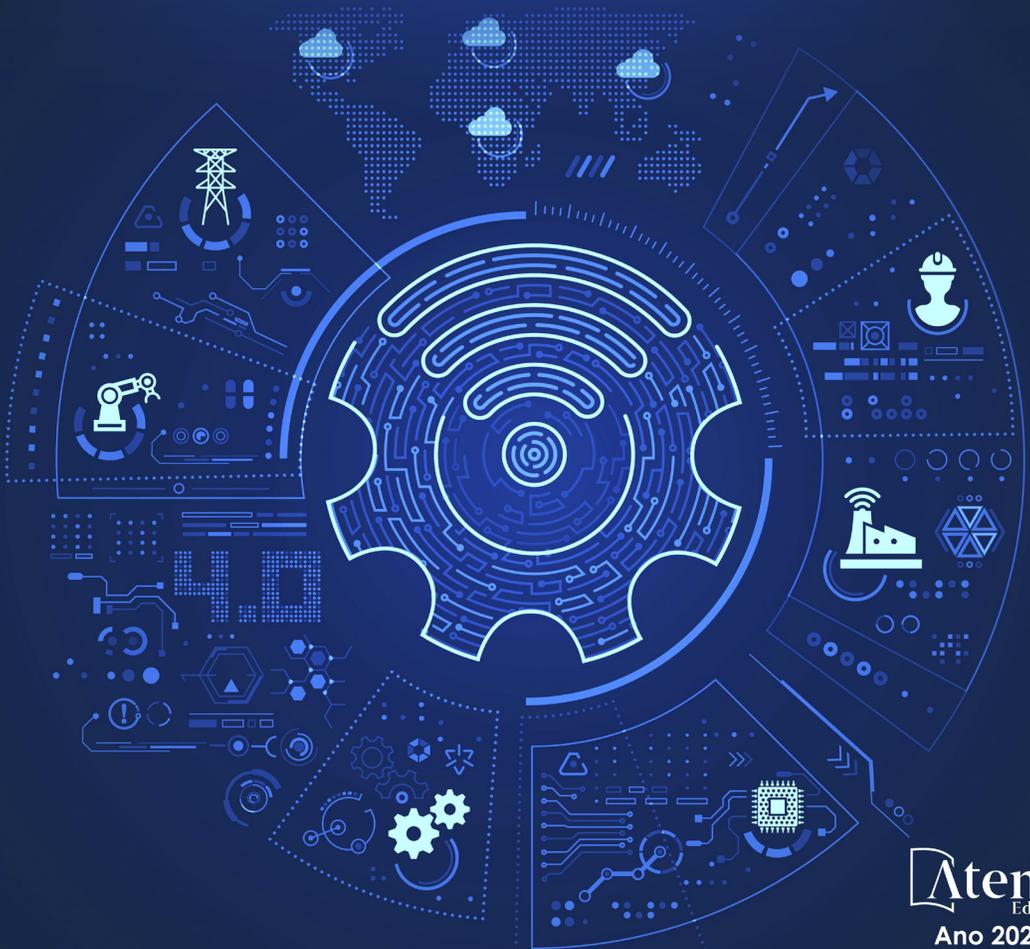


Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^o Dr^o Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^o Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^o Dr^o Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^o Dr^o Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^o Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^o Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^o Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0935-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.359231801 1. Engenharia. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título. CDD 620
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Sabendo que a Atena Editora faz parte do grupo de instituições que incentivam a difusão de inovação científica, a mais nova coleção “Engenharias: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3” engloba pesquisa científica, aplicada, desenvolvimento experimental e inovação tecnológica. Um dos grandes desafios enfrentados atualmente nos mais diversos ramos do conhecimento, é o do saber multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas.

Atualmente, é necessário que os profissionais saibam discernir e transitar conceitos e práticas levando em consideração o viés humano e técnico. Diante desse contexto, este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Os mais diversos temas estão relacionados às áreas de engenharia, como civil, materiais, mecânica, química, dentre outras, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Esta obra se mostra como fundamental, de abordagem objetiva, para todos os âmbitos acadêmicos e pesquisadores que busquem alavancar em conhecimento. Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

CAPÍTULO 1 1**A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DENTRO DOS PROCESSOS EMPRESARIAIS**

Milena dos Santos Silva

Luis Jorge Souza dos Anjos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318011>**CAPÍTULO 2 5****ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NBR 6118/2014, NBR 7188/2013 E AASHTO LRFD 2012, BASEADA NA TEORIA DA CONFIABILIDADE – ESTUDO DE CASO DE UMA VIGA I DA PONTE SOBRE CÓRREGO SÃO DOMINGOS NA RODOVIA ESTADUAL ES-010, TRECHO ITAÚNAS - ES-421**

Rodrigo José Costa Nóbrega

Emmanoel Guasti Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318012>**CAPÍTULO 330****ANÁLISE DA DEFLEXÃO DE VIGAS E EIXOS POR EDO E SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO**

Cristian Comin

Adabiel Oleone da Silva

Jocelaine Cargnelutti

Vanderlei Galina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318013>**CAPÍTULO 439****APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO DO MELHOR TRATAMENTO PARA A BORRA OLEOSA GERADA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Wanderbeg Correia de Araujo

Haron Calegari Fanticelli

Jose Oduque Nascimento de Jesus

Artur Saturnino Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318014>**CAPÍTULO 557****ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED IN DIFFERENT AREAS OF ROBOTICS**

Márcio Mendonça

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

João P. S. Bertocini

Ivan R. Chrun

Wagner Fontes Godoy

José Augusto Fabri

Francisco de Assis Scannavino Junior

Lucas Botoni de Souza

Emanuel Ignacio Garcia

Marta Rúbia Pereira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318015>

CAPÍTULO 677

AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA DE PÓRTICO PLANO DE AÇO SUJEITO A CARREGAMENTO GRAVITACIONAL E COM FLEXÃO EM TORNO DO EIXO DE MENOR INÉRCIA

Danilo Luiz Santana Mapa
 Marcilio Sousa da Rocha Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318016>

CAPÍTULO 786

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESPAÇO FÍSICO EM ACADEMIAS DE GINÁSTICA E MUSCULAÇÃO NA CIDADE DO RECIFE/PE

Emanoel Silva de Amorim
 Kássia Benevides Martins Gomes
 Girlândia de Moraes Sampaio
 Paula dos Santos Cunha Boumann
 Diogo Cavalcanti Oliveira
 José Allef Ferreira Dantas
 Ana Maria Batista Farias
 Hugo Leonardo França Silva
 Thiago Araújo de Menezes
 Arthur Henrique Neves Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318017>

CAPÍTULO 897

COMPARAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA UTILIZANDO ENVOLTÓRIAS DE RUPTURA LINEAR E CURVA. CASO DE ESTUDO MEDELLÍN – COLÔMBIA

Eduardo Montoya Botero
 George Fernandes Azevedo
 Hernán Eduardo Martinez Carvajal
 Edwin Fabian Garcia Aristizabal
 Newton Moreira de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318018>

CAPÍTULO 9 107

EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRAS DE COCO A GESSO DE FUNDIÇÃO

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima
 Deborah Grasielly Cipriano da Silva
 Ana Luíza Xavier Cunha
 Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti
 Felipe Bezerra de Lima
 Jackson José dos Santos
 Eyshila Paloma Costa de Brito
 Lucas Ítalo Santos Gomes
 Francisco das Chagas da Costa Filho

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo
 José Dantas Neto
 Romildo Morant de Holanda
 Yêda Vieira Póvoas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318019>

CAPÍTULO 10.....121

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E NA ESTRUTURA DO AÇO TENAX 300IM

Carlos Triveño Rios
 Giselle Primo Samogin
 Debora Christina Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180110>

CAPÍTULO 11 132

EFEITO DO ULTRASSOM NA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM CHÁS: UMA REVISÃO

Camila Araújo Costa Lira
 Kamila de Lima Barbosa
 Tereza Raquel Pereira Tavares
 Anayza Teles Ferreira
 Antonia Ingrid da Silva Monteiro
 Maria Rayane Matos de Sousa Procópio
 Marcelo Henrique Raulino Soares Nunes
 Amanda Caúla Fontenele
 Izabel Cristina de Almeida Silva
 Francisca Andressa Rabelo da Silva França
 Andreson Charles de Freitas Silva
 José Diogo da Rocha Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180111>

CAPÍTULO 12.....141

OS DESAFIOS DO GESTOR DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE PEQUENO PORTE

Alessandro Dias
 Maykon Aurélio Alves
 Natanael Oliveira
 Mayara dos Santos Amarante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180112>

CAPÍTULO 13.....161

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

Marcela Trojahn Nunes
 Fabiele Schaefer Rodrigues
 Jocenir Boita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180113>

CAPÍTULO 14..... 169

REPLACEMENT OF CONVENTIONAL VEHICLES WITH ELECTRIC ONES ON THE MACROMETRÓPOLE PAULISTA: ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR THE HORIZON OF 2030

Guilherme Pedroso
João Marcos Pavanelli
Raiana Schimer Soares
Célio Bermann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180114>

CAPÍTULO 15.....203

UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GEOMECÂNICA PARA A ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Elias Enes de Oliveira
Melissa Alves Fernandes
Geraldo de Souza Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180115>

CAPÍTULO 16..... 215

FISSURAÇÃO NO CONCRETO ARMADO: POSSÍVEIS CAUSAS E TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO

Amanda Fernandes Pereira da Silva
Diego Silva Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180116>

SOBRE A ORGANIZADORA225**ÍNDICE REMISSIVO.....226**

A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DENTRO DOS PROCESSOS EMPRESARIAIS

Data de aceite: 02/01/2023

Milena dos Santos Silva

Faculdade Vale do Aço
Açailândia – Maranhão, Brasil

Luis Jorge Souza dos Anjos

Faculdade Vale do Aço
Açailândia – Maranhão, Brasil

(2019) na maioria dos casos, as empresas buscam o aperfeiçoamento em seus métodos. Porém surge, de modo natural a pergunta: como coloca-los em prática de forma eficiente ?.

Nesse sentido, este estudo justifica-se como uma ferramenta para tentar compreender a importância do sistema de gestão da qualidade no meio empresarial e traduzir muitos anseios de meio corporativo para uma padronização que seja revertida em aumento de produtividade e eficiência no meio empresarial.

Portanto, objetivou-se identificar e compreender os processos de qualidade realizadas nas organizações. Visando destacar a sua devida relevância nesse meio.

1 | INTRODUÇÃO

O sistema de gestão de qualidade é um processo centrado em atender boa parte dos requisitos almejados pelo cliente e tentar aumentar a sua satisfação. Além disso, ele é fundamental para que haja uma forma de padronizar a maior parte dos processos da empresa que o utiliza e isso faz com que essa condução aumente o desempenho com novas técnicas de melhoria.

Toda empresa, em tese, pode apresentar uma padronização em seus processos e, para que isso aconteça de forma correta, as empresas buscam aplicar o sistema de gestão de qualidade em seus procedimentos. De acordo com Lobo

2 | METODOLOGIA

O presente estudo seguiu o formato de pesquisa a partir das referências bibliográficas definidas como sendo de caráter exploratório descritivo, na

abordagem qualitativa, visando identificar propostas, melhorias e conseqüentemente, compreender os processos que ocorrem de uma empresa e ressaltando a importância do sistema de gestão da qualidade.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Gestão de Qualidade

As empresas estão colocando em prática o sistema de gestão da qualidade, por conta da alta concorrência nacional e internacional, (CORREIA MÉLO; MEDEIROS, 2006). Muitas delas baseiam-se no ISO 9001 para implementar esse sistema. Este trabalho apresenta normas e técnicas que auxiliam na esquematização de novas metodologias empresariais em diversos lugares. Como nos ensinam Correia; Mélo (2006, p.2) em que afirmam: “essas séries de normas representam de diversos países que buscam interpretar e dar forma do conceito de sistema de gestão da qualidade”).

Vale destacar que o ponto primordial das organizações ao aplicar essas técnicas e padronizar e adotar um conjunto de procedimentos que possam atender boa parte das necessidades de seus consumidores finais e sempre trazendo alguma melhoria.

3.2 ISO 9001

A ISO 9001 é uma forma de autenticar as diretrizes de gestão da qualidade empresarial. O seu objetivo é tornar os processos mais eficientes. É notável que diversas empresas expõem uma certa distinção nos seus modos e programas de melhoria contínua. (MARTINS; GONZALES, 2007).

Segundo Gonzales e Martins (2007, p.2) “A prática da melhoria contínua nas organizações, nos dias atuais é uma premissa para a sua competitividade no mercado”. É uma disputa acirrada por melhoramento nos desempenhos, é indispensável estar atento a cada detalhe e as novas perspectivas do mercado e as suas inovações. Para estar sempre em desenvolvimento os empresários buscam implementar o sistema de gestão da qualidade e procuram ter a certificação ISO 9001 ou adotar as suas técnicas e norma sobre qualidade.

3.2.1 Melhoria contínua

Há de se pensar na melhoria como algo a ser perseguido dentro da empresa e buscar de modo implacável a entrega de qualidade para o consumidor final. Dessa maneira temos, segundo (ATTADIA; MARTINS. 2003, p.2) que “O processo de melhoria contínua apresenta diferentes estágios de evolução e necessita de uma infraestrutura para atingir os objetivos”. Essa adequação requer monitoramento contínuo e detalhista em cada passo que irá ocorrer e pessoas preparadas quando a empresa quer implementar novos métodos que

possam alavancar seus processos e trazer uma parametrização que gere mais qualidade. Visando um futuro de aperfeiçoamento em suas práticas regulares e fazendo a medição de como tudo está acontecendo e se está acontecendo e ocorrendo tudo de forma correta.

Para Attadia e Martins (2003), ressaltam sobre a medição de desempenho, sendo algo indispensável pra detectar o que anda acontecendo e se as novas técnicas desenvolvidas estão em funcionamento. Complementando a ideia, Hranec (1994, p.5) afirma que “Medidas de desempenho são os “sinais vitais” da organização. Elas informam às pessoas o que estão fazendo, como elas estão se saindo e se elas estão agindo como parte de todo. Elas comunicam que é importante para toda a organização: a estratégia de gerência de primeiro escalão para os demais níveis, resultado dos processos, desde os níveis inferiores até o primeiro escalão, e controle de melhoria dentro do processo”.

3.3 Ferramentas da Qualidade

A dinâmica do mercado empresarial vem passando por grandes transformações. É perceptível que todos os setores, vem crescendo e adquirindo novas perspectivas e implementações.

Daniel e Murback (2014, p.2) afirmam que “tais implementações vêm modificando estruturalmente o setor de prestação de serviços e produtos ofertados pelas empresas que procuram trabalhar dentro de um sistema de qualidade”. Seguindo esse contexto, os problemas que surgem apresentam uma complexidade maior, devido ao alto crescimento das atividades empresariais.

Assim, as ferramentas de qualidade proporcionam novas técnicas que servem na definição, análise e resolução dos problemas. Identificando e compreendendo o que acontece de forma mais clara e sucinta. Além de aumentar o fluxo de produção.

Entre as ferramentas da qualidade do sistema de gestão da qualidade estão o fluxograma de diagrama de pareto.

3.3.1 Fluxograma

De acordo com Azevedo (2016, p.2) “Mapear os processos requer a observação e descrição de como se está trabalhando”. Ele resalta que o mapeamento é feito através da esquematização dos processos com o fluxograma, representados por símbolos. Onde cada símbolo caracteriza um processo. Quanto mais realista e preciso, a compreensão da situação ficará melhor. Assim podendo haver alguma implementação de melhoria sem alterar os procedimentos existentes.

3.3.2 Diagrama de Pareto

É um gráfico utilizando para estabelecer uma ordenação nas causas de perdas que devem ser sanadas. Além de auxiliar na identificação e priorização de oportunidades de melhoria nos processos medidos. Análise e entendimento das causas de forma mais

detalhada para melhor entendimento.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de gestão de qualidade, os programas e as ferramentas da qualidade representam importantes diferenciais para as empresas, pois proporcionam benefícios de diversas ordens, além de ajudar nas resoluções dos problemas trazendo uma forma mais prática de solução.

Assim, o sistema de gestão de qualidade estrutura a organização e se posiciona em padronizar os processos de forma que, todos sejam efetuados adequadamente e sempre mantendo a qualidade para que possam atender toda as necessidades dos seus consumidores finais. Sempre buscando uma melhoria contínua atendendo aos requisitos da ISO 9001, executando e implementando novas ações.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, Irene Conceição Gouvêa. Fluxograma como ferramenta de mapeamento de processo no controle de qualidade de uma indústria de confecção. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2016, p.1-14.

ATTADIA, Lesley Carina do Lago; MARTINS, Roberto Antonio. Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua. **Production**, v. 16. p.111-125, 2006.

CORREIA, Luís Cláudio da Conceição; MÉLO, Maria Auxiliadora do Nascimento; MEDEIROS, Denise Dumke de. Modelo de diagnóstico e implementação de um sistema de gestão da qualidade: um estudo de caso. **Production**, v. 13, p.33-41, 2003.

DANIEL, Erica A; MURBACK, Fábio Guilherme Ronzelli. Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade. **Gestão e Conhecimento**, v. 8, n. 3, p.1-43, 2014.

GONZALES, Rodrigo Valio Domingues; MARTINS, Fernando Manoel. Melhoria contínua no ambiente ISO 9001:200: estudo de caso em duas empresas do setor automobilístico. **Prado**, v. 17, n. 3, p. 592-603, setembro/dezembro de 2007.

HRONEC, S.M. **Sinais Vitais**. São Paulo, Makroon books, 1998.

JURIDICA, Gestion. Sistema estratégico de planeación y Gestión. **Agencia Nacional de Infraestructura**, agosto de 2015.

LOBO, Renato Nogueiro. **Gestão da qualidade**. Saraiva Educação SA, 2019.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NBR 6118/2014, NBR 7188/2013 E AASHTO LRFD 2012, BASEADA NA TEORIA DA CONFIABILIDADE – ESTUDO DE CASO DE UMA VIGA I DA PONTE SOBRE CÓRREGO SÃO DOMINGOS NA RODOVIA ESTADUAL ES-010, TRECHO ITAÚNAS - ES-421

Data submissão: 28/11/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Rodrigo José Costa Nóbrega

Instituto Federal do Espírito Santo
Vitória – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/6242515589177273>

Emmanuel Guasti Ferreira

Instituto Federal do Espírito Santo
Vitória – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/5105288466711626>

RESUMO: O trabalho tem como objetivo realizar a análise de confiabilidade de uma viga I pré-moldada de uma ponte de concreto protendido, sendo verificada tanto para o Estado Limite Último (ELU) de esgotamento da capacidade resistente da peça à flexão, quanto à verificação das tensões admissíveis de tração do concreto no Estado Limite de Serviço (ELS). Foi realizada a modelagem matemática de duas funções das superfícies de estado limite (SEL) baseada na teoria, que representam o desempenho da estrutura, tanto no ELU quanto no ELS, em função das variáveis aleatórias básicas originais, tais como: carregamento aplicado à estrutura, propriedades geométricas e as resistências dos materiais, além de efeitos produzidos pela protensão. Estas funções

da SEL foram desenvolvidas baseadas em dois normativos: o americano AASTHO LRFD Bridge Design Specifications; e os brasileiros NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento e NBR 7188 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Para o modelo de análise estrutural, foi utilizada uma viga, com seção tipo “I”, da ponte sobre córrego São Domingos, na rodovia estadual ES-010, trecho Itaúnas – Entr. ES-421 (Conceição da Barra-ES). O Método utilizado para realizar a análise de confiabilidade foi o método Monte Carlo, devido à sua acurácia. Constatou-se que os valores do índice de confiabilidade β , das funções G_1 (no ELU) e G_2 (no ELS) foram atendidos de acordo com os valores pré-estabelecidos β^{alvo} pelo EUROCODE EN 1990 (2002) tanto para a AASTHO quanto para as NBR's.

PALAVRAS-CHAVE: Superfície de estado limite. Modos de falha. Método Monte Carlo. Índice de confiabilidade. Probabilidade de falha.

COMPARATIVE ANALYSIS OF STANDARDS NBR 6118/2014, NBR 7188/2013 AND AASHTO LRFD 2012, BASED ON THE THEORY OF RELIABILITY – CASE STUDY OF ONE I-BEAM BRIDGE OVER SÃO DOMINGOS STREAM ON STATE HIGHWAY ES-010, SECTION ITAÚNAS - ES-421

ABSTRACT: The purpose of this work is to carry out a reliability analysis of a precast I-beam of a prestressed concrete bridge, being verified for the Ultimate Limit State (ULS) of exhaustion of its resistant capacity to bending, as well as the verification of admissible stress at the concrete traction in the Service Limit State (SLS). Mathematical modeling of two limit state surface functions (SEL), based on the theory, was carried out, which represented the performance of the structure, both in ELU and in ELS, as a function of the original basic random variables, such as: loading applied to the structure, geometric properties and the resistances of materials, besides the effects produced by prestressing. These SEL functions were developed based on two standards: the American AASHTO LRFD Bridge Design Specifications; and the Brazilians NBR 6118 - Design of concrete structures – Procedure and NBR 7188 - Road and pedestrian load on bridges, viaducts, footbridges and other structures. For the structural analysis model, a beam, with a “I” cross section type, of the bridge over the São Domingos stream, on the state highway ES-010, section Itaúnas – Entr. ES-421 (Conceição da Barra-ES) was used. The method used to carry out the reliability analysis was the Monte Carlo method, due to its accuracy. It was found that the values of the reliability index β , of functions G_1 (in the ELU) and G_2 (in the ELS) were met in accordance with the values β^{target} pre-established by EUROCODE EN 1990 (2002) both for AASHTO and for the NBR's.

