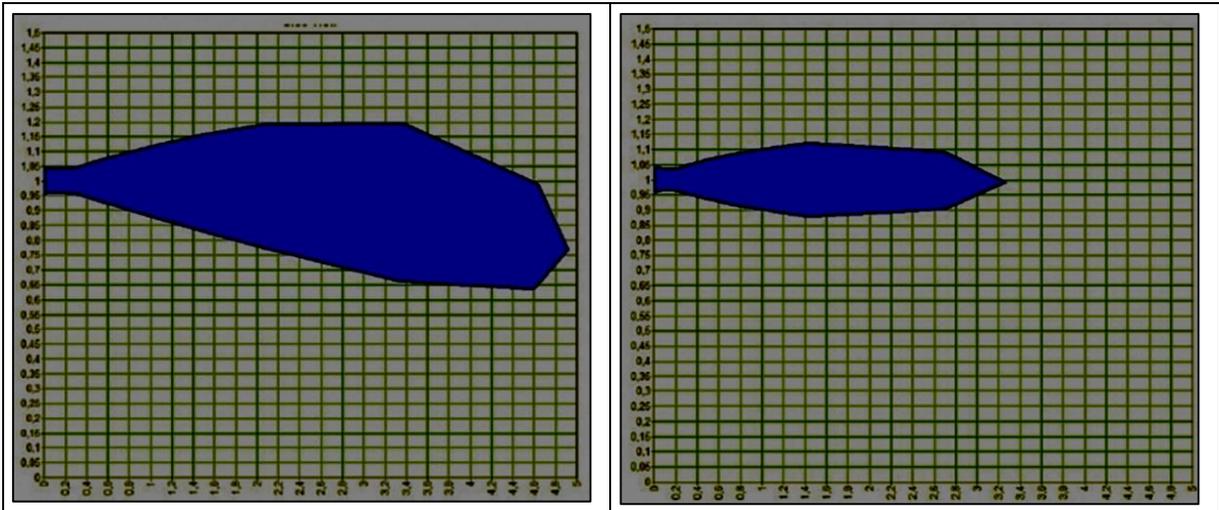
Onde:

- LEL limite inferior de explosividade [%]
- C_o concentração na saída [% vol]
- d_o diâmetro externo [m]
- x distância do ponto de liberação até 20% LEL [m]
- ρ_x densidade do ambiente [kg/m^3]
- ρ_o densidade do gás na saída [kg/m^3]
- k_{ρ_o} fator de ajuste na densidade
- $k_{p_{ref}}$ fator de ajuste na pressão

ANÁLISE DE DADOS

A Figura 3 mostra os resultados das simulações de liberação de isopentano a 30 °C e a 120 °C, com os eixos em metros, ressaltando as dimensões diferentes das nuvens formadas, o que não se encontra nas figuras das Práticas Recomendadas do API. (Rangel Jr. et al., 2016)

Figura 3 À esquerda, liberação de isopentano a 30° C; à direita, liberação a 120 °C.



Desta forma, comprovou-se que as distâncias mostradas nas figuras da API RP-505 não podem ser simplesmente copiadas nos estudos de classificação de áreas, pois definem distâncias fixas que não refletem o comportamento real de uma liberação de gás inflamável em um processo industrial. (Schelegel et al., 2009)

O conhecimento das áreas classificadas permite especificar corretamente os equipamentos elétricos especiais para uso nestes ambientes, e caso sobredimensionadas, acarretam custos maiores, já que exigirão a aquisição desnecessária de equipamentos mais caros. (Tommasini et al., 2013)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o estudo de classificação de áreas contribui decisivamente para a segurança da unidade industrial, seus documentos devem possuir o embasamento adequado, uma vez que serão consultados tanto para a emissão de procedimentos operacionais, quanto para a emissão de permissões de trabalho.

Cabe ressaltar que uma ferramenta computacional não objetiva colocar um conjunto de equações a ser manipulado por pessoas sem o conhecimento necessário, mas, disponibilizar um recurso que permita à equipe multidisciplinar responsável pelo estudo, definir as extensões das áreas classificadas de forma fiel à realidade da planta.

Um estudo de classificação de áreas confiável é fundamental para o gerenciamento do maior risco envolvido nas unidades da indústria de petróleo e gás: o de explosão, capaz de acarretar grandes prejuízos materiais e pessoais.

REFERÊNCIAS

- American Petroleum Institute. RP-500 - Recommended practice for classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as Class I, Div 1 and Div 2, 162 p., 2012.
- _____. RP- 505: Recommended practice for classification of locations for electrical installations at petroleum facilities classified as Class I, Zone 0, Zone 1 and Zone 2, 154 p., 2013.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR IEC 60079-10-1: Atmosferas explosivas. Parte 10-1: Classificação de áreas - Atmosferas explosivas de gás. 2 ed., 110 p., 2018.
- Cabral, P. A. M.; Damaso, V. C.; Aguiar, L. Utilization of a CFD-based approach for risk assessment calculations of natural gas releases in ducts. In: III Latin American CFD Meeting applied to Oil & Gas Industry, ESSS, Rio de Janeiro, v. 1, p. 42 - 54, 2008.
- Cox, A.; Lees, F. e Ang, M. Classification of Hazardous Locations, Cap. 12, p. 41-53, IChemE, 1990.
- Driscoll, T.; Cole, M. e Rowe, V. Class I area classification: a practical approach. In: Area Classification Seminar, Calgary, Canadá, 2012.
- Fontes, C. E. e Filippo, M. Utilização de simulação para classificação de áreas. In: V Encontro Petrobras sobre Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas, Rio de Janeiro, 2006.
- Jordão, D. A nova IEC 60079-10-1: 2011 - Os impactos nos futuros trabalhos de classificação de áreas. In: VI Encontro Petrobras sobre Instalações Elétricas em Atmosferas Explosivas, Rio de Janeiro, 2010.
- NFPA, National Fire Protection Association. RP-497: Recommended practice for the classification of flammable liquids, gases, or vapors and of hazardous (classified) locations for electrical installations in chemical process areas, 77 p., 2017.
- Rangel Jr., E. e Naegeli, G. S. T. Métodos alternativos para classificação de áreas: o uso da API-RP-505. In: VI Encontro de Engenharia Elétrica Petrobras, Rio de Janeiro, v. 1, p. 108 - 119, 2001.
- Rangel Jr., E. Brazil moves from divisions to zones. In: XLIX Petroleum and Chemical Industry Conference, New Orleans, EUA, p. 23 - 29, 2002.
- _____. Classification of hazardous areas: standard, theory and practice. Ex Magazine, v. 42, n. 1, p.15-21, 10 jul. 2010. Stahl, Alemanha. Disponível em: <http://www.internex.eti.br/estellito_area_classification_2010en.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- _____; Luiz, A.; Madureira Fo., H. L. P. Area classification is not a copy-and-paste process: performing reliable hazardous-area-classification studies. IEEE

Industry Applications Magazine, v. 22, n. 1, p.28-39, jan. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/mias.2015.2458335>, Acessado em: 20 mar. 2020.

Rogstadkjernet, L. Area classification and major hazards. In: I Hazardous Areas WA Conference, v. 1, p. 34 - 42, Perth, Austrália, 2015.

Schlegel, C.; Pfuetzenreiter, A. A. e Costa, J. A. Confiabilidade de estudos de classificação de áreas. In: XIII Brazil Automation, São Paulo. v. 1, p. 56 - 69, 2009.

Tommasini, R.; Pons, E. e Palamara, F. Area classification for explosive atmosphere: comparison between European and North American approaches. In: LX Petroleum and Chemical Industry Conference, Chicago, EUA, v. 1, p. 57 - 63, 2013.



CAPÍTULO 9
FUTURO REATOR A FUSÃO NUCLEAR DO
TIPO TOKAMAK – MÁQUINA DE ENGENHARIA
DESAFIADORA
Filipe Wiltgen

FUTURO REATOR A FUSÃO NUCLEAR DO TIPO TOKAMAK – MÁQUINA DE ENGENHARIA DESAFIADORA

Prof. Dr. Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté (UNITAU), e também, Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC Pindamonhangaba e Bauru), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial. LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

Resumo

Faz parte do desenvolvimento humano encontrar uma forma sustentável de prover energia suficiente para manter o atual ritmo de crescimento e desenvolvimento da espécie. A espécie humana está intrinsecamente ligada à utilização da energia elétrica. É fato de que o humano depende da energia elétrica para executar grande parte das tarefas rotineiras, obter conforto alimentar, desde o armazenamento refrigerado, as inúmeras formas de cozimento de alimentos, na saúde com diagnósticos médicos obtidos por diversos equipamentos eletroeletrônicos, além do lazer e dos estudos. Há muitos anos vem sendo conduzidas pesquisas em física de plasmas para a obtenção de um tipo de reator a fusão nuclear. Entretanto, foram nos últimos 10 anos que as pesquisas alcançaram o amadurecimento necessários da engenharia. O provimento de novos materiais semicondutores, e técnicas de fabricação como a manufatura aditiva, tem ajudado na rápida evolução alcançada pelos diversos laboratórios no mundo, tanto na construção, quanto nos testes experimentais de novas máquinas do tipo Tokamak, e suas diversas geometrias. Atualmente, a fusão termonuclear controlada aguarda para obter o “ponto de ignição” que é o momento em que um experimento de fusão nuclear passa a ser um reator nuclear, ou seja, produz mais energia do que consome. Isso é amplamente esperado em 2025 com o funcionamento de uma máquina do tipo Tokamak de enormes proporções, em um dos maiores consórcios multinacionais científicos realizados. Essa máquina se chama ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor - www.iter.org) e vem sendo construída na França. A engenharia do ITER envolve as mais avançadas e desafiadoras soluções em engenharia utilizadas no mundo. A tarefa do ITER é conseguir confinar o plasma em temperaturas da ordem de 100 milhões de

graus celsius por um tempo pequeno, mas suficiente para que permita ocorrer as reações de fusão nuclear, e assim, a produção de energia elétrica. No decorrer deste artigo, serão apresentados os avanços obtidos com máquinas do tipo Tokamak no mundo e o apoio constante na evolução da engenharia moderna em todo esse caminho tecnológico que poderá ainda nesse século permitir à humanidade dispor de uma quantidade de energia jamais imaginada.

Palavras-chave: Energia Nuclear, Fusão Nuclear, Fusão Termonuclear Controlada, Tokamak, Energia Elétrica.

ABSTRACT

It is part of human development to find a sustainable way to provide enough energy to maintain the current rate of growth and development of species. The human species is intrinsically linked to use of electrical energy. It is a fact that humans depend on electrical energy to perform most routine tasks, obtain food comfort, from refrigerated storage, numerous ways of cooking food, in health with medical diagnoses obtained by various electrical and electronic equipment, in addition to leisure and of studies. Research in plasma physics has been carried out for many years to obtain a type of nuclear fusion reactor. However, it was in the last 10 years that research reached the necessary maturity in engineering. The provision of new semiconductor materials, and manufacturing techniques such as additive manufacturing, has helped in the rapid evolution achieved by various laboratories around the world, both in construction and in experimental tests of new Tokamak type machines, and their various geometries. Currently, controlled thermonuclear fusion waits to obtain the “ignition point” which is moment when a nuclear fusion experiment becomes a nuclear reactor, that is, it produces more energy than it consumes. This is widely expected in 2025 with the operation of a Tokamak type machine of enormous proportions, in one of largest multinational scientific consortia ever undertaken. This machine is called ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor - www.iter.org) and is being built in France. ITER engineering involves the most advanced and challenging engineering solutions used in the world. The task of ITER is to confine the plasma to temperatures of the order of 100 million degrees celsius for a short time, but sufficient to allow nuclear fusion reactions to occur, and thus, production of electrical energy. In the course of this paper, advances obtained with Tokamak type machines in the world will be presented and constant support in evolution of modern engineering throughout this technological path that may still allow humanity to have an amount of energy never imagined in this century.

Keywords: Nuclear Energy, Nuclear Fusion, Controlled Thermonuclear Fusion, Tokamak, Electric Energy.

1. INTRODUÇÃO

A história da humanidade com a fusão nuclear teve início em uma época muito conturbada pelos desdobramentos da Segunda Guerra Mundial. O medo de que a Alemanha Nazista pudesse dominar grande parte do planeta, despertou a ância dos governos em encontrar uma solução definitiva para a questão. A solução definitiva seria encontrar um tipo de artefato bélico capaz de por fim na guerra. Diversos foram

os pesquisadores envolvidos na tarefa de encontrar uma forma na ciência de algo que pudesse ser devastador, e isso foi realizado tanto pelos Aliados (Reino Unido, França, União Soviética e Estados Unidos), quanto pelo Eixo (Alemanha, Itália e Japão).

A solução encontrada foi a energia nuclear. Tornar possível uma arma nova e capaz de desencadear uma quantidade enorme de energia instantaneamente. As primeiras propostas foram no sentido de quebrar um átomo pesado realizando a fissão nuclear, obtendo segundo Prof. Leó Szilárd o que ficou conhecido como reação nuclear em cadeia. A reação em cadeia uma vez iniciada poderia sequencialmente progredir em uma escala de energia jamais vista ou imaginada. Isso deu origem as Bombas Atômicas pelo Projeto Manhattan nos Laboratórios de Los Alamos nos EUA em 1940.

Diversos estudos sobre a energia nuclear surgiram a partir desta época, dentre estes estudos um campo novo de confinamento de plasma para a fusão nuclear se mostrava interessante. Pesquisadores da União Soviética que desenvolveram as bombas atômicas do período da Guerra Fria entre EUA e URSS, resolveram conduzir uma pesquisa experimental em um dispositivo novo capaz de confinar com campos magnéticos o estado físico do plasma de forma eficiente, e assim, permitir obter a fusão nuclear na década de 1950. Esta máquina foi chamada de Tokamak (T-1). Os pesquisadores soviéticos construíram o Tokamak (Toroidalnaya Kamera Magnitnaya Katushka – Câmara Toroidal com Bobinas Magnéticas) pela primeira vez em 1958, pelo Prof. Natan Yavlinsky a partir dos estudos dos físicos Prof. Igor Tamm e Prof. Andrei Sakharov inspirados pelos estudos do “pai da bomba atômica soviética” o Prof. Oleg Lavrentiev.

A máquina Tokamak T-1 abriu caminho para uma das mais longas e maiores pesquisas científicas do pós-guerra, a tentativa de obter a fusão nuclear controlada, ou Fusão Termonuclear Controlada (Smirnov, 2010; El-Guebaly, 2009; El-Guebaly, 2010). Uma reação completamente diferente do que ocorre em uma bomba de hidrogênio (Bomba H) no qual uma reação de fissão nuclear (utilizada como espoleta da arma) dá início a uma reação de fusão nuclear descontrolada. A bomba H foi construída depois das utilização das bombas atômicas logo após a Segunda Guerra Mundial durante o período da Guerra Fria.

A reação de fusão nuclear é capaz de gerar uma quantidade de energia centenas de vezes maior do que uma reação de fissão nuclear, ou seja, sob o aspecto de eficiência a reação de fusão nuclear é muito mais eficiente do que a reação de fissão

nuclear na quantidade de energia térmica liberada. A união de átomos leves é uma proeza da natureza, isso porque é preciso vencer a barreira eletrostática de Coulomb, a qual impede um átomo de se fundir com outro naturalmente, sem a presença de enormes quantidades de energia térmica e gravitacional como ocorre no Universo. Este é o principal motivo do estudo da fusão nuclear, conseguir com pouco combustível formado por átomos leves (isótopos do hidrogênio) produzir uma quantidade enorme de energia, tal como fazem as estrelas no Cosmos (Clarke e Cai, 2012; Boyle, 1968; McCracken, 2012; Murray, 1993; Kikuchi *et al.*, 2012).

As estrelas são na verdade reatores a fusão nuclear naturais. Entretanto, as pesquisas de fusão nuclear não tem nenhuma similaridade com as fantasiosas notícias da mídia referente a construção de estrelas artificiais, isso além de ser inviável, é completamente descabido. Uma máquina de fusão nuclear na Terra não é auto-sustentável, precisa de combustíveis a cada novo funcionamento, e diferente de uma estrela natural, sua condição de operação necessita de energia elétrica para confinar magneticamente o plasma dentro do dispositivo (Wiltgen, 2022A; Wiltgen, 2022B; Wiltgen, 2022C).

É a intrincada forma de confinar o plasma dentro desta máquina que a faz ser tão desafiadora. A engenharia durante estes últimos 70 anos tem evoluído e permitido aos pesquisadores de fusão nuclear construir máquinas do tipo Tokamak maiores e melhores na forma de confinar o plasma. Novos materiais capazes de conduzir maiores correntes elétrica nas (bobinas magnéticas, assim como, suportar as temperaturas extremamente altas das vizinhanças da coluna de plasma, permitem elaborar formas de limpar os resíduos deixados das reações de fusão nuclear no interior dos Tokamaks Grandes (Divertores). Sistemas de controle modernos são necessários para permitir o controle em tempo real do disparo do Tokamak a fim de evitar que o plasma fique instável durante a evolução da corrente de plasma que conduz as reações de fusão nucleares (Wiltgen, 2018). Além dos diversos novos materiais necessários em ligas de metais para compor a estrutura de suporte e a blindagem criostática nos Tokamaks que se destinam aos experimentos de fusão nuclear com combustíveis do tipo D-T (Deutério-Trítio).

A fusão termonuclear controlada em máquinas de confinamento magnético do tipo Tokamak começaram a ter condições práticas para realmente explorar a fusão nuclear a partir da década de 1970. Atualmente existem cerca de ~70 Tokamaks no mundo (IAEA, 2017; IAEA, 2020) entre máquinas em funcionamento (~55), em

construção (5) e planejadas (14). Destas máquinas cerca de 69 Tokamaks estão no setor público (Institutos e Universidades) e apenas 5 Tokamaks no setor privado (IAEA, 2020; Canal *et al.*, 2021; Hamacher e Bradshaw, 2001; Herman, 1990).

Com as inovações esperadas propiciadas com os resultados dos Tokamaks modernos em fase final de construção, é possível que outros Tokamaks sejam fabricados no setor privado, visando o conhecimento da fusão nuclear para a comercialização de futuros reatores a fusão nuclear do tipo Tokamak.

Este artigo tem como objetivo mostrar como um experimento de fusão nuclear vem se desenvolvendo junto com a engenharia para conseguir obter a fusão termonuclear controlada, desafiando as condições disponíveis na Terra que tornam essa uma tarefa difícil, mas muito promissora para o desenvolvimento humano. No decorrer do artigo, será possível observar e entender a importância da fusão nuclear e sua eficiência, como funcionará um reator a fusão nuclear do tipo Tokamak, quais os tipos de Tokamaks que existem e sua relação com o formato do plasma, características típicas de um Tokamak e seus campos magnéticos, comparação de escala das grandes máquinas existentes e o caminho a ser seguido até a obtenção do primeiro reator comercial a fusão nuclear no mundo. Assim compreendendo porquê o Tokamak é chamado de máquina de engenharia desafiadora.

2. REAÇÃO DE FUSÃO NUCLEAR E SUA EFICIÊNCIA

Reações nucleares liberam enormes quantidades de energia quando se quebram ou quando se fundem. Sendo que o processo de fundir átomos (fusão) produz uma quantidade muito maior de energia do que quando se quebra um átomo (fissão). Além disso, a energia necessária para quebrar um átomo é significativamente menor e muito mais fácil de ser obtida do que a energia necessária para fundir átomos.

Na Terra o estado físico da matéria propício para fundir átomos através da fusão nuclear é o plasma (Wiltgen, 2022; Boyle, 1968; Chen, 1978; Eliezer e Eliezer, 1989; Boyd, 2003; Bellan, 2008; Biel, 2017). O plasma apesar de comum no Cosmos é algo raro na Terra. Para conseguir o estado físico do plasma é preciso elevar muito a temperatura, e assim, o grau de agitação térmica das partículas até que possam se dissociar em íons e elétrons. Quando isso ocorre, o ambiente para obter a fusão nuclear é formado. Entretanto, existem algumas limitações de temperatura, tempo de confinamento e densidade que precisam ser obtidas no plasma para que as condições propícias para a fusão nuclear possam ocorrer (Hamacher e Bradshaw, 2001; Chen,

1974; Herman, 1990; Horvath e Rachlew, 2016; Kikuchi *et al.*, 2012; Wiltgen, 2021, Wiltgen, 2022B).