KEYWORDS: Limit state surface. Failure modes. Monte Carlo Method. Reliability Index. Failure probability.

1 | INTRODUÇÃO

Os projetos de engenharia visam a segurança das estruturas e de seus usuários, e a análise de confiabilidade estrutural vem sendo usada, principalmente, em estruturas especiais, como pontes, usinas nucleares, plataformas offshore, fundações, dentre outras. Além disso, esses projetos sempre buscam encontrar um equilíbrio entre a otimização da estrutura e o seu custo-benefício, porém com o desenvolvimento de técnicas computacionais baseadas em métodos matemáticos e de estatística multivariada, a partir de 1980, e que, atualmente, continuam em evolução, devem considerar o caráter aleatório das variáveis envolvidas baseando-se nos conceitos de confiabilidade estrutural (FERREIRA, 2022). Trabalhos recentemente desenvolvidos nessa área apontam para um aspecto que merece destaque: “por razões econômicas e de segurança, é imperativo assegurar que as pontes, como elementos vitais da infraestrutura de transporte terrestre, se mantenham em condição aceitável e com elevado nível de confiabilidade” (JACINTO, 2011).

Segundo Sagrilo (1994) às variações intrínsecas nos carregamentos, nas condições ambientais, nas propriedades mecânicas dos materiais e nas propriedades geométricas de elementos estruturais de um projeto estrutural, além das incertezas associadas aos métodos de cálculo estrutural utilizados, contribuem para uma pequena probabilidade

de que a estrutura não venha atender de maneira adequada aos objetivos para os quais está sendo projetada. Essa probabilidade é denominada de probabilidade de falha e sua avaliação é realizada através da análise de confiabilidade estrutural.

Em meados da década de 1970 colocou-se em dúvida a eficiência das normas de segurança baseadas no método das tensões admissíveis (SOUZA JUNIOR, 2009). Na mesma época, houve diversos estudos para o desenvolvimento de uma nova metodologia de avaliação da segurança. Nesse período, o engenheiro civil Ellingwood tomou a frente de um novo formato para as normas americanas baseado nos estados limites. O critério para considerar que ocorreu a falha estrutural é simples, a estrutura falha quando a solicitação (S) exceder a capacidade resistente (R) da estrutura, logo, a função da superfície de estado limite definida para um determinado modo de falha é:

$$G = R - S \quad (1)$$

Tendo em vista que as pontes constituem uma proporção significativa da rede viária, juntamente com o crescente uso da protensão no Brasil e a carência de análise sobre os diversos parâmetros relacionados com o projeto para segurança estrutural utilizados nas normas atuais, estabelece-se como objetivo principal deste trabalho apresentar um procedimento que permita determinar a probabilidade de falha e o respectivo índice de confiabilidade de estruturas (no caso em tela vigas I), que compõem as pontes de concreto protendido.

Os métodos existentes para avaliação da probabilidade de falha, de acordo com Ferreira (2022), são divididos em quatro categorias:

- A. Métodos de Integração Numérica;
- B. Simulação Monte Carlo ou método Monte Carlo e suas variações;
- C. Métodos semianalíticos FORM (First Order Reliability Method), SORM (Second Order Reliability Method) e SORM DG (Second Order Reliability Method by Differential Geometry);
- D. Métodos Híbridos.

Como aqui a avaliação da eficiência dos métodos de confiabilidade não é o foco principal, mas a acurácia dos resultados, será utilizado o método Monte Carlo (METRÓPOLIS e ULAM, 1949), pois fornece resultados acurados. Este método é conhecido como o método da força bruta (LIU e KIUREGHIAN, 1989), devido à necessidade de grande quantidade de avaliações da função da SEL, gerando em muitos casos elevado consumo computacional. Devido a sua baixa eficiência e elevada acurácia, na prática, é utilizado para aferição de outros métodos (FERREIRA, 2022).

Na análise de confiabilidade via método Monte Carlo, R e S possuem funções com distribuições probabilísticas definidas, onde a probabilidade de falha é estabelecida para $G < 0$, assumindo valores da ordem de 10^{-6} a 10^{-3} , tendo em vista que os projetos de

engenharia devem apresentar elevada confiabilidade ($C=1-P_f$). A probabilidade de falha (P_f) e o índice de confiabilidade (β) são obtidos por

$$P_f = \frac{N_f}{N} = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número de amostras artificiais}} \quad (2)$$

E

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \quad (3)$$

onde $\Phi(\cdot)$ corresponde a função cumulativa normal padrão de probabilidades.

Aqui são estabelecidas formulações baseadas na norma americana (AASTHO, 2012) e brasileiras (NBR 6118/2014 e NBR 7188/2013) para o cálculo do índice de confiabilidade e posterior análise comparativa, inclusive com o índice de confiabilidade alvo β^{alvo} , preconizado pelo EUROCODE EN 1990 (2002).

21 REVISÃO

A análise de confiabilidade estrutural é a arte de formular um modelo matemático no qual pode se obter a resposta para o seguinte questionamento: “Como uma estrutura se comporta quando suas propriedades geométricas, propriedades dos materiais e todas as ações são dadas como aleatórias?” (DITLEVSEN e MADSEN, 2007). É uma ferramenta, que possibilita ao engenheiro estrutural mensurar as incertezas nas variáveis de projeto e auxiliá-lo na sua tomada de decisão com maior segurança. Nesse sentido, pode ser usada como uma alternativa para obter projetos mais seguros e econômicos, bem como, em projetos já existentes, através da atualização do índice de confiabilidade e, conseqüentemente, da probabilidade de falha, estabelecendo quais as ações necessitam fazer parte do plano de manutenção periódica (SAGRILO, 1994). Permite que se considerem as incertezas normais associadas à cada uma das variáveis, que influem no desempenho ou na segurança da estrutura. Desta forma, podem-se considerar as incertezas associadas às dimensões do elemento estrutural, as incertezas na resistência dos materiais e nas solicitações, dentre outras, não levando em conta as incertezas geradas por erro humano. Em análise de confiabilidade, avalia-se a probabilidade de uma estrutura ou de um elemento estrutural sofrer algum tipo de falha. Esta pode ser definida como a situação em que a estrutura atinge uma condição indesejada, o que não representa necessariamente o colapso da totalidade ou parte da estrutura. Ela pode ocorrer, por exemplo, devido ao surgimento de uma flecha, de uma abertura de fissura maior do que o esperado ou de vibração excessiva. Cada uma das situações em que se deseja verificar a probabilidade de falha será chamada de modo de falha. Neste trabalho são avaliados os modos de falha relacionados com a ruptura de elementos à flexão (simples ou composta), no Estado Limite Último (ELU) e verificação ao atendimento dos limites das tensões de tração nas fibras inferiores e superiores, no Estado Limite de Serviço (ELS). Para calcular a probabilidade de falha para um modo de falha, pelo

método dos estados limites, é estabelecida uma função da SEL. Quando esta função de falha é igual à zero, tem-se a equação de estado limite SEL. Conforme observado através da Figura 1, a SEL separa a região “segura” ($G>0$) da “não segura” ($G<0$). A função de falha da SEL para cada modo de falha é escrita na forma geral como

$$G(\mathbf{U}) = R - S \quad (4)$$

onde \mathbf{U} é o vetor das variáveis originais, ou básicas, R e S.

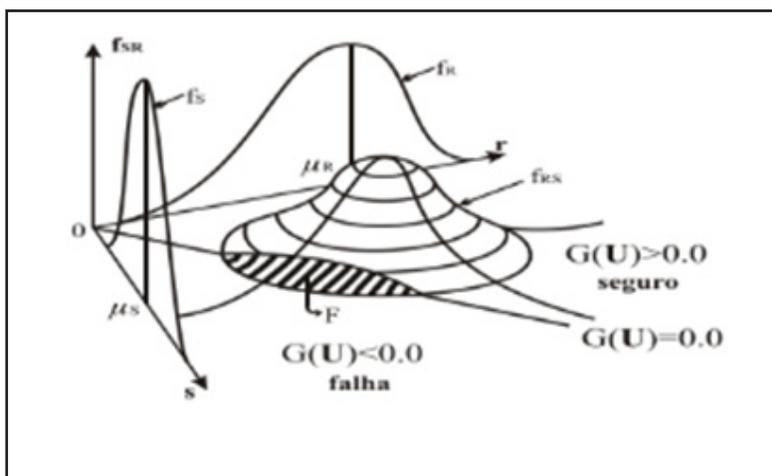


Figura 1 - Representação gráfica da probabilidade de falha

Fonte: Sagrilo (1994)

Segundo Melchers e Beck (2018), variáveis básicas (ou originais) são as variáveis fundamentais que definem e caracterizam o comportamento e a segurança de uma estrutura para um modo de falha. Em geral, elas são as mesmas variáveis empregadas no dimensionamento, como as dimensões dos elementos estruturais, o peso específico dos materiais, a resistência dos materiais, carregamentos permanentes e variáveis, dentre outros.

O método estabelecido para a avaliação da probabilidade de falha, e consequentemente, do índice de confiabilidade é o método ou simulação Monte Carlo devido a sua elevada acurácia, como já relatado. Esse método é uma simulação numérica, que permite a solução de problemas complexos em diversas áreas. Na simulação não há limites para a complexidade do modelo: se o modelo pode ser resolvido, pode ser utilizado em simulação. O único fator limitante é o consumo computacional (BECK, 2019).

Em engenharia de estruturas, a simulação Monte Carlo soluciona tão bem problemas lineares quanto não-lineares, apesar de sua baixa eficiência computacional. Além disso, resolve com a mesma facilidade problemas envolvendo uma única equação de estado

limite ou várias equações (sistemas) com associação em série, em paralelo ou mista (BECK, 2019).

Nas décadas de 1970 e 1980 foram feitos muitos avanços em teoria da confiabilidade estrutural. Na época, devido à incipiente, mas limitada capacidade dos computadores, foram estabelecidos os métodos semianalíticos, mais eficientes, tais como o FORM (HASOFER e LIND, 1974; RACKWITZ e FIESSLER, 1978), SORM (TVEDT,1983; BREITUNG,1984; HOHENBICHLER e RACKWITZ, 1988) e limites para a probabilidade de falha de sistemas.

O método Monte Carlo e suas variações são usados na prática para validar os resultados fornecidos dos métodos semianalíticos (os mais eficientes), ou como último recurso, quando estes não apresentarem resultados acurados. Com o aumento recente e explosivo da capacidade de processamento dos computadores, as técnicas de simulação têm conquistado cada vez mais espaço. Contam a favor desta metodologia a facilidade de implementação para resolver diferentes problemas, além da robustez das soluções (BECK, 2019).

As funções da SEL são estabelecidas com base na norma americana (AASTHO, 2012) e brasileiras (NBR 6118/2014 e NBR 7188/2013) para o cálculo do índice de confiabilidade e posterior análise comparativa, inclusive com o índice de confiabilidade alvo, preconizado pelo EUROCODE EN 1990 (2002), de acordo como descrito na Figura 2:



Figura 2 - Fluxograma de eventos

Fonte: Autores deste manuscrito

3 | MÉTODO MONTE CARLO

Esse método, apesar de acurado, tem baixa eficiência computacional, devido à necessidade de grande quantidade de avaliações (N) da função de falha, como já relatado por ser uma ferramenta universal, é muito utilizado para aferição de outros métodos, podendo

ser usado indistintamente para componentes e sistemas, pois depende apenas de verificar se uma determinada amostra pertence ou não ao domínio de falha. O método consiste em gerar a partir da função conjunta de densidade de probabilidades das variáveis aleatórias (f_u) um número N de amostras independentes U_i . Para cada uma destas amostras a função $G(\mathbf{U})$ é avaliada e se $G(\mathbf{U}) \leq 0$, uma falha é contada. Uma aproximação para a probabilidade de falha é dada por (KARAMCHANDANI, 1987)

$$P_f = \int_{G(\mathbf{U}) \leq 0} f_u(\mathbf{U}) d\mathbf{U} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I\{G(\mathbf{U}) \leq 0\} \quad (5)$$

onde $I\{G(\mathbf{U}) \leq 0\} = 1$ para $G(\mathbf{U}) \leq 0$ e zero para $G(\mathbf{U}) > 0$.

Karamchandani (1987) estabeleceu, para a probabilidade de falha, um estimador

$$P_{fe} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I\{G(\mathbf{U}) \leq 0\} \quad (6)$$

com média, variância e coeficiente de variação dados, respectivamente, por:

$$E[P_{fe}] = P_f \quad (7)$$

$$Var[P_{fe}] = \frac{P_f(1-P_f)}{N} \cong \frac{P_f}{N} \quad (8)$$

$$Cov = CV[P_{fe}] = \frac{\sqrt{Var[P_{fe}]}}{E[P_{fe}]} \cdot 100 \quad (9)$$

O valor de N será calculado pela Equação 10

$$N = \frac{10^4}{P_f \cdot Cov^2} \quad (10)$$

Segundo Ferreira (2022), embora este método forneça resultados confiáveis na avaliação da probabilidade de falha, apresenta elevada quantidade de avaliações (N) da função da SEL ($G(\mathbf{U})=0$). Na análise de confiabilidade estrutural a probabilidade de falha é geralmente pequena e tendo-se, por exemplo, um valor de 10^{-5} e querendo-se um coeficiente de variação no estimador de 10%, o número de análises necessárias de acordo com a Equação 10 é da ordem de 10^7 .

4 | VALORES ALVO

Há na bibliografia algumas equações para se chegar a um valor alvo para a probabilidade de falha da estrutura, baseada em incertezas normais, em que não se considera a influência do fator humano (como erros) e, portanto, não é uma probabilidade real de falha da estrutura (MELCHERS E BECK, 2018). Estas equações, entretanto, não costumam ser usadas na prática, pois dependem de valores difíceis de serem previstos, como o número médio de pessoas dentro ou nas proximidades da estrutura durante a sua vida útil. O meio mais comum de se chegar a um valor alvo de probabilidade de falha da estrutura ou de um elemento estrutural é pela sua estimativa através de elementos

dimensionados de acordo com as normas em vigor, desde que seja considerado que estes elementos apresentam uma segurança adequada.

Segundo Melchers e Beck (2018), o índice de confiabilidade (β), para um período igual à vida útil da estrutura, costuma ficar entre 3,0 e 3,5, para edificações comerciais e residenciais. O EUROCODE EN 1990 (2002) recomenda um valor do índice de confiabilidade de 3,8 para cinquenta anos de referência, em ELU, para elementos estruturais de edificações residenciais e comerciais. Este valor do índice de confiabilidade corresponde a uma probabilidade de falha em torno de $7,2 \cdot 10^{-5}$, considerando que a função de falha tenha uma distribuição aproximadamente normal. Já no caso de ELS o valor do índice de confiabilidade recomendado é de 1,5 com probabilidade de falha em torno de $6,7 \cdot 10^{-2}$, como ilustrado na Tabela 1

Estado Limite	Índice de confiabilidade β (50 anos)
Último	3,8
Fadiga	1,5 a 3,8
Utilização	1,5

Tabela 1- Índice de confiabilidade

Fonte: EUROCODE EN 1990 (2002)

4.1 O Problema de Dimensionamento

Muitas das variáveis envolvidas nos projetos de engenharia são aleatórias, ou seja, os seus parâmetros possuem incertezas (FERREIRA, 2022). A presença dessas incertezas são, geralmente, tratadas com o uso do fator global de segurança, segundo a abordagem tradicional do método das tensões admissíveis. No caso do método semi-probabilístico (ou dos estados limites), a média e o desvio padrão são utilizados para definir valores característicos das variáveis aleatórias e coeficientes parciais de segurança para obter valores de cálculo a partir dos valores característicos. Segundo esse método, a segurança das estruturas de concreto deve ser verificada em relação aos Estados Limites Últimos, porém em ambos os métodos citados, a probabilidade de falha não é calculada. Estas limitações podem ser superadas através de projetos baseados em confiabilidade, nos quais a segurança de uma estrutura é descrita por um índice de confiabilidade ao invés do fator de segurança. O índice de confiabilidade é capaz de explicar as incertezas e as correlações paramétricas e fornece um caminho para estimar a probabilidade de falha (Figura 3) da estrutura e de seus componentes.

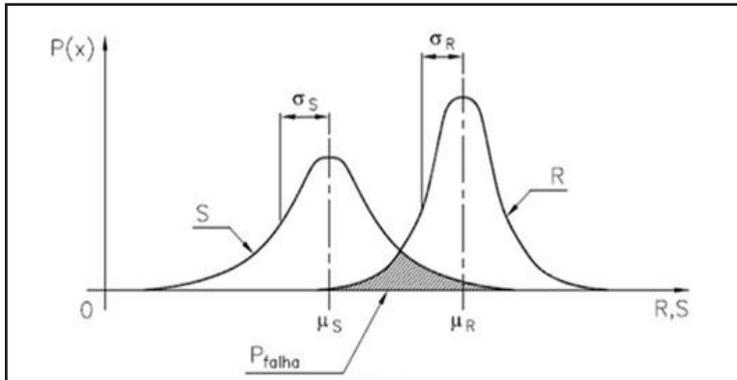


Figura 3 - Probabilidade de falha

Fonte: Autores deste manuscrito

“Confiabilidade é o grau de confiança (probabilidade subjetiva) de que um sistema não falhe dentro de um período de tempo especificado e respeitadas as condições de operações (de projeto) do mesmo” (BECK, 2019).

De modo geral, o dimensionamento estrutural é realizado, atualmente, visando obter uma estrutura que suporta as cargas, já conhecidas, que atuarão sobre a mesma, através de um processo determinístico. Com a Teoria da Confiabilidade é possível levar em conta as incertezas normais relacionadas a cada variável presente no sistema estrutural, seja ela solicitante ou resistente, para realizar a verificação probabilística de segurança de um projeto. A Confiabilidade permite que os dimensionamentos usuais sejam extrapolados para os casos não usuais no cotidiano da Engenharia Civil, além de possibilitar o refinamento dos coeficientes de segurança adotados em projeto, de forma que a estrutura se mantenha segura, porém econômica (SANTOS e RODRIGUES, 2021).

Dois importantes conceitos da Confiabilidade são o índice de confiabilidade e a probabilidade de falha. A Análise de Confiabilidade consiste na quantificação da probabilidade de falha em uma estrutura, o que significa que esta análise tem a finalidade de determinar a probabilidade da construção ser submetida a uma situação desfavorável à segurança, como, por exemplo, no caso em que as solicitações em uma seção sejam maiores que sua resistência é capaz de suportar. O índice de confiabilidade β equivale ao grau de segurança da estrutura em si e é determinado através da análise de uma função de falha, a qual estabelece a relação entre as resistências e as solicitações presentes no sistema estrutural. Este índice está, portanto, diretamente ligado à probabilidade de falha da estrutura (ver Equação 3). Quanto maior o seu valor, menores as chances da construção entrar em colapso. Segundo Bastos (2012), este índice pode ser interpretado como a distância entre a falha e a média da margem dividida pelo desvio padrão como ilustrado na Figura 4

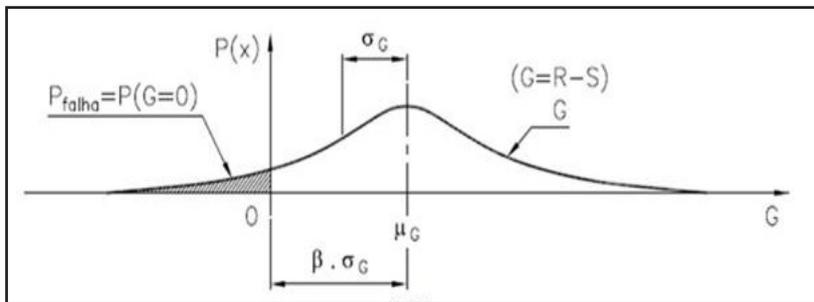


Figura 4 - Probabilidade de falha e índice de confiabilidade

Fonte: Autores deste manuscrito

Como as Normas Brasileiras não especificam nenhum valor limite para o índice β , para se definir uma referência é necessário consultar outros documentos e normas. O EUROCODE EN 1990 (2002) define os índices de confiabilidade a partir de uma classificação das consequências de falha da estrutura, das classes de confiabilidade e do período de retorno. As consequências de falha, apresentadas na Tabela 2, são divididas em três categorias, CC1 – pequeno impacto, CC2 - moderado impacto e CC3 – elevado impacto, essas são definidas em função do impacto gerado pela falha, tais como, perdas de vidas humanas, consequências ambientais, sociais e econômicas. Tais consequências são associadas às classes de confiabilidade e aos períodos de recorrência.