A temperatura do plasma necessária para a fusão nuclear é da ordem de milhões de graus célsius, muito maior do que a temperatura da superfície do Sol. Isso implica diretamente na engenharia necessária para manter este plasma longe de qualquer tipo de material existente na Terra. É por isso que se utiliza uma câmara de vácuo e bobinas magnéticas capazes de manter o plasma a essa enorme temperatura longe das paredes da câmara de vácuo, confinando-o em uma região central da máquina Tokamak no formato de um anel, que é chamado de coluna de plasma.

Na Figura 1 pode ser observada a reação de fusão nuclear com dois isótopos do hidrogênio (Deutério e Trítio), estes dois elementos são os mesmos utilizados na pesquisa de fusão termonuclear controlada via máquinas do tipo Tokamak. É possível notar que ao quebrar a barreira eletrostática de Coulomb enorme quantidade de energia é liberada na forma de calor, além de nêutrons de alta energia cinética e a composição, produto da fusão nuclear do Deutério (*D*) com o Trítio (*T*) que é o Hélio (*He*) (Artisimovich, 1972; Clarke e Cai, 2012; Chen, 1974; Wiltgen, 1998; Mishra, 2020).

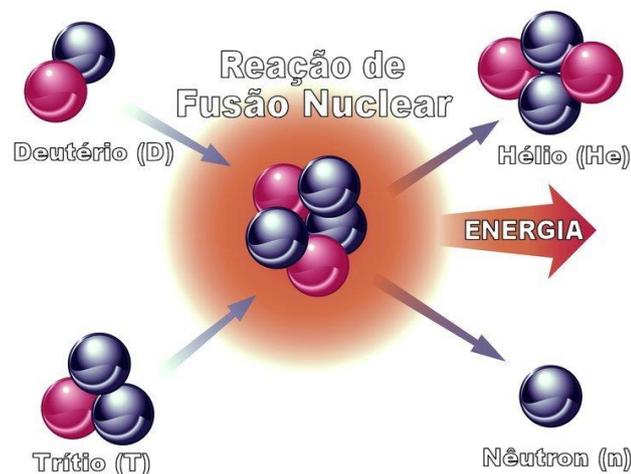


Figura 1. **Reação de fusão nuclear entre Deutério (D) e Trítio (T).**
Fonte: Adaptado da revista Nature (2020).

O processo de fusão nuclear parte de elementos com pequeno número atômico e elevada energia de ligação, completamente diferente do processo de fissão nuclear que parte de elementos com grande número atômico e baixa energia de ligação, como pode ser visto na Figura 2. Nessa figura é possível observar que a fissão nuclear parte

do Urânio 235 (*U*) até chegar em elementos de menor número atômico como o Bário 139 (*Ba*) e o Criptônio 94 (*Kr*). No sentido oposto é possível notar o caminho percorrido no processo de fusão nuclear, que parte de elementos de pequeno número atômico como o Hidrogênio (*H*) para a formação do Hélio (*He*) e do Lítio (*Li*) (Wiltgen, 2018).

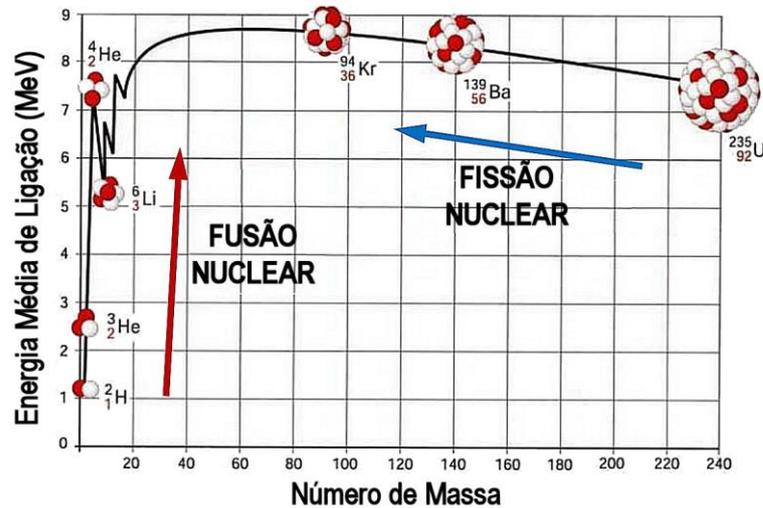


Figura 2. **Relação massa e energia para fusão e fissão nucleares.**
 Fonte: Adaptado de Fusion Physics (2012).

Devido a isso, a quantidade de combustível de fusão nuclear é extremamente mais eficiente do que qualquer outro combustível utilizado para produzir energia elétrica. Sua proporção de combustível de fusão nuclear baseado em Deutério e Trítio é muito menor do que a proporção de Urânio necessária para produzir a mesma quantidade de energia elétrica. Se comparar as reações nucleares com outras formas convencionais de produzir eletricidade via combustíveis como o petróleo e o carvão é possível notar a proporção significativa da eficiência das reações nucleares. Na Figura 3 pode ser vista uma comparação entre as reações nucleares de fusão e fissão, e a mesma quantidade de combustíveis de petróleo e de carvão necessárias para gerar ~1GW de energia elétrica, e perceber como há grande diferença na eficiência destes quatro processos apresentados (Wiltgen, 1998; Laberg, 2017; Hamacher e Bradshaw 2001).

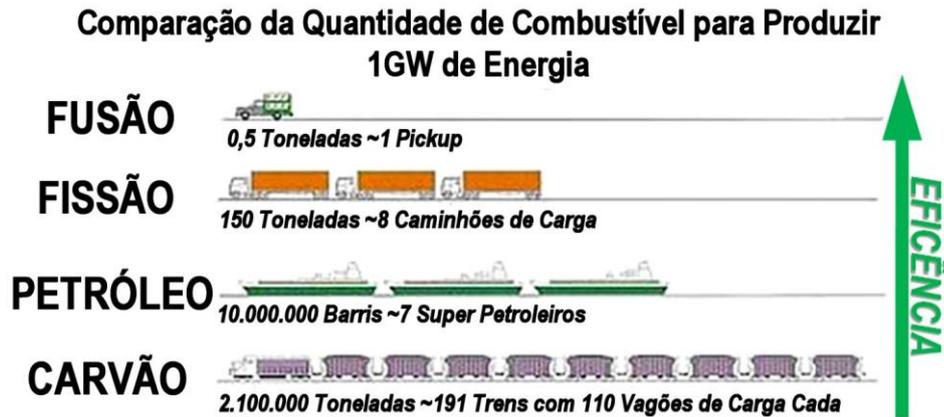


Figura 3. **Comparativo das eficiências dos combustíveis utilizados para gerar 1GW de eletricidade.**
 Fonte: Wiltgen (2021).

Mesmo olhando apenas para a eficiência da fusão nuclear comparada a fissão nuclear na Figura 3, é possível perceber a enorme quantidade de combustível fissio necessário (~150t) para conseguir produzir ~1GW de energia elétrica e a fração de combustível de fusão de apenas meia tonelada (0,5t) capaz de produzir a mesma quantidade de energia elétrica (~1GW). Esta eficiência energética é a motivação principal para as pesquisas em fusão nuclear para produção de eletricidade. Fato de que o ser humano necessita de eletricidade em grande quantidade para ter conforto e se desenvolver, obter a fusão nuclear é sem dúvida uma oportunidade ímpar da ciência no provimento de energia para o futuro. A engenharia se reinventa a cada novo obstáculo que a física da fusão nuclear descobre no caminho para a fusão, é por isso que a engenharia utilizada em um Tokamak, esta sempre no estado da arte do desenvolvimento humano.

3. O FUNCIONAMENTO DE UM TOKAMAK COMO REATOR A FUSÃO NUCLEAR

Para obter um reator a fusão nuclear é necessário que a máquina possa produzir uma quantidade de energia maior do que a quantidade de energia utilizada no processo. Em Tokamaks isso é chamado de “ponto crítico de ignição”, ou seja, o limite que torna um experimento de fusão nuclear em um reator a fusão nuclear.

Como a energia necessária no processo de funcionamento de um Tokamak é muito grande, devido a necessidade de produzir elevados campos magnéticos de confinamento, em temperaturas de plasma muito elevadas para a obtenção de fusão nuclear, é possível então perceber que um Tokamak para funcionar como reator

nuclear irá precisar de uma quantidade enorme de energia produzida por fusão nuclear apenas para alcançar o ponto de ignição, e mais ainda para superar o limite do critério de Lawson e funcionar como um reator (Lawson, 1957; Costley, 2016; Costley *et al.*, 2017).

O critério de Lawson é a barreira de ignição que relaciona a condição tríplice (Temperatura, Densidade e Tempo de Confinamento) e a temperatura alcançada no processo (Wiltgen, 2022B; Horvath e Rachlew, 2016; Lawson, 1957).

Um Tokamak para operar como um reator a fusão nuclear precisa utilizar diversos dispositivos de segurança estruturais para que as reações de fusão nucleares fiquem contidas dentro da máquina (nêutrons energéticos) evitando desta forma, a contaminação com combustíveis nucleares (Saxena, 2016).

A máquina Tokamak precisa de sistemas de troca de calor muito eficientes para remover o excesso de calor gerado pelo processo de fusão nuclear, que além de aquecer termicamente o revestimento de Lítio (*Li*), utilizado para a produção de Trítio, deve transferir a energia para outros circuitos trocadores de calor até chegar as turbinas convencionais a vapor que irão acionar os geradores de produção de eletricidade, e compor a matriz energética.

O resultado esperado de um reator a fusão nuclear é produzir muita eletricidade com pouco combustível nuclear e com eficiência superior a qualquer outra fonte de energia existente. Para tanto, o reator Tokamak deve através das reações de fusão nuclear aquecer um líquido refrigerante eficiente na troca de calor no interior dos trocadores, e suas serpentinas, a fim de que o calor possa ser conduzido por diversos estágios de trocadores de calor até que possa gerar vapor de água para o acionamento das turbinas convencionais acopladas aos geradores elétricos (Wiltgen, 2021).

Na Figura 5 pode ser visto um esquema simplificado apenas para entender os elementos mais críticos para a operação de um Tokamak como reator a fusão nuclear. Observe que a coluna de plasma neste esquema é do tipo grande razão de aspecto (secção circular) logo após a coluna de plasma é possível perceber a câmara de vácuo e os acessos dos combustíveis Deutério (*D*) e Trítio (*T*), em seguida a cobertura de Lítio (*Li*) para produzir Trítio (*T*) que é recolhido para a câmara de armazenamento junto com o Hélio (*He*) também produzido na reação. Além é claro do He (*He*) produzido na reação de fusão nuclear e extraído da câmara de vácuo. No cobertor de Lítio (*Li*) é possível ver a serpentina do trocador de calor primário que transfere o calor

da reação de fusão nuclear para um trocador de calor secundário distante do reator a fusão nuclear, que aciona uma turbina a vapor tradicional que fica conectada a um gerador elétrico que produz eletricidade para a rede de transmissão elétrica. Na figura ainda podem ser observadas a camada externa da blindagem de radiação e sobre esta blindagem as bobinas magnéticas toroidais. Muitos projetos de Tokamaks para funcionarem como reatores a fusão nuclear foram projetados com suas bobinas magnéticas no interior da blindagem criostática e de radiação (Kikuchi, 2010; Wiltgen, 2021).

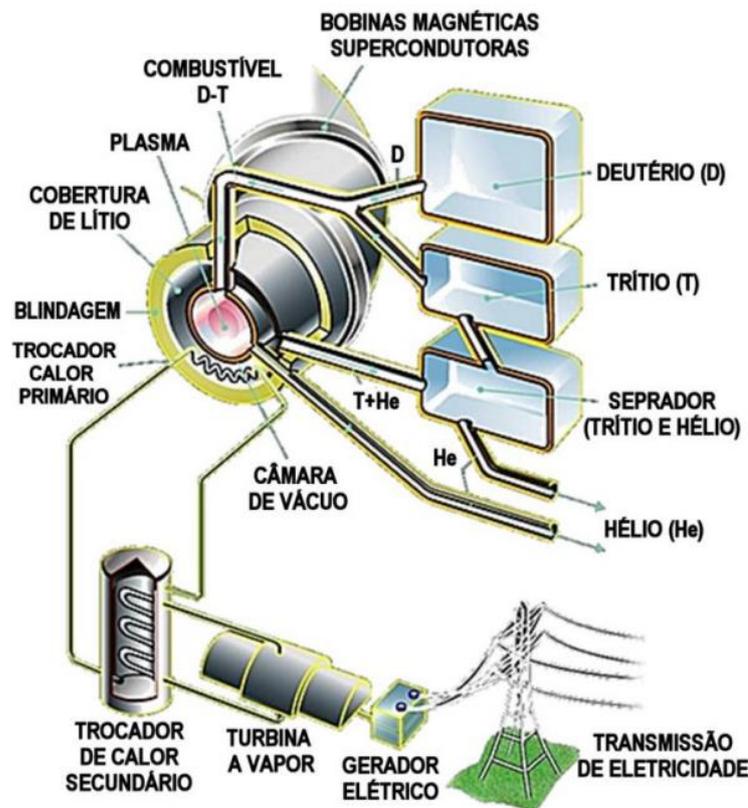


Figura 4. Funcionamento de um reator a fusão nuclear do tipo Tokamak.
Fonte: Wiltgen (2021).

4. TIPOS DE TOKAMAKS E OS FORMATOS DA COLUNA DE PLASMA

Uma máquina do tipo Tokamak pode ter basicamente de dois formatos geométricos que se caracterizam pela relação entre os raios menores (a) e os raios maiores (R) do toróide que forma a coluna de plasma chamado de Razão de Aspecto (A). A razão de aspecto de um Tokamak influencia diretamente as linhas de campo magnético de confinamento do plasma devido ao formato geométrico da coluna de plasma. As pesquisas em Tokamaks evoluíram na configuração geométrica da coluna de plasma de Tokamaks convencionais para Tokamaks esféricos (Costley, 2019;

Dean, 1998). Estudos mais recentes sobre fusão nuclear em Tokamaks indicam que o formato de pequena razão de aspecto propicia as configurações dos futuros reatores a fusão nuclear por confinamento magnético do plasma em Tokamaks (Conn, 1983, Ongena *et al.*, 2016, Schoofs e Todd, 2022; Wan, 2013).

Na Figura 5 é possível notar a diferença geométrica do formato das colunas de plasmas entre os Tokamaks do tipo convencional (larga razão de aspecto – toróide na forma de um pneu de bicicleta) dos Tokamaks do tipo esférico (pequena razão de aspecto – toróide na forma de um pneu de trator). Note que as linhas de campo magnético são completamente diferentes para cada tipo de coluna de plasma. Colunas de plasma em Tokamaks esféricos (pequena razão de aspecto) são mais estáveis, e por isso, podem obter um tempo maior de confinamento do plasma em cada disparo, o que a princípio permite uma maior interação entre átomos assegurando a condição necessária para que ocorra a fusão nuclear (Wiltgen, 1998; Wiltgen, 2001; Wiltgen, 2018, Artimovich, 1972; Furth, 1975; Wesson, 1987).

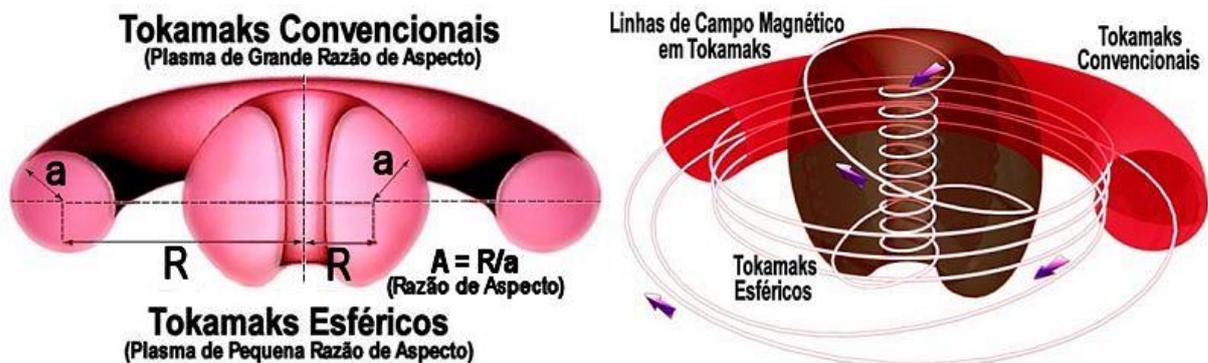


Figura 5. Diferenças geométricas entre as colunas de plasmas e linhas de campo magnético em Tokamaks (Convencional e Esférico).

Fonte: Adaptado de Tokamak Sphérique (2020).

A configuração de colunas de plasma esféricas possuem um formato na secção circular do tipo “D” isso permite a construção de máquinas mais compactas. Por um lado são mais complexas construtivamente o que impõem novos desafios a engenharia, por outro lado permite que grandes máquinas ocupem áreas menores. Dado aos dispositivos de aquecimento extra do plasma, além de sensores e sistemas de diagnóstico, injeção de combustível nuclear, produção de vácuo, entre outros, tudo isso é condicionado ao redor do Tokamak, então possuir uma máquina compacta permite o melhor aproveitamento da área ao redor do dispositivo (Canal *et al.*, 2021; Wiltgen 2018).

Localmente existem muitos aparelhos ligados diretamente a estrutura da máquina, e outros dispostos remotamente. Existem todos os outros equipamentos de apoio necessários para a produção do plasma e o acionamento do Tokamak. Desde o fornecimento de energia elétrica para os circuitos de produção de campo magnético a sistemas de monitoramento, segurança e controle. Além dos sistemas de resfriamento e aterramento das bobinas supercondutoras, e tudo o que for necessário para a condução do calor por sistemas trocadores de calor (Wiltgen, 2021). Diversas são as necessidades de acionamentos pneumáticos e/ou hidráulicos de atuadores, robôs e manipuladores servo controlados, além de todos os barramentos e cabamentos de energia e de dados (diagnósticos e controle) com fibras ópticas. Diversas são as especialidades em engenharia necessárias em uma máquina Tokamak.

Na Figura 6 é possível notar duas pessoas próximas ao Tokamak esférico de médio porte (NSTX-U), isso dificilmente ocorre de fato visto que as máquinas ficam envoltas por muitos equipamentos e quase nunca permitindo um acesso tão próximo ao dispositivo. Na figura é possível observar a fotografia de uma coluna de plasma no interior da câmara de vácuo do Tokamak esférico MAST (Sykes *et al.*, 2001; Ludwig *et al.*, 2003). No detalhe é possível notar a composição dos campos magnéticos formando o campo magnético total helicoidal (na cor verde) responsável pelo confinamento do plasma.