Classes de consequências	Classes de confiabilidade	Valores para β^{alvo}	
		ELU	
		1 ano	50 anos
CC3	RC3	5,2	4,3
CC2	RC2	4,7	3,8
CC1	RC1	4,2	3,3

Tabela 2- Valores de β^{alvo} para o ELU

Fonte: EUROCODE EN 1990 (2002)

De acordo com EUROCODE EN 1990 (2002) os valores de probabilidade de falha são da ordem de 10^{-6} para projetos estruturais que adotam os coeficientes parciais, o que consiste em uma única obra atingindo o E.L.U. em um período de recorrência de 50 anos num lote de 100.000.000 de obras do mesmo tipo. Utiliza-se neste trabalho, como critério de avaliação, um índice de confiabilidade de referência de $\beta^{alvo}=3,8$, cuja probabilidade de falha associada é da ordem de $7,2 \cdot 10^{-5}$.

5 | MODELAGEM MATEMÁTICA DAS SEL

5.1 Normativo AASTHO LRFD (USA)

A determinação da Função Estado Limite para pontes em concreto protendido de viga-e-laje é derivada segundo os requerimentos estabelecidos na AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2012). Para facilitar o entendimento foi mantida a notação utilizada pela AASHTO.

Tomando-se como caso mais provável de falha a ruína de um dos elementos da superestrutura da ponte, efetua-se uma avaliação da probabilidade de falha de uma das vigas protendidas da ponte. Destacam-se os três casos básicos de falha para uma viga protendida: flexão positiva na seção crítica, tensão à tração do concreto, e flexão negativa na seção crítica (AKGÜL E FRANGOPOL, 2004). No presente estudo iremos abordar apenas os 2 primeiros casos por tratar-se de viga bi-apoiada.

5.1.1 Flexão positiva no meio do vão

A função estado limite G1 para uma viga submetida à flexão é definida através da equação

$$G_1 = M_u - (M_{DC} + M_{DW} + M_{LL+IM}) \quad (11)$$

sendo M_u o momento último resistente, DC e DW, são os pesos próprios da estrutura e dos elementos não estruturais, respectivamente, M_{DC} e M_{DW} os momentos devidos a esses pesos próprios, LL e IM são a carga variável (nesse caso cargas móveis) e o fator do efeito dinâmico chamado de fator de impacto, respectivamente, e M_{LL+IM} o momento devido a essa carga variável acrescida do impacto da carga veicular.

A ação variável é definida para um período de referência de 75 anos, segundo a AASHTO LRFD. No caso da NBR:6118, este período é de 50 anos.

O momento resistente último é calculado dependendo do comportamento que apresenta a viga:

I - Comportamento como viga retangular:

$$M_u = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s \cdot f_s \cdot \left(d_s - \frac{a}{2}\right) - A'_s \cdot f'_s \cdot \left(d'_s - \frac{a}{2}\right) \quad (12)$$

$$a = \beta_1 \cdot c \quad (13)$$

$$\text{com} \quad c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_s - A'_s \cdot f'_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b + k \cdot A_{ps} \cdot \frac{f_{pu}}{d_p}} \quad (14)$$

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - k \cdot \frac{c}{d_p}\right) \quad (15)$$

$$\text{com} \quad k = 2 \cdot \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}}\right) \quad (16)$$

onde f_{ps} é a tensão média no aço de protensão, A_{ps} é a área transversal do cabo

de protensão, d_p é a distância entre a extremidade à compressão extrema até o centroide dos cabos de protensão, b é a largura da viga, a é a profundidade equivalente do bloco de tensão, c é a distância a partir do extremo da extremidade à compressão até o eixo neutro, β_1 é o fator do bloco de tensão, f'_c é a resistência característica à compressão do concreto (aos 28 dias), f_{py} é a resistência à fluência do aço de protensão e, f_{pu} é a resistência específica à tração do aço de protensão.

II - Comportamento como viga T

$$M_u = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s \cdot f_s \cdot \left(d_s - \frac{a}{2}\right) - A'_s \cdot f'_s \cdot \left(d'_s - \frac{a}{2}\right) + 0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_f \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2}\right) \quad (17)$$

$$\text{com} \quad c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_s - A'_s \cdot f'_s - 0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_f}{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b_w + k \cdot A_{ps} \cdot \frac{f_{pu}}{d_p}} \quad (18)$$

onde b_w é a largura da alma da viga, h_f é a altura da parte da viga submetida à compressão. O momento advindo da carga variável é calculado como

$$M_{LL+IM} = [M_{ve} \cdot (1 + IM) + M_{ca}] \cdot DFM \quad (19)$$

sendo DFM o fator de distribuição do momento de flexão, M_{ve} e M_{ca} os momentos devido ao peso do veículo de projeto e à carga acidental distribuída chamada de *lane load*, respectivamente.

O fator DFM é calculado segundo as especificações da AASHTO LRFD 4.6.2.2.2, e sua finalidade é distribuir os momentos advindos das ações variáveis nas vigas que compõem a estrutura. Este fator depende do tipo de estrutura que está sendo avaliada.

No cálculo dos momentos gerados no elemento devido ao veículo de projeto e à carga distribuída, devem-se implementar as linhas de influência para os casos mais críticos. Finalmente é obtida a Equação 20 que define a primeira Função Estado Limite, considerando-se o comportamento do elemento estrutural como viga T

$$G_1 = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s \cdot f_s \cdot \left(d_s - \frac{a}{2}\right) - A'_s \cdot f'_s \cdot \left(d'_s - \frac{a}{2}\right) + 0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_f \cdot \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2}\right) - M_{DC} - M_{DW} - [M_{ve} \cdot (1 + IM) + M_{ca}] \cdot DFM \quad (20)$$

Para o mesmo elemento, porém com comportamento estrutural como viga retangular, basta estabelecer $b_w = b$ na Equação 20, ou seja

$$G_1 = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s \cdot f_s \cdot \left(d_s - \frac{a}{2}\right) - A'_s \cdot f'_s \cdot \left(d'_s - \frac{a}{2}\right) - M_{DC} - M_{DW} - [M_{ve} \cdot (1 + IM) + M_{ca}] \cdot DFM \quad (21)$$

5.1.2 Tensão à tração do concreto

O estado limite de serviço de uma viga em concreto protendido pode ser avaliado

com base nas tensões limite à tração e à compressão do concreto, na tensão à tração limite no aço de protensão, e na deformação limite à flexão. No presente trabalho é considerada a função estado limite G_2 para a tensão à tração do concreto de uma viga composta protendida (viga+laje), mostrada na Equação 22 na qual consideram-se as tensões em MPa.

$$G_2 = f_{tr} - (f_{pb} + f_{DCb} + f_{DWb} + f_{(LL+IM)b}) \quad (22)$$

Sendo

$$f_{tr} = 0,5 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (23)$$

onde f_{tr} é a tensão à tração resistente da estrutura, f'_c é a resistência característica à compressão do concreto (aos 28 dias); f_{pb} é a tensão à flexão na extremidade inferior da viga devido à força de protensão; f_{DCb} , f_{DWb} e $f_{(LL+IM)b}$ são as tensões à flexão na extremidade inferior da viga devidas à carga permanente dos elementos estruturais, à carga permanente dos elementos não estruturais, e às cargas variáveis incluindo o impacto por carga veicular, respectivamente. A tensão devido à força de protensão f_{pb} pode ser calculada como

$$f_{pb} = -\frac{\sum P_{final}}{A_G} - \frac{\sum P_{final} \cdot e_i}{S_{Gi}} \quad (24)$$

sendo

$$S_{Gi} = \frac{y_{Gi}}{I_G} \quad (25)$$

onde P_{final} é a força da protensão após as perdas totais, e_i é a excentricidade individual de cada cabo da armadura de protensão, S_{Gi} é o módulo de seção em relação à extremidade inferior da viga, e y_{Gi} é a distância entre a extremidade inferior da viga e o eixo neutro. A força final de protensão é a força aplicada nos cabos descontadas as perdas e é definida como:

$$P_{final} = P_{inicial} - \Delta f_{pT} \cdot A_{ps} \quad (26)$$

sendo Δf_{pT} as perdas totais da força de protensão, que incluem perdas devidas ao atrito (Δf_{pF}), à acomodação da ancoragem (Δf_{pA}), ao encurtamento e ao alongamento elástico (Δf_{pES}), e as perdas progressivas causadas pela retração e fluência do concreto e pela relaxação do aço (Δf_{pLT}).

Nas formulações contidas nas Equações 27, 28 e 29 mostram-se as tensões que são provocadas pelas ações permanentes e variáveis que solicitam a estrutura.

$$f_{DCb} = \frac{M_{DC}}{S_{Gi}} \quad (27)$$

$$f_{DWb} = \frac{M_{DW}}{S_{Gi}} \quad (28)$$

$$f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{Gi}} \quad (29)$$

Substituindo-as na Equação 22 a Função Estado Limite G₂ é dada por

$$G_2 = f_{tr} - \left(-\frac{\Sigma P_{final}}{A_G} - \frac{\Sigma P_{final} \cdot e_i}{S_{Gi}} + \frac{M_{DC}}{S_{Gi}} + \frac{M_{DW}}{S_{Gi}} + \frac{M_{LL+IM}}{S_{Gi}} \right) \quad (30)$$

Estabeleceu-se a convenção para as tensões de modo que para tensões de tração serão positivas e de compressão, negativas.

5.2 Normas Brasileiras

Analisaremos agora as funções e modos de falha do elemento estrutural estudado em 5.1, no entanto, à luz das Normas Brasileiras NBR 6118/2014 e NBR 7188/2013 de modo a estabelecer posteriormente um comparativo dos índices de confiabilidade encontrados pelas Normas.

5.2.1 Modo de falha dimensionado para flexão positiva no meio do vão

A função estado limite G₁ para uma viga submetida à flexão é estabelecida por

$$G_1 = M_R - (M_g + M_q) \quad (31)$$

Onde M_g e M_q são os momentos fletores devidos às cargas permanentes e às cargas variáveis (S – solicitações), respectivamente. M_R é o momento fletor resistente do elemento estrutural (R – resistência).

No caso de uma viga com comportamento de seção transversal retangular (ver Figura 5) obtém-se as seguintes informações

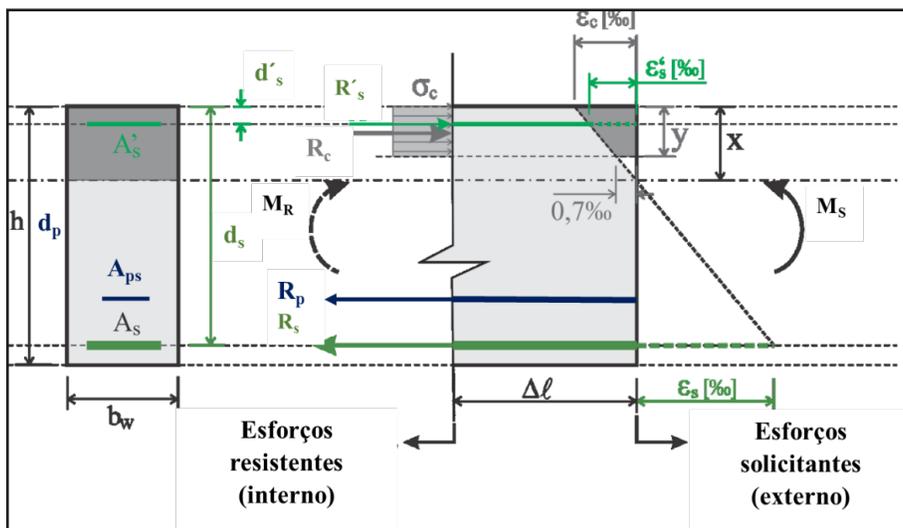


Figura 5 - Esforços solicitantes e resistentes

Fonte: Autores deste manuscrito

Força resultante da armadura passiva mais tracionada $R_s = A_s \cdot f_{yk}$ (32)

Força resultante da armadura passiva menos tracionada $R'_s = A'_s \cdot f'_{yk}$ (33)

Força resultante da armadura ativa de protensão $R_p = A_p \cdot f_{pk}$ (34)

Força resultante do concreto comprimido $R_c = (0,8 \cdot b \cdot x) \cdot 0,85 \cdot f_c$ (35)

A posição da linha neutra (LN) pode ser encontrada após equilíbrio das forças atuantes

$$R_s + R_p = R'_s + R_c \quad (36)$$

Substituindo as Equações 32, 33, 34 e 35 na Equação 36, obtém-se

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yk} + A_p \cdot f_{pk} - A'_s \cdot f'_{yk}}{0,8 \cdot b \cdot f_c} \quad (37)$$

O Momento resistente da viga, comportando-se como seção retangular, é dado pela equação:

$$M_R = R_s \cdot (d_s - 0,4 \cdot x) + R_p \cdot (d_p - 0,4 \cdot x) - R'_s \cdot (d'_s - 0,4 \cdot x) \quad (38)$$

Substituindo a equação 37 na equação 38 e reorganizando os termos

$$M_R = A_s \cdot f_{yk} \cdot \left[d_s - \frac{(A_s \cdot f_{yk} + A_p \cdot f_{pk} - A'_s \cdot f'_{yk})}{1,7 \cdot b \cdot f_c} \right] + A_p \cdot f_{pk} \cdot \left[d_p - \frac{(A_s \cdot f_{yk} + A_p \cdot f_{pk} - A'_s \cdot f'_{yk})}{1,7 \cdot b \cdot f_c} \right] - A'_s \cdot f'_{yk} \cdot \left[d'_s - \frac{(A_s \cdot f_{yk} + A_p \cdot f_{pk} - A'_s \cdot f'_{yk})}{1,7 \cdot b \cdot f_c} \right] \quad (39)$$

A Equação 39 também é válida para quando a viga se comporta como viga T ou viga I, desde que o valor de y conforme preconizado pela NBR 6118 seja inferior ao valor da espessura da mesa (h_f), ou seja: $y \leq h_f$.

5.2.2 Tensão à tração do concreto

A função estado limite G_2 é idêntica à estabelecida pela Equação 30, em 5.1.2, porém com a diferença da equação da tensão máxima admissível de tração do concreto que é dada por:

$$f_{tr} = 1,2 \cdot f_{ctk} = 1,2 \cdot 0,7 \cdot f_{ctm} = 1,2 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (40)$$

onde f_{ck} é a resistência característica à tração na flexão, f_{ctm} é a resistência média à tração do concreto e f_c é a resistência característica à compressão do concreto (análogo ao f'_c da AASTHO).

6 | ESTUDO DE CASO: VIGA I PROTENDIDA DA PONTE SOBRE CÓRREGO SÃO DOMINGOS

Como estudo de caso foi escolhida uma viga I da ponte sobre o córrego São Domingos (PROJETO DE ENGENHARIA, 2016), que está localizada em Conceição da Barra (ver Figura 6), na rodovia estadual ES-010, trecho entr. ES-421 - Itaúnas. Foi escolhida essa estrutura devido ao fato de que é um exemplo típico de ponte de viga-e-laje em concreto protendido, da qual são conhecidos os dados e projetos da superestrutura, sendo estes aproveitados no desenvolvimento da presente pesquisa.

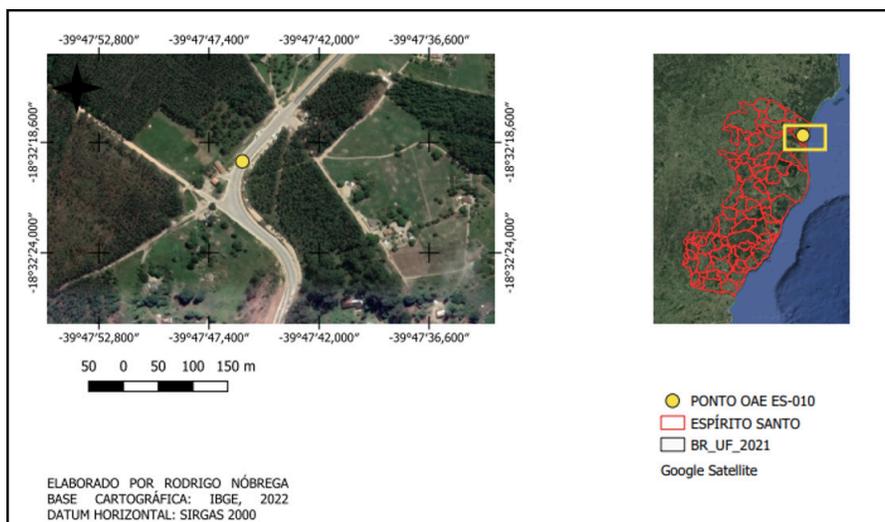


Figura 6 - Mapa de localização da OAE em estudo

Fonte: Autores deste manuscrito

A Ponte sobre o córrego São Domingos é uma ponte de 20,10 metros de vão com 6 vigas I protendidas e uma laje de espessura média de 18 centímetros e 14,80 metros de largura. São apresentadas as informações correspondentes às propriedades geométricas da ponte (ver Figuras 7 e 8).

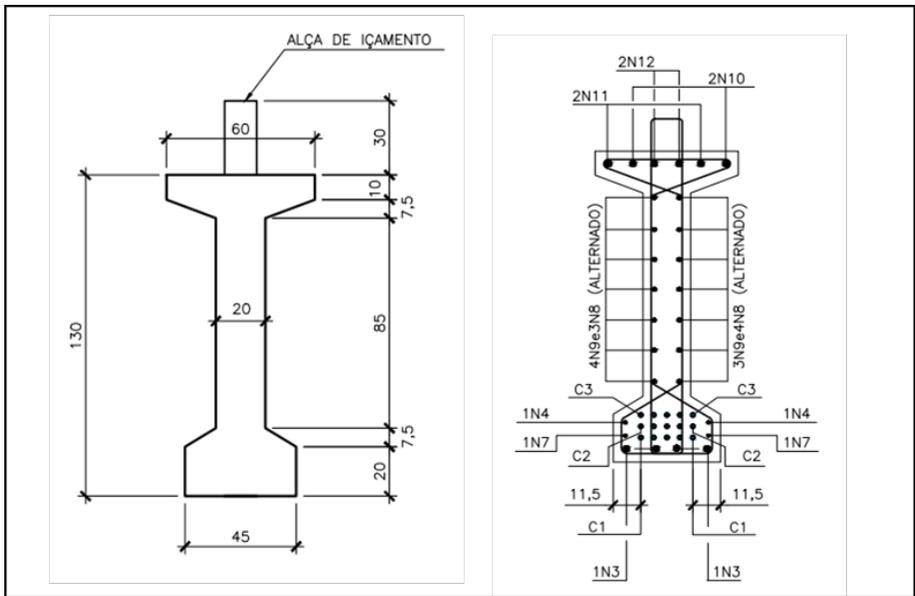


Figura 7 - Seção transversal da viga principal (longarina)

Fonte: PROJETO DE ENGENHARIA (2016)

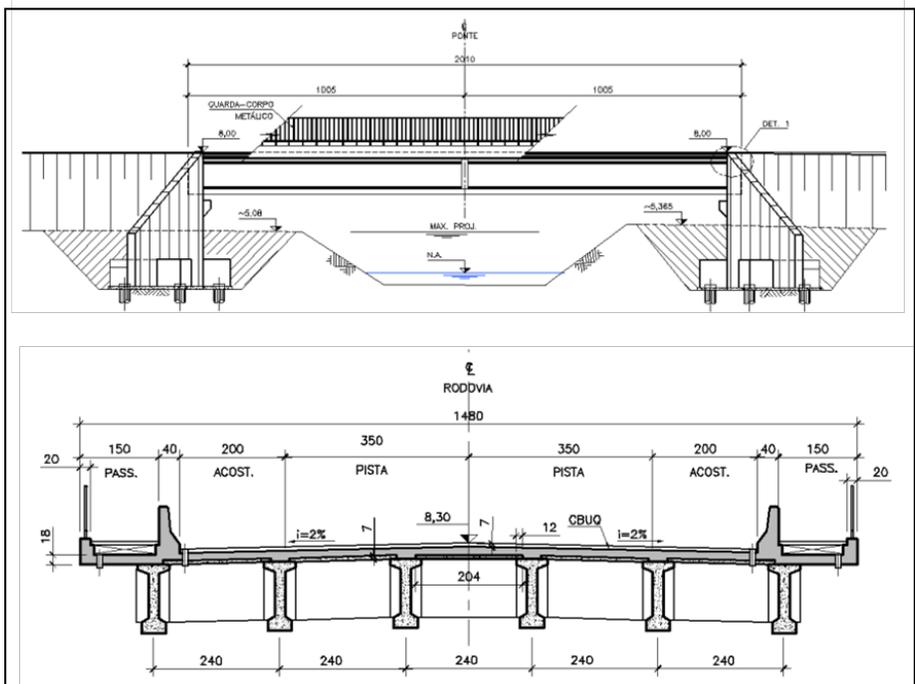


Figura 8 - Vista lateral da Obra de Arte Especial (OAE) e seção transversal da superestrutura

Fonte: PROJETO DE ENGENHARIA (2016)

6.1 Critérios de projeto e propriedades dos materiais:

Os dados descritos abaixo foram extraídos do projeto básico de execução da OAE e ilustrados nas Tabelas 3 e 4.