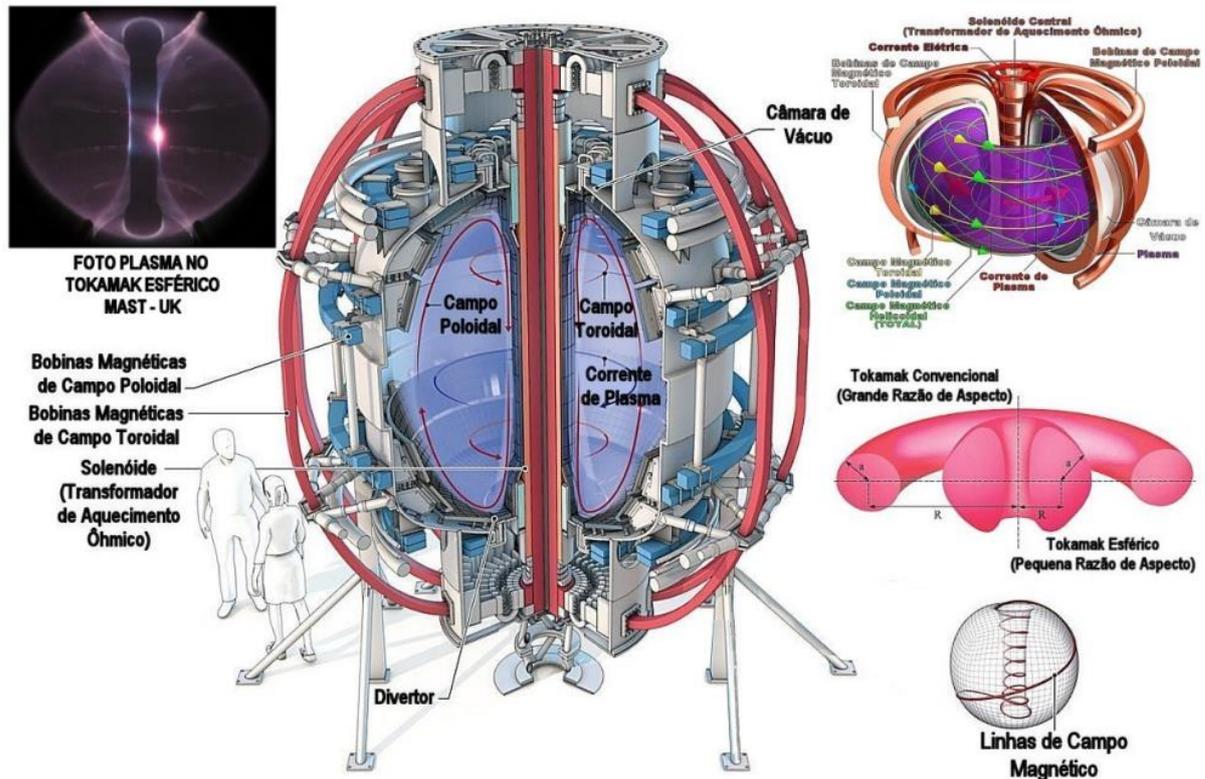


Figura 6. Características típicas de uma máquina do tipo Tokamak Esférico Compacto.

Fonte: Adaptado de Science Magazine (2020).

Diversas são as máquinas do tipo Tokamak de pequeno e médio porte que foram desenvolvidas no mundo, principalmente em institutos de pesquisas e universidades. Suas superações na engenharia e na física permitiram seguir no caminho atual dos desenvolvimentos de máquinas de grande porte capazes de explorar significativamente os segredos da fusão nuclear na Terra.

5. O CAMINHO DA FUSÃO NUCLEAR EM MÁQUINAS TOKAMAKS NO MUNDO

O caminho para a fusão nuclear em máquinas do tipo Tokamak teve início com a construção do Tokamak *JET* (*Joint European Torus* – 1984). O experimento com combustível *D-T* no *JET* foi um sucesso e em 1997, possibilitando explorar novas configurações as quais poderiam conduzir a novos resultados para encurtar o caminho para a fusão (Buttery *et al.*, 2021; Maisonnier, *et al.*, 2005). Outra máquina de grande porte que deve permitir avanços na fusão é o Tokamak do Japão o *JT-60SA* (2020), uma versão atualizada do *JT-60U* (1985) que mudou de grande razão de aspecto para pequena razão de aspecto a fim de auxiliar nas pesquisa futuras do Tokamak *ITER* (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) (Lackner, 2008).

O *ITER* (2025) deve ser o primeiro reator a fusão nuclear do mundo, está em construção na cidade de *Saint-Paul-lès-Durance* no Centro de Pesquisas *Cadarache* na França (Lackner, 2008). Esta máquina será o maior Tokamak a ser construído, seus impressionantes parâmetros construtivos mostram sua complexidade e tamanho (~40m de diâmetro, ~850m³ de volume, ~50m de altura, ~23.000t de peso, ~20MA de corrente de plasma, 500MW_{th} de energia térmica de fusão nuclear e temperatura 10 vezes maior que o núcleo do Sol ~150 milhões °C ∴ M=10⁶).

A escala impressionante destes grandes Tokamaks podem ser observadas na Figura 7. Nessa figura tem-se os três maiores Tokamaks do mundo comparados a um ser humano e a torre Eiffel em Paris na França. Note que apesar do tamanho do *ITER*, quando comparado ao tamanho da torre Eiffel é até discreto, mas note a densidade de massa de ~23.000t do *ITER* e o peso de ~10.000t da torre Eiffel. Além disso, note o tamanho de um ser humano com 1,80m de altura quando comparado a cada uma das máquinas Tokamaks.

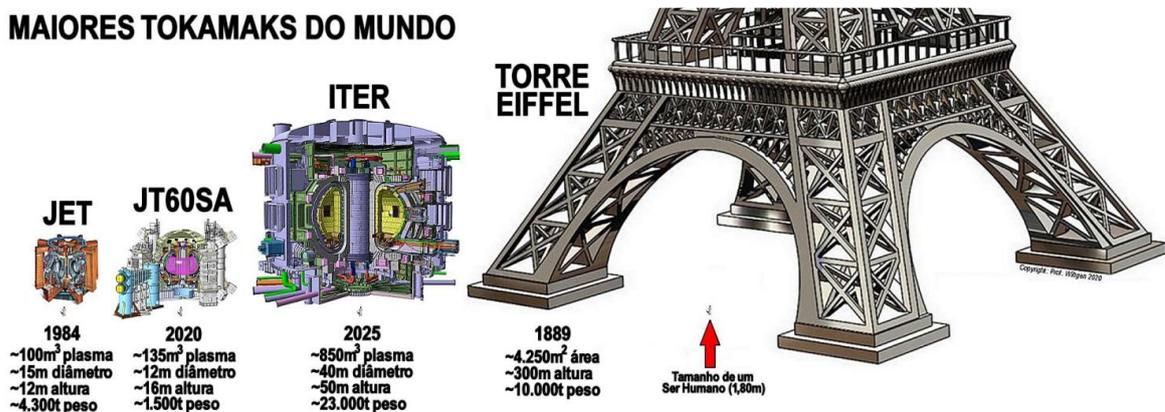


Figura 7. Escala comparativa entre as maiores máquinas do tipo Tokamak (JET, JT60SA e ITER) e a Torre Eiffel em Paris na França.

Fonte: Próprio Autor (2020).

Em uma central nuclear a fusão, utilizando como reator um Tokamak esférico, terá como mostra a Figura 8, duas partes distintas de engenharia. Uma engenharia convencional, similar as soluções de geração de energia elétrica adotadas nas centrais nucleares a fissão, e uma outra engenharia moderna, ou engenharia de fusão nuclear, no qual o centro do desenvolvimento está na máquina tipo Tokamak, e em todos os demais subsistemas importantes e necessários para o funcionamento do reator (Wiltgen, 2021; Wiltgen, 1998; Warrick, 2012; Conn, 1983).

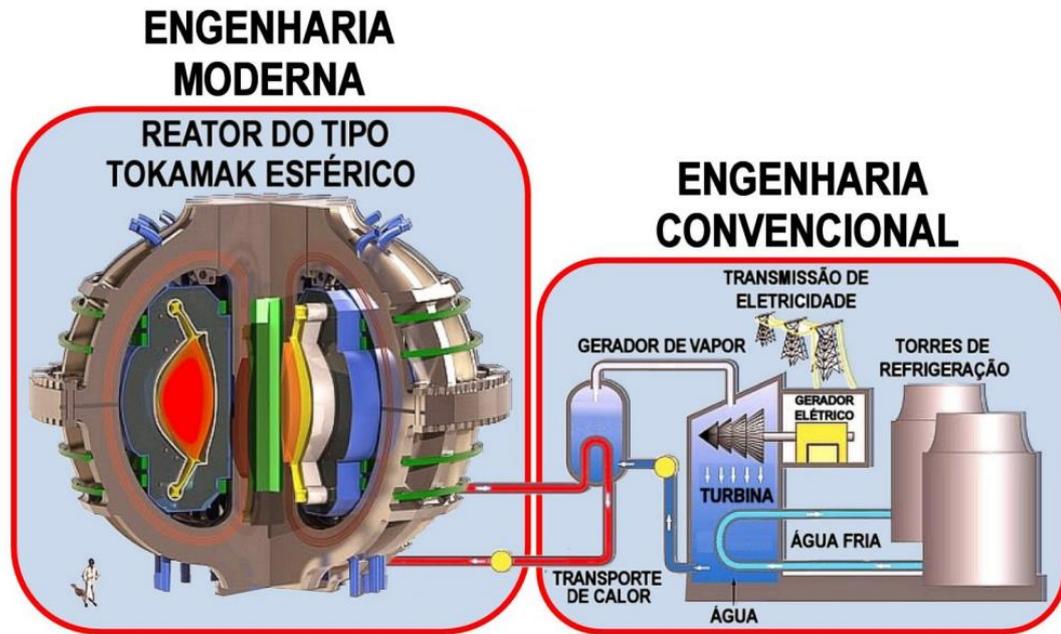


Figura 8. União da engenharia moderna de fusão nuclear com a engenharia convencional de geração de eletricidade com vapor.

Fonte: Adaptado de P. Dunn em *Plasma Science and Fusion Center* (2018).

Na Figura 9 podem ser observadas as maiores máquinas do tipo Tokamak desenvolvidas para a pesquisa no caminho para obter fusão termonuclear controlada, mostrando a evolução da dimensão das máquinas até o *ITER* (2025), os reatores *DEMO* (estimados para 2050) e as futuras centrais de fusão nuclear comerciais (*FPP* – estimados para 2100) (Wiltgen, 2021; Zohm, 2019; Yushmanov *et al.*, 1990; Yican e Sumer, 2018; Menard *et al.*, 2016). Os reatores *DEMO* tem como objetivo principal servir para estudos conceituais para definir as características das centrais de fusão nuclear comerciais (*FPP* – *Fusion Power Plant*) (Galambos *et al.*, 1995; Handley *et al.*, 2021; Horvath e Rachlew, 2016; Pearson *et al.*, 2020).

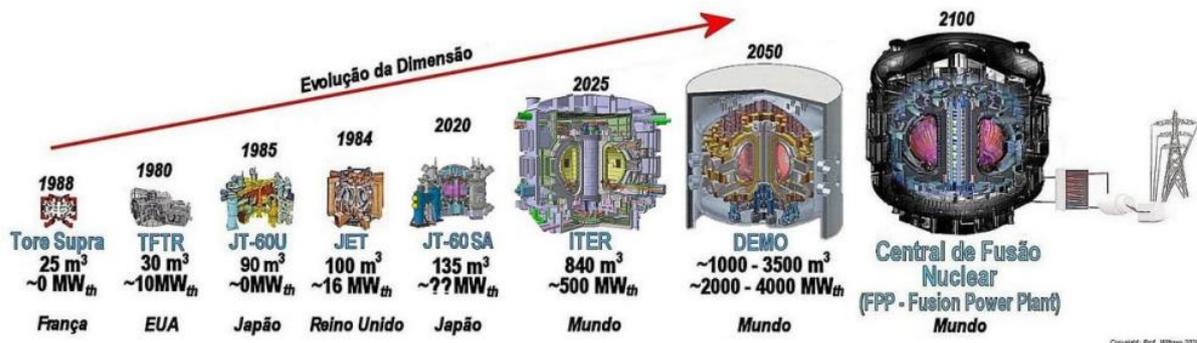


Figura 9. Caminho da fusão termonuclear por confinamento magnético do plasma em máquinas do tipo Tokamak.

Fonte: Próprio Autor (2020).

6. DISCUÇÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a complexidade envolvida na construção e operação de uma máquina do tipo Tokamak é fácil perceber quanto desafiadora é a fusão nuclear para a engenharia. O aprendizado prático com a construção de Tokamaks menores permitiu avanços técnicos e científicos importantes para a evolução da fusão nuclear e nas várias áreas de engenharia.

É fato que atualmente, tem-se as condições propícias para conseguir obter a fusão nuclear em máquinas do tipo Tokamak, e assim, alcançar uma nova era próspera e abundante de energia elétrica. A quantidade de energia disponível irá permitir uma grande evolução cultural, técnica e científica, além de prover uma estabilidade ambiental devido a baixa emissão de CO₂ na atmosfera (Hiwatar e Goto, 2019; Chen, 2011). Apesar dos constantes desafios impostos a engenharia pela fusão nuclear, são justamente estas dificuldades que fazem acontecer as evoluções.

A engenharia de fusão nuclear será muito importante no futuro próximo por compor uma enorme diversidade de especialidades nas inúmeras áreas da engenharia.

REFERÊNCIAS

- ARTISIMOVICH, L.A., **Tokamak Devices**. Nuclear Fusion. v.12, pp.215-252, 1972.
- Bellan, P.M., “Fundamentals of Plasma Physics”. *Cambridge University Press*, 2008. 628p.
- BIEL, W., LACKNER, K., SAUTER, O., WENNINGER, R., ZOHN, H., **Comment on the Fusion Triple Product and Fusion Power Gain of Tokamak Pilot Plants and Reactors**. Nuclear Fusion. v.57, pp.038001, 2017.
- BOYD, J., SANDERSON, J.J., **The Physics of Plasmas**. Cambridge University Press, Cambridge, 2003. 548p.
- BOYLE, F.I., **Plasmas en el Laboratorio y en el Cosmos**. Reverté Mexicana, 1968. 175p.
- BUTTERY, R.J., PARK, J.M., MCCLENAGHAN, J.T., WEISBERG, D., CANIK, J., FERRON, J., GAROFALO, A., HOLCOMB, C.T., LEUER, J., SNYDER, P.B., **The Advanced Tokamak Path to a Compact Net Electric Fusion Pilot Plant**. Nuclear Fusion. v.61, pp.046028 (1-18), 2021.
- CANAL, G.P., LUDWIG, G.O., GALVÃO R., ALMEIDA, M.C.; GONÇALVES, O.J.,

- SEVERO, J.H., ANDRADE, C.R., FERREIRA, J.G., **Programa Nuclear Brasileiro - Proposta de Programa Nacional de Fusão Nuclear**. CNEM (Comissão Nacional de Energia Nuclear). pp.1-41, 2021.
- CHEN, F.F., **Plasma Physics and Controlled Fusion**. Plenum, New York, 1974. 440p.
- CHEN, F.F., **An Indispensable Truth: how Fusion Power can Save the Planet**. New York, Springer Science and Business Media, LLC. 2011. 450p.
- CLARKE, R. H., CAI, Z., **Helium and Fusion Energy in the Future of Helium as a Natural Resource**. United Kingdom, Routledge. v.35, pp.235-264, 2012.
- CONN, R.W., **The Engineering of Magnetic Fusion Reactors**. Scientific American. v.249(4), 1983.
- COSTLEY, A.E., **Towards a Compact Spherical Tokamak Fusion Pilot Plant**. Philos. Trans. R. Soc. A. v.377(2141), pp.20170439, 2019.
- COSTLEY, A.E., **On the Fusion Triple Product and Fusion Power Gain of Tokamak Pilot Plants and Reactors**. Nuclear Fusion. v.56, pp.066003 (1-8), 2016.
- COSTLEY, A.E., BUXTON, P.F., HUGILL, J., **Reply to Comment on the Fusion Triple Product and Fusion power Gain of Tokamak Pilot Plants and Reactors**. Nuclear Fusion. v.57, pp.038002 (1-3), 2017.
- DEAN, S.O., CALLEN, J.D., FURTH, H.P., CLARKE, J.F., OHKAWA, T., RUTHERFORD, P.H., **Status and Objectives of Tokamak Systems for Fusion Research**. Journal of Fusion Energy. v.17, pp.289-337, 1998.
- EL-GUEBALY, L.A., **History and Evolution of Fusion Power Plant Studies: Past, Present, and Future Prospects**. Nuclear Reactors, Nuclear Fusion and Fusion Engineering, NOVA Science Publishers. pp.217-271, 2009.
- EL-GUEBALY, L.A., **Fifty Years of Magnetic Fusion Research (1958–2008): Brief Historical Overview and Discussion of Future Trends**. Energies. v.3(6), pp.1067-1086, 2010.
- ELIEZER, Y., ELIEZER, S., **The Fourth State of Matter - An Introduction to the Physics of Plasma**. Bristol and Philadelphia, Adam Hilger, 1989. 226p.
- FURTH, H.P., **Tokamak Research**. Nuclear Fusion. v.15, pp.487-534, 1975.
- GALAMBOS, J.D., PERKINS, L.J., HANEY, S.W., MANDREKAS, J., **Commercial Tokamak Reactor Potential with Advanced Tokamak Operation**. Nuclear Fusion. v.35(5), pp.551-573, 1995.
- HAMACHER, T, BRADSHAW, A.M., **Fusion as a Future Power Source: Recent Achievements and Prospectus**. 18th Congress World Energy Council, Buenos Aires, 21-25 October, pp.1-19, 2001.
- HANDLEY, M.C.; SLESINSKI, D.; HSU, S.C., **Potential Early Markets for Fusion**

Energy. Journal of Fusion Energy. v.40(18), pp.1-17, 2021.

HERMAN, R., **Fusion - The Search for Endless Energy.** University Cambridge, 1990. 280p.

HIWATAR, R., GOTO, T., **Assessment on Tokamak Fusion Power Plant to Contribute to Global Climate Stabilization in the Framework of Paris Agreement.** Plasma and Fusion Research. v.14, pp.1305047(1-5), 2019.

HORVATH, A., RACHLEW, E., **Nuclear Power in the 21st Century: Challenges and Possibilities.** Ambio. v.45(01), pp.S38-S49, 2016.

IAEA, **Nuclear Power Reactors in the World – Edition 2017 (IAEA-RDS-2/37).** IAEA (International Atomic Energy Agency). 2017.

IAEA, **IAEA Fusion Device Information System.** IAEA (International Atomic Energy Agency). 2020.

KIKUCHI, M., **A Review of Fusion and Tokamak Research Towards Steady-State Operation: A JAEA Contribution.** Energies. v.3, pp.1741-1789, 2010.

KIKUCHI, M., LACKNER, K., TRAN, M.Q., **Fusion Physics.** IAEA International Atomic Energy Agency, 2012. 1.158p.

LABERG, M., **Alternative Approaches in Fusion.** Presentation General Fusion, Fusion Forum in Edmonton Alberta. November 4, pp.1-20, 2017.

LACKNER, K., **Dimensionless Engineering Variables for Measuring the ITER and Reactor Relevance of Tokamak Experiments.** Fusion Sci. Technol. v.54, pp.989-993, 2008.

LAWSON, J.D., **Some Criteria for a Power Producing Thermonuclear Machine.** Proceedings of the Physical Society. B70, v.6, pp.6-10, 1957.

LUDWIG, G.O., BOSCO, E.D., FERREIRA, J.G., BERNI, L.A., OLIVEIRA, R.M., ANDRADE, M.C.R., SHIBATA, C.S., UEDA, M., WILTGEN, F. (BARBOSA, L.F.W.), BARROSO, J.J., CASTRO, P.J., PATIRE JR, H., **Spherical Tokamak Development in Brazil.** Brazilian Journal of Physics. v.33(04), pp.1-12, 2003.

MAISONNIER, D., CAMPBELL, D., COOK I., DI PACE, L., GIANCARLI, L., HAYWARD, J., LI PUMA, A., MEDRANO, M., NORAJITRA, P., ROCCELLA, M., SARDAIN, P., TRAN, M.Q., WARD, D., **The European Power Plant Conceptual Study.** Fusion Engineering and Design. v.75-79, pp.1173-1179, 2005.

MCCRACKEN, G., STOTT, P., **Fusion: The Energy of the Universe.** Academic Press. 2012. 248p.

MENARD, J. E.; BROWN, T., EL-GUEBALY, L., BOYER, M., CANIK, J., COLLING, B., RAMAN, R., WANG, Z., ZHAI, Y., BUXTON P., COVELE, B., D'ANGELO, C., DAVIS, A., GERHARDT, S., GRYAZNEVICH, M., HARB, M., HENDER, T.C., **Fusion Nuclear Science Facilities and Pilot Plants Based on the Spherical Tokamak.** Nuclear Fusion. v.6(10), pp.106023 (1-110), 2016.