Classe de agressividade ambiental: II;
Concreto classe C30 ($f_{ck} \geq 30$ MPa), relação água/cimento $\leq 0,60$ CA e $\leq 0,55$ para CP
Massa específica = 2,50 tf/m ³ ;
Cobrimento: Longarinas em CP $\geq 3,5$ cm
Transversinas em CA $\geq 3,0$ cm
Laje em CA $\geq 2,5$ cm
Fundações $\geq 3,5$ cm

Tabela 3 - Informações do material concreto

Fonte: PROJETO DE ENGENHARIA (2016)

Aço CA-50 com Patamar de Escoamento: $f_y \geq 500$ MPa (NBR 7480:1996)
Aço CP-190 RB com Patamar de Escoamento: $f_y \geq 1900$ MPa (NBR 7483:2005)
Módulo de Elasticidade = 210 GPa

Tabela 4 - Informações do material aço

Fonte: PROJETO DE ENGENHARIA (2016)

6.2 Cargas Permanentes

A Tabela 5 contém informações das cargas permanentes extraídas do PROJETO DE ENGENHARIA (2016).

Anterior a cura do concreto da laje
$q_1 = 4,5$ kN/m ² Peso próprio da laje $h=18$ cm
$q_2 = 6,25$ kN/m Peso próprio transversina central e de apoio
$q_3 = 9,4$ kN/m Peso próprio longarina
Posterior a cura do concreto da laje
$q_4 = 1,7$ kN/m ² Peso próprio do revestimento asfáltico
$q_5 = 2,0$ kN/m ² Carga adicional de recapeamento
$q_6 = 5,8$ kN /m Peso próprio do guarda-roda

Tabela 5 - Cargas permanentes

Fonte: PROJETO DE ENGENHARIA (2016)

Seguindo denominações de nomenclatura da AASHTO são calculadas, separadamente, os valores dos carregamentos produzido por DG, DL e DW que correspondem, respectivamente, aos valores das cargas devidos ao peso próprio, laje e

pavimentação e dos elementos não-estruturais.

6.3 Cargas Móveis

De acordo com o item AASTHO LRFD 3.6.1.2.1 a carga veicular deve consistir numa combinação do veículo de projeto ou tandem de projeto mais o efeito dinâmico. O tandem de projeto é outro tipo de carga móvel e consiste numa configuração de um par de eixos com um peso de 112 kN. O veículo de projeto denominado HL-93 e o tandem de projeto são mostrados na Figura 9. As distâncias entre os eixos do veículo devem ser escolhidas de maneira que sejam produzidos os efeitos máximos e mais desfavoráveis. No item AASTHO LRFD 3.6.1.2.4 é definida a carga lane load como uma carga uniformemente distribuída de 9 kN/m (0,64 kip/ft) no sentido longitudinal.

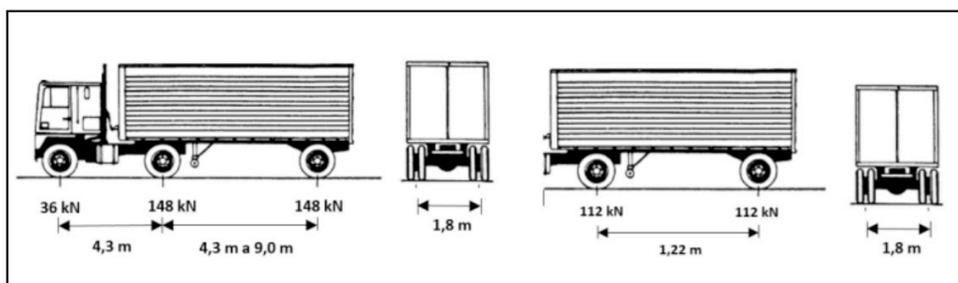


Figura 9: - Veículo de projeto HL-93 e Tandem de projeto

Fonte: AASTHO LRFD (2012)

Uma vez estabelecida a posição do veículo, calculam-se os momentos produzidos pelo veículo de projeto M_{ve} . De igual forma o momento máximo no centro do vão da viga, para o caso do tandem M_{Ta} de projeto e para a carga *lane load* M_{Ca} , foram calculados e são mostrados na Tabela 6.

O fator de distribuição DFM das ações variáveis aplicado aos momentos atuantes em uma viga de seção I de concreto protendido pré-fabricada, segundo formulação constante no item AASTHO LRFD 4.6.2.2.2. são apresentados na Tabela 6

Parâmetros de cálculo (AASTHO)	
IM	0,33
DFM	0,712
n	6 vigas
K_g (mm ⁴)	2,765 E+11
Momentos Fletores Totais	
$M_{ve} + M_{ca}$ (kN.m) = 1.926,185	

$$M_{ta} + M_{ca} \text{ (kN.m)} = 1.664,061$$

Tabela 6: - Momentos Fletores produzidos pelas cargas variáveis de projeto

Fonte: Autores deste manuscrito

Escolhido, portanto, o valor de 1.926,185 kN.m devido ser a situação mais desfavorável na análise para a solicitação de momento fletor.

Pelas Normas Brasileiras NBR 6118(2014) e NBR 7188 (2013), podemos extrair valores diretamente da memória de cálculo do projeto básico fornecido e explicitados abaixo considerando veículo tipo Classe 45 (Figura 10):

TT= 450,0 kN Cargas concentradas do trem-tipo (3 eixos de 150,0 kN);

$\rho = 5,0 \text{ kN/m}^2$ Carga distribuída trem-tipo.

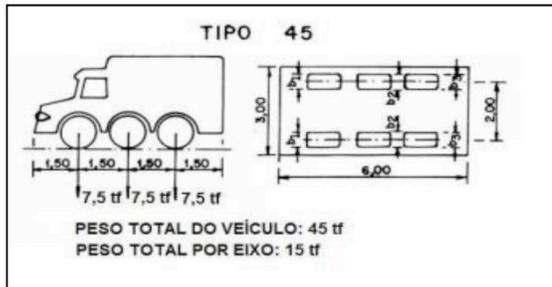


Figura 10 - Veículo de projeto TB-45

Fonte: NBR 7188 (2013)

Os momentos fletores (em kN.m) solicitantes foram extraídos do projeto da OAE e possuem os seguintes valores de acordo com a tabela 7 abaixo:

MOMENTO FLETOR (kN.m)			
LONGARINA 1 CENTRAL		LONGARINA 2 BORDA	
Mg	Mq	Mg	Mq
1541,00	2126,00	1899,79	1230,19
5.269,35		4.410,00	

Tabela 7: - Momentos Fletores Mg e Mq extraídos do projeto básico

Fonte: PROJETO DE ENGENHARIA (2016)

Foram considerados os esforços solicitantes da Longarina 1 pelo fato de serem os esforços mais desfavoráveis na análise de confiabilidade à luz das Normas Brasileiras.

Importante destacar que caso não tivéssemos acesso às informações do projeto, os valores dos esforços nas longarinas provenientes das cargas permanentes e das cargas móveis no tabuleiro poderiam ser calculados através da análise estrutural.

Observa-se ainda que o resultado do valor do esforço de flexão (M_q) proveniente da metodologia da AASHTO é bem parecida com o valor encontrado no projeto (calculado com a Norma Brasileira).

A Figura 11 ilustra a seção transversal do conjunto laje+viga além das variáveis aleatórias adotadas neste estudo para cada SEL.

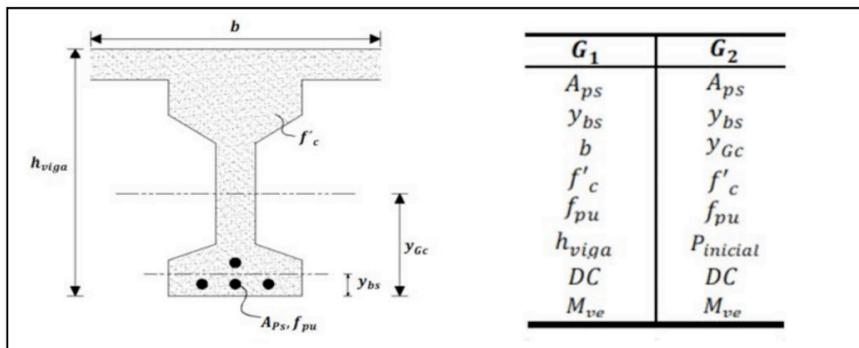


Figura 11 - Seção transversal (viga+laje) e variáveis aleatórias para cada SEL

Fonte: Autores deste manuscrito

Os valores característicos destas variáveis aleatórias encontram-se consolidados na Tabela 8 incluindo o tipo de distribuição de probabilidade que representa e suas referências. Na Tabela 9, além dos valores característicos, temos os valores da média e do coeficiente de variação que serão utilizados na simulação Monte Carlo para o cálculo dos índices de confiabilidade das funções de estado limite G_1 e G_2 .

VARIÁVEIS	DISTRIBUIÇÃO	REFERÊNCIA
A_{ps}	21,45 cm ² NORMAL	Akgul e Frangopol (2004)
y_{bs}	0,15 m NORMAL	Al-Harthy e Frangopol (1994), Steinberg (2010)
b	2,2 m NORMAL	Al-Harthy e Frangopol (1994), Steinberg (2010)
$h_{viga+laje}$	1,48 m NORMAL	Al-Harthy e Frangopol (1994), Steinberg (2010)
y_{Gc}	0,921 m NORMAL	Al-Harthy e Frangopol (1994), Steinberg (2010)
$P_{inicial}$	3.316,005 kN NORMAL	Akgul e Frangopol (2004)
f'_c	30 Mpa LOG-NORMAL	Al-Harthy e Frangopol (1994), Nowak e Collins (2000)
f_{pu}	1.890,000 Mpa LOG-NORMAL	Al-Harthy e Frangopol (1994)
DL+DG	23,541 kN/m NORMAL	Al-Harthy e Frangopol (1994)
M_{VE}	1.273,087 kN.m GUMBEL	Al-Harthy e Frangopol (1994), Steinberg (2010)
M_q	2.126,000 kN.m GUMBEL	Al-Harthy e Frangopol (1994), Steinberg (2010)

Tabela 8 - Variáveis aleatórias e distribuição de probabilidade

Fonte: Autores deste manuscrito

VARIÁVEIS	VALOR CARACTERÍSTICO	MÉDIA	COEF. VARIAÇÃO	
A_{ps}	21,45 cm ²	0,0021450000 m ²	0,0021450000 m ²	0,1250
y_{bs}	0,15 m	0,150 m	0,150 m	0,0800
b	2,2 m	2,200 m	2,200 m	0,0040
$h_{viga+laje}$	1,48 m	1,480 m	1,480 m	0,000032
y_{Gc}	0,921 m	0,921 m	0,921 m	0,009000
$P_{inicial}$	3.316,005 kN	3.316,005 m	3.316,005 m	0,050000
f_c	30 Mpa	30.000,00 kN/m ²	39.840,00 kN/m ²	0,1500
f_{pu}	1.890,000 Mpa	1.890.000,00 kN/m ²	2.058.210,00 kN/m ²	0,0250
$DL+DG$	23,541 kN/m	23,541 kN/m	24,718 kN/m	0,1000
M_{VE}	1.273,087 kN.m	1.273,087 kN.m	1.133,047 kN.m	0,2500
M_q	2.126,000 kN.m	2.126,000 kN.m	1.892,140 kN.m	0,2500

Tabela 9 - Momentos produzidos pelas cargas variáveis de projeto

Fonte: Autores deste manuscrito

71 RESULTADOS

A simulação Monte Carlo foi realizada com a utilização do software MATLAB para as funções da SEL, separadamente, sabendo de antemão que as duas funções precisam ser atendidas concomitantemente.

Os resultados do índice de confiabilidade β para a SEL da função G_1 (no ELU) são apresentados na Tabela 10

	β via método MONTE CARLO	N=10 ⁸
β_{alvo}	VIGA - LRFD - AASTHO	4,4865
3,8	VIGA - LRFD - NBR 6118 - NBR 7188	4,0883

Tabela 10: - Índice de confiabilidade β para a SEL da função G_1

Fonte: Autores deste manuscrito

Os resultados do índice de confiabilidade β para a SEL da função G_2 (no ELS) são mostrados na Tabela 11

	β via método MONTE CARLO	N=10 ⁸
β_{alvo}	VIGA - LRFD - AASTHO	1,7837
1,5	VIGA - LRFD - NBR 6118 - NBR 7188	1,5885

Tabela 11: - Índice de confiabilidade β para a SEL da função G_2

Fonte: Autores deste manuscrito

Os valores fornecidos pela análise da normativa da AASTHO e pelas NBR's estão acima dos valores β_{alvo} (ver Tabelas 10 e 11) para as funções G_1 (no ELU) e G_2 (no ELS).

8 | CONCLUSÕES

Os valores de β das funções G_1 e G_2 são atendidos de acordo com os valores pré-estabelecidos β^{alvo} pelo EUROCODE EN 1990 (2002) tanto para a AASTHO quanto para as NBR's.

Observa-se, ainda, que os valores obtidos pelas formulações da NBR são mais restritivos que os da AASTHO, o que leva a concluir, para o caso estudado, que a formulação das NBR's é mais rigorosa. Neste sentido, tentou-se reduzir a quantidade de cabos de protensão e proceder nova análise, pela formulação da AASTHO, com utilização da simulação Monte Carlo. Reduziu-se a quantidade de 15 para 14 cabos. À princípio tal alteração vislumbrou-se solução técnica otimizada tendo em vista que para o valor do índice de confiabilidade da função G_1 (no ELU) obteve-se valor acima do β^{alvo} . Contudo tal redução não logrou êxito quando analisado para a função G_2 (no ELS), ficando o valor do índice de confiabilidade abaixo do valor de β^{alvo} pré-estabelecido. Desta forma fica inviabilizada tal redução, tendo em vista que o sistema estrutural está em série. Importante frisar que tal redução, caso possível, só poderia ser validada após reanálise do dimensionamento de acordo com a normas vigente.

Contudo, a abordagem e utilização da teoria da confiabilidade estrutural se mostra de relevante importância na análise de projetos e em obras na sua fase em serviço, tendo em vista que os fatores globais de segurança são arbitrados por meio de bases empíricas, gerando incertezas sobre o ponto de vista da segurança estrutural.

Importante ressaltar, ainda, que outras funções de falha de SEL poderiam ser estabelecidas, como por exemplo uma função G_3 baseada na verificação quanto ao cisalhamento em ELU.

Vale lembrar que tal viga analisada, apesar de estruturalmente ser considerada “apenas” um componente estrutural dentro de um conjunto mais complexo da estrutura da OAE, na teoria da confiabilidade se comporta como um sistema em série (duas funções de falha G_1 e G_2), ou seja, caso uma das funções da SEL não seja atendida ($G < 0$), todo o sistema estará comprometido.

A relevância deste estudo está no fato que a segurança global da estrutura não leva em conta as incertezas dos parâmetros envolvidos, baseando-se em regras gerais práticas sem nenhum cunho científico.

Através da análise de confiabilidade dos elementos estruturais (vigas I) analisadas na OAE em tela, pode-se finalmente ter a confiança de que este componente estrutural cumprirá a vida útil para a qual foi projetada.

Evidentemente, este procedimento pode ser generalizado para todos os componentes estruturais.

REFERÊNCIAS

AI-HARTHY, A.S., FRANGOPOL, D.M., **Reliability Assessment of Prestressed Concrete Beams**. Journal of Structural Engineering, ASCE, 120(1), pp.180-199, 1994.

AKGÜL, F., FRANGOPOL, D.M., **Lifetime Performance Analysis of Existing Prestressed Concrete Bridge Superstructures**. Journal of Structural Engineering, 130(12), pp.1889–1903, 2004.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). **AASHTO LRFD Bridge Design Specifications**, Customary U.S. Units, 6th Edition, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estrutura de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**., Rio de Janeiro, 2013.

BASTOS, F. P. S. **Análise de Confiabilidade de seções submetidas à flexão simples e composta pelo método de Monte Carlo**. Projeto de Graduação, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

BECK, A. T. **Confiabilidade e Segurança das Estruturas**. 1. ed. São Paulo: Elsevier Editora Ltda., 2019.

BREITUNG, K. **Asymptotic approximations for multinormal integrals**. Journal of Engineering Mechanics, v. 110, n. 3, p. 357, 1984.

DITLEVSEN, Ove Dalager; MADSEN. Henrik Overgaard. **Structural Reliability Methods**, *Struct. Reliab. Methods*, no. Dinamarca, p 361, 2007.

EUROCODE EN 1990. **Eurocode – Basis of Structural Design**. Bruxelas, CEN 2002.

FERREIRA, E. G. **Análise de confiabilidade estrutural via método SORM DG: análise de confiabilidade por meio de curvaturas principais de superfícies de estado limite**. Editora Dialética, 2022.

HASOFER, A. M., LIND N. C. **Exact and invariant second-moment code format**. Journal of Engineering Mechanics, v. 100, p. 111-21, 1974.

HOHENBICHLER, M., RACKWITZ, R. **Improvement of second order reliability estimates by importance sampling**. Journal of Engineering Mechanics, v. 114, n. 12, p. 2195-2199, 1988.

JACINTO, L., **Avaliação da segurança de pontes existentes - Abordagem Probabilística Bayesiana**, Tese de doutorado, Universidade de Nova de Lisboa, 2011.

KARAMCHANDANI, A. **Structural system reliability analysis methods**. Stanford: Stanford University, Report nº 83, Jhon A. Blume Earthquake Engineering Center, 1987.

LIU, P.L., KIUREGHIAN, D. A. **Finite-element reliability methods for geometrically nonlinear stochastic structures**. Report n. UCB/SEMM-89-05. Berkeley: Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, 1989.

MATLAB M. **The language of technical computing**. The MathWorks, Inc, 2012. Disponível em: <http://www.mathworks.com>.

MELCHERS, R. E.; BECK, A. T. **Structural reliability: analysis and prediction**. New York: Jon Willey & Sons, 2018.

METRÓPOLIS, N. e ULAM, S. **The Monte Carlo Method**. Journal of the American Statistical Association, v. 44, n. 247, p. 335-341, 1949.

NOWAK, A.S., COLLINS, K.R., **Reliability of Structures**. CRC Press, 2000.

PROJETO DE ENGENHARIA – Ponte sobre córrego São Domingos. Disponível em: <<https://bityli.com/oaecorregosaodomingos>>, 2016.

RACKWITZ, R., FIESSLER, B. **Structural reliability under combined random load sequences**. Computers and structures, v. 9, n. 5, p. 489-94, 1978.

SAGRILO, L. V. S. **Análise de confiabilidade estrutural utilizando os métodos analíticos FORM e SORM**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, p 151, 1994.

SANTOS, S. H. C.; RODRIGUES, T. C. **Análise de Confiabilidade de um Pórtico de Concreto Armado Considerando Efeitos Globais de Segunda Ordem**. XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, Virtual, 2021.

SOUZA JUNIOR, Antonio Carlos de. **Aplicação de Confiabilidade na calibração de Coeficiente Parciais de Segurança de Normas Brasileiras de Projeto Estrutural**, *Programa Pós-Graduação em Eng. Civ.* USP, 149, 2009.

STEINBERG, E., **Structural reliability of prestressed UHPC flexure models for bridge girders**. Journal of Bridge Engineering, 15(1), pp.65–72, 2010.

TVEDT, L. **Two second-order approximations to the failure probability**. Veritas report RDIV/20-004083. Oslo: 1983.

ANÁLISE DA DEFLEXÃO DE VIGAS E EIXOS POR ODE E SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO

Data de aceite: 02/01/2023

Cristian Comin

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6507120895561285>

Adabiel Oleone da Silva

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3212101904755523>

Jocelaine Cargnelutti

<http://lattes.cnpq.br/1606344234613977>
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Vanderlei Galina

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5475732008218495>

RESUMO: A engenharia é um campo de conhecimento muito importante no desenvolvimento humano e crescimento das cidades modernas. Sendo assim, o presente trabalho tem por característica promover a interdisciplinaridade na análise de deflexão de vigas e eixos para pequenas deformações. Por meio da solução de uma equação diferencial ordinária linear de segunda ordem, em contraponto com

procedimentos experimentais, foi possível calcular o percentual de erro relativo entre o estudo analítico e a prática, assim como aferir análises acerca da teoria e aprofundar conhecimentos adquiridos. Através da realização da atividade foi possível verificar a aplicabilidade da teoria de deflexão para pequenas deformações de estruturas, gerando valores de erro percentual muito satisfatórios nas amostras previstas. A análise experimental foi realizada por acadêmicos de engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Toledo, utilizando ferramentas de baixo custo, em ambiente de obra, enfatizando a simulação dos conhecimentos técnicos e aproximando a teoria e a prática em situações de fácil aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Interdisciplinaridade. Resistência dos materiais. Equações diferenciais ordinárias. Ensino em engenharia.

DEFLECTION ANALYSIS OF BEAMS AND AXES BY ODE AND LOW COST EXPERIMENTAL SIMULATION

ABSTRACT: Engineering is a very important field of knowledge in the human

development and growth of modern cities. Therefore, the present work has the characteristic of promoting interdisciplinarity in the analysis of deflection of beams and axes for small deformations. By solving a second-order linear ordinary differential equation, in contrast to experimental procedures, it was possible to calculate the percentage of relative error between the analytical study and the practice, as well as to analyze the theory and deepen the acquired knowledge. Through the performance of the activity it was possible to verify the applicability of the deflection theory for small structures deformations, generating very satisfactory percentage error values in the predicted samples. The experimental analysis was carried out by civil engineering students from the Federal Technological University of Paraná, Toledo campus, using low-cost tools, in a constructions environment, emphasizing the simulation of technical knowledge and bringing theory and practice in easy to apply situations.

KEYWORDS: Interdisciplinarity. Strength of materials. Ordinary differential equations. Engineering teaching.

INTRODUÇÃO

A Engenharia desempenha papel fundamental na sociedade, na criação e inovação de tecnologias, proporcionando desenvolvimento e progresso (PAVANELO; GERMANO; FREITAS-LEMES, 2017). Sendo assim, se torna muito importante devido seus impactos nas esferas social, econômica e ambiental, tendo em vista que altera o meio ambiente onde atuam (ROHAN et al., 2016).

Por esse motivo, se tornou importante a implementação de exercícios de relevância para exercer na prática os conhecimentos teóricos transmitidos pelos docentes de disciplinas diferentes (PAVANELO; GERMANO; FREITAS-LEMES, 2017). Observa-se que dentre as disciplinas de formação básica de maior dificuldade dos cursos de engenharia, encontra-se as equações diferenciais, conforme Oliveira e Iglioni (2013), tanto na compreensão de conceitos e técnicas, quanto na aplicação contextualizada.

Com base no exposto acima, este trabalho tem a finalidade de integrar principalmente os conhecimentos de equações diferenciais, mecânica e resistência dos materiais, em um estudo da deflexão máxima suportada por uma viga engastada, por meio da comparação do resultado obtido no experimento com o teórico.

REFERENCIAL TEÓRICO

Aliando o conhecimento multidisciplinar teórico, baseado na análise de uma equação diferencial ordinária (EDO) de segunda ordem que descreve a curvatura de um eixo ou viga, com a prática experimental, pode-se comparar e validar a utilização dos métodos de análise de deformações de vigas e eixos.

Equação diferencial da linha elástica

Considerando a situação apresentada na Figura 1, representa-se um esquema

semelhante ao que será analisado no estudo de caso, uma viga engastada de comprimento L , com um carregamento concentrado P , na extremidade livre do eixo longitudinal da viga. Na Figura 2, observa-se a deformação da viga.

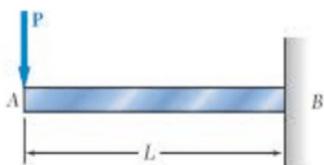


Figura 1 - Viga engastada

Fonte: Beer et al. (2015)

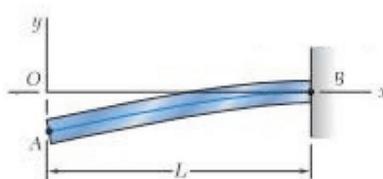


Figura 2 – Deformação da viga engastada

Fonte: Beer et al. (2015)

De modo sucinto, linha elástica é o diagrama de deflexão do eixo longitudinal que passa pelo centro de gravidade da viga ou eixo (HIBBELER, 2010). Segundo Fertis (1993), a lei de Euler-Bernoulli, define que o raio de curvatura descrito pela linha elástica de viga é inversamente proporcional ao momento fletor. Além disso, Hibbeler (2010) pontua que a deflexão das vigas, ou seja, o deslocamento da linha elástica, geralmente é muito pequena. Sendo assim, a relação que governa a linha elástica pode ser reduzida pela Equação (1), uma equação diferencial ordinária linear de segunda ordem (BEER et al., 2015),

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (1)$$

Na expressão em (1), y descreve o deslocamento vertical da linha elástica, x indica a distância da seção analisada a partir da extremidade engastada da viga, M é o momento fletor, E é o módulo de elasticidade do material e I é o momento de inércia da seção transversal em relação à linha neutra (BEER et al., 2015). O produto EI , denominado rigidez à flexão, é inversamente proporcional à deflexão, conforme Mott e Untener (2018).

Módulo de Young e Momento de Inércia

O Módulo de Young, ou Módulo de Elasticidade, e o Momento de Inércia, são propriedades intrínsecas à peça em análise. De forma prática, Mott e Untener (2018) afirmam que o módulo de elasticidade quantifica a rigidez do material, ao passo que o momento de inércia, determinado por uma integral com elemento diferencial de área, é a rigidez da geometria da seção transversal da viga.

Para uma seção retangular, de base b e altura a , o momento de inércia é definido pela Equação (2),

$$I_x = \frac{ba^3}{12} \quad (2)$$

Em uma seção circular, de diâmetro d , o momento de inércia é determinado pela Equação (3),

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64} \quad (3)$$

ESTUDO DE CASO

Este estudo concentra-se em vigas e eixos engastados, solicitados por um carregamento concentrado na extremidade livre da peça. Essa situação é comumente encontrada nas denominadas vigas em balanço, que fazem parte da estrutura de sacadas e marquises, ou ainda em escadas com degraus engastados.

De forma geral, estuda-se uma viga em balanço de comprimento L , como na Figura 3, em que w_1 representa o peso próprio da viga por unidade de comprimento e P_1 a força externa.

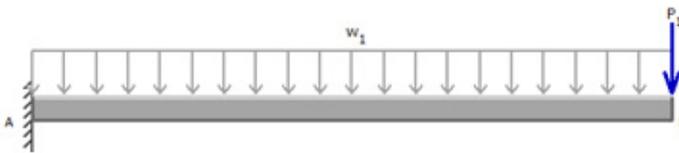


Figura 3 - Viga Engastada do Estudo de Caso

Fonte: Beer et al. (2015)

Para determinar o momento fletor em função de x é necessário realizar uma análise de corpo livre de uma seção da viga (HIBBELER, 2010). Pela análise das equações de equilíbrio da estática, tem-se a Equação (4) que governa o momento fletor da viga,

$$M(x) = \frac{w_1 L^2}{2} + P_1 L - w_1 Lx - P_1 x + \frac{w_1 x^2}{2} \quad (4)$$

Com a equação do momento fletor escrita em função da variável independente x , basta substituir a Equação (4) na Equação (1), multiplicando ambos os lados da equação resultante por EI e integrando em relação a x para obter a Equação (5),

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{w_1 L^2 x}{2} + P_1 Lx - \frac{w_1 Lx^2}{2} - \frac{P_1 x^2}{2} + \frac{w_1 x^3}{6} + C_1 \quad (5)$$

Integrando a Equação (5) em relação a variável x , obtém-se a Equação (6),

$$Ely(x) = \frac{w_1 L^2 x^2}{4} + \frac{P_1 L x^2}{2} - \frac{w_1 L x^3}{6} - \frac{P_1 x^3}{6} + \frac{w_1 x^4}{24} + C_1 x + C_2 \quad (6)$$

As constantes C_1 e C_2 são determinadas a partir das condições de contorno, as quais estão intrínsecas às situações de apoio e carregamento da viga. Nota-se, na Figura 3, que a inclinação da linha elástica é zero na extremidade A, portanto $dy/dx=0$ quando $x=0$; assim como em $x=0$ tem-se que $y=0$, portanto $C_1=0$ e $C_2=0$. Então, a equação da linha elástica da viga engastada é,

$$Ely(x) = \frac{w_1 L^2 x^2}{4} + \frac{P_1 L x^2}{2} - \frac{w_1 L x^3}{6} - \frac{P_1 x^3}{6} + \frac{w_1 x^4}{24} \quad (7)$$

O valor crítico se encontra na extremidade livre da viga ou eixo em balanço, isto é, no ponto B onde $x=L$. Substituindo $x=L$ na Equação (7) e realizando as manipulações algébricas necessárias, obtém-se o valor de y que representa a deflexão máxima da viga em análise,

$$y_{\text{máx}} = \frac{-1}{EI} \left(\frac{w_1 L^4}{8} + \frac{P_1 L^3}{3} \right) \quad (8)$$

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No primeiro ensaio realizado, os materiais explorados foram: vigas de madeira Tauari (*Couratari spp.*, segundo Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo - IPT (2013)) de seção transversal retangular de base igual a 4,8 cm e altura de 2,4 cm; anilhas de 3, 5 e 10 kg; prego e arames para dependurar as anilhas na viga; régua de 1 m e trena.

Com os materiais dispostos, foram ensaiadas vigas com 50 e 75 cm de comprimento, afixadas em um suporte de madeira com parafusos, de modo a impedir o deslocamento e rotação do engaste nos eixos x , y e z . Assim configurado, foram dependuradas as anilhas na extremidade livre das vigas, respectivamente, configurando cargas de 3, 5, 15 e 18 kgf (quilograma-força). Com o uso da régua, foi comparada a altura da extremidade da viga sem carga, e posteriormente, com os pesos afixados, determinando a devida deflexão do ponto mais crítico (extremidade livre). A Figura 4 e a Figura 5 ilustram o experimento.



Figura 4 - Viga de madeira de 50 cm com 3 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).



Figura 5 - Viga de madeira de 50 cm com 18 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).

Outro ensaio foi realizado com barras de aço CA 50 5/16" (8 mm de diâmetro). Os materiais utilizados foram: barras de aço de 8 mm de diâmetro; anilhas de 3, 5 e 10 kg; arames; régua de 1 m e trena, como observado na Figura 6 e Figura 7.

O estudo foi realizado com diferentes comprimentos de barra: 40, 50, 25 e 12,5 cm. Estas foram afixadas em um muro de arrimo e solicitadas com os pesos na extremidade.

RESULTADOS E ANÁLISE

Para o estudo analítico, foi adotado o Módulo de Elasticidade à flexão de 10591 MPa e densidade de 610 kg/m³ (IPT, 2013) para a madeira Tauari.



Figura 6 – Barra de 40 cm com 5 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).



Figura 7 – Barra de 40 cm com 3 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).

Do mesmo modo, a fim de converter a massa da viga para peso, unidade Newtons (N), foi adotada a aceleração da gravidade como 9,807 m/s². Sendo assim, aplicando a Equação (8), apresenta-se um comparativo no Quadro 1.

Tamanho da Viga (mm)	Carga concentrada (kgf)	Deflexão Teórica (mm)	Deflexão Exp. (mm)	Erro Relativo (%)
500	3	2,18	2,1	3,67
	5	3,58	4	11,73
	10	7,07	6,2	12,3
	15	10,56	10,7	1,32
	18	12,65	13,4	5,93
750	3	7,53	6,1	19
	5	12,24	10,5	14,21
	10	24,01	23	4,2
	15	35,79	34,5	3,6
	18	42,85	42	1,98

Quadro 1 – Resultados das Vigas Engastadas de Madeira.

Fonte: Autoria própria (2020).

Tamanho da barra (mm)	Carga concentrada (kgf)	Deflexão Teórica (mm)	Deflexão Exp. (mm)	Erro Relativo (%)
500	3	31,24	31	0,77
	5	51,56	58,1	12,68
	10	102,37	140,6	37,34
400	3	15,92	16	0,5
	5	26,32	29,5	12,08
	10	52,33	57	8,92
250	3	3,88	5	28,86
	5	6,4	8	25
	10	12,74	16	25,59
125	3	0,48	0,5	4,17
	5	0,8	1	25
	10	1,59	2	25,79

Quadro 2 – Resultados dos Eixos de Aço.

Fonte: Autoria própria (2020).

Para os cálculos de deflexão das barras de aço (CA 50 de 8 mm de diâmetro), configurando uma situação de deflexão de eixos, a NBR 7480:2007 especifica a densidade linear dos vergalhões utilizados para concreto armado com 0,395 kg/m. Utilizando este dado e o Módulo de Elasticidade com o valor de 200 GPa (BEER et al., 2010), foi possível realizar a comparação dos resultados expostos no Quadro 2.

Em relação às vigas de madeira observa-se que a viga de 750 mm apresentou comportamento padrão, com decrescente erro relativo ao passo em que se acrescenta

maior carga. Já a viga de 500 mm não mostrou a mesma regularidade, resultando erros relativos menores que 6% quando aplicadas cargas de 3, 15 e 18 kgf, e acima de 10% com aplicação de 5 e 10 kgf.

Sobre as barras de aço, pode-se notar que os eixos de maior comprimento, 400 e 500 mm, tiveram resultados satisfatórios com pesos de 3 e 5 kgf, apresentando erros relativos semelhantes e progressivos; quanto maior o peso, maior o erro. Já as vigas menores, 125 e 250 mm, revelaram erros semelhantes, porém, maiores na maioria dos casos, quando aplicado pesos de 5 e 10 kgf.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, observa-se que a diferença percentual entre os dados analíticos e os experimentais foram maiores para as barras de aço, quando a deflexão é relativamente grande em relação à dimensão do material, visto que a Equação (1) é aplicada apenas para pequenas deformações, como fora adotado na sua modelagem.

Vale ressaltar a possível ocorrência de fontes de erro na parte experimental do estudo, haja vista a utilização de materiais comuns do cotidiano. Por se tratar muitas vezes de deformações diminutas, frações de milímetro fazem diferença no erro percentual. Uma evidência disso, é o fato de que na deflexão de vigas de madeira, os menores erros relativos de cada comprimento ocorreram com a carga de 15 kgf, ou seja, um intermediário, em que permite uma leitura melhor, por não provocar uma deflexão tão diminuta, e ao mesmo tempo não excede o intervalo de aplicação da teoria.

Ademais, a interdisciplinaridade no desenvolvimento do projeto motivou os alunos a busca por conhecimento, auxiliando na concretização dos conceitos e técnicas adquiridas em sala, no trabalho em equipe e no planejamento.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos professores orientadores pelo apoio técnico e científico, e ao Sr. Dirceu Eloi Comin, ao conceder material e experiência para o estudo prático em vigas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

BEER, Ferdinand P. *et al.* **Mecânica dos Materiais**. 7ª edição, Porto Alegre: AMGH Editora LTDA. 2015.

FERTIS, D. G. **Nonlinear Mechanics**. Florida: CRC Press. 1993.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais**. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT. 2013.

MOTT, Robert L; UNTENER, Joseph A. **Applied Strength of Materials**. 6ª edição, Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2018.

OLIVEIRA, Eliane Alves de; IGLIORI, Sonia Barbosa Camargo. **ENSINO E APRENDIZAGEM DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS: Um levantamento preliminar da produção científica**. Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana, Pernambuco. v. 4, n. 2, 2013.

PAVANELO, Elisangela; GERMANO, José Silvério Edmundo; FREITAS-LEMES, Priscila Lourenço. **A interdisciplinaridade em cursos de engenharia**. Belo Horizonte: Rev. Docência Ens. Sup, v. 7, n. 2, p. 130-148. 2017.

ROHAN, Ubiratan; SOARES, Carlos Alberto Pereira; FRANÇA, Sergio Luiz Braga; MEIRIÑO, Marcelo Jasmim. **A FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO CIVIL INOVADOR BRASILEIRO FRENTE AOS DESAFIOS DA TECNOLOGIA, DO MERCADO, DA INOVAÇÃO E DA SUSTENTABILIDADE**. In: XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão e III INOVARSE – Responsabilidade Social Aplicada, 2016, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2016.

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO DO MELHOR TRATAMENTO PARA A BORRA OLEOSA GERADA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Data de aceite: 02/01/2023

Wanderbeg Correia de Araujo

<http://lattes.cnpq.br/0048712613178365>

Haron Calegari Fanticelli

<http://lattes.cnpq.br/8587699224680121>

Jose Oduque Nascimento de Jesus

<http://lattes.cnpq.br/2444287966598848>

Artur Saturnino Rodrigues

<http://lattes.cnpq.br/9909221262743848>

RESUMO: O crescimento econômico e consequente aumento de demanda por bens de consumo vem gerando um crescente problema relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos tanto no Brasil como no mundo. Aliado a isso, existe o fato de não existirem materiais abundantes quando se trata de resíduos sólidos industriais. Esta realidade motivou este trabalho, que tem como objetivo principal a determinação da melhor alternativa para o tratamento da borra oleosa proveniente de uma empresa petroquímica. Para esta determinação foi utilizado o método de análise multi-critério AHP (*Analytic Hierarchy Process*), bastante utilizado em situações de tomadas de decisão onde é preciso levar em

consideração a experiência das pessoas. Desta forma, para a realização da estrutura hierárquica das alternativas e critérios, foi necessário a presença de especialistas da área de meio ambiente da empresa. A hierarquização das alternativas de tratamento abordadas no trabalho produziu como resultado final a pirólise como sendo a alternativa mais adequada ao problema em questão, com 41% de preferência frente às outras alternativas citadas no trabalho. Com os resultados obtidos pelas matrizes de comparação do método, foi possível concluir que há um aumento da preocupação por parte das empresas em relação ao gerenciamento de resíduos e seus possíveis impactos ao meio ambiente. Outra conclusão, porém, e que no Brasil ainda há a necessidade de crescer com relação à pesquisa e desenvolvimento na área de gerenciamento de resíduos sólidos industriais para que haja mais opções de tratamento e que estas sejam mais acessíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Método AHP, Resíduos sólidos, borra oleosa, Tecnologias para o tratamento de borra oleosa.

APPLICATION OF AHP METHOD TO AID IN THE DECISION MAKING OF BEST TREATMENT FOR OIL SLUDGE GENERATED BY PETROCHEMICAL INDUSTRY

ABSTRACT: The economic growth and the consequent increase in the demand for consumer goods has been generating a growing problem related to the management of solid waste both in Brazil and around the world. Allied to this, is the fact that there are no abundant material when it comes to industrial solid waste. This reality motivated this work, which main objective is to determine the best alternative for the treatment of oily sludge from a petrochemical company. For this determination, the AHP (Analytic Hierarchy Process) multi-criterion analysis method was used, widely used in decision-making situations where people's experience needs to be taken into account. Thus, to carry out the hierarchical structure of the alternatives and criteria, it was necessary the presence of specialists of the environmental area of the company. The hierarchy of the treatment alternatives addressed in this work produced as a final result the pyrolysis as being the most adequate alternative to the problem in question, with 41% preference over the other alternatives cited in the study. With the results obtained by the matrices of comparison of the method, it was possible to conclude that there is an increase of the concern on the part of the companies in relation to the waste management and its possible impacts to the environment. Another conclusion, however, is that in Brazil there is still a need to grow in relation to research and development in the area of industrial solid waste management so that there are more and more accessible treatment options.

KEYWORDS: AHP method, Solid waste, oily sludge, oily sludge treatment technologies.

1 | INTRODUÇÃO

A problemática dos resíduos sólidos no Brasil e no mundo é um tema muito abordado atualmente. O crescimento da economia e o conseqüente aumento da demanda por produtos de consumo vem gerando um aumento significativo na geração de resíduos. Com esse aumento, uma questão importante passa a se fazer presente: O que fazer com esses resíduos? Quando falamos então de resíduos industriais a questão fica ainda mais complexa devido ao seu grau de periculosidade.

Os resíduos de origem oleosa, muitas vezes presentes em indústrias petroquímicas, são considerados perigosos e com um potencial alto de contaminação do ar, solo e corpos hídricos. Dentre eles, a borra oleosa recebe especial atenção de acordo com Cerqueira (2011), visto que esta se caracteriza como resíduo perigoso, podendo ter em sua composição compostos tóxicos e carcinogênicos que trazem malefícios não só ao meio ambiente como à população também. Dessa forma, se faz necessária uma análise metódica da escolha para a destinação e/ou tratamento do mesmo, de forma que o resíduo não represente mais um problema à saúde e ao meio ambiente.