- MISHRA, A.K., ANITHA, G., **Nuclear Fusion Reactor – A Review Study**. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD), v.4(03), pp.2456-6470, 2020.
- MURRAY, R.L., **Nuclear Energy**. Pergamon Press, Oxford, 1993. 576p.
- ONGENA, J., KOCH, R., WOLF, R., ZOHRM, H., **Magnetic-Confinement Fusion**. Nature Physics. v.12, pp.398-410, 2016.
- PEARSON, R.J., COSTLEY, A.E., PHAAL, R., NUTTALL, W.J., **Technology Roadmapping for Mission-led Agile Hardware Development: A Case Study of a Commercial Fusion Energy Start-up**. Technol. Forecast. Soc. Change. v.158, pp.120064 (1-21), 2020.
- SAXENA, Y.O., **Tokamak: A Device for Nuclear Fusion**. Indian Journal of Cryogenics. v.41, pp.1-17, 2016.
- SCHOOFS, F., TODD, T.N., **Magnetic Field and Power Consumption Constraints for Compact Spherical Tokamak Power Plants**. Fusion Engineering and Design. v.176, pp.113022 (1-11), 2022.
- SMIRNOV, V.P., **Tokamak Foundation in USSR/Russia 1950–1990**. IAEA, Nuclear Fusion. v.50, pp.1-8, 2010.
- SYKES, A., AHN, J.W., AKERS, R., ARENDS, E., CAROLAN, P.G., COUNSELL, G.F., FIELDING, S.J., GRYAZNEVICH, M., MARTIN, M., ROACH, C., SHEVCHENKO, V., TOURNIANSKI, M., VALOVIC, M., WALSH, WILSON, H.R., **First Physics Results from the MAST Mega-Amp Spherical Tokamak**. Physics of Plasmas. v.8(05), pp.1-6, 2001.
- WAN, Y., **Road Map of Chinese Fusion Research and the First Chinese Fusion Reactor – CFETR**. 531st Wilhelm and Else Heraeus Seminar on 3D versus 2D in Hot Plasmas, 30th April – 2nd May Physikzentrum Bad Honnef, pp.1-92, 2013.
- WARRICK, C., **Fusion Turns to Engineering**. Ingenia Emerging Technology. v.52, pp.39-43, 2012.
- WESSON, J., **Tokamaks**. Clarendon Press, Oxford, 1987. 800p.
- WILTGEN, F., **Sistema Elétrico Pulsado com Controle Digital do Tokamak ETE (Experimento Tokamak Esférico)**. Dissertação de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, 1998. 228p.
- WILTGEN, F., FERREIRA, J.G., LUDWIG, G.O., BOSCO, E.D., ROSSI, J.O., **Pulsed Electric System for Production and Confinement of Plasma in ETE (Spherical Experiment Tokamak)**. 13th IEEE International Pulse Power Conference - PPC and 28th IEEE International Conference on Plasma Science - ICOPS, Las Vegas, 17-22 June, pp.1731-1734, 2001.
- WILTGEN, F., **Sistemas Inteligentes para o Controle de Plasma em Máquinas do Tipo Tokamak – Aplicação de Sistemas de Controle com Inteligência Artificial**. Novas Edições Acadêmicas, 2018. 372p.

WILTGEN, F., **Energia Elétrica via Fusão Termonuclear Controlada**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). v.38(03), pp.97-107, 2021.

WILTGEN, F., **Estados Físicos da Matéria**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). pp.1-9, aguardando publicação para 2022A.

WILTGEN, F., **Fusão Termonuclear Controlada por Confinamento Magnético do Plasma em Máquinas do Tipo Tokamak**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). pp.1-6, aguardando publicação para 2022B.

WILTGEN, F., **Futuro Reator a Fusão Nuclear do Tipo Tokamak – Máquina de Engenharia Desafiadora**. XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM 2022, Teresina, 07-11 agosto, pp.1-10, 2022C.

YICAN, W, SUMER, S, **Fusion Energy Production**. Elsevier Comprehensive Energy Systems. v.3, pp.539-589, 2018.

YUSHMANOV, P.N., TAKIZUKA, T., RIEDEL, K.S., KARDAUN, O.J, CORDEY, J.G., KAYE, S.M., POST, D.E., **Scalings for Tokamak Energy Confinement**. Nuclear Fusion. v.30, pp.1999-2006, 1990.

ZOHN, H., **On the Size of Tokamak Fusion Power Plants**. Royal Society. A77, pp.1-9, 2019.



CAPÍTULO 10

I CONECTAGRO

Thalia Strelow dos Santos

Wagner Schmiescki dos Santos

Luan Martin Arejano

Cairo Schulz Klug

Henrique Peglow da Silva

Rafael Miritz Bartz

Dienifer Radtke

João Gabriel Ruppenthal

Franciele Kroessin

Maurício Silveira Quadro

I CONECTAGRO

Thalia Strellov dos Santos

*Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
thalia.strellov@gmail.com.*

Wagner Schmiescki dos Santos

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
wschmiescki@gmail.com.*

Luan Martin Arejano

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
luanarejano@outlook.com.*

Cairo Schulz Klug

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
cairoschulzklug@gmail.com.*

Henrique Peglow da Silva

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
henrique.peglow96@gmail.com.*

Rafael Miritz Bartz

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
rafaelmiritz@gmail.com.*

Dienifer Radtke

*Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
dieniferradtke@hotmail.com.*

João Gabriel Ruppenthal

*Engenheiro Agrícola, formado pela Universidade Federal de Pelotas,
joagabrielrup@gmail.com.*

Franciele Kroessin

*Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
kroessinkroessin@gmail.com.*

Maurício Silveira Quadro

*Professor Doutor, Engenheiro Agrícola, Universidade Federal de Pelotas,
mausq@hotmail.com.*

Resumo: O evento intitulado ConectAgro, organizado pelo Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Agrícola (PET-EA) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), foi realizado entre os dias 26 e 30 de outubro de 2020, em formato online, devido a pandemia ocasionada pela Covid-19. O objetivo do evento foi possibilitar a difusão de conhecimentos sobre o agronegócio brasileiro, ampliando a visão profissional dos acadêmicos e a relação destes estudantes com professores de diversas universidades do país e demais profissionais da área. Para a organização do evento, os membros do grupo PET-EA foram subdivididos em comissões de trabalho, onde cada equipe ficou responsável por uma determinada atividade. As palestras e painéis ministrados durante o evento foram realizados através da plataforma Google Meet e transmitidas para o Youtube. Durante os 5 dias, o evento obteve um total de 2025 reproduções, sendo 1305 referentes aos painéis e 720 as palestras, recebendo um alto índice de satisfação do público. Pode-se concluir que o evento cumpriu com seu propósito de possibilitar uma grande troca de conhecimentos entre os profissionais e futuros engenheiros agrícolas.

Palavras-chave: Agronegócio; Engenharia; Palestras.

Abstract: The event entitled ConectAgro, organized by the Programa de Educação Tutorial of the Agricultural Engineering course (PET-EA) at the Federal University of Pelotas (UFPel), was held between October 26 and 30, 2020, in online format, due to the pandemic caused by Covid-19. The objective of the event was to enable the dissemination of knowledge about Brazilian agribusiness, expanding the professional vision of academics and the relationship of these students with professors from various

universities in the country and other professionals in the field. For the organization of the event, the members of the PET-EA group were subdivided into work commissions, where each team was responsible for a specific activity. The lectures and panels given during the event were held through the Google Meet platform and transmitted to Youtube. During the 5 days, the event had a total of 2025 reproductions, 1305 referring to the panels and 720 to the lectures, receiving a high level of public satisfaction. It can be concluded that the event fulfilled its purpose of providing a great exchange of knowledge between professionals and future agricultural engineers.

Keywords: Agribusiness; Engineering; Lectures.

INTRODUÇÃO

Em meio à pandemia do covid-19, doença causada pelo coronavírus, ocorreu simultaneamente a celebração da expansão do agronegócio no Brasil. O uso de tecnologias no processo de produção agrícola tem avançado para a base da cadeia, garantindo mais segurança a produtores rurais, consumidores e até mesmo as universidades e estudantes de cursos agrícolas, assim como a dinamização das informações.

As universidades federais desempenham um papel fundamental na formação dos indivíduos como futuros profissionais, diante das experiências vividas que abarcam suas atividades ao decorrer do processo de formação, permitindo a integração dos três pilares: ensino, pesquisa e extensão. As atividades nas instituições de ensino no ano de 2021 ocorreram de forma remota, respeitando protocolos de segurança e biossegurança.

A semana acadêmica da Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, que sempre ocorria de forma presencial em conjunto com a Expofeira de Pelotas, foi a alternativa encontrada pelo Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola (UFPel), para realizar um evento semelhante na modalidade online. O evento ConectAgro foi organizado para possibilitar a difusão de conhecimentos entre estudantes, professores e profissionais de diferentes instituições de ensino e, assim, promover a disseminação da informação e a apropriação de novas tecnologias.

Em vista disso, o evento tem o intuito de tornar mais fácil a integração entre estudantes, professores e produtores rurais, já que terão a possibilidade de acessar as palestras e participar das rodas de conversa direto de suas casas. Ainda, será

possível entendermos a possibilidade de reinventar o processo educativo, tornando-o mais dinâmico, eficiente e inovador.

MATERIAL E MÉTODOS

A ideia do evento surgiu a partir da percepção de que dentro da sala de aula, pouco é visto sobre questões mais práticas envolvendo as tecnologias usadas em campo. Além disso, durante a pandemia, ficou mais difícil a interação entre professores e alunos para a troca de experiências, o que é tão engrandecedor durante o período da faculdade, já que o conhecimento obtido fora da sala de aula também é importante.

Dessa forma, o grupo PET-EA iniciou o planejamento do I ConectAgro, evento que foi organizado através de um planejamento bem definido. Para isso, foram criadas comissões para melhor organização do grupo, sendo elas: comissão geral, com a função de coordenar os demais petianos nas atividades necessárias para o evento; comissão de palestrantes, com a função de buscar e contatar pessoas para participarem dos painéis e palestras; comissão de transmissão, responsável pela transmissão e imagem do evento e; comissão de inscrições e certificados, responsável pelo cadastro do evento na plataforma, controle das inscrições e presença dos participantes e envio das informações necessárias para gerar o certificado.

O tema central do evento foi “Os Caminhos da Tecnologia para o Campo”, em que buscamos trazer conteúdos e assuntos sobre a temática atual do agro, relacionando as principais tecnologias lançadas nas diversas áreas que contemplam o curso de Engenharia Agrícola, já que esta é uma nova forma de se trabalhar no agro e porque a temática também é bastante pertinente atualmente. O evento ocorreu durante a última semana do mês de outubro de 2020, do dia 26 ao dia 30, a escolha por estas datas deu-se em razão de no dia 27 de outubro ser celebrado o dia do profissional de Engenharia Agrícola.

Por conta disso, foi separado para cada dia de evento uma temática central, sendo: segunda-feira - ambiência animal, terça-feira - irrigação, quarta-feira - energias renováveis, quinta-feira - máquinas agrícolas e sexta-feira - agribusiness. Estes temas são abordados em sala de aula durante o curso de Engenharia Agrícola, entretanto, é feito uma abordagem mais teórica, e através do evento propomos que fosse debatido,

entre professores e demais profissionais de cada área, a teoria aliada a prática, em que ocorreria debates entre os painelistas sobre o assunto, e a noite ocorreria palestras, a fim de finalizar a abordagem dos temas de forma mais prática.

Cada painel foi constituído por três convidados, e ocorreram durante o período da tarde, já a noite o palestrante responsável apresentava a palestra proposta. Tomou-se o cuidado de escolher nomes de diferentes regiões do país, a fim de enriquecer mais o diálogo e trazer visões e experiências diferentes para o debate. A transmissão do evento foi realizada através do Youtube, através do canal PET - Engenharia Agrícola.

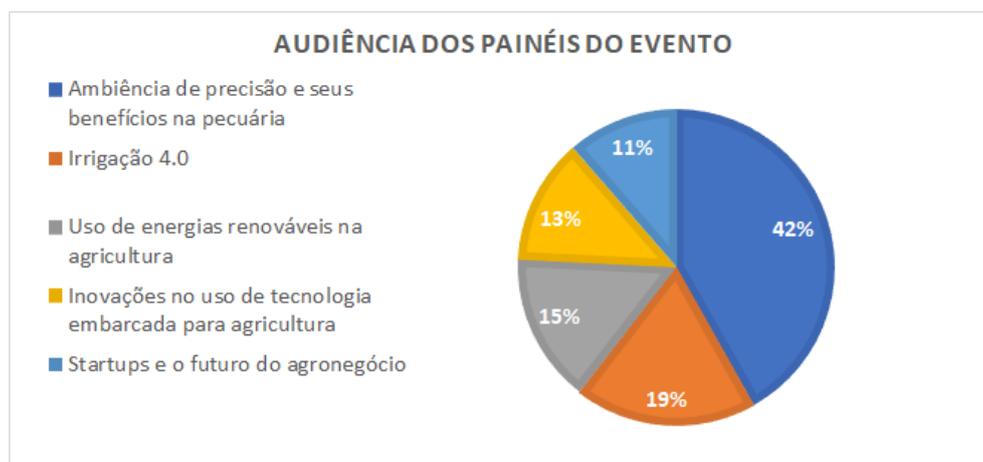
Ao final de cada transmissão, seja painel ou palestra, era disponibilizado, pela comissão de inscrições e certificados, um formulário a ser preenchido pelos participantes a fim de se ter um controle de presença para os certificados. Os formulários continham perguntas de avaliação ao painel ou palestra assistidos e do evento como um todo, bem como da organização do mesmo, sendo as respostas obtidas através de uma escala simples de 1 a 10. Os participantes que obtiveram 70% ou mais de presença estavam aptos para receber o certificado do evento. Após o término do evento o grupo processou os formulários, verificando quais participantes receberiam certificado, e também qual foi a avaliação geral que o evento recebeu do público.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O evento obteve um total de 2.025 visualizações, sendo que os painéis realizados no turno da tarde obtiveram 1.305 reproduções e as palestras, transmitidas à noite, totalizaram 720 reproduções ao longo da semana. Em relação às inscrições, obteve-se um total de 282 inscritos, sendo que 47 destes optaram por receber o certificado do evento.

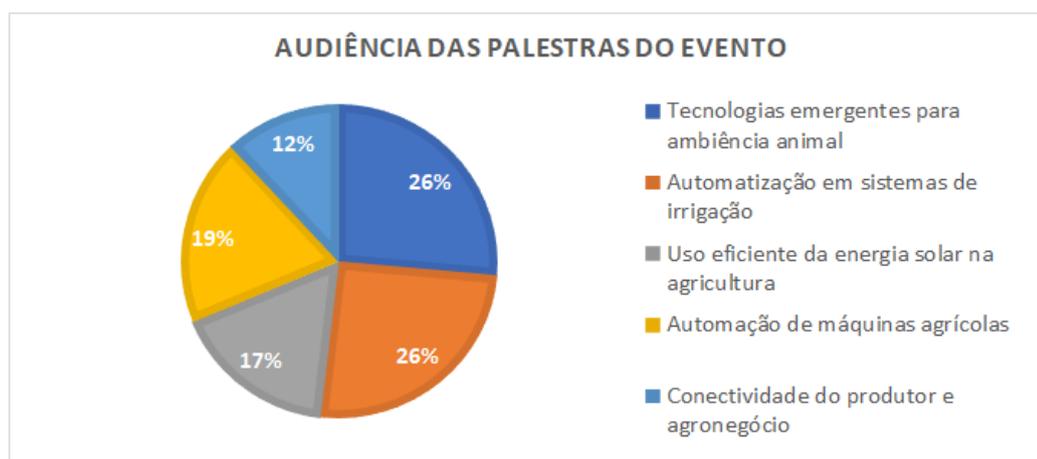
Diante dos cinco temas apresentados no decorrer do evento, o que obteve maior número de visualizações foi sobre o tema "Ambiência de precisão e seus benefícios na pecuária", com um total de 546 reproduções. Em relação às palestras, a mais prestigiada pelo público foi sobre "Tecnologias emergentes para ambiência animal", também realizada no primeiro dia do evento, representando um total de 191 acessos. Nos gráficos abaixo, é possível analisar o público atingido em relação a cada tema apresentado durante os dias do evento.

Gráfico 1. Audiência dos painéis realizados de acordo com o tema apresentado.



Fonte: autores, 2021.

Gráfico 2. Audiência das palestras realizadas de acordo com o tema apresentado.



Fonte: autores, 2021.

No final de cada painel e palestra, obtivemos uma avaliação realizada pelo público-alvo, a fim de analisar-se os melhores temas debatidos, e critérios a serem melhorados para a realização de próximos eventos. Dessa forma, o painel que obteve melhor avaliação, com nota média de 9,8, foi sobre “Uso de energias renováveis na agricultura”. Quanto às palestras, a que mais agradou o público ocorreu no último dia do evento, sobre “Conectividade do produtor e agronegócio”, apresentando, igualmente, nota média de 9,8.

De forma geral, o evento obteve altas notas, tanto em relação a transmissão do evento para a plataforma YouTube (nota média de 9,37), quanto referente a satisfação geral (nota média de 9,62) do público-alvo com o evento. Através da avaliação

realizada pela audiência, pode-se ser feita uma análise sobre os prós e contras da organização do evento, em que pode-se perceber a importância do trabalho em equipe para a execução de um evento deste porte.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O I ConectAgro foi um sucesso, obtendo 2025 visualizações e aprovação por maioria dos participantes da forma em que foi conduzido e dos temas propostos nos painéis e palestras. Por ser um evento online, contribuiu para que diversos públicos de distintas cidades e estados do Brasil participassem, agregando a todos e trazendo mais proximidade dos estudantes junto aos profissionais, assim trocando experiências e aprendendo mais sobre os temas debatidos com acesso direto de suas casas.

As comissões de trabalho se beneficiam visto que se é necessário estudar mais sobre os assuntos discutidos, melhoram sua oratória, constroem um planejamento e se portam de maneira formal sobre a discussão estabelecida. O evento de forma geral foi muito gratificante, já que contou com a presença de grandes profissionais das cinco grandes áreas do agronegócio e, conseqüentemente, cativou a todos os participantes e gerou entretenimento ao público.

REFERÊNCIAS

QUEIROGA, F. **Orientações para o home office durante a pandemia da COVID-19**. 2020. (Editoração/Coletânea).

BUFFA, E.; CANALES, P. R. **Extensão: meio de comunicação entre universidade e comunidade**. EccoS Revista Científica, São Paulo, v. 9, n.1, p. 157-169, jan./jun. 2007.

CAPÍTULO 11

IMPACTOS DO PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL NA CARREIRA DOS EGRESSOS EX-BOLSISTAS DO CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Thalia Strelow dos Santos

Rafael Miritz Bartz

Guilherme Hirsch Ramos

Murilo Gonçalves Rickes

Ritchelli Teixeira Duarte

Wagner Schmiescki dos Santos

Talisson Natan Tochtenhagen

Samuel Wachholz Reichow

Karen Raquel Pening Klitzke

Maurício Silveira Quadro

**IMPACTOS DO PROGRAMA DE EDUCAÇÃO TUTORIAL NA
CARREIRA DOS EGRESSOS EX-BOLSISTAS DO CURSO DE
ENGENHARIA AGRÍCOLA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
PELOTAS**

Thalia Strellov dos Santos

*Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
thalia.strellov@gmail.com.*

Rafael Miritz Bartz

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
rafaelmiritz@gmail.com.*

Guilherme Hirsch Ramos

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
guilhermehirsch97@gmail.com.*

Murilo Gonçalves Rickes

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
murilorickes@gmail.com.*

Ritchelli Teixeira Duarte

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
ritchellitd@gmail.com.*

Wagner Schmiescki dos Santos

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
wschmiescki@gmail.com.*

Talisson Natan Tochtenhagen

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
talissonnatantochtenhagen@gmail.com.*

Samuel Wachholz Reichow

*Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas,
Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel,
samuelwreichow@gmail.com.*

Karen Raquel Pening Klitzke

*Engenheira Agrícola, formada pela Universidade Federal de Pelotas,
karenrpklitze@gmail.com.*

Maurício Silveira Quadro

*Professor Doutor, Engenheiro Agrícola, Universidade Federal de Pelotas,
mausq@hotmail.com.*

Resumo: O Projeto de Acompanhamento de Egressos possui o intuito de identificar o perfil do profissional de engenharia agrícola formado na Universidade Federal de Pelotas. Desde 1972, já foram formados 600 alunos no curso, sendo 90 bolsistas do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola (PET-EA), que é fundamental na ampliação da formação acadêmica dos alunos, seja na pesquisa, ensino ou extensão. Dessa forma, pretende-se verificar o impacto do programa na carreira dos egressos que participaram ativamente das ações do PET-EA. Para isso, realizou-se um levantamento de todos os egressos do curso que participaram das atividades do PET-EA. Então, confeccionou-se um questionário sobre a trajetória acadêmica, carreira profissional e importância do programa, para que os ex-alunos pudessem responder. Com isso, pode-se perceber que os ex-petianos possuem uma média de 5,6 anos de permanência no curso, enquanto que a média geral do curso é de 6,7 anos. Cerca de 80% dos entrevistados afirmaram que o PET-EA possui a capacidade de incentivar a formação de profissionais competentes em suas áreas. Dessa forma,

pode-se verificar a influência positiva que o programa proporcionou aos seus participantes.

Palavras-chave: Acompanhamento. Educação. Egressos.

Abstract: The Graduates Monitoring Project aims to identify the profile of agricultural engineering professionals graduated at the Federal University of Pelotas, which is a pioneer in the country. Since 1972, over 600 students have graduated, 90 of whom have received scholarships from the Tutorial Education Program for Agricultural Engineering (PET-EA), which is fundamental in expanding the academic training of students, whether in research, teaching or extension. Thus, it is intended to verify the impact of the program on the career of graduates who actively participated in the PET-EA actions. For this, a survey of all graduates of the course was carried out and those who had participated in the PET-EA activities were selected. Then, a questionnaire was made revolving around their academic trajectory, professional career and importance of the program, which was sent to the graduates. Through the answers, it can be seen that these professionals have an average of 5.6 years of permanence in the course while the general average of the course is 6.7 years. About 80% of respondents said that the PET-EA has the ability to encourage the formation of academics and professionals competent in their areas. Thus, through the project, the trajectory of former members of the program can be verified, in addition to the positive influence that the program provided on its participants.

Keywords: Monitoring. Education. Graduates.

INTRODUÇÃO

O Projeto de Acompanhamento de Egressos (PAE), é um projeto realizado pelo Programa de Educação Tutorial do curso de Engenharia Agrícola (PET-EA) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), que possui como principal objetivo identificar o perfil do engenheiro agrícola graduado no primeiro curso do Brasil. Desde sua concepção, em 27 de outubro de 1972, o curso já graduou mais de 600 alunos, contudo, carece de um sistema singular pelo qual possa ser verificado como os ex-alunos desempenharam sua profissão.

A análise das experiências dos egressos se torna uma grande peça-chave para os núcleos de coordenação, que devem atualizar e pavimentar mudanças curriculares para ensinar práticas e metodologias modernas aos seus alunos (COELHO & DA SILVA, 2017). Uma instituição de ensino ou curso de graduação devem estar sempre preparados para melhor atenderem às novas gerações, conforme tecnologias e concepções científicas da área se atualizem. Além disso, outras ações da universidade são fundamentais para ampliar a formação acadêmica dos alunos, como

é o caso do Programa de Educação Tutorial, que fornece aos estudantes a oportunidade de trabalhar com projetos de pesquisa, ensino e extensão.

O PET-EA já contou com 90 membros desde a sua criação (LUZ, 2020). Dessa forma, o PAE possui o intuito de realizar um acompanhamento dos egressos do curso de Engenharia Agrícola da UFPel que atuaram como bolsistas do Programa de Educação Tutorial, a fim de realizar um levantamento sobre suas áreas atuais de atuação, a importância do programa no desenvolvimento de novas habilidades, verificando assim o impacto do programa na carreira dos egressos que participaram ativamente de suas ações.

MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, realizou-se um levantamento de todos os alunos egressos de graduação do curso de Engenharia Agrícola da UFPel e, a partir disso, pode-se analisar aqueles que haviam integrado o Programa de Educação Tutorial. Então, foi feito um levantamento das informações de contato de todos estes egressos, para que pudesse ser enviado um formulário para preenchimento virtual contendo questões acerca da trajetória durante a graduação, atuação profissional e a importância do programa para a sua carreira. O questionário virtual foi preparado na plataforma Google Forms e, a partir das respostas obtidas, foram confeccionados gráficos para análises das informações.

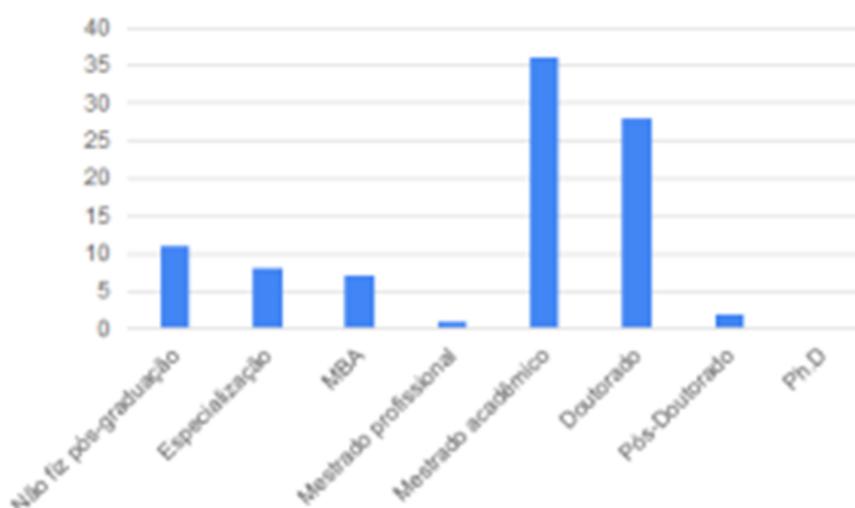
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O questionário foi enviado para 87 dos 90 ex-bolsistas que passaram pelo PET-EA UFPel, resultando em 57 respostas ao total. Destes, fez-se uma busca no Portal Institucional do curso, obtendo-se os respectivos tempos de formação e, pela diferença entre anos de ingresso e ano de conclusão, fez-se uma média do tempo de graduação dos petianos egressos.

Assim, analisou-se que os alunos bolsistas formavam-se em um tempo médio de 5,6 anos, sendo inferior à média do curso que é de 6,7 anos. Realidade esta que pode estar atrelada ao fato de que, para manter a bolsa, conforme estabelece o Manual de Orientações Básicas (2006), os petianos não podem possuir mais do que uma reprovação.

Conforme o Gráfico 1, pode-se ver que 37 dos 57 ex-petianos cursaram ou estão cursando mestrado, seja acadêmico ou profissional, o que vai ao encontro da proposta do Programa em sua criação, de capacitar estudantes para serem futuros professores universitários. Outro fato que evidencia esta proposta é que 28 egressos possuem ou buscam o título de doutor. Há de se destacar, que alguns ex-petianos buscaram cursar sua pós-graduação em outras universidades do país ou, até mesmo, em outros países.

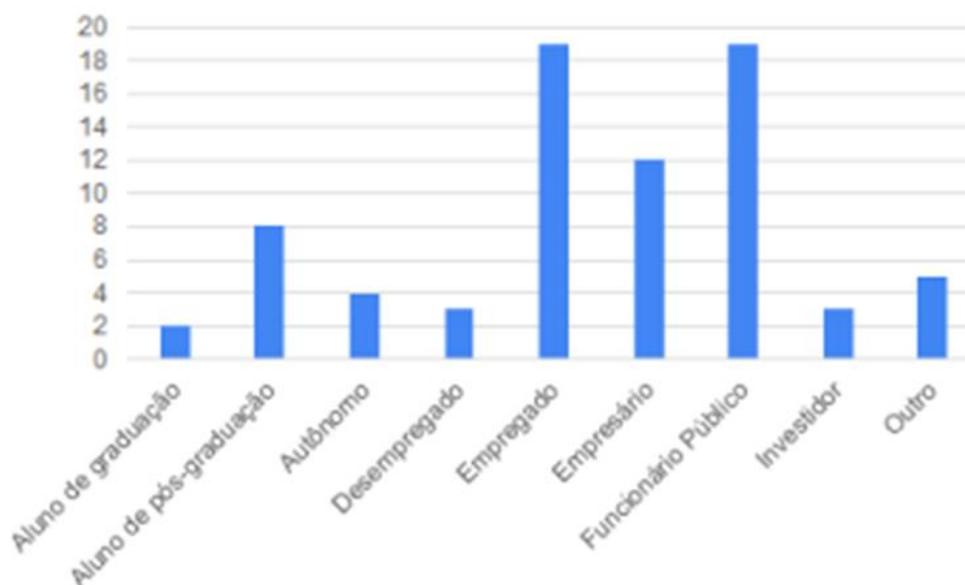
Gráfico 1. Tipo de pós-graduação dos ex-petianos.



Fonte: autores, 2021.

Já o Gráfico 2, apresenta as atividades exercidas pelos ex-petianos na época de aplicação do questionário (2020). A partir disso, percebe-se que as atividades de empregado e funcionário público são destaques, possuindo 19 ex-petianos em cada categoria, além disso, a categoria empresário também possui destaque em relação às demais, com 12 ex-petianos. Por sua vez, a categoria de desempregados se destaca como uma das menores, mostrando que a participação no Programa auxilia em adquirir um emprego em uma gama de setores.

Gráfico 2. Atividade atual dos ex-petianos.

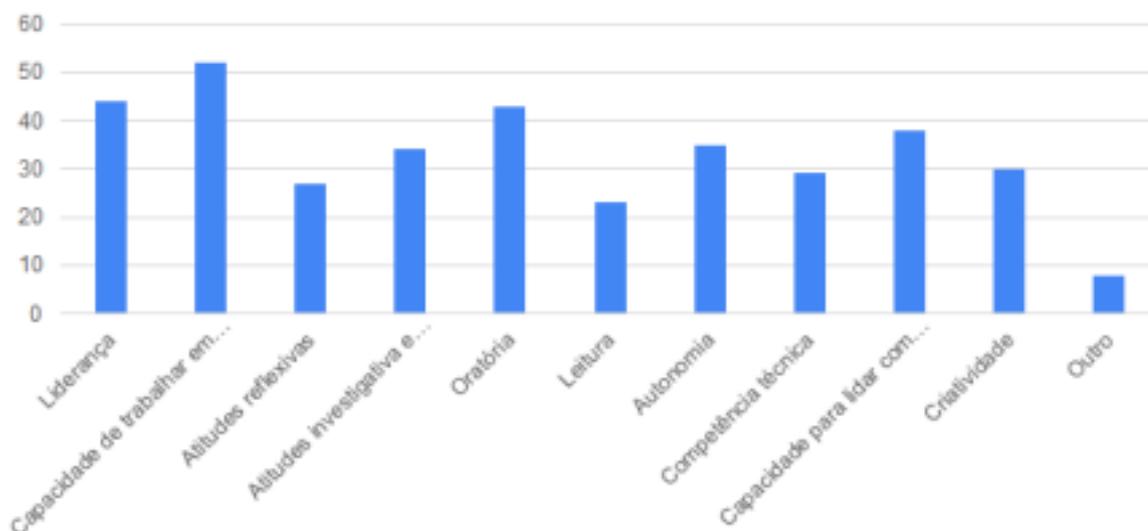


Fonte: autores, 2021.

A participação no Programa possibilita o desenvolvimento de novas habilidades, e no questionário havia uma pergunta tratando disso, onde era possível marcar mais de uma opção. Dessa forma, no Gráfico 3, percebe-se as muitas habilidades adquiridas e aprimoradas pelos ex-petianos, sendo a capacidade de trabalhar em equipe a opção mais marcada, em que 52 ex-petianos afirmaram ter desenvolvido no Programa, e habilidade de liderança, com 44 marcações positivas.

Isso ocorre em razão do programa possuir, no mínimo, a participação de 12 membros, o que promove o trabalho em grupo para a execução das atividades e também a possibilidade de delegar atividades para outros membros, aprimorando assim o perfil de liderança, para que as atividades sejam realizadas da melhor forma possível. A terceira habilidade com grande desenvolvimento é a oratória, com 43 marcações, pois enquanto membro do programa se faz necessário a apresentação de atividades de forma clara e coerente para os mais diversos públicos, facilitando o desenvolvimento da capacidade de oratória.

Gráfico 3. Habilidades desenvolvidas pelos ex-petianos.



Fonte: autores, 2021.

Os ex-petianos avaliaram, ainda, o Programa em relação a sua capacidade de estimular na formação de profissionais e acadêmicos com elevada qualificação técnica, científica e tecnológica. Mais de 80% dos ex-petianos, consideraram que o Programa tem a capacidade de estimular a formação de acadêmicos e profissionais competentes em suas áreas, mostrando a importância que o programa tem em complementar a graduação, tornando seus membros mais capacitados e preparados para a vida profissional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto de Acompanhamento de Egressos (PAE) é uma ferramenta de localização e acompanhamento de ex-alunos do curso. Através dos dados obtidos é possível observar e detalhar os caminhos tomados pelos egressos e assim, traçar o perfil tanto dos ex-Petianos, quanto de ex-alunos formados na UFPel. Também pode-se verificar, através do projeto, a importância que o PET-EA proporciona aos seus membros, visto que proporciona um melhor desempenho tanto acadêmico, quanto profissional, ao ingressar no mercado de trabalho.

REFERÊNCIAS

COELHO, M. C. R.; DA SILVA, J. P. Acompanhamento de egresso como instrumento de gestão. **Textos & Contextos**, v. 16, n. 2, p. 470-478, Porto Alegre, 2017.

DA SILVA, L. C.; BASTOS, A. V. B.; RIBEIRO, J. L. L. S.; PEIXOTO, A. L. A. Acompanhamento de egressos como ferramenta para a gestão universitária: um estudo com graduados da UFBA. **Revista Gestão Universitária da América Latina – GUAL**, vol. 10, n. 4, p. 293-313, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.



CAPÍTULO 12
NÍVEL DE AVALIAÇÃO DA PLANTA DE IPTU
DE PORTO ALEGRE: A DEFASAGEM
EXISTENTE ATÉ 2020
Samuel Poeta

NÍVEL DE AVALIAÇÃO DA PLANTA DE IPTU DE PORTO ALEGRE: A DEFASAGEM EXISTENTE ATÉ 2020¹

Samuel Poeta

Engenheiro Civil (UNISINOS), Mestre em Economia (UFRGS), Porto Alegre-RS,

samuel@marozal.com.br

RESUMO: Porto Alegre foi uma das capitais com maior defasagem na base de cálculo da cobrança de IPTU, quando a sua Planta Genérica de Valores (PGV), de 1991, teve o nível de avaliação de seus imóveis atualizado em 2019. No entanto, apesar da atualização da PGV, permanece o debate político sobre a necessidade ou não de revogar a referida norma. A hipótese adotada para este trabalho leva em consideração de que a revogação da atualização da PGV, além de limitar a arrecadação, voltaria a produzir iniquidades aos contribuintes devido às discrepâncias no nível de avaliação dos imóveis. Para essa análise, foram comparados os valores de dados de imóveis transacionados com o valor venal efetivamente tributado de Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) pelo município entre 2014 e 2018. Os resultados obtidos indicam que o nível das avaliações dos imóveis efetivamente tributados de IPTU era na ordem de 15,72% do valor de mercado, valor inferior ao mínimo de 70% recomendado pela Portaria Ministerial n.º 511/2009. Além disso, os resultados obtidos no presente estudo retratam que o formato de cobrança utilizado até 2019 se encontrava com deficiências na progressividade e com falta de uniformidade da cobrança, causando assim, iniquidades tributárias aos contribuintes devido às distorções ocorridas nas avaliações dos imóveis.

PALAVRAS-CHAVE: IPTU; Iniquidades; Avaliações de Imóveis, Engenharia Civil.

ABSTRACT: Porto Alegre was one of the capitals with the greatest delay in the calculation basis for IPTU collection, when its 1991 Generic Plant Values (PGV) had its property valuation level updated in 2019. However, despite the update of the PGV, the political debate remains on the need or not to revoke the referred rule. The hypothesis adopted for this work takes into account that the revocation of the PGV update, in addition to limiting the collection, would again produce inequities for taxpayers due to discrepancies in the level of property valuation. For this analysis, the data values of transacted properties were compared with the market value effectively taxed by the Urban Property and Land Tax (IPTU) by the municipality between 2014 and 2018. The results obtained indicate that the level of valuations of the properties effectively taxed by IPTU it was in the order of 15.72% of the market value, less than the minimum of 70% recommended by Ministerial Ordinance No. 511/2009. In addition, the results obtained in this study show that the collection format used until 2019 had

¹Este artigo sistematiza parte da dissertação de mestrado, de autoria do autor e defendida no Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 2019.

deficiencies in its progressivity and lack of uniformity in collection, thus causing tax inequities to taxpayers due to distortions in property valuations.

KEYWORDS: IPTU; Iniquities; Property Valuations, Civil Engineering.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a arrecadação do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) sobre o Produto Interno Bruto (PIB) encontra-se em um nível muito abaixo do potencial, comparativamente com outros países da Europa e América Latina. França, Canadá e Colômbia tributam propriedade mais do que o dobro do Brasil, em relação a seus respectivos PIB (Carvalho Jr, 2018). Entre os municípios brasileiros, existe elevada heterogeneidade na cobrança do IPTU e, segundo De Cesare (2018), o potencial de arrecadação com IPTU no país poderia ser até dobrado com base na atualização do valor dos imóveis na planta de valores e no cadastro dos imóveis dos municípios. A grande desatualização destes instrumentos prejudica a equidade na cobrança do referido tributo.

A partir de 2020, Porto Alegre-RS realizou a atualização da sua base de cálculo de IPTU, no entanto, permanece o debate político sobre a necessidade ou não de revogar a referida norma, uma vez que alguns imóveis tiveram aumentos significativos em seus respectivos valores de IPTU. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar e demonstrar a existência de deficiência na cobrança de IPTU do município de Porto Alegre até o ano de 2019, antes da atualização do valor dos imóveis. Para tanto, estima-se o grau de defasagem da Planta Genérica de Valores (PGV) do município, através da comparação entre preços de imóveis transacionados e seus respectivos valores venais de IPTU entre os anos de 2014 e 2018. Por fim, analisa-se se a cobrança do IPTU reflete princípios de justiça tributária, de modo que, exista uniformidade nos valores venais tributados de imóveis em relação a seu efetivo valor de mercado. A base de dados desta pesquisa é de 2014 a 2018, portanto, anterior à aprovação da Lei nº 859/2019², em vigor, desde 01 de janeiro de 2020, que atualizou o nível de avaliação dos imóveis da PGV de IPTU em Porto Alegre.

²Em 03 de setembro de 2019, foi sancionada a Lei Complementar nº 859, atualizando base de cálculo de IPTU a partir de 01 de janeiro de 2020.

Este estudo justifica-se em função do baixo aproveitamento deste instrumento como fonte de receita dos municípios brasileiros, seja diante da necessidade de arrecadação efetiva de tributos, seja devido à crise fiscal enfrentada pelos municípios ou pelas exigências contidas na Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF), em especial no artigo 11 que estabelece como “requisitos essenciais da responsabilidade na gestão fiscal à instituição, previsão e efetiva arrecadação de todos os tributos da competência constitucional do ente da Federação”. Além disso, justifica-se a análise sobre o município de POA, pois, segundo Freitas (2018), era a capital com a segunda maior defasagem de IPTU, uma vez que, não era realizada atualização do nível do valor dos imóveis da PGV, base de cálculo da cobrança do tributo, desde o ano de 1991. Além disso, verifica-se também uma queda superior a 30% na razão entre a receita de IPTU e a receita tributária total de Porto Alegre, entre 2000 e 2017 (TCE/RS, 2018).

MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia utilizada para verificar o grau de defasagem no nível de avaliações dos imóveis da PGV consistiu na comparação direta entre os preços de venda de amostras de imóveis transacionados entre os anos de 2014 e 2018, com o valor venal efetivamente tributado de IPTU³. A base de dados utilizada foi fornecida pela Secretaria Municipal da Fazenda (SMF) de POA, por meio de amostras de imóveis transacionados no setor de Imposto de Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) juntamente de seus respectivos valores tributados de IPTU. Com isso, foi possível utilizar 37.012 (trinta e sete mil e doze) imóveis neste estudo, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipologias e número de imóveis da amostra –2014 a 2018

Tipologia	Amostras utilizadas	Representatividade (%)
Imóveis exclusivamente residenciais	33272	89,90%
Imóveis não residenciais	2767	7,48%
Terrenos e glebas	973	2,62%
Total de amostras	37012	100,00%

³Após o Poder Legislativo Municipal de Porto Alegre aprovar a Lei nº 859/2019, líderes locais têm defendido a revogação da referida norma.