Atualmente existem diversos métodos de análise de decisão multi-critério que auxiliam na tomada da decisão. Nesse contexto, o método de análise hierárquica (AHP) se mostra como um método promissor. Por ser um método que leva em consideração o conhecimento e experiência de especialistas, o AHP tem sido bastante utilizado em

problemas de gerenciamento de resíduos, que geralmente são problemas complexos e com escolhas de certa forma subjetivas. De acordo com Frasson (2011), a ferramenta permite a modelagem do problema em uma estrutura hierárquica, tendo como resultado a alternativa mais indicada baseado nos critérios escolhidos para a avaliação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

O objetivo geral deste estudo é a utilizar do método AHP para determinação da melhor alternativa de tratamento/destinação do resíduo da borra oleosa de uma indústria petroquímica

1.1.2 Específicos

- Definir quais seriam as alternativas viáveis para destinação do resíduo da borra oleosa da indústria Petroquímica;
- Definir quais seriam os critérios mais importantes a serem utilizados para ponderar sobre o processo de escolha da melhor alternativa.
- Determinação do melhor tratamento para o resíduo da borra oleosa gerada na indústria Petroquímica

1.2 Estrutura do trabalho

Além desta introdução, o trabalho é dividido em outras quatro partes principais. O capítulo dois apresenta o referencial teórico da pesquisa, no qual se discute a problemática das indústrias e os resíduos sólidos no meio ambiente, a indústria petroquímica e o problema da borra oleosa, bem como discutir as principais formas de tratamento/destinação desse resíduo. Além disso, nessa seção, apresentou-se o método AHP.

No terceiro capítulo expõe os procedimentos metodológicos que foram empregados na pesquisa, caracterizando o tipo da pesquisa, a coleta dos dados, bem como definir os critérios e alternativas para tomada de decisão pelos especialistas na empresa estudada.

O quarto capítulo apresenta os resultados e a discussão da aplicação do método AHP na pesquisa. Por fim, no quinto capítulo, são feitas as conclusões finais do trabalho, apontando as vantagens e limitações deste, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A indústria petroquímica e a borra oleosa

Segundo Cerqueira (2011) a indústria petroquímica gera em seus processos produtivos uma quantidade considerável de resíduos sólidos. Dentre esses resíduos, um

que requer bastante atenção por parte das produtoras e dos órgãos ambientais é a borra oleosa. Por se tratar de um resíduo classificado como classe I pela Associação Brasileira de normas Técnicas – NBR 10004, a borra é considerada um resíduo perigoso e que necessita monitoramento de seu tratamento e/ou disposição.

A composição da borra oleosa é complexa e segundo Cerqueira (2011) depende do processo produtivo da unidade, tipo de separação água e óleo utilizado, dentre outros. No entanto, geralmente essa borra é composta basicamente por água, óleo e sólidos suspensos, e de acordo com Islam (2015), algumas das principais fontes de borra oleosa em plantas petroquímicas são sedimentos de fundo de tanque e resíduo de separador água e óleo.

De acordo com Islam (2015) estima-se que podem ser produzidos mais de 60 milhões de toneladas de borra oleosa por ano. Além disso, é esperado que a geração de borra cresça nos próximos anos devido à alta demanda de produtos vindos do petróleo, o que acende um alerta ainda maior para essa questão.

2.2 Principais tratamentos para resíduos sólidos

Existem diversos tipos de tratamento/disposição de resíduos, alguns deles são descritos abaixo:

2.2.1 Gaseificação

A gaseificação consiste em uma combustão parcial a altas temperaturas com deficiência de oxigênio, e envolve reações entre o carbono e o oxigênio com formação de gás de síntese (CO_2 , CO , CH_4 , H_2). De acordo com Soni e Naik (2016), na gaseificação o resíduo deixa de ser algo inútil, visto que os gases formados podem ser utilizados como combustível para gerar eletricidade ou vapor.

2.2.2 Incineração

Segundo Tocchetto (2005), a incineração consiste em uma combustão do material com excesso de oxigênio a temperaturas elevadas. O tratamento visa reduzir o volume do resíduo, tornando-o inerte e gerando energia. De acordo com Marchezetti et al. (2011) a redução de volume de resíduo pode chegar a 99% do volume inicial.

2.2.3 Pirólise

Conforme dito por Muniz (2004) a pirólise consiste em uma decomposição do resíduo através do calor e na ausência ou com o mínimo de oxigênio, de forma a agregar valor ao resíduo. Durante o processo, diferente da incineração, não há combustão do resíduo, e a quase ou total ausência de oxigênio inibe a formação de dioxinas e furanos.

Segundo Leme et al. (2017), o processo consiste em três etapas principais: a etapa

de secagem, onde os resíduos são aquecidos para a retirada da umidade; a etapa de pirolise, onde são alcançadas temperaturas de até 1600°C e onde ocorre a decomposição dos compostos do resíduo, gerando uma fração sólida (carbonizada) e uma fração gasosa; e a etapa de condensação dos gases provenientes da etapa anterior, onde são separados os gases não condensáveis da fração líquida.

2.2.4 Co-processamento

De acordo com Tocchetto (2005) o co-processamento consiste em um processo onde o resíduo é incinerado nos fornos de cimento, servindo como combustível para o processo, e as cinzas geradas são incorporadas ao clínquer, matéria prima para produção de cimento. Dessa forma, é possível observar que o método de co-processamento não só reduz a quantidade de resíduo como reutiliza o resíduo gerado durante o processo, evitando a necessidade de destinação.

2.3 Analytic Hierarchy Process (AHP)

2.3.1 Objetivos do método AHP

A ideia principal do método de análise hierárquica, mais conhecido pela sua sigla em inglês AHP (*Analytic Hierarchy Process*), é ser um método de apoio à tomada de decisão em problemas com múltiplos critérios. Ao nos depararmos com um problema, um gesto comum à natureza humana é o de procurar por alternativas para a resolução desse problema. Para fazer a escolha correta geralmente avaliamos essas alternativas baseados em determinados critérios, que ao serem ponderados nos levam a escolha final. Nesse contexto, o método AHP trabalha com o mesmo raciocínio, porém, ao invés de ficar restrito ao campo das ideias ele se estende para o campo da matemática. Desta forma, segundo Frasson (2011), o método se baseia no princípio de que a experiência humana é tão importante quanto os dados disponíveis, e, portanto, é necessário a presença de especialistas no assunto para que a decisão tomada seja a mais adequada para o problema.

2.3.2 Etapas do método AHP

Segundo Saaty (2008), para tomar uma decisão de forma organizada é necessário destrinchar a decisão nas seguintes etapas: definição do problema, estruturação da hierarquia da decisão, construção de uma matriz de comparação par a par, atribuição de pesos às prioridades.

2.3.3 O método AHP e sua aplicação em resíduos sólidos

De acordo com Goulart et al. (2017) o crescimento populacional, a urbanização e o desenvolvimento econômico tem levado a uma preocupação crescente com relação

ao gerenciamento dos resíduos sólidos. Por ter se tornado um tema demasiadamente discutido, as decisões que levam em conta fatores ambientais, segundo Huang et al. (2011) são geralmente complexas e exigem uma análise multidisciplinar. Dessa forma, segundo Huang et al. (2011), se faz necessário o uso de uma estrutura sistemática que nos permita organizar e analisar os dados de forma mais assertiva para a tomada de uma decisão.

Nesse contexto surge a análise de decisão multi-critério (MCDM ou MCDA), que segundo Huang et al. (2011) é uma metodologia que através da combinação dos dados com informações de custo/benefício e visões das partes interessadas visa classificar as alternativas disponíveis. Dentro das análises de multi-critério existem diversos métodos diferentes, cada um com suas vantagens e desvantagens.

O estudo feito por Goulart et al. (2017) utiliza 260 artigos relacionados ao uso de métodos MCDM no gerenciamento de resíduos sólidos, que foram obtidos através de diversas bases de pesquisa como Science Direct, Scopus, Wiley Online Library, entre outros. Para analisar todos os artigos foi necessário identificar palavras chave que consideravam determinados aspectos como: tipo de métodos MCDM, tipo de resíduo, objetivo do trabalho, entre outros. Além disso, para evitar erros no processo de análise dos dados, a divisão dos artigos de acordo com as palavras chave foi feita por dois pesquisadores de forma separada, e posteriormente em casos de divergências esses pontos eram discutidos. (GOULART *et al.*, 2017)

Outro estudo analisado neste trabalho foi o de Huang et al. (2011). O estudo teve o objetivo de fazer uma revisão bibliográfica dos artigos publicados que utilizaram métodos MCDA aplicado à área de meio ambiente. A grande maioria dos artigos selecionados foram retirados da base de dados da Web of Science (WOS), além do Journal of Multi-criteria decision analysis e Integrated Environmental Assessment and Management. A pesquisa foi feita associando a palavra-chave “MCDA” e refinada pelo assunto “meio ambiente”, do ano de 1990 até 2010 e contou com um total de 312 artigos. Os artigos que datam de 1990 a 2000 foram utilizados somente para a análise de tendência histórica, enquanto que os artigos que datam de 2000 a 2010 foram classificados para posteriores análises. As classificações feitas por Huang et al. (2011) se resumem a três categorias: método MCDA utilizado, área de aplicação e ferramentas complementares.

Em um terceiro estudo feito por Achillas et al. (2013) é feita uma revisão bibliográfica de artigos publicados que aplicam métodos MCDA na resolução de problemas de gerenciamento de resíduos. As publicações são classificadas de acordo com o método MCDA, ano de publicação e tipo de resíduo (Achillas et al., 2013). Além disso, diferente dos dois outros estudos mencionados, Achillas et al. (2013) faz ainda um outro agrupamento das publicações, separando-as em publicações que falam sobre os tipos de tratamento e disposição final do resíduo

Na publicação de Goulart et al. (2017) foi constatado que em 35% dos artigos analisados o método AHP foi utilizado, representando a maioria dos casos. Já no estudo

feito por Huang et al. (2011) do total de publicações analisadas 48% utilizaram o método AHP, enquanto que na revisão bibliográfica feita por Achillas et al. (2013) 34% dos artigos analisados aproximadamente utilizava o método AHP, sendo este, portanto o método mais utilizado.

A partir dos estudos analisados podemos perceber que o método AHP tem sido muito utilizado quando o assunto é resíduo sólido. Um exemplo de estudos publicados é o de Marchezetti et al. (2011). Os autores aplicaram o método AHP para a determinação da destinação mais adequada para os resíduos sólidos domiciliares gerados pelos municípios que fazem parte da região metropolitana de Curitiba. Nesse trabalho foram selecionados 11 critérios e 7 alternativas de destinação, e como resultado da aplicação do método foi definido que a reciclagem era a melhor alternativa neste caso. A autora salienta também que para cada cenário diferente será necessário comparar as tecnologias em função da nova condição adotada e, portanto, cada resultado é único, mesmo que leve em consideração as mesmas alternativas.

Já em outro estudo feito por Frasson (2011), o método AHP é utilizado como suporte para a tomada de decisão acerca da melhor alternativa para o tratamento e destinação de lodo biológico de agroindústrias. O trabalho foi aplicado em duas agroindústrias, uma de café solúvel e outra de processamento e embalagem de grão e cereais. A escolha das alternativas e critérios contou com a colaboração de especialistas de ambas as empresas e foram determinadas três alternativas e seis critérios. Para a primeira indústria e o resultado obtido como melhor alternativa foi a incineração com recuperação de energia, com 49% de preferência. Já para o segundo caso a alternativa considerada como mais adequada foi a disposição em solo agrícola, com 39% de preferência. Como conclusão do trabalho, o autor atesta que o método se mostrou simples e de fácil uso, permitindo que o objetivo do trabalho fosse alcançado.

Segundo Goulart et al. (2017), a predominância do método AHP em detrimento dos outros métodos existentes é devido à sua adequação aos tipos de problemas de gerenciamento de resíduos sólidos, pois o método permite que a parte interessada atribua pesos aos critérios e alternativas, o que no contexto do gerenciamento de resíduos é de frequente necessidade. Além disso, segundo Huang et al. (2011), a ampla utilização do método AHP nos temas relacionados ao meio ambiente, principalmente no gerenciamento de resíduos sólidos, pode estar relacionado com a disponibilidade de softwares que possibilitam o uso do método de forma fácil.

As revisões feitas por Goulart et al. (2017) e Huang et al. (2011) mostram um crescimento considerável de publicações que utilizam métodos de MCDM na área ambiental nos últimos anos. Huang et al. (2011) acreditam que esse crescimento pode ser devido ao aumento da complexidade dos problemas, bem como da disponibilidade de informações e da necessidade de uma tomada de decisão mais bem embasada. Dessa forma, é possível esperar um aumento promissor no uso dos métodos MCDM na área ambiental.

3 | MÉTODO

3.1 Caracterização da Pesquisa

O trabalho em questão tem o intuito de mostrar de forma prática como o método AHP pode ser uma ferramenta importante para tomada de decisão até mesmo em locais complexos como a indústria petroquímica. A partir dos resultados obtidos pelos questionários elaborados, e baseado nos critérios escolhidos, será possível chegar a um resultado que nos dará a informação de qual a melhor alternativa para tratamento de um resíduo muito comum da indústria petroquímica, a borra oleosa.

O trabalho consistiu basicamente em três pontos principais. A primeira etapa consistiu em um estudo acerca do tema resíduos sólidos e mais especificamente os tratamentos e destinações existentes atualmente para a borra oleosa. A segunda etapa do trabalho consistiu em estudar o método AHP. Por fim, a última etapa consistiu na aplicação do método AHP, a partir dos resultados obtidos pelos questionários para o resíduo em questão e análise dos resultados.

O resíduo abordado no trabalho é proveniente de uma indústria petroquímica localizada no polo petroquímico de Camaçari. A primeira e segunda etapas do método AHP, que consistem na escolha das alternativas e critérios e na aplicação do questionário, foram realizadas com o auxílio de especialistas da área da empresa em questão. Dessa forma, foram realizadas duas reuniões com a equipe. Na primeira reunião foi realizado um *brainstorming* para a escolha das alternativas e critérios. Já na segunda reunião os especialistas responderam os questionários de forma que as escolhas das notas (considerando a escala numérica de Saaty) foram dadas em conjunto.

Por fim, com os resultados obtidos através dos questionários foi possível a implementação do método AHP para a escolha da melhor alternativa de tratamento para o resíduo.

3.2 Coleta de dados

Os dados foram obtidos através de questionários elaborados pela autora. Para o preenchimento desses questionários foi requisitado que três engenheiros químicos que trabalham na área de meio ambiente da empresa utilizada no estudo de caso da pesquisa participassem. Os especialistas têm conhecimento no assunto e conhecem bem todas as alternativas apresentadas no trabalho.

O questionário consiste em uma série de tabelas onde os especialistas devem indicar, par a par, quais critérios eles consideram mais importantes, quais alternativas em relação a determinado critério eles acreditam ser mais importantes e qual o nível dessas importâncias. Os questionários podem ser vistos nos anexos 1 e 2.

3.3 Aplicação do Método AHP na empresa alvo de estudo

Para a aplicação do método foi necessário passar os dados obtidos pelos questionários para as matrizes de comparação paritária. Em seguida, todos os passos do método AHP descritos no capítulo 2.3.2 do presente trabalho foram seguidos.

3.3.1 Critérios e alternativas para tomada de decisão pelos especialistas da empresa estudada

Para a determinação dos critérios e alternativas foram estudados cinco critérios e quatro alternativas. Quanto aos critérios foram escolhidos:

1. Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica): Refere-se à quantidade de poluentes que determinada alternativa gera. Quanto menos poluentes são gerados, mais ambientalmente adequado é o método.
2. Custo de investimento na tecnologia: Refere-se ao custo esperado caso não exista empresa terceira que realize o determinado tratamento ou disposição e seja necessário implementar nova tecnologia na própria planta.
3. Custo com o tratamento: Refere-se aos custos com o tratamento ou destinação do resíduo para aquela alternativa.
4. Fator logístico: Refere-se ao transporte do resíduo até o local de tratamento/destinação.
5. Aproveitamento energético: Refere-se à possibilidade de a tecnologia de tratamento reverter parte do resíduo em energia.

As alternativas escolhidas para o tratamento/destinação da borra oleosa foram abordadas no capítulo 2.2, sendo elas:

1. Gaseificação
2. Incineração
3. Pirolise
4. Co-processamento

3.3.2 Aplicação do método

A aplicação do método seguiu o passo a passo citados no item 2.3.2. Foi realizado estudo acerca das alternativas e critérios considerados adequados para a resolução do problema a serem utilizados e após esse estudo foi possível a criação da estrutura hierárquica. A estrutura hierárquica geral do método é demonstrada na Figura 1.

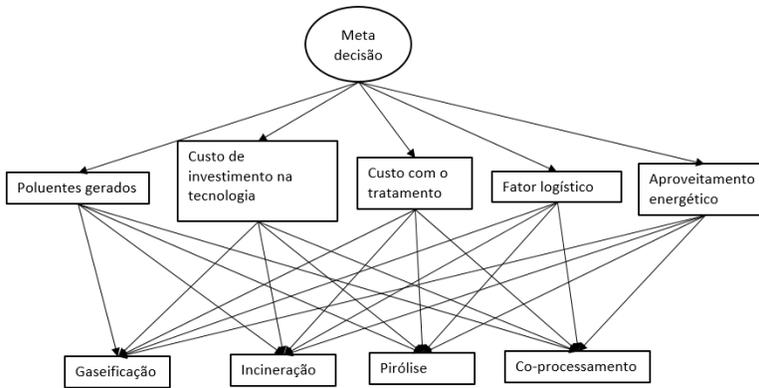


Figura 1: Hierarquização do problema

Fonte: Adaptado de Gartner (2001)

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da metodologia AHP foi possível chegar a um resultado de tratamento mais indicado para o resíduo em questão. O preenchimento do questionário foi feito por uma equipe de três especialistas da área de meio ambiente que trabalham na empresa. Durante as reuniões a equipe discutiu como chegar a uma conclusão nas respostas, o que leva a uma maior confiabilidade nas respostas e menores chances de inconsistência nas mesmas, confirmado nas tabelas de resultado mostradas abaixo.

Os resultados obtidos para a comparação entre os critérios podem ser observados na Tabela 1.

Crítérios	Crítério 1	Crítério 2	Crítério 3	Crítério 4	Crítério 5
Crítério 1	1	5	3	7	5
Crítério 2	1/5	1	1	3	5
Crítério 3	1/3	1	1	5	5
Crítério 4	1/7	1/3	1/5	1	3
Crítério 5	1/5	1/5	1/5	1/3	1

Legenda:

Crítério 1 – Poluentes gerados.

Crítério 2- Custo de investimento na tecnologia.

Crítério 3 – Custo com o tratamento.

Crítério 4 – Fator logístico.

Crítério 5 – Aproveitamento energético.

Tabela 1: Resultado das matrizes de comparação paritária dos critérios

Fonte: O autor (2018)

Em seguida foi feita a normalização das notas e foi calculado o vetor prioridade média local, cujos resultados podem ser observados na Tabela 2.

Critérios	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Critério 4	Critério 5	Prioridade média local
Critério 1	0,533	0,664	0,556	0,429	0,263	0,489
Critério 2	0,107	0,133	0,185	0,184	0,263	0,174
Critério 3	0,178	0,133	0,185	0,306	0,263	0,213
Critério 4	0,076	0,044	0,037	0,061	0,158	0,075
Critério 5	0,107	0,027	0,037	0,020	0,053	0,049
$\lambda_{m\acute{a}x} = 5,391, IC = 0,098, RC = 0,087$						

Legenda:

Critério 1 – Poluentes gerados.

Critério 4 – Fator logístico.

Critério 2- Custo de investimento na tecnologia.

Critério 5 – Aproveitamento energético.

Critério 3 – Custo com o tratamento.

Tabela 2: Normalização dos valores dos critérios e cálculo da prioridade média local

Fonte: O autor (2018)

A prioridade média local mostra qual critério foi considerado como mais importante para os tomadores de decisão e qual a grandeza dessa importância.

É possível observar nas Tabela 2 que todos os valores de índice de consistência se encontram abaixo de 0,1, como recomendado por Saaty (1987), o que significa que as escolhas possuem consistência satisfatória.

A partir dos resultados acima, foi possível observar que dentre os critérios apresentados, o primeiro (Poluentes gerados – 0,489) se mostrou como o mais importante para os especialistas. Nesse critério foi observado a geração de efluente líquido, resíduo sólido e emissão atmosférica. Essa importância dada ao critério de poluentes gerados por parte dos especialistas mostra uma crescente preocupação com os possíveis impactos ambientais causados pela ação humana.

Já o critério de aproveitamento energético foi considerado como menos importante (0,049). Isto porque, o principal intuito desse trabalho é escolher um método termoquímico para tratar o resíduo em questão, focando na mitigação do seu impacto ambiental e não na geração de energia.