Fonte: elaborada pelo autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, demonstra-se a média e a mediana do nível das avaliações dos valores venais efetivamente tributados de IPTU, quando comparados com os valores transacionados dos imóveis da amostra, que demonstram o grau de defasagem da PGV do município de Porto Alegre/RS.

Tabela 2 – Média e mediana do nível das avaliações do valor venal efetivamente tributado de IPTU das amostras do estudo - 2014 a 2018

Tipologia	Média	Mediana
Imóveis exclusivamente residenciais	17,64%	15,03%
Imóveis não residenciais	26,89%	23,88%
Terrenos e glebas	23,14%	19,53%
Todas as amostras	18,48%	15,72%

Fonte: elaborada pelo autor.

A média e a mediana global do nível de avaliações dos imóveis na cobrança de IPTU foram de, aproximadamente, 18,48% e 15,72%, respectivamente, do valor transacionado dos imóveis. Os imóveis exclusivamente residenciais são os que possuem menor nível de avaliação, possuindo média e mediana de 17,64% e 15,03%, respectivamente.

Diante disso, é possível verificar que os níveis de avaliações apurados estão em um patamar muito inferior aos que são recomendados pelas diretrizes da Portaria Ministerial n.º 511/2009, que aponta que o nível das avaliações para cobrança de IPTU deve ser de, no mínimo, 70%, e pelas normas internacionais estabelecidas pelo *International Association of Assessing Officers* (IAAO), em que aconselha uma mediana do nível de avaliação de, no mínimo, 90%.

Verifica-se também a existência de grandes dispersões no nível de avaliação dos imóveis quando se compara com seus respectivos valores de mercado, conforme demonstrado Gráfico 1. Os imóveis de menor valor, em média, possuem um nível de avaliação mais baixo em relação aos imóveis de valor mais alto, até a faixa dos imóveis com valores de até 2 milhões de reais. Já para os imóveis com valor de mercado acima de 2 milhões, observa-se uma tendência oposta, onde o nível das avaliações vai se reduzindo à medida que o valor dos imóveis aumenta, causando assim um efeito regressivo na cobrança de IPTU e demonstrando a inexistência de

equidade vertical devido às discrepâncias existentes nas avaliações dos imóveis. Desta forma, verifica-se a existência de um “benefício” aos proprietários de imóveis com valores superiores a 4,5 milhões uma vez que, são tributados com um nível de avaliação menor do que os imóveis na faixa acima de 600 a 700 mil reais.

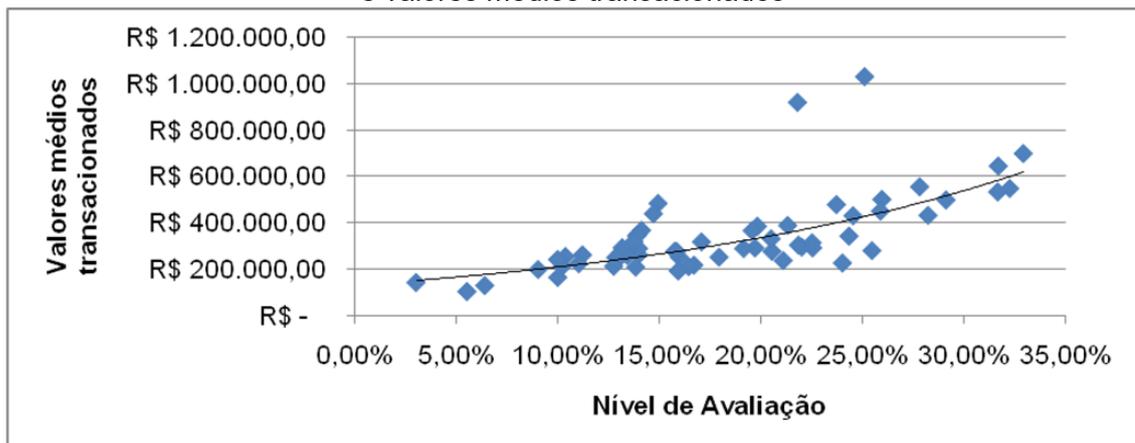
Gráfico 1 – Nível de avaliação efetivamente tributado na cobrança de IPTU- amostra de imóveis transacionados entre 2014 a 2018



Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação à divisão do nível das avaliações de IPTU, percebe-se uma grande heterogeneidade no nível de avaliações dos imóveis para cobrança de IPTU, que vai de 2,16% no bairro Campo Novo, até 31,26% no bairro Belém Novo. No Gráfico 2 demonstra-se a grande variabilidade entre o valor venal efetivamente tributado de IPTU em relação a valores médios transacionados por bairro, no período de 2014 a 2018.

Gráfico 2 – Dispersão entre nível de avaliação do valor venal efetivamente tributado de IPTU e valores médios transacionados



Fonte: elaborada pelo autor.

De acordo com os dados demonstrados no Gráfico 2, pode-se verificar que existe uma tendência de aumento no nível das avaliações do valor venal efetivamente tributado de IPTU à medida que aumentam os valores médios transacionados em cada bairro. Todavia, a falta de uniformidade dos dados, muitas vezes definidas devido a transformações ocorridas nos locais desde a última atualização do valor dos imóveis da PGV em 1991, explica o motivo pelo qual alguns bairros fogem dessa tendência. Os maiores *outliers*⁴ retratados no Gráfico 2 são demonstrados no Quadro 1.

Quadro 1 - Bairros com maiores distorções entre o nível de avaliação do valor venal efetivamente tributado de IPTU em relação a valores médios transacionados

Bairro	Características
Três Figueiras	Apesar de possuir a maior média de valores transacionados e a maior renda entre todos os bairros analisados, encontra-se na 13ª posição em relação ao nível de avaliação efetivamente tributada de IPTU, atrás de bairros populares, como Mário Quintana e Ipanema. Ou seja, no bairro mais rico da cidade, a defasagem na cobrança do IPTU é maior do que em outros 12 bairros da cidade.
Jardim Europa	Possui o 2º maior valor médio de transação entre os bairros analisados, no entanto, ocupa a 18ª posição em relação ao nível de avaliação dos imóveis, atrás de bairros como Lomba do Pinheiro, Floresta e Mário Quintana. Isso demonstra a regressividade tributária que a cobrança do IPTU tem provocado e, por consequência, concentrado mais renda nos bairros mais ricos em detrimento de bairros mais pobres, como o, Lomba do Pinheiro, o qual possui, segundo o Censo (2010), a menor renda média do município.
Tristeza	Possui o 13º maior valor médio de transação entre os bairros analisados, todavia, ocupa o 44º lugar em relação ao nível de avaliação efetivamente tributada de IPTU entre os bairros analisados, atrás de bairros como Humaitá, Sarandi, Cristo Redentor, Santo Antônio, Glória, São Geraldo, entre outros
Mário Quintana	Possui o 49º maior valor médio de transação entre os bairros analisados, todavia, ocupa o 9º lugar em relação ao nível de avaliação efetivamente tributada de IPTU, a frente de bairros como Três Figueiras, Jardim Europa, Higienópolis e Boa Vista.
Belém Novo	Possui o 6º maior valor médio de transação, todavia, ocupa o 1º lugar em relação ao nível de avaliação efetivamente tributada de IPTU, a frente de bairros como Três Figueiras, Jardim Europa, Chácara das Pedras, Bela Vista e Mon't Serrat.
Lomba do Pinheiro	Possui o 28º maior valor médio de transação, todavia, ocupa o 16º lugar em relação ao nível de avaliação efetivamente tributada de IPTU, a frente de bairros como Jardim Europa, Santana e Bom Fim.

Fonte: elaborado pelo autor.

⁴*Outliers* são dados que fogem demasiadamente do comportamento normal dos resultados demonstrados por uma determinada amostra de dados (GONZÁLEZ, 2003).

CONCLUSÃO

Considerando que o município de POA permaneceu de 1991 a 2019 sem realização a atualização do valor dos imóveis da PGV do IPTU, os resultados obtidos neste estudo retratam que o formato de cobrança de IPTU encontrava-se até janeiro de 2020 com nível de avaliação de apenas 15,75% dos imóveis. Os dados apurados demonstram a ocorrência de injustiças tributárias, de modo que, o valor efetivamente tributado de IPTU dos imóveis analisados também não se encontra distribuído de maneira uniforme.

Somado a isso, foi observado que, para os imóveis transacionados acima de 2 milhões de reais, o nível de avaliação para tributação de IPTU decresce de 31,49% a 13,08% a medida que aumenta o valor do imóvel, causando um efeito concentrador de renda, o oposto do efeito esperado para um tributo sobre patrimônio. Com isso, este estudo corroborou com a hipótese da existência de iniquidades na tributação de IPTU nos bairros da cidade de Porto Alegre até 2019, uma vez que foram verificadas grandes distorções as quais espera-se que tenham sido reparadas através da atualização da PGV que entrou em vigor em janeiro de 2020, no município de Porto Alegre, cujos resultados estão na agenda de pesquisa futura. Por fim, se é necessário, conforme aponta Carvalho Jr. (2017), que o valor avaliado dos imóveis, como base de cálculo do IPTU, esteja próximo ao valor de mercado para se obter justiça contributiva e eficiência na arrecadação tributária, os dados demonstrados nesta pesquisa, mostram a não efetividade da justiça contributiva no IPTU do município de Porto Alegre, demonstrando que a atualização da PGV realizada em 2020 não deve ser revogada pelas autoridades públicas.

REFERÊNCIAS

- Carvalho Jr., P. H. B. Property tax performance and potential in Brazil. 2017. Thesis (Doctorate in Tax Policy). Faculty of Economic and Management Sciences, University of Pretoria, South Africa, 2017.
- Carvalho Jr., P. H. B. Imposto Predial e Territorial Urbano. In: Fagnani, E. (org.). A Reforma Tributária Necessária. São Paulo: Plataforma Política Social, 2018. p. 411-425.
- De Cesare, C. M. Condições básicas para garantir a funcionalidade da tributação recorrente ao patrimônio imobiliário urbano e rural. In: Fagnani, E. (org.). A Reforma Tributária Necessária. São Paulo: Plataforma Política Social, 2018. p. 369-393.

Freitas, A. A. Revisar ou não revisar a cobrança do IPTU de Porto Alegre? Carta Conjuntura FEE (Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser). Porto Alegre/RS, Ed. 1, 2018.

González, M. A. S. Metodologia de avaliação de imóveis. Novo Hamburgo: SGE, 2003. Porto Alegre. Lei Complementar nº 859, de 03 de setembro de 2019. Aprova a Planta Genérica de Valores Imobiliários (PGV) para efeitos de lançamento e cobrança do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para o exercício de 2020.

Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul - TCE/RS. Arrecadação Tributária do Município de Porto Alegre/RS. Porto Alegre. 2018.



CAPÍTULO 13
**AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL PARA A
MANUFATURA AVANÇADA COM APOIO DA
ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS**

Wagner Comenale
Filipe Wiltgen

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL PARA A MANUFATURA AVANÇADA COM APOIO DA ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS

Eng. Wagner Comenale

<https://orcid.org/0000-0002-2841-5457>

Bacharel em Matemática com ênfase em Informática (1998) pela Fundação Santo André (FSA). Engenheiro Eletricista (2010) pelo Centro Universitário FEI. Especialização em Gestão de Projetos e Processos Organizacionais (2018) pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETPS). Licenciado em Formação Pedagógica para Graduados (2021) pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETPS). Mestrando (2022) na Universidade de Taubaté (UNITAU). Atuando na área de desenvolvimento de projetos para automação industrial na Goodyear (2007 à 2008), na Pirelli Pneus (2008 à 2017) e na Prometeon Tyre Group (2017 - atual). Desde 2018 é professor na Escola Técnica Estadual do Estado de São Paulo (ETEC Jorge Street em São Caetano do Sul) nos cursos de Eletrotécnica, Eletrônica, Automação Industrial, Mecatrônica e Mecânica.

WagnerComenale@hotmail.com

Prof. Dr. Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté (UNITAU), e também, Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC Pindamonhangaba e Bauru), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial. LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

RESUMO

Este artigo tem o objetivo de apresentar a importância na utilização de técnicas de

Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) atuando na estruturação da Manufatura Avançada (MA) com a finalidade de permitir a ampla conectividade de informações entre os diferentes sistemas industriais atuando em conjunto. A integração e comunicação da informação em tempo real com técnicas voltadas para a solução de problemas que possam ser implementadas diretamente em equipamentos industriais. O estudo está centrado na substituição das ações humanas realizadas nas extrusoras de borracha em diferentes partes de pneus. Aqui são descritas as técnicas de ESR aplicadas no domínio do problema para formalização do conhecimento em requisitos capazes de ajudar na implementação e testes de sistemas de controle. A aplicação destas técnicas permite prosseguir com a evolução do desenvolvimento do sistema de controle com o acompanhamento da maturidade tecnológica. No decorrer da pesquisa são apresentadas as técnicas de análise de problemas voltados para sistemas de controle autônomos e integrados capazes de se comunicarem com as máquinas no processo, e se auto-ajustar a cada nova mudança de matéria-prima, assim como, nas alterações das condições ambientais necessárias para a indústria de transformação de borracha.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Prototipagem Rápida, Impressão 3D, Modelagem, Protótipo.

ABSTRACT

This paper aims to present importance in use of Systems & Requirements Engineering (SRE) techniques acting in structuring of Advanced Manufacturing (AM) with a high point of allowing a wide connectivity of information between the different industrial systems acting together. The integration and communication of information in real time with techniques aimed at solving problems that can be implemented directly in industrial equipment. The study is centered on the replacement of human actions carried out in rubber extruders on different parts of tires. Here are obtained the techniques of SRE requirements in problem domain to formalize knowledge in requirements capable of helping in implementation and testing of control systems. Technical applications allow evolution of development of control system with the monitoring of technological maturity. In course of research, they will be, as problem analysis techniques aimed at autonomous and integrated control systems capable of communicating with machines process, and self-adjusting with each new change of raw material, as well as, in changes of necessary environmental conditions for rubber processing industry.

Keywords: Advanced Manufacturing, Systems & Requirements Engineering, Control System, Sensors, Extruder.

1. INTRODUÇÃO

Um aspecto importante da integração proporcionada pela Manufatura Avançada (MA) é a possibilidade de evitar a interferência humana em processos no qual uma máquina pode atuar de forma mais assertiva. Entretanto, para que isso possa se tornar rotineiro na indústria atual, é necessário investimento intelectual antes do investimento tecnológico (Wiltgen, 2020A, Comenale e Wiltgen, 2021).

Novas gerações de engenheiros serão capazes de integrar de forma coerente

processos, máquinas e humanos. Isso começa a ser verdade nos dias atuais, no qual pesquisas em MA começam a ser empregadas no mundo e aqui no Brasil. O compartilhamento de informações e processos industriais irão permitir aplicar controle autônomo e inteligente nas máquinas melhorando sua eficiência e produtividade.

Atualmente muitos processos produtivos industriais estão sob a atuação humana, realizando ajustes manuais para o funcionamento das máquinas. Os controles e processos realizados de forma manual são lentos, e pior, personalizados conforme cada operador humano. Isso quer dizer que dependem diretamente das habilidades específicas de quem opera a máquina. Esses operadores, dado sua experiência prévia, possuem a capacidade de distinguir e determinar os parâmetros operacionais quando existem mudanças climáticas ou da natureza do processo, até mesmo da própria matéria-prima.

Para substituir o modelo atual baseado em soluções particulares humanas, deve ser estudado o problema profundamente via Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) (Wiltgen, 2020B; Loucopoulos e Karakostas, 1995; Blanchard e Fabrycky, 2011; INCOSE, 2015; DoD, 2001; NASA, 2018). A ESR permite operacionalizar de forma coerente e estruturada a MA em ambientes industriais, no qual a conexão entre os equipamentos industriais nos processos produtivos permitem a integração dinâmica do fluxo de informações entre diferentes tipos de máquinas e sistemas, agilizando as decisões de forma autônoma.

No decorrer deste artigo, são abordadas as necessidades da indústria de borracha na fabricação de pneus automotivos, o funcionamento das extrusoras de borracha, aplicação de técnicas de ESR no estudo, análises dos sistemas de controle autônomo de um processo de extrusão de borracha para a fabricação de pneus via manufatura avançada, características importantes das extrusoras de borracha para o conhecimento do problema e elicitação de requisitos. A utilização das técnicas ESR na elaboração das análises para planejamento e o desenvolvimento do sistema de controle autônomo são apresentadas e por fim são discutidas as etapas futuras da pesquisa.

2. MANUFATURA AVANÇADA APLICADA NA INDÚSTRIA DE BORRACHA

Para compreender o processo que motivou o desenvolvimento da chamada Indústria 4.0 na Alemanha ou *Smart Factory* no EUA ou a Manufatura Avançada no Brasil, é necessário realizar uma análise com início na década de 70.

Com maior impacto nos países emergentes e com menor intensidade nos países desenvolvidos como Alemanha, EUA, França e Reino Unido, as indústrias destes países sofreram um processo de migração das suas instalações e produções para países em desenvolvimento, principalmente países asiáticos. Além da migração e da redução da sua capacidade industrial para a produção de bens de baixo valor agregado, houve também a migração e a redução da capacidade produtiva dos bens de maior complexidade, como conhecimento, pessoal qualificado e infraestrutura de suprimentos (Arbix *et al.*, 2017; Bento e Malagutti, 2020). As consequências destas migrações evidenciaram dificuldades econômicas significativas, que impactam diretamente na indústria de transformação e refletiram no PIB dos respectivos países.

A importância do desenvolvimento tecnológico faz com que os países se organizem, de forma a integrar governos, indústrias, centro de pesquisas, universidades e investidores, para que juntos possam viabilizar a nova revolução industrial a manufatura avançada (Wiltgen, 2020A).

Na indústria mundial, conceitos de integração e conectividade baseado na manufatura avançada estão sendo implementados com a utilização de tecnologias digitais integradas, tecnologia de nuvem, realidade aumentada, internet das coisas, robôs autônomos, banco de dados, simulações e manufatura aditiva. Esses conceitos contribuem para a integração dos sistemas industriais automatizados, melhoria dos processos de produção industrial e acesso às informações, tornando-os mais eficientes, flexíveis e personalizados (Tropia, 2017; Albertin, 2017; MCT&I, 2017; Mendes, 2017; Pontes, 2018).

No Brasil, muitos setores industriais estão atrasados com relação à adoção de tecnologias digitais (Vermulm, 2018). A ausência de tecnologia e a falta de investimento é uma realidade que impossibilita a solução de problemas simples nos processos produtivos nacionais.

O setor da borracha é muito abrangente, tem início com o cultivo e a extração do látex nas florestas, e se estende até a produção de diferentes tipos e modelos de produtos manufaturados nas indústrias

Por ser amplo, o setor da borracha é representado por indústrias de diferentes tamanhos conforme a característica dos produtos manufaturados. Isso impacta diretamente nos tipos de máquinas e processos utilizados que por fim também influenciam os sistemas de controle aplicados a essas máquinas. Indústrias de grande porte possuem maquinários complexos e modernos com elevados níveis de

automatização dos seus sistemas de controle, o que garante a integração e a conectividade, as quais são premissas para a manufatura avançada.

Algumas indústrias de pneus, mesmo sendo multinacionais, estão igualmente defasadas tecnologicamente, se comparadas às indústrias brasileiras. A justificativa para a atual defasagem, são os longos períodos sem o investimento adequado e necessário para a manutenção e atualização tecnológica das máquinas e processos modernos.

A indústria de produção de pneus, assim como, em outras indústrias de processamento de borracha, tem um longo caminho a percorrer com o objetivo de consolidar os conceitos práticos fundamentais para a manufatura avançada. A substituição de máquinas com tecnologias obsoletas ou sua atualização tecnológica, utilização de modernos sistemas de controle, uso de sensores para a integração dos processos através de redes de comunicação e a conectividade do ambiente industrial com o ambiente corporativo (Bento e Malagutti, 2020).