Em seguida, a partir das respostas obtidas através do segundo questionário, foi possível obter as seguintes matrizes de comparação para as alternativas (Tabela 3):

Critério 1	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Critério 2	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1	7	1/3	5	Alternativa 1	1	3	1/3	5
Alternativa 2	1/7	1	1/9	1/3	Alternativa 2	1/3	1	1/5	1
Alternativa 3	3	9	1	5	Alternativa 3	3	5	1	7
Alternativa 4	1/5	3	1/5	1	Alternativa 4	1/5	1	1/7	1
Critério 3	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Critério 4	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1	1/3	1	1/5	Alternativa 1	1	1/5	1	1/5
Alternativa 2	3	1	3	1/3	Alternativa 2	5	1	5	1
Alternativa 3	1	1/3	1	1/5	Alternativa 3	1	1/5	1	1/5
Alternativa 4	5	3	5	1	Alternativa 4	5	1	5	1
Critério 5	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4					
Alternativa 1	1	7	3	5					
Alternativa 2	1/7	1	1/5	1/3					
Alternativa 3	1/3	5	1	5					
Alternativa 4	1/5	3	1/5	1					

Legenda:

Alternativa 1 – Gaseificação.

Alternativa 3 – Pirólise.

Alternativa 2 – Incineração.

Alternativa 4 – Co-processamento.

Tabela 3: Resultado das matrizes de comparação paritária das alternativas

Fonte: O autor (2018)

Os valores das matrizes foram normalizados e o vetor prioridade média local foi calculado, obtendo como resultado os valores apontados na Tabela 4:

Critério 1	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Prioridade média Local	Critério 2	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Prioridade média Local
Alternativa 1	0,230	0,350	0,203	0,441	0,306	Alternativa 1	0,221	0,300	0,199	0,357	0,269
Alternativa 2	0,033	0,050	0,068	0,029	0,045	Alternativa 2	0,074	0,100	0,119	0,071	0,091
Alternativa 3	0,691	0,450	0,608	0,441	0,548	Alternativa 3	0,662	0,500	0,597	0,500	0,565
Alternativa 4	0,046	0,150	0,122	0,088	0,101	Alternativa 4	0,044	0,100	0,085	0,071	0,075
$\lambda_{m\acute{a}x} = 4,179, IC = 0,060, RC = 0,066$						$\lambda_{m\acute{a}x} = 4,083, IC = 0,028, RC = 0,031$					
Critério 3	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Prioridade média Local	Critério 4	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Prioridade média Local
Alternativa 1	0,100	0,071	0,100	0,115	0,097	Alternativa 1	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Alternativa 2	0,300	0,214	0,300	0,192	0,252	Alternativa 2	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
Alternativa 3	0,100	0,071	0,100	0,115	0,097	Alternativa 3	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Alternativa 4	0,500	0,643	0,500	0,577	0,555	Alternativa 4	0,375	0,375	0,375	0,375	0,375
$\lambda_{m\acute{a}x} = 4,044, IC = 0,0145, RC = 0,0161$						$\lambda_{m\acute{a}x} = 4,000, IC = 0, RC = 0$					
Critério 5	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Prioridade média Local						
Alternativa 1	0,597	0,438	0,682	0,441	0,539						
Alternativa 2	0,085	0,063	0,045	0,029	0,056						
Alternativa 3	0,199	0,313	0,227	0,441	0,295						
Alternativa 4	0,119	0,188	0,045	0,088	0,110						
$\lambda_{m\acute{a}x} = 4,235, IC = 0,078, RC = 0,087$											

Legenda:

Alternativa 1 – Gaseificação.

Alternativa 3 – Pirólise.

Alternativa 2 – Incineração.

Alternativa 4 – Co-processamento.

Tabela 4: Normalização dos valores das alternativas e cálculo da prioridade média local

Fonte: O autor (2018)

Assim como na matriz de comparação dos critérios (Tabela 3), nas de comparação das alternativas também foi observado que todos os índices de consistência ficaram abaixo de 0,1.

Durante a reunião com os especialistas, foi possível observar que o critério que mais apresentou dificuldade na determinação das notas para a comparação das alternativas foi o de custo de investimento, o que se deve ao fato da falta de informação precisa com relação a esses valores, principalmente quando se trata de escala industrial. Dessa forma, para a determinação das notas para as alternativas com relação ao custo de investimento na tecnologia foi necessário recorrer à literatura aliada à experiência dos especialistas.

Quando se fala no critério poluentes gerados, considerado como critério mais importante, a alternativa que obteve maior nota foi a pirólise, seguida da gaseificação. Essas alternativas obtiveram maiores notas pois, por serem tecnologias que utilizam pouco ou nenhum oxigênio no seu processo, tem chances muito menores de emanarem gases tóxicos quando comparado às outras duas alternativas.

Já quando se fala no critério fatores logísticos, as alternativas co-processamento e incineração obtiveram as maiores notas. Isso se deve ao fato de existirem unidades de tratamento das alternativas mencionadas próximo à empresa alvo de estudo na pesquisa, o que reduz bastante os possíveis problemas relacionados a fatores logísticos.

Por fim, com as prioridades médias locais calculadas para os critérios e para as alternativas, foi possível encontrar o vetor decisão, mostrado na Tabela 5:

Criférios/ Alternativas	Crifério 1	Crifério 2	Crifério 3	Crifério 4	Crifério 5	Vetor decisão
Vetor criférios	0,489	0,174	0,213	0,075	0,049	
Alternativa 1	0,306	0,269	0,097	0,125	0,539	0,253
Alternativa 2	0,045	0,091	0,252	0,375	0,056	0,122
Alternativa 3	0,548	0,565	0,097	0,125	0,295	0,410
Alternativa 4	0,101	0,075	0,555	0,375	0,110	0,214

Tabela 5: Cálculo do vetor decisão

Fonte: A autora (2018)

Desta forma, a partir dos dados obtidos pela Tabela 5, é possível ordenar as alternativas da seguinte forma, onde a primeira colocada foi a que obteve melhor pontuação pelos especialistas, sendo assim a mais indicada como destinação:

- 1º. Pirólise (41,0%)
- 2º. Gaseificação (25,3%)
- 3º. Co-processamento (21,4%)
- 4º. Incineração (12,2%)

Como é possível observar, a alternativa que obteve maior nota foi a Pirólise. A tecnologia de Pirólise possui diversas vantagens quando comparada às outras alternativas. O fato de as reações na Pirólise ocorrerem de forma que praticamente não há geração de gases tóxicos faz com que ela obtenha notas muito maiores frente às outras alternativas no quesito “Poluentes gerados”, o que impactou bastante no resultado final. Além disso, de acordo com Marchezetti et al. (2011) o custo com a implementação da tecnologia se apresenta como o mais baixo.

Porém, o método ainda precisa ser mais estudado em escala industrial para avaliar a viabilidade financeira da implementação da tecnologia na empresa. Desta forma, é aconselhável a realização de um estudo de viabilidade técnica e financeira anteriormente

à aplicação da solução.

5 | CONCLUSÕES

Muitas vezes nos deparamos com problemas onde a decisão a ser tomada depende de muitos fatores, inclusive humanos, o que torna a tomada de decisão complicada. Nesse contexto, a realização do trabalho possibilitou o conhecimento mais aprofundado de uma técnica que visa exatamente aliar fatores não exatos, como a opinião das pessoas, à uma técnica matemática.

Durante a realização do trabalho, principalmente na etapa de revisão bibliográfica, foi observado uma falta de material disponível quando se restringia a busca à área industrial. Nesse contexto o sucesso do presente trabalho se apresenta como um incentivo à utilização do método AHP na indústria.

O uso da metodologia de AHP se mostrou adequada para ser utilizada em situações complexas onde a experiência e conhecimento das pessoas precisam ser levados em consideração. Como resultado final a pirólise foi escolhida como melhor alternativa e o resultado obtido foi satisfatório, comprovando que o uso do método AHP para o gerenciamento de resíduos sólidos é eficaz.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros:

- Realização de análise mais aprofundada de viabilidade econômica para a implementação de unidade de pirolise na empresa
- Utilização de outro método Multi-Critério e comparação dos resultados
- Aplicação do método AHP para outras situações de tomada de decisão na empresa

REFERÊNCIAS

ACHILLAS, C.; MOUSSIOPOULOS, N.; KARAGIANNIDIS, A.; BANIAS, G.; PERKOULIDIS, G. The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: A literature review. *Waste Management and Research*, v.31, n.2, p.115–129, 2013.

CERQUEIRA, V. S. (2011). *Biorremediação de borra oleosa proveniente de indústria Petroquímica em microcosmos*. Porto Alegre, 2011. 213p. (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente/UFRGS).

ENGINEERS, N. B. C. *Handbook on Recycling and Disposal of •Hospital Waste •Municipal Solid Waste •Biomedical Waste •Plastic Waste*. NIIR PROJECT CONSULTANCY SERVICES, 1999.

- FRASSOM, A. C. Escolha de Alternativa Tecnológica para Tratamento e destino final de Lodo Gerado no Tratamento de Efluentes Líquidos de Agroindústrias com base no Método AHP. Londrina, 2011. 86.p.(Mestrado – Programa de Pós em Engenharia de Edificações e Saneamento/UEL)
- GARTNER, I. R. *Avaliação ambiental de projetos em bancos de desenvolvimento nacionais e multilaterais: evidências e propostas*. Brasília – DF. Editora Universa. 2001.
- GOULART C. L. M.; LANGE, L. C.; COELHO, H. M. Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. *Waste Management & Research*, v.35, n.1, p.3–28, 2017.
- HUANG, I. B., KEISLER, J., & LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, v.409, n.19, p.3578–3594, 2011.
- ISLAM, B. Petroleum sludge, its treatment and disposal: A review. *International Journal of Chemical Sciences*, v.13, n.4, p.1584–1602, 2015.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner et al. (Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, U.S. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. *Ambiente Construído*, v.11, n.2, p.173–187, 2011.
- MARTINS, M. C. Método de análise hierárquica aplicado ao planejamento de uma rede óptica passiva. São Paulo, 2015. 83p. (Graduação – Departamento de Engenharia Elétrica e Computação/USP).
- MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Cogeração de Energia. Estudo para a Região Metropolitana de Goiânia. *Revista da Engenharia Ambiental da Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO*, v. 2, p.1-18, 2006.
- OLIVEIRA, C. A.; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre a Obtenção de Vetores de prioridade no AHP. In: Encontro Nacional de Docentes, 2008, Posadas. Anales do EPIO, 2008. v. 1.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, v.1, n.1, 83, 2008.
- SAATY, R. W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, v.9, n.5, p.161–176, 1987.
- SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v.48, n.1, p.9–26, 1990.
- SANTOS, P. C. Recentes impactos da Indústria Petroquímica sobre o parque de refino. Rio de Janeiro, 2008. 144p. (Mestrado - Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos/UFRJ)
- SOUTO, L. B. Modelo de apoio multicritério à decisão aplicado à destinação de resíduos sólidos industriais. São José dos Campos, 2014. 188p. (Mestrado – Mestrado profissional em Produção/ITA)

APÊNDICE

Apêndice 1: Questionário da importância dos critérios

Critério 1	Importância	Critério 2	Critério 2	Importância	Critério 4
Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Custo de investimento na tecnologia	Custo de investimento na tecnologia	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Fator Logístico
Critério 1	Importância	Critério 3	Critério 2	Importância	Critério 5
Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Custo com o tratamento	Custo de investimento na tecnologia	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Aproveitamento energético
Critério 1	Importância	Critério 4	Critério 3	Importância	Critério 4
Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Fator Logístico	Custo com o tratamento	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Fator Logístico
Critério 1	Importância	Critério 5	Critério 3	Importância	Critério 5
Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Aproveitamento energético	Custo com o tratamento	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Aproveitamento energético
Critério 2	Importância	Critério 3	Critério 4	Importância	Critério 5
Custo de investimento na tecnologia	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Custo com o tratamento	Fator Logístico	<input type="checkbox"/> Igual <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Muito forte <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Extrema <input type="checkbox"/>	Aproveitamento energético

Apêndice 2: Questionário da importância das alternativas

Critério 1: Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)			Critério 1: Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)			Critério 1: Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 2	Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4
Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Inclusão	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 2: Custo de investimento na tecnologia			Critério 2: Custo de investimento na tecnologia			Critério 2: Custo de investimento na tecnologia		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 2	Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4
Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Inclusão	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 3: Custo com o tratamento			Critério 3: Custo com o tratamento			Critério 3: Custo com o tratamento		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 2	Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4
Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Inclusão	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 4: Fator logístico			Critério 4: Fator logístico			Critério 4: Fator logístico		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 2	Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4
Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Inclusão	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 5: Aproveitamento energético			Critério 5: Aproveitamento energético			Critério 5: Aproveitamento energético		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 2	Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4
Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Inclusão	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Classificação	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	

Critério 1: Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)			Critério 1: Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)			Critério 1: Poluentes gerados (Resíduos, efluente, emissão atmosférica)		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4	Alternativa 3	Importância	Alternativa 4
Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento	Proibição	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 2: Custo de investimento na tecnologia			Critério 2: Custo de investimento na tecnologia			Critério 2: Custo de investimento na tecnologia		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4	Alternativa 3	Importância	Alternativa 4
Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento	Proibição	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 3: Custo com o tratamento			Critério 3: Custo com o tratamento			Critério 3: Custo com o tratamento		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4	Alternativa 3	Importância	Alternativa 4
Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento	Proibição	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 4: Fator logístico			Critério 4: Fator logístico			Critério 4: Fator logístico		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4	Alternativa 3	Importância	Alternativa 4
Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento	Proibição	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	
Critério 5: Aproveitamento energético			Critério 5: Aproveitamento energético			Critério 5: Aproveitamento energético		
Alternativa 1	Importância	Alternativa 3	Alternativa 1	Importância	Alternativa 4	Alternativa 3	Importância	Alternativa 4
Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Proibição	Inclusão	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento	Proibição	<input type="checkbox"/> Igual	Co-processamento
	<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada			<input type="checkbox"/> Moderada	
	<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte			<input type="checkbox"/> Forte	
	<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte			<input type="checkbox"/> Muito forte	
	<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema			<input type="checkbox"/> Extrema	

CAPÍTULO 5

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED IN DIFFERENT AREAS OF ROBOTICS

Data de aceite: 02/01/2023

Márcio Mendonça

Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Departamento Acadêmico de Computação
(DACOM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0838678901162377>

João P. S. Bertocini

Mestre do CPGI do Programa de Pós-
Graduação em Informática.
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0802355301406373>

Ivan R. Chrun

Faculdade de Engenharia e Inovação
Técnico Profissional, Faculdade
de Engenharia e Inovação Técnico
Profissional.
Maringá-PR
<http://lattes.cnpq.br/0858072527100289>

Wagner Fontes Godoy

Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/7337482631688459>

José Augusto Fabri

Departamento Acadêmico de Computação
(DACOM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1834856723867705>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Lucas Botoni de Souza

Mestre PPGEM CP/PG- Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5938489268359300>

Emanuel Ignacio Garcia

Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8501809850590859>

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Departamento de Matemática ETEC-
Estácio de Sá
Ourinhos-SP
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

ABSTRACT: Artificial intelligence is a multidisciplinary area, knowledgeable systems, one of its divisions. Which use programming techniques that emulate human behaviour. The expansion of technology, and consequently, processing capacity, significantly increased applications in different research areas, such as electrical engineering, computer science, and economics. Techniques such as deep learning from approximately 2010 onwards have grown exponentially. This work aims to present some fundamental concepts and objectively some of the main applications of artificial intelligence, or intelligent computational techniques in robotics, such as humanoid robots, swarm robotics, robotics in agriculture, among others, due to the already large and expansive universe of robotics, few areas of application were addressed. This article presents a forecast of the growth of robotics in the industry, considering autonomous robotics to be one of the pillars of industry 4.0. Despite the difficulty of forecasting in technological areas, it is intended to contribute to this direction. This work ends with a conclusion and address future investigations.

KEYWORDS: Artificial Intelligence; Autonomous Vehicle; Precision agriculture; Unmanned aerial vehicle.

1 | INTRODUCTION

For many researchers, robotics is divided into two areas: programmed robotics and intelligent robotics; in programmed robotics, if there is any change in the robot's activity, it will have to be reprogrammed. On the other hand, in autonomous robotics, the robot must learn and adapt (two premises of artificial intelligence, specifically intelligent computational systems) (Corke P. 2011).

The imitation of human behavior has always been the inspiration for intelligent robotics. In addition to currently processing decision-making capability (Hexmoor, H. 2013), (Russel S.; Norvig P. 2020) these two areas must work together in autonomous robotics, and it is currently almost impossible to separate one from the other (Siciliano, B. 2012). Furthermore, as mentioned above, autonomous robotics tends to grow in industrial applications as it is one of the pillars of industry 4.0 (Faz-Mendoza, A. *et al*, 2020).

Artificial intelligence (AI) is a division of computing bioinspired by human intelligence, one of its motivations and objectives is to design and study intelligent agents capable of dealing with the inputs of the system in which it operates, obtaining an output that meets the objectives of its designer.

According to researchers like Brooks (Brooks, R. 1986), for example. The areas of study are based on human beings, involving thought and reasoning processes, and on rationalism with a combination of mathematics and engineering measuring their behavior with the ideal concept of intelligence. Currently, the author's different AI techniques and human cognition into distinct areas allow both to develop, as in computer vision, and natural language processing, which incorporates neurophysiological evidence into computer models (Coppin B. 2004).

AI today is already present in several areas, and the trend is for it to be more used

and applied in areas still unexplored with this tool. In general, robotics already works together with AI enabling applications in several areas with promising perspectives, such as agriculture (Siciliano, B. 2012), military (Brooks, R. 1986), social (e.g., the rescue of victims) (Soares, P. *et al*, 2018), games (virtual agents) (Wooldridge, M. 2009), among others.

Numerous other classes of robots benefit from AI, some are only conceivable with AI, and this pair is gaining more and more ground. With these technologies evolving more and more, the discussion and implementation of these contents in the course curricula have become advantageous and differential in research, such as the Boston Dynamics Funky Feet and the Atlas, which benefit from greater agility (Russel S.; Norvig P. 2020).

This article presents, in Section 2, the historical context of artificial intelligence and its evolution. Then, section 3 presents applications of artificial intelligence in robotics, particularly the use of robots in agriculture, due to the expansion of this area of the agricultural industry in Brazil, which is still lacking in state-of-the-art technology. Section 4, on the other hand, emphasizes robots, a priori with more difficulty and need for voice recognition systems, robotic vision, advanced control, and autonomous decision-making, with fall and stand functions, such as the Asimo, for example. In Section 5, a forecast of robotics growth in industries is presented. Moreover, finally, section 6 closes and suggests further investigations.

2 | BACKGROUND

In this section, the main concepts circumscribed to the theme will be approached to help understand this work, from the origin of artificial intelligence to its advances with machine learning and deep learning.

The first work recognized as AI was done by Warren McCulloch and Walter Pitts in 1943 (Haykin, S. S. 2009). They drew on three sources: knowledge of the basic physiology and function of neurons in the brain; formal analysis of propositional logic created by Russell and Whitehead; and Turing's theory of computation (Russel S.; Norvig P. 2020).

In its early years, it generated enthusiasm in the scientific community, but it still had the limitations of computers and programming tools. This fact led to frustration, as the first developed systems failed when they were tried on larger problem sets or more complex problems.

In the mid-1980s, at least four different groups reinvented the backward programming learning algorithm, first discovered in 1969 by Bryson and Ho. As a result, the algorithm was applied to many problems, causing great excitement, and marking its research and development return. Currently, AI is applied in the most varied areas, from learning and perception to specific tasks, such as games, demonstrating mathematical theorems, creating poetry, driving an autonomous vehicle on busy roads, and diagnosing diseases such as covid-19, for example (Roy S. *et al*. 2020).

Machine Learning (ML), one of the divisions of intelligent computational systems that is a division of AI, gives the system the ability to learn and improve its performance based on experience and knowledge about the task it performs, without the need to be explicitly programmed, in this example used to make complex decisions in negotiations (Aydoğan, R. et al, 2018).

This tool, combined with robotics, allows the robot to become an expert in its performance. With this, the ML is an excellent ally of robotics.

With the computational expansion in the early 2000s, due to Big Data and parallel programming in GPUs (Graphics Processing Unit or Graphics Processing Unit), the market saw a growth in computational techniques. This enabled deep learning (Deep Learning) as the essential and promissory mechanism for building Artificial Intelligence systems.

Inserted in ML, Deep Learning (DL), in a simplistic view, consists of an Artificial Neural Network (ANN) with several hidden layers, which makes possible other training algorithms different from the conventional ones for simpler ANNs. Some authors say that there is already a DL structure with more than ten layers hidden in an ANN (Haykin, S. S. 2009). DL has successfully increased image recognition, speech, pattern, and structure recognition applications, enabling numerous applications and applications in conjunction with robotics (Brooks, R. 1986).

It is essential to emphasize predictions of a computational superintelligence by Rodney Brooks that will be equivalent to or surpass human intelligence in a few decades. This context, among other technological advances, can be seen in the work of Zhang and collaborators (Roy S. *et al.* 2020), which, in addition to superintelligence, addresses the advancement of the internet of things IoT to the super internet of things, the need for a sixth generation of communication speed and the promising area of machine learning, such as deep learning for example.