Essa talvez seja uma boa oportunidade para debater sobre a indústria no futuro, aqui a distância entre a pesquisa e desenvolvimento, torna difícil a evolução da indústria (Wiltgen, 2020A). A consolidação dos processos de integração de sistemas e utilização de controles, sensores e atuadores eletrônicos podem vir a estabelecer uma estratégia dentro dos conceitos da manufatura avançada, para alavancar e reposicionar a indústria brasileira (Arbix *et al.*, 2017).

5. EXTRUSORAS DE BORRACHA

O processo de extrusão de borracha é um processos de manufatura importante na indústria de fabricação e transformação de borracha consiste basicamente em forçar a passagem de uma massa de elastômero pelo barril da extrusora, utilizando um fuso, o intuito é obter na saída da extrusora um perfil de material que tenha as dimensões estabelecidas pela chamada fieira modeladora ou matriz de extrusão (Quelho, 2018).

A técnica utilizada para forçar o composto de borracha através da matriz de extrusão possui as seguintes classificações:

- **Extrusoras de Êmbolo:** no qual a pressão necessária para forçar a passagem do composto de borracha através da fieira é produzida por movimento de um êmbolo mecânico.

- **Extrusoras de Fuso (Parafuso):** no qual a pressão necessária para forçar a passagem do composto de borracha através da fiação é produzida por movimento de um fuso ou parafuso sem fim.

As extrusoras de fuso (parafuso) utilizadas na indústria de fabricação de pneus automotivos, são classificadas conforme a temperatura de operação da matéria-prima, podendo ser extrusoras com alimentação a quente ou extrusoras com alimentação a frio. As extrusoras com alimentação a quente são utilizadas em casos especiais, como na produção de perfis de extrusão de grandes dimensões, nos quais a homogeneidade é muito importante e pela complexidade do processos. As extrusoras com alimentação a frio possuem diversos tipos de fusos plastificadores e tem a função de homogeneizar a mistura de borracha durante o processo de extrusão.

Conforme pode ser visto na Figura 1, uma extrusora de borracha é constituída de um corpo cilíndrico oco, comumente chamado corpo da extrusora ou de barril. O barril por sua vez, acomoda no seu interior uma rosca acionada por um motor elétrico acoplado a um sistema de redução mecânica, a extrusão da borracha é realizada pelo movimento de rotação da rosca.

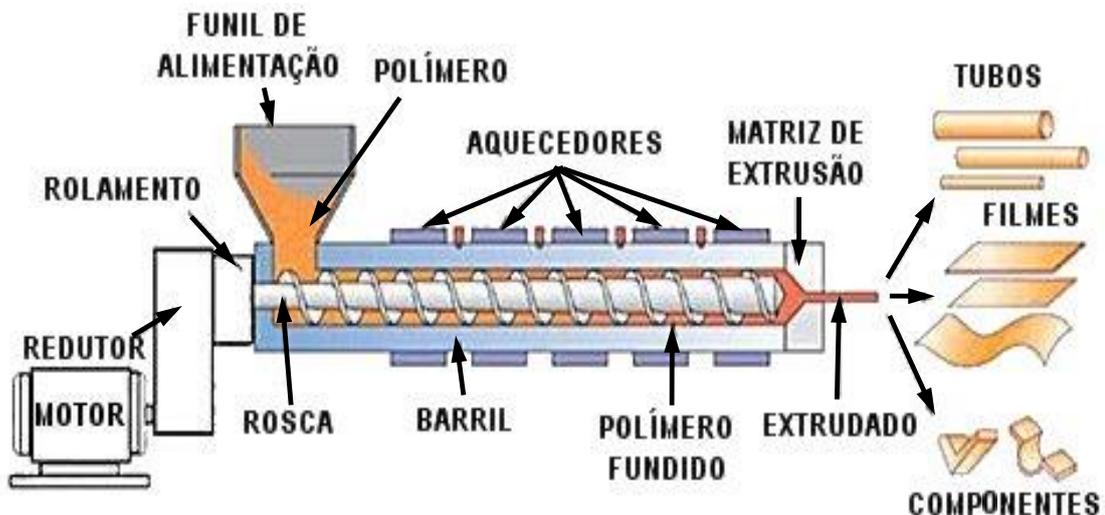


Figura 1. Elementos principais de uma extrusora de alimentação a frio.

Fonte: Adaptado de Quelho, 2018.

O processo de extrusão é composto por três etapas básicas, alimentação da matéria-prima, processamento da extrusora e matriz de extrusão modeladora. Na alimentação da extrusora a matéria-prima é inserida no formato de uma manta de borracha e conduzida para dentro da extrusora através de um funil direcionador que

em contato com a rosca do processamento da extrusora puxa a manta de borracha para o interior do barril da extrusora. O material é transportado pela rosca de aço ao longo de toda a extensão do barril da extrusora, nessa etapa do processo a borracha sofre aquecimento e compactação até ser conduzida a saída pela matriz de extrusão que irá modelar e definir o formato e as dimensões do material extrudado (Quelho, 2018).

Em uma extrusora de borracha quase sempre existem mudanças na qualidade do produto, principalmente dependendo das instabilidades no fluxo da matéria-prima. Constantes mudanças nas características funcionais podem induzir efeitos indesejáveis na qualidade do produto fabricado. Na extrusão, a borracha sofre complexas transformações termo-mecânicas que induzem fortes mudanças físico-químicas em suas propriedades (Previdi *et al.*, 2005).

A extrusão em borracha por necessitar de ajustes para operar as máquinas, as quais dependem da experiência prévia dos seus operadores devido às mudanças climáticas e de processo, vários problemas podem ocorrer. Esses problemas geram elevada quantidade de produtos fabricados fora dos requisitos levando ao descarte de material ou ao reprocessamento em outras máquinas, o que conseqüentemente elevam os custos de fabricação do produto.

Ao implantar a MA permitirá integrar os testes realizados em ambiente controlado de laboratório (*DT&E– Developmental Test and Evaluation*), com os testes realizados em ambiente relevante no campo (*OT&E – Operational Test and Evaluation*). Isso permite planejar de forma correta o plano de Pesquisa, Desenvolvimento, Teste e Avaliação (*RDT&E – Research, Development, Test & Evaluation*) que permitem agrupar e contemplar todos os testes realizados (Wiltgen, 2019; Wiltgen, 2020B; Budde *et al.*, 1992; Drezner, 1992).

Os impactos da MA sobre a produtividade, redução de custos, controle de processos, adequação da produção, dentre outros, apontam para uma transformação profunda nas estruturas industriais. A estimativa anual de redução de custos industriais para o Brasil, a partir da implantação da MA, será de ~70 bilhões de reais por ano. Essa economia envolve ganhos de produtividade com a redução nos custos operacionais (Santos *et al.*, 2018).

4. ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS NO PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE

A Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) é a ciência que permite estruturar as análises técnicas a respeito de um problema com a finalidade de propor soluções técnicas que propiciam avançar no desenvolvimento de novos produtos, técnicas, processos e inovações (Wiltgen, 2020B; Wiltgen, 2020C; Alcalde e Wiltgen, 2019).

Na Tabela 1 são apresentadas as variáveis de controle do processo relevantes para a análise do problema. Dado o elevado número de variáveis envolvidas e a quantidade de informações referentes a esse processo é fácil perceber a dificuldade para um operador humano ser eficiente no controle da máquina durante a execução do processo de fabricação de um pneu de borracha. Isso é uma oportunidade para entender as causas e efeitos envolvidos nesse processo e assim determinar quais sistemas de controle autônomos são capazes de realizar essa tarefa.

Tabela 1. Variáveis de controle em uma extrusora.
Fonte: Próprios Autores.

Variáveis de Controle - Extrusora	
Velocidades	<i>Velocidade do Motor Fuso da Extrusora</i>
	<i>Velocidade do Motor Rolo da Saída</i>
	<i>Velocidade do Motor 1º Transportador</i>
Correntes Elétricas	<i>Corrente do Motor Fuso da Extrusora</i>
	<i>Corrente do Motor Rolo da Saída</i>
Temperaturas	<i>Temperatura Zona 1 Extrusora</i>
	<i>Temperatura Zona 2 Extrusora</i>
	<i>Temperatura Zona 3 Extrusora</i>
	<i>Ambiente</i>
Umidade	<i>Ambiente</i>
Posição	<i>Posição Rolo da Saída</i>
Pressão	<i>Pressão de Saída do Material</i>
Peso	<i>Peso de Saída do Material</i>
Largura	<i>Largura de Saída do Material</i>
Viscosidade	<i>Viscosidade do Material</i>

Dessa forma, são aplicadas diversas técnicas que permitem elaborar um planejamento estratégico baseado nas características do problema. Dentre as técnicas aplicadas no estudo e desenvolvimento de sistemas de controle via MA na indústria da borracha, tem-se: A análise técnica *SWOT*, modelagem técnica *IDEFO*, modelo de *Ishikawa*, e o modelo em V (Wiltgen, 2020C).

O desenvolvimento da técnica de análise *SWOT* (Helms e Nixon, 2010) é composto por um estudo com o objetivo de evidenciar quais os fatores que podem influenciar e interferir na implementação da manufatura avançada na indústria de borracha, foram considerados aspectos internos das diversas empresas de borracha, como também aspectos externos. E assim, obtida a estrutura da matriz *SWOT* correlacionando os quatro principais fatores: pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças (Figura 2).

Pontos Fortes <ul style="list-style-type: none">Fortalecimento da pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica para a MADesenvolvimento de mão de obra especializada.Geração de empregos qualificados.Fortalecer a competitividade e a produtividade das empresas.Capacidade de inovação.	Pontos Fracos <ul style="list-style-type: none">Falta de incentivo em aplicar os conceitos de MA.Falta de visão referente aos conceitos de MA.Falta de estrutura principalmente das micro, pequenas e médias empresas.Mão de obra não qualificada
Oportunidades <ul style="list-style-type: none">Responder aos desafios tecnológicos impostos pela MA.Desenvolver cursos profissionalizantes para atender a demanda da MA.Integração da cadeia produtiva.Agregar valor aos produtos manufaturados.Criação de novas demanda de mercado.Melhorar os Indicadores de desempenho	Ameaças <ul style="list-style-type: none">Falta de interesse em aplicar os conceitos de MA.Baixo volume de investimento.Crise econômica.Instabilidade política.Falta de mão de obra especializada.Desemprego da mão de obra sem qualificação.Custos elevados.Obsolescência

Figura 2. Análise da matriz *SWOT* para implementação da MA na indústria de borracha.
Fonte: Próprios Autores.

Compreender cada um dos fatores apresentados na análise *SWOT* na Figura 2 permite uma análise dos fatores com maior influência na implementação da MA. Tornam-se evidentes os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e tecnologia, especialização de mão de obra e a competitividade. Assim como, o efeito desastroso da falta de conhecimento e incentivo para aplicação dos conceitos da MA além da carência de conhecimento e experiência de pessoal qualificado. Quanto às oportunidades aplicáveis à extrusora de borracha foi verificado a possibilidade de se obter um novo patamar no processo produtivo da máquina com a melhora dos indicadores de desempenho dos produtos produzidos. Para isso devem ser aplicados os conceitos de MA, os desafios tecnológicos da MA devem ser superados e também investir na qualificação da mão de obra que atuará com esta tecnologia.

O desenvolvimento da modelagem técnica *IDEFO* (Ross, 1977) tem como objetivo apresentar de forma clara e detalhada o funcionamento do sistema para

implementar a manufatura avançada em uma extrusora de borracha. Na Figura 3 foram selecionadas quais as entradas (Tabela 1) que interferem nas atividades do processo, os controles que influenciam, os mecanismos necessários para que as atividades ocorram, e por fim, o resultado na saída do processo.

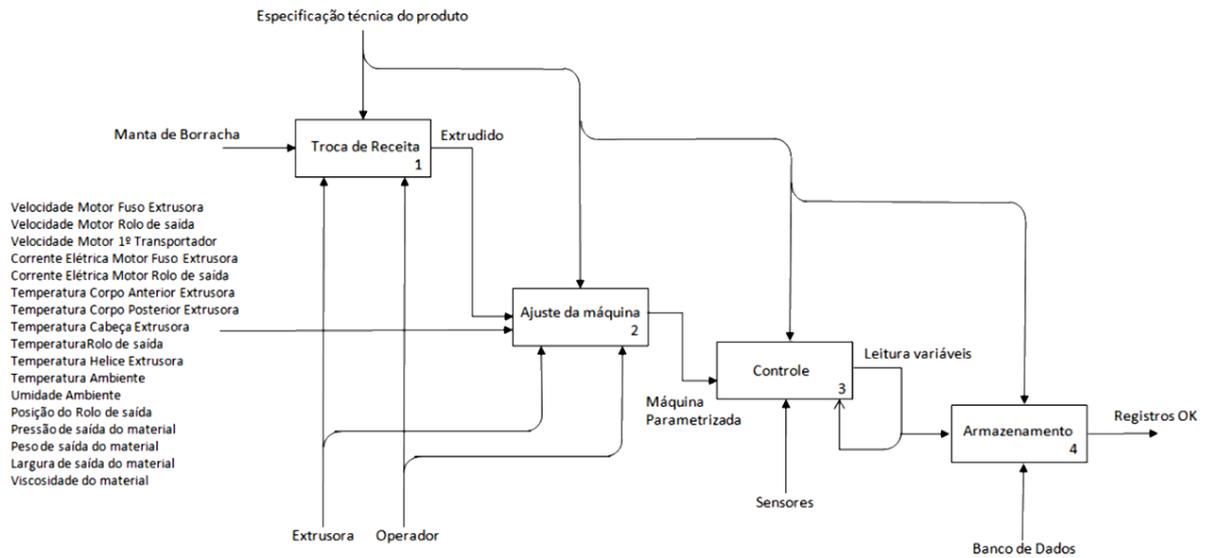


Figura 3. Técnica *IDEF0* aplicada no controle via manufatura avançada na indústria de borracha.
Fonte: Próprios Autores.

A representação do processo permite compreender o fluxo e os fatores que influenciam o comportamento macro nas atividades do processo. Isso permite delinear as divisões micro do processo de acordo com suas etapas (troca de receita, ajuste de máquina, armazenamento, entre outros). O processo avança apenas com a conclusão da etapa anterior, e por ser um processo contínuo, em cada etapa estão dispostas as interferências impostas ao processo.

No decorrer das análises básicas de identificação do problema, no domínio do problema, um dos objetivos principais é ser capaz de encontrar a relação causa e efeito. Para identificar os diversos fatores que estão provocando a ineficiência do processo produtivo da extrusora de borracha, foi aplicada a análise baseada no formato do diagrama de *Ishikawa* (Causa e Efeito) (Ishikawa, 1986). O desenvolvimento desta análise parte dos questionamentos a respeito do porque que um determinado problema ocorre. Isso leva a possíveis identificações das causas de um determinado problema em questão. Cada uma das causas são separadas em diferentes fatores, conhecidos como o “6Ms” (Medidas, Métodos, Pessoas, Máquinas, Ambientes e Materiais).

Na análise apresentada na Figura 4, é possível notar as principais causas dos problemas no processo de fabricação de pneus de borracha. E notar que essas causas estão concentradas nos fatores relativos às máquinas, assim como, nos fatores humanos. É importante ressaltar que a análise do diagrama de *Ishikawa* deve sempre conduzir a identificação das causas reais do problema, com a finalidade de ajudar nas etapas de elaboração de soluções técnicas que possam ser implementadas para reduzir ou sanar as causas desses problemas identificados.

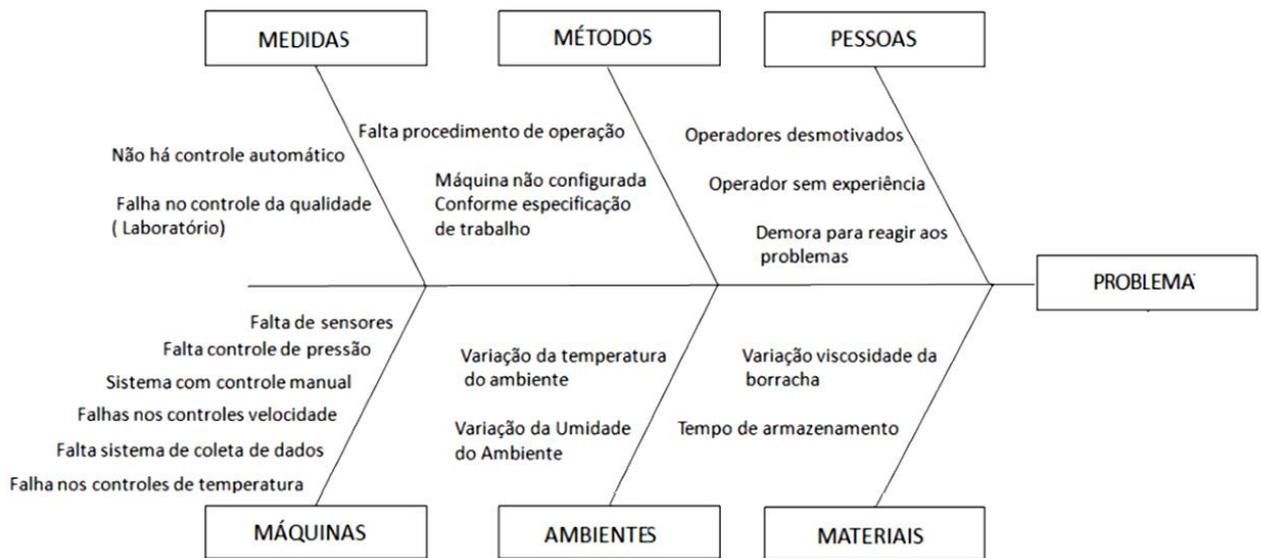


Figura 4. Diagrama de *Ishikawa* de uma extrusora de borracha (Problema).
Fonte: Próprios Autores.

O modelo em V (Rook, 1986) será aplicado com o objetivo de realizar simultaneamente a implementação e os testes de cada etapa do projeto. Por se tratar de uma máquina em operação é necessário testar exaustivamente o sistema de controle. Estes testes elevam o nível de maturidade tecnológica (*TRL – Technology Readiness Level*) e permitem avançar de forma coerente no desenvolvimento para aplicação nos processos de fabricação (Wiltgen, 2020C; Sauser *et al.*, 2010; Straub, 2015; Mankins, 2009).

No modelo em V proposto na Figura 5 é possível notar que no Domínio do Problema (lado esquerdo do modelo em V) estão desde a análise da composição da borracha até o planejamento e construção dos protótipos iniciais. No Domínio da Solução (lado direito do modelo em V) tem-se o planejamento do plano de ensaio (*RTD&E*) até a validação final do sistema de controle desenvolvido para esse tipo de processo.

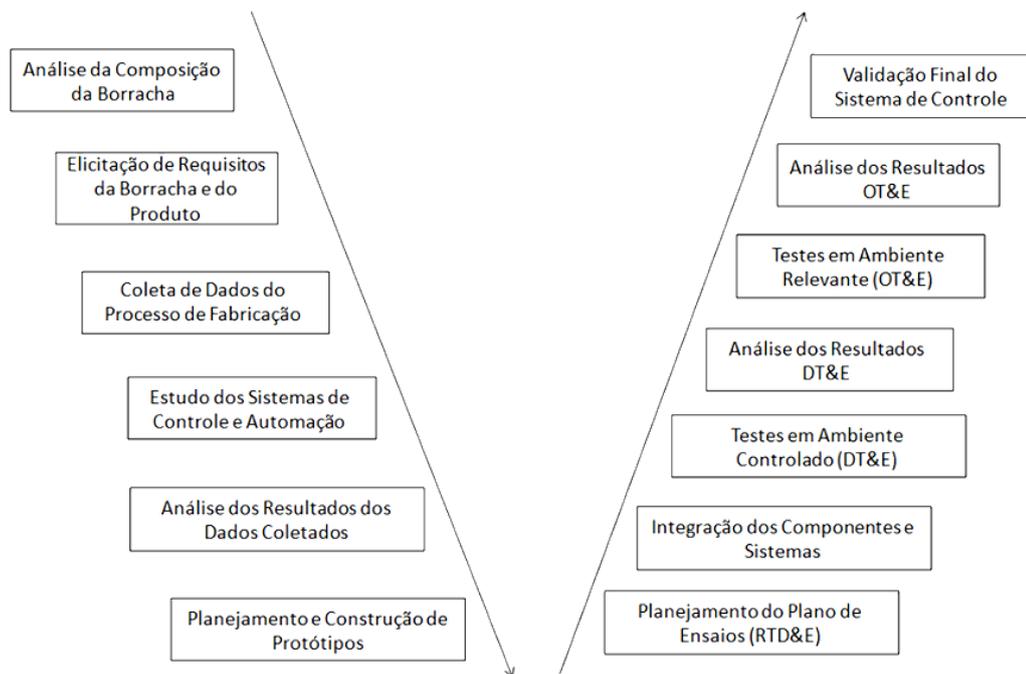


Figura 5. Modelo em V para o desenvolvimento do controle via MA para extrusora de borracha.
Fonte: Próprios Autores.

Devido a quantidade de parâmetros de controle em uma extrusora de borracha, utiliza-se o conceito de sistemas, no qual os subsistemas que compõem o sistema completo podem ser desenvolvidos de modo independente e simultaneamente com outros subsistemas até o nível de detalhamento dos componentes de cada subsistema compondo dessa forma o sistema completo (Wiltgen 2020B; Wiltgen, 2020C; Abernathy, 1968; Camburn, 2017).

O objetivo do desenvolvimento de protótipos funcionais é adquirir informações relevantes para a continuidade do desenvolvimento do projeto de forma a alcançar maturidade tecnológica suficiente para comprovar e validar o seu funcionamento correto (Wiltgen, 2019; Wiltgen, 2020B; Sauser *et al.*, 2010; Straub, 2015; Nishimura, 2016).

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Observando as análises realizadas com as técnicas de ESR é possível delinear o desenvolvimento no Domínio do Problema (lado esquerdo do modelo em V Figura 5) no qual o foco é obter respostas a respeito do processo de fabricação e ajuste das máquinas extrusoras de borracha para elicitar os requisitos necessários para a

automação do sistema pensando nas premissas de MA.

Com as atuais exigências mundiais é inevitável que as empresas em um futuro bem próximo venham a implementar e fazer uso da MA na prática com aplicação dos conceitos das fábricas inteligentes impulsionando um grande salto tecnológico. As empresas que assumirem o protagonismo para viabilizar a utilização da MA na indústria podem absorver importantes fatias do mercado consumidor de borracha.

Nesse artigo observa-se que o processo de operação de uma extrusora de borracha é exclusivamente manual, totalmente dependente da habilidade do operador da máquina. Para propor a mudança do modo manual para o modo automatizado é necessário entender quais são todas as interferências existentes no processo e mapear toda a dinâmica temporal da fabricação de um pneu de borracha. A aplicação de um plano *RDT&E*, é o primeiro passo compreender quais são as interferências e os impactos no desempenho das máquinas, verificar o sensoriamento existente, assim como, os tipos de sensores que devem ser instalados, verificar o nível de obsolescência da automação existente e a abrangência da infraestrutura. Essa compreensão subsidiará os requisitos necessários para o desenvolvimento e implementação da solução técnica mais adequada em MA na indústria de borracha.

Para a introdução de um modelo de fábrica inteligente fica evidente a necessidade de investir não só em tecnologia, mas principalmente e no estreitamento Pesquisa Científica e a Indústria.

Nos próximos passos dessa pesquisa, são propostas soluções técnicas (Domínio da Solução – lado direito do Modelo em V Figura 5), no qual são projetados, desenvolvidos, testados e analisados os protótipos de sistemas de controle baseados em inteligência artificial.

É importante saber que este novo conceito trará mudanças significativas culturais na organização da indústria da borracha, como também, uma mudança no desenvolvimento e na capacitação humana no futuro próximo.

REFERÊNCIAS

ABERNATHY, W., ROSENBLOOM, R., ***Parallel and Sequential R&D Strategies: Application of a Simple Model***. IEEE Transactions on Engineering Management. v.15(01), pp.2–10, 1968.

ALBERTIN, M.R., ELIENESIO, M.B., AIRES, A.S., PONTES, H.J., JÚNIOR, D.A., ***Principais Inovações Tecnológicas da Indústria 4.0 e suas Aplicações na Manufatura***. XXIV Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP). Bauru, 8-10 novembro, pp.1-13, 2017.

ALCALDE, E., WILTGEN, F., ***Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro***. Revista de Ciências Exatas da Universidade de Taubaté. v.24(02), pp.1-9, 2018.

ARBIX, G., SALERNO, M.S., ZANCUL, E., AMARAL, G., LINS, L.M., ***O Brasil e a Nova Onda de Manufatura Avançada***. Centro Brasileiro de Análise e Planejamento. v.36(03), pp.29-49, 2017.

Bento, A.R., Malagutti, T.F., ***Aplicação da Indústria 4.0 como Forma de Melhoria nos Processos de Manufatura no Setor Automotivo***. Revista Ling Acadêmica. v.10(01), pp.9-27, 2020.

Blanchard, B.S., Fabrycky, W.J., ***Systems Engineering and Analysis***. Pearson Education - Prentice Hall. 2011. 800p.

BUDDE, R., KAUTZ, K., KUHLENKAMP, K., ZÜLLIGHOVEN, H., ***Prototyping: an Approach to Evolutionary System Development***. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1992. 205p.

CAMBURN, B., VISWANATHAN, V., LINSEY, J., ANDERSON, D., JENSEN, D., CRAWFORD, R., OTTO, K., WOOD, K., ***Design Prototyping Methods: State of the Art in Strategies, Techniques, and Guidelines***. Cambridge University Press, Design Science. v.3(03), pp.1-33, 2017.

COMENALE, W., WILTGEN, F., ***Automação Industrial para a Manufatura Avançada com Apoio da Engenharia de Sistemas & Requisitos***. 11º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), Curitiba, 24-26 maio, pp.1-8, 2021.

DoD, ***System Engineering Fundamentals (Department of Defense – DoD 22060-5565)***. Defense Acquisition University Press Fort Belvoir, Virginia. 2001. 223p.

DREZNER, J.A., ***The Nature and Role of Prototyping in Weapon System Development (R-4161-ACQ)***. RAND Corporation, National Defense Research Institute. 1992. 152p.

HELMS, M.M., NIXON, J., ***Exploring SWOT Analysis – Where are we Now?***. Journal of Strategy and Management. v.3(03), pp.215-251, 2010.

INCOSE, ***Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (INCOSE-TP-2003-002-04)***. Version 4, Wiley. 2015. 304p.

ISHIKAWA, K., ***Guide to Quality Control***. Tokyo Asian Productivity Organization. 1986. 225p.

LOUCOPOULOS, P., KARAKOSTAS, V., **System Requirements Engineering**. McGraw-Hill. 1995. 160p.

MANKINS, J.C., **Technology Readiness Assessments: A Retrospective**. Acta Astronautica. v.65(09-10), pp.1216-1223, 2009.

MCT&I, **Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC. Brasília. 2017. 68p.

MENDES, C.R., SIEMON, F.B., CAMPOS, M.M., **Estudo de Caso da Indústria 4.0 Aplicados em uma Empresa Automobilística**. Pós-Graduação em Revista. v.01(04), pp.15-25, 2017.

NASA, **Nasa Systems Engineering Handbook**. Nasa revision 2 SP-6105. 2018. 298p.

NISHIMURA, P.G., RODRIGUES, O.V., JÚNIOR, G.B., SILVA, L.A., **Prototipagem Rápida: um Comparativo entre uma Tecnologia Aditiva e Subtrativa**. Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. Belo Horizonte, 4-7 outubro, pp.1-11, 2016.

QUELHO, P.E.Q., **Desenvolvimento de Extrusora Experimental e Software para Controle e Supervisão das Variáveis de Extrusão do ABS**. Dissertação de Mestrado no Centro Universitário de Volta Redonda. 2018. 150p.

PONTES, J., ARCURI, A.S.A., **A Manufatura Avançada entre Dois Extremos**. Revista Administracion Publica y Sociedad. v.01(05), pp.26-37, 2018.

PREVIDI, F., SARAVESI, S., PANAROTTO, A., **Design of a Feedback Control System for Real-Time Control of Flow in a Single-Screw Extruder**. Control Engineering Practice. v.14(09), pp.1111-1121, 2006.

ROOK, P., **Controlling Software Projects**. Software Engineering Journal. pp.7-16., 1986.

ROSS, D.T., **Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas**. IEEE Transactions On Software Engineering. v.3(01), pp.16-34, 1977.

SANTOS, M., MANHÃES, A.M., LIMA, A.R., **Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil**. X Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPROD). São Cristovão, 22 a 24 novembro, 2018.

SAUSER, B.J., GOVE, R., FORBES, E.; RAMIREZ-MARQUEZ, J.E., **Integration Maturity Metrics: Development of an Integration Readiness Level**. Information Knowledge Systems Management. v.9(01), pp.17-46, 2010.

STRAUB, J., **In Search of Technology Readiness Level (TRL) 10**. Aerospace Science and Technology. v.46, pp.312-320, 2015.

TROPIA, C.E.Z., SILVA, P.P., DIAS, A.V.C., **Indústria 4.0: Uma Caracterização do**

Sistema de Produção. XVII Congresso Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica (ALTEC). Cidade do México, 16-18 outubro, 2017.

VERMULM, R., **Políticas para o Desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil.** Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI). São Paulo. 2018. 31p.

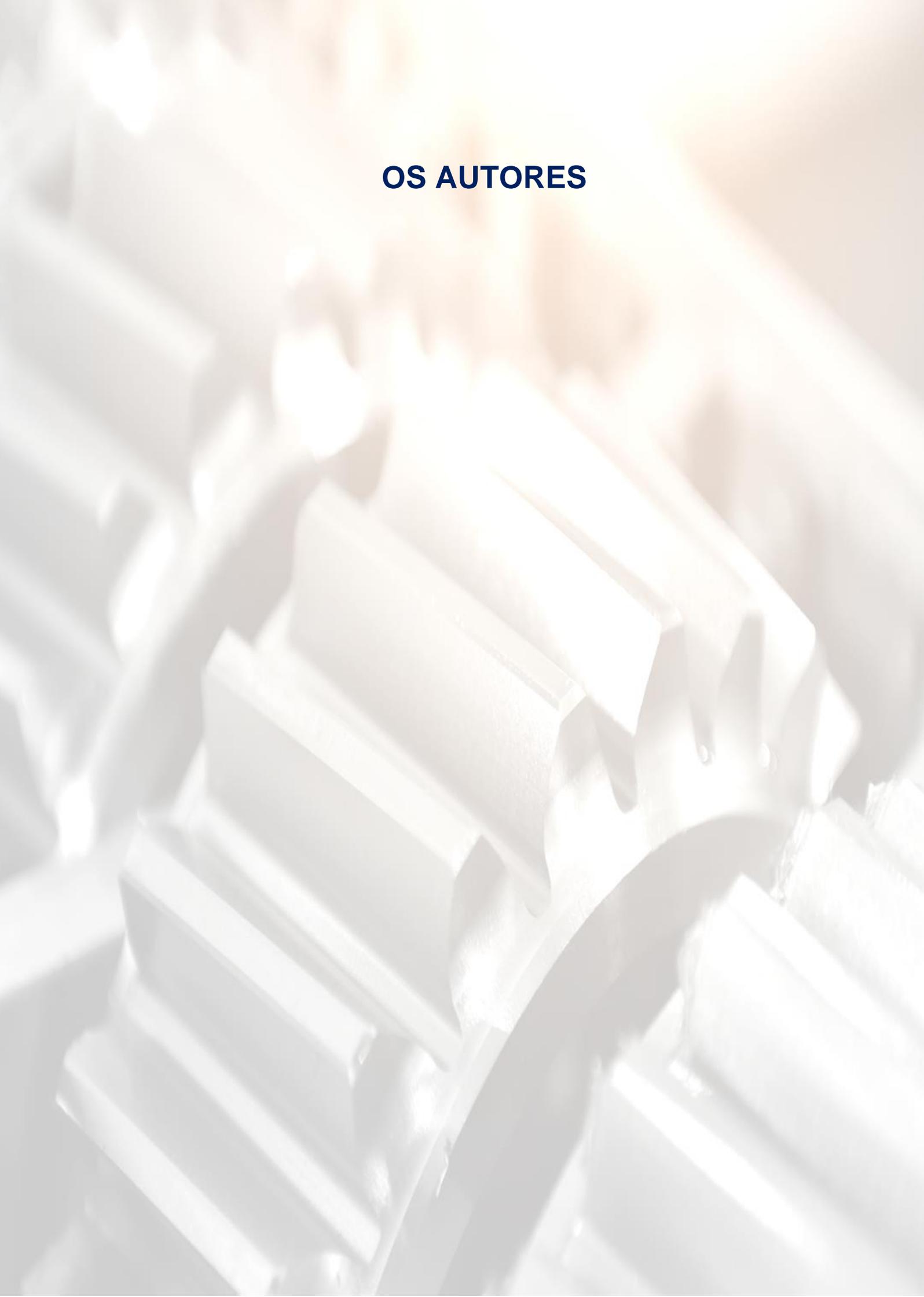
WILTGEN, F., **Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico.** 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF), São Carlos, 5-7 agosto, pp.?????, 2019.

WILTGEN, F., **A Manufatura Avançada Precisa de uma Engenharia Avançada.** Revista Tecnologia. v.41(02), pp.1-11, 2020A.

WILTGEN, F., **Técnica de Ensaios de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos.** Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas. v.4(01), pp.51-60, 2020B

WILTGEN, F., **Projetos Baseados em Requisitos.** Revista de Engenharia e Tecnologia. v.14(01), pp.240-251, 2020C.

OS AUTORES



Alan Christie da Silva Dantas

Professor do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) na subárea Projetos Mecânicos e membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais desta Instituição. Doutor em Engenharia de Materiais pela Friedrich- Alexander Universitaet Erlangen-Nuremberg (Alemanha, 2009) estudando as propriedades mecânicas de implantes médicos a base de phosphato de cálcio. Realizou seu estágio pós doutoral no BAM (Bundesantalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin-Alemanha) estudando a impressão tridimensional de corpos de gesso que foram posteriormente convertidos em Hidroxiapatita.

Bruno Marinho Calado

Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco (2003). Especialista em Avaliações, Perícias e Auditoria em Engenharia pelo IPOG (2017). Mestre em Ciência dos Materiais, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (2021). Doutorando em Ciência dos Materiais, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco. Estudante de Pós Graduação em Master in Science Management, University of North Flórida/EUA. Atualmente Professor Efetivo do Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IF-Sertão) nas áreas de materiais, estruturas e patologia. Membro do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Pernambuco. Membro do Conselho Editorial da Revista Técnica do Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Pernambuco. Tem experiência na área de Engenharia Civil como Projetista Estrutural e Gerente de Projetos. Conselheiro Titular do CREA PE (2021-2023).

Cairo Schulz Klug

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

Camila de Sousa Moura Almeida

Assistente Social, Mestre em Saúde da Mulher.

Dienifer Radtke

Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel, dieniferradtke@hotmail.com.

Estellito Rangel Junior

Engenheiro eletricista com experiência de mais de 30 anos no setor de petróleo e gás, onde trabalhou nas atividades de projeto, operação, manutenção, montagem, comissionamento e segurança de instalações elétricas especiais.

Filipe Wiltgen

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA). Desde 2017 é professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté (UNITAU), e também, Professor na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC Pindamonhangaba e Bauru), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial e Automação Industrial.

Flavia Fasolo

Engenheira civil e mestranda no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFPR.

Franciele Kroessin

Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, kroessinkroessin@gmail.com.

Guilherme Hirsch Ramos

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

Henrique Peglow da Silva

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

João Gabriel Ruppenthal

Engenheiro Agrícola, formado pela Universidade Federal de Pelotas, joaogabrielrup@gmail.com.

Joelma Silva de Almeida

Cirurgiã-Dentista, Mestre em Odontologia.

Karen Raquel Pening Klitzke

Engenheira Agrícola, formada pela Universidade Federal de Pelotas, karenrpklitzke@gmail.com.

Kelson Silva de Almeida

Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho, Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais.

Leticia Col Debella Santos

Professora, Engenheira civil e doutoranda no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFPR.

Luan Martin Arejano

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

Marcelo Lopes

Graduação Em Engenharia Mecânica pela Universidade Paulista , MBA - Gestão de Engenharia de Produto (PECE) pela USP- Universidade de São Paulo. Mestrando em Engenharia Mecânica pela UNITAU. Linha de pesquisa é voltada para a área de Desenvolvimento de Segurança Veicular e Manufatura Aditiva. Engenheiro de pesquisa e desenvolvimento de sistemas de segurança veicular. marcelolopes5x@gmail.com

Maria Eduarda Santos Ferreira

Técnica em Edificações, Bolsista PIBIC-JR – IFPI.

Marina Luiza Bernarski

Engenheira Civil na SMART sistemas construtivos. marinalubernarski@hotmail.com

Maurício Silveira Quadro

Professor Doutor, Engenheiro Agrícola, Universidade Federal de Pelotas, mausq@hotmail.com.

Murilo Gonçalves Rickes

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

Murilo Roberto Jesus Maganha

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2016-2019), na área de concentração - Gestão de Qualidade, com projeto de doutorado sanduiche aceito na Université de Sherbrooke (Canadá); Mestrado em Engenharia de Produção pela Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP/Bauru (2012-2014), na área de concentração - Gestão de Operações; e Bacharel em Administração de Empresas pela Faculdade de Ciências Econômicas de Bauru, Instituição Toledo de Ensino - ITE (2006-2009).

Rafael Miritz Bartz

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

Ricardo Reno Ribeiro

Engenheiro Eletricista (1998) pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Pós graduado (2008) em Administracao Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (FGV). Mestrando (2022) na Universidade de Taubaté (UNITAU). Engenheiro com experiência de mais de 20 anos de atuação em empresas de Alimentos e Bebidas,

Química, Metalúrgica e de Autopeças. Atuando em engenharia e manutenção industrial e automação industrial, instrumentação e controle, energia e utilidades, melhoria contínua e confiabilidade. Ricardo.Reno@uol.com.br

Ritchelli Teixeira Duarte

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

Rodrigo Villaca Santos

Professor na UTFPR, Engenheiro Mecânico e Doutor em Engenharia Mecânica pela UTFPR.

Samuel Poeta

Mestre em Economia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (2019). Especialista em Auditoria, Avaliações e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós Graduação (IPOG) (2018). Graduado em Engenharia Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos) (2015). Técnico em Avaliação de Imóveis (2014), pelo IBREP. Trabalha com finanças na iniciativa privada e atua como Perito Judicial nas áreas de Engenharia Civil e Avaliações de Imóveis Urbanos desde o ano de 2015 em 11 comarcas do Tribunal de Justiça do Estado do Rio Grande do Sul (TJ/RS) e no Tribunal de Justiça de Santa Catarina (TJ/SC). Membro do Conselho Municipal da cidade de Triunfo/RS e Conselheiro Suplente do CREA/RS (2019/2021).

Samuel Wachholz Reichow

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel, samuelwreichow@gmail.com.

Talisson Natan Tochtenhagen

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel, talissonnatantochtenhagen@gmail.com.

Thalia Strellov dos Santos

Acadêmica do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.

Wagner Comenale

Bacharel em Matemática com ênfase em Informática (1998) pela Fundação Santo André (FSA). Engenheiro Eletricista (2010) pelo Centro Universitário FEI. Especialização em Gestão de Projetos e Processos Organizacionais (2018) pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETPS). Licenciado em Formação Pedagógica para Graduados (2021) pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CEETPS). Mestrando (2022) na Universidade de Taubaté (UNITAU). Atuando na área de desenvolvimento de projetos para automação industrial na Goodyear (2007 à 2008), na Pirelli Pneus (2008 à 2017) e na Prometeon Tyre Group (2017 - atual). Desde 2018 é professor na Escola Técnica Estadual do Estado de São Paulo (ETEC Jorge Street em São Caetano do Sul) nos cursos de Eletrotécnica, Eletrônica, Automação Industrial, Mecatrônica e Mecânica. WagnerComenale@hotmail.com

Wagner Schmiescki dos Santos

Acadêmico do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, Bolsista do Programa de Educação Tutorial de Engenharia Agrícola UFPel.



ISBN 978-658459944-4



9

786584

599444



Editora

UNIESMERO