3 | APPLICATIONS

There are numerous areas in which Artificial Intelligence can be applied, and with technological development, its applications in robotics are increasingly present. Some examples of virtual robots are used in military applications to create prototypes that help in fields such as cartography, communications, and battlefield advising, assisting people, and space exploration, such as the Rover, swarm robotics. Some of these application examples will be presented, emphasizing humanoid robots, among others, such as agricultural applications due to the strong development of the agricultural industry in Brazil.

3.1 Robotics competitions

There are different types of robotic competitions, even challenges between robots. The Defense Advanced Research Projects Agency DARPA is a US Department of Defense

research and development agency that promotes emerging technologies, particularly for military use (Faz-Mendoza, A. *et al*, 2020).



Figure 1: The Robot Thor, from DARPA challenge.

Source: Boston Dynamics.

Recently, a steelmaker, “Vale do Rio Doce, in portuguese”, in Brazil, made available a real, inhospitable problem (causes fire) to inspect its conveyor belts. The competition was through simulated experiments.

For example, virtual robots will autonomously inspect a kilometer of treadmills. It is noteworthy that it was the first competition promoted in Brazil and the results are not yet A it is believed that in the not-too-distant future they were promising. In Figure 1, an example of a DARPA challenge, the robot Thor.

3.2 Rescue operations robots

The main challenge of disasters is response time: survival rates drop significantly after 48 hours. Therefore, first responders need to move as quickly as possible, avoiding static and dynamic obstacles, and cover the most expansive area to reach all potential victims to save their lives. An emerging alternative to human first responders is emerging in disaster rescue robots or search and rescue (Aydođan, R. *et al*, 2018).

B&S tasks need to deal with scenario exploration and require the determination of all victims’ locations without jeopardizing the rescuers’ lives. These restrictions make B&S challenging tasks for human beings, and a possible solution to the disadvantage is the use of robot systems, in particular SMR (O’Grady R. *et al*, 2011). However, RD robots have not been widely adopted due to their relative newness, but that landscape is changing as

technology evolves. As of 2012, they have been used in approximately 30 disasters in six countries, mainly in mining and structural construction collapses (Hexmoor, H. 2013).

Several papers addressed exploration and B&S objectives using swarm based SMR. The article (O'Grady R. *et al*, 2011) presents a behavior-based swarm of robots to perform B&S operations in unfamiliar environments. Unlike this work, the stopping criterion for simulations is a fixed number of steps, and a selected leader dynamically guides the swarm. Robots are controlled with fuzzy logic.

3.3 Spatial exploration robots

Robots employed in space exploration are examples of the importance of autonomous robotics. Explorations over very long distances, such as Mars, are clear instances of this need. Although robots at this distance in current technology cannot be manned and cannot be steered, a signal from a sensor would take, and a control action would take approximately 8 minutes to reach land. Therefore, it makes the controllability principle unfeasible, in other words, possible with a delay of more than 15 minutes. In other words, a robot that performs maneuvers without human intervention is unfeasible (Mendonça, M. *et al*, 2019). An example is shown in Figure 2.



Figure 2: Perseverance, NASA.

Source: NASA.

3.4 Swarm robotics

Swarm robotics uses swarm intelligence concepts inspired by natural phenomena such as collective behaviors seen in social insects, fish, birds, and bats (Rizk, Y.; Awad, M.; Tunstel, E. W. 2018). A common characteristic of intelligent behaviors is producing something orderly, unlikely to occur, and presenting unpredictable results (Beni G. 2005). The primary

motivation for employing swarm intelligence techniques, such as swarm robotics, is their ability to solve problems typically challenging for conventional computational techniques (Li, X.; Clerc, M. 2019).

In this sense, swarm robotics can be defined as the study of how a large group of relatively simple agents (robots) in hardware can be built to perform tasks that are beyond the capabilities of a single agent (Şahin, E. 2005). Thus, there is a need to use a swarm of robots only if the desired tasks can be performed at the team level or if completion time is a determining factor for achieving the objectives. In other words, increasing the number of robots in a group can significantly reduce the time to complete these tasks (Khamis, A.; Hussein, A.; Elmogy, A. 2014).

Using swarm robotics has three main benefits. The first is robustness; that is, the loss of some robots will not cause system failures and will not interrupt the execution of the proposed tasks (Şahin, E. 2005).

The second benefit is flexibility, as the hardware for these robots is not necessarily customized for a particular task. By cooperating and grouping differently, the swarm of robots can also perform other tasks, whereas a complex robot would need a reconfiguration or reformulation of its structure. Finally, there is scalability. A robotic swarm algorithm can be applied unchanged to a group of any reasonable size due to its dependence on local information alone. Any global communication would prohibit scalability and is avoided in this type of system (Hamman, H. 2010).

Although a swarm of robots (exemplified in Figure 3 (McLurkin, J. 2019) does not have centralized control, the swarm (or population) level system reveals remarkable complex and self-organizing behaviors, often because of local interactions between individuals in the swarm. and individuals with the environment, based on simplistic interaction rules (Li, X.; Clerc, M. 2019). In general, one of the relevant characteristics for multirobot systems employing SWARM ROBOTICS is the use of a massive number of robots, in some cases tens of hundreds or thousands of robots, as can be seen in the Figure 3.



Figure 3: Swarm Robotics example.

Source: Peter Corke, 2011.

The robots in a swarm can exhibit different behaviors, such as grouping, chaining, searching, aggregating, and foraging. These behaviors are classified as collective, cooperative, collaborative, and coordinating. Perhaps the simplest type of interaction is collective, in which entities do not know other entities on the team, but share objectives, and their actions are beneficial to other team agents. In cooperative interaction, agents also share goals, and their actions are beneficial to other agents. However, they are aware of the other entities present in the group. An example of this type of interaction is several robots working together to perform a joint task such as pushing a box (Parker, L. E. 2008).

Collaborative interaction is characterized by agents that help each other to achieve their individual but compatible goals. It occurs when robots have individual goals, are aware of others on the team, and their actions help to complete the goals of others. Finally, there is the coordinating interaction. In it, entities are aware of each other but do not share a common goal, and their actions are not helpful to other team members. In multi-robot systems, these situations often occur when robots share a shared workspace. Therefore, robots must work to coordinate their actions to minimize the amount of interference between them and other robots (Parker, L. E. 2008).

Another inherent aspect of swarm robotics is movement coordination. It can only be related to other robots, the environment, external agents, and combinations (Din, A. et al, 2018), (Siciliano B.; Khatib, O. Eds, 2016). Furthermore, swarm robotics systems can be homogeneous or heterogeneous. Heterogeneous systems consist of robots with different designs or functionalities that generally complement each other to efficiently complete tasks (Barca J. C.; Sekercioglu, Y. A., 2013). An example is given by aerial robots looking

for ground targets to be rescued by ground robots. However, heterogeneous swarms are avoided by the academic community. Instead, most research presents robots with the same design and functionality to fulfill the desired tasks (Barca J. C.; Sekercioglu, Y. A., 2013).

Among the main areas of application of swarm robotics is the operation in environments harmful to human beings, such as search and rescue of victims and environment mapping (Soares, P. *et al*, 2018), (Bakhshipour, M.; Ghadi, M. J.; Namdari, F. 2017), (O'Grady R. 2011), but it can also encompass games [29] (Daylamani-Zad, D.; Graham, L. B.; Paraskevopoulos, I. T. 2017) and other areas of knowledge (Bayindir, L. 2016).

3.5 Precision agriculture

Due to this, new technologies and methods have been used to contribute to the increase in production, mainly on a large scale. Thus, to increase cost-effectiveness and to combine production and quality with good management of natural resources and, in this way, reduce environmental impacts (McLurkin, J. 2019).

From the inclusion of technologies such as advanced detection and robotics, using new machines, drones, and equipment for precision agriculture, artificial intelligence in agriculture is a strong ally for sustainable, faster, and more profitable production.

Among the benefits of precision farming is better to crop management through surveys. Through robotic devices, sensor data and captured images have been widely studied to obtain information remotely.



Figure 4: Unmanned Aerial Vehicles (UAVs).

Fonte: Zhang, 2019

In this context, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), shown in Figure 4, develop a new paradigm for image acquisition of culture. Through its use, it is possible to provide spatial resolutions in the order of centimeters, in addition to a temporal resolution, programmed as a function of the time, day, and time conditions of identification and quantification of weed species that are difficult to control. In general, agricultural UAV flight path planning based on the traditional method it easy to reach a local minimum point in a semi unknown or unknown environment (Zhang, L.; Liang, Y. C.; Niyato, D. 2019).

3.6 Autonomous vehicles applied in agriculture

Food security concerns have increased dramatically in recent years. The growth of the human population, together with the reduction of agricultural resources, has caused many governments and international conglomerates worldwide to look for new ways to improve the efficiency of agriculture.

The development of autonomous vehicles with artificial intelligence is a strong trend in the sector due to its ability to identify failures and threats from analyzed patterns. For example, an unmanned ground vehicle can also accurately dosing pesticide in a crop without any direct human interference.

Guided by GPS and other sensors, this equipment reduced the workload in the stages of cultivation, from planting to harvest, and increasing the accuracy and regularity of the results obtained.

VineRobot, an autonomous mobile farming robot designed to aid production and wine agriculture by the Seventh Framework Programme, which is sponsored by the European Union (EU). Figure 5 shows an example of these autonomous robots used in agriculture.



Figure 5: VineRobot.

Fonte: European Union

3.7 Humanoid robots

Humanoid robots are characterized by having abilities that emulate human behaviour, such as vision with image recognition, ability to move around different degrees of freedom (DOF - Degree of Freedom), among other skills. Some reach 35 DOF and the ability to compensate for inertia from the movements of the robot's functional members. In turn, humanoids are robots with complex characteristics, such as movement guided by artificial vision, interaction with the environment, identification of the movement itself, self-protective reflexes, strategies for picking up objects that do not have geometric modelling, planning trajectories in time real among others. An example of the related complexity in developing humanoid robots. Specifically, we can cite works that address such features.

The work (Mendonça M. *et al*, 2020), more recently, to accurately recognize the working targets in complex environments, an industrial robot vision model based on attention mechanism and deep learning is proposed in (1). The model uses an improved attention mechanism to quickly focus on the target and employs a 10-layer convolutional neural network that combines local connection with full connection to accomplish target recognition. The effects of different convolutional neural network structure parameters on the model are analyzed to satisfy the rapidity and reliability of robot vision. The test results show that the combination of improved attention mechanism and CNN model can achieve fast focusing and accurate recognition.

The work (Mendonça, M. *et al*, 2019) presents an approach using a vision system to predict the velocities of objects in the scene, allowing ASIMO to navigate autonomously through a dynamic environment safely. ASIMO abilities, neither obstacle positions nor velocities are known at the start of the trial but are estimated online as the robot walks. The planner constantly adjusts the footstep path with the latest estimates of ASIMO's position and the obstacle trajectories, allowing the robot to circumnavigate the moving obstacles successfully. Already work (Rizk, Y.; Awad, M.; Tunstel, E. W. 2018) Humanoid robots are characterized by having abilities that emulate human behavior such as vision with image recognition, ability to move around different degrees of freedom (DOF - Degree of Freedom), among other skills. Some reach 35 DOF and the ability to compensate for inertia from the movements of the robot's functional members. In turn, humanoids are robots with complex characteristics, such as movement guided by artificial vision, interaction with the environment, identification of the movement itself, self-protective reflexes, strategies for picking up objects that do not have geometric modeling, planning trajectories in time real among others.

An example of the related complexity in developing humanoid robots. Specifically, we can cite works that address such features. The work (Beni G. 2005) the authors review the state-of-the-art analysis in the field of object recognition in an image based on deep convolutional neural networks, with the purpose of solving the task of navigation of

a mobile robot presenting a review to assess the possibility of applying some intelligent based approaches. neural network that combines local connection with full connection to accomplish target recognition. The effects of different convolutional neural network structure parameters on the model are analyzed to satisfy the rapidity and reliability of robot vision. The test results show that the combination of improved attention mechanism and CNN model can achieve fast focusing and accurate recognition. Other relevant work (Li, X.; Clerc, M. 2019) the authors consider a neural network approach to early motor learning. The primary purpose is to explore the need for bootstrapping the control of hand movements in a biologically plausible learning scenario. The model is applied to control hand postures of the humanoid robot ASIMO using complete upper body movements. It is demonstrated that the network can acquire accurate inverse models for the highly redundant ASIMO, applying bi-manual target motions and exploiting all upper body degrees of freedom. Authors also succeed in reproducing natural motion recorded from a human demonstrator, massively differing from the training data in range and dynamics.

The article (Şahin, E. 2005) author present an integrative approach to solve the coupled problem of reaching and grasping an object in a cluttered environment with a humanoid robot ASIMO. The authors also employed the concept of task maps representing the manifold of feasible grasps for an object. Rather than defining a single end-effector goal position, a task map defines a goal hypervolume in the task space using the Random Tree algorithm. Finally, the approach is demonstrated in two reach-grasp simulation scenarios with the humanoid robot. Moreover, finally, in the work (Şahin, E. 2005) the author review the state-of-the-art analysis in the field of object recognition in an image based on deep convolutional neural networks to solve the task of navigation of a mobile robot, presenting a review to assess the possibility of applying some intelligent based approaches.

Currently, robotics research and applications are growing on the world stage. Some applications, products, and research are carried out by large companies, universities, institutes, and Government Agencies, such as Boston Dynamics (BD), Honda, Massachusetts Institute of Technology (MIT), NASA, Sony, and Honda. Some of the sample features of these products follow from that research.

In continuation, some examples of some of the most known humanoid supplements use the functionalities mentioned above.

3.7.1 COG

The COG autonomous robot developed by Brooks more than 15 years ago has already shown two essential concepts of artificial intelligence, learning ability, and adaptation in this famous image of one of the demonstrations of this robot that uses robotic vision and intelligent computer systems. This robot can learn to handle a spring without prior knowledge. Thus, the COP demonstrated learning and adaptability with the difficulty that

its actuator is not similar to a human hand (Suleiman W. *et al*, 2011). In one of the several videos that MIT makes available, the COG learns to reproduce a maneuver with a plastic spring just by watching Rodney Brooks.

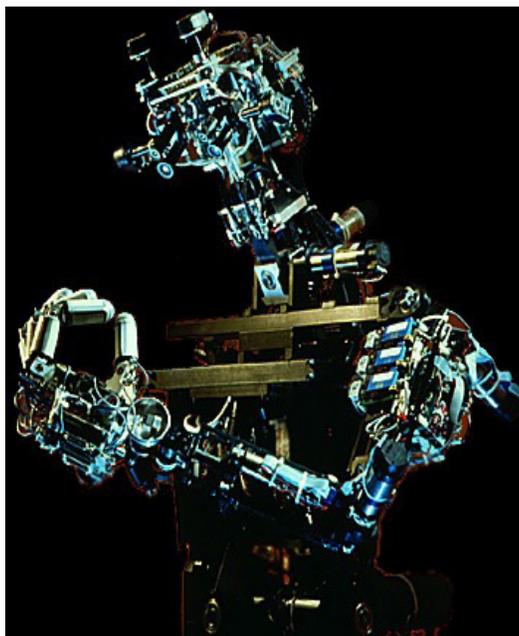


Figure 6: COG, MIT.

Source: MIT.

3.7.2 *Asimo*

The Asimo robot (Figure 7) is developed by the Japanese company Honda Motors Co. Its name means: A for Advanced; S of Step in (Step); I for Innovative (Innovation); Mobility MO (Mobility) corresponds to “Advanced Step of Innovation and Mobility”. Asimo has functions to work both in homes and companies, and it is autonomous, able to converse with one or more people, recognize faces, communicate in Japanese Sign Language (JSL), or Japanese Sign Language, walk with people carrying them to a specific location, interact with objects and guide transport carts (Sugiura, H. *et al*, 2006). Reacts in emergencies such as fighting fires and exposure to toxic substances can fall and get up. The only bias of this robot is its high acquisition cost, and because of that, it is more used by companies



Figure 7: ASIMO, Honda Motors Co.

Source: Honda Motors Co.

3.7.3 NAO

Developed by the French company Aldebaran Robotics, NAO is an autonomous robot (Figure 8), communicates with verbal and non-verbal language, reads newspapers, accesses the internet, interacts with objects, and provides help in case of emergency. In addition to the elderly public, it also works as a therapy for autistic children and hospitalized children. Several universities around the world widely use it for research development (Sugiura, H. *et al*, 2006).



Figure 8: NAO, Aldebaran Robotics.

Source: Aldebaran Robotics.

3.7.4 Valkyrie (Nasa)

The Valkyrie robot (Figure 9), or R5, is a humanoid robot developed by NASA. The robot was designed and built by Johnson Space Center to participate in the DARPA Robotics Challenge (DRC) in 2013.

The robot weighs about 140 kg, is 44 degrees of freedom, 1.88 m tall. Its power is done either by cable or by battery. The batteries have an energy of 1.8 kWh.

The robot was used in the simulation of the Space Robotics Challenge.

Compared to other robots, it has feminine curves and is covered with a “cloak” made of foam, which gives it a less metallic look and is also protected against shocks.



Figure 9: Valkyrie, NASA

Source: NASA.

4 | ROBOTICS' AREA TRENDS PREDICITON

Prediction of time series is challenging, especially when working with long sequences, multi-step forecasts, and multiple input and output variables. What is intended in this section is through data from the IFR (International Robotics Federation) to estimate the growth of robotics or try to trace at least a trend in the coming years. For example, a philosophical question of AI is in the following question. Someday computers may be more intelligent than humans. Some experiments have already shown that AI can stand up to human capacity. For example, the famous confrontation between a deep blue from IBM and Gasparov (greatest chess player in the world). Nevertheless, we can argue it was only for a specific chess game.

However, Rodney Brooks, MIT researcher and robotics and creator of the subsumption architecture in a recent lecture on AI and Robotics, said that in the next 5 or 10 years, the concept of computational superintelligence would emerge, in which it should be as capable or more capable than humans. Deep learning theory already suggests that it is currently possible to deal with a massive amount of data and mitigate the designer's intervention in the analysis of results. That said, some variables will be difficult to control, such as what will be the computing capacity in the next five years.

As Artificial Neural Networks, Multilayer Perceptrons, or MLPs, can be used to model univariate time series prediction problems. Before a univariate series can be modeled, it must be prepared. The MLP model will learn a function that maps a sequence of sources passed as inputs to an output observation. As such, the desired sequence must be transformed into several examples from which the model can learn (Haykin, S. S. 2009).

The dataset used to make the predictions covers the annual number of sales for 22 years, between 2000 and 2021. The first sixteen years will be used for training the neural network, the rest of the data will be used for testing the network. Finally, the models will be developed using the training and training dataset in the test dataset.

The MLP model used has 100 (one hundred) hidden nodes layer and an output layer used to predict. The model was used using Adam's learning algorithm and optimized using a mean squared error, or "mse", loss function. The model expects the input shape to be two-dimensions. Therefore, we must remodel the single input sample before making the prediction, for example, with the form [1, 3] for 1 sample and 3-time steps as inputs resources. Data and initial data were taken from liveuniversity.com/ebusiness.

Figure 10, based on the cited information about time series using ANN, shows a growing trend in industrial robotics. Predictions in technological areas are always challenging due to the number of unmanipulated variables and some stochastic factors (Sánchez-Sánchez, P. A.; García-González, J. R.; Coronell, L. H. P. 2020).

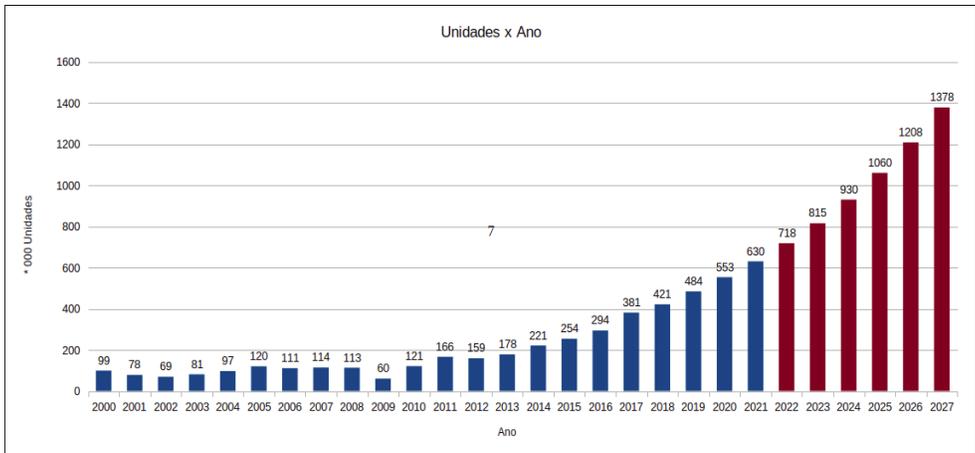


Figure 10: Growing trend in industrial robotic.

Source: Sánchez-Sánchez. P. A. *et al*, 2020.

5 I CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

This article had as its primary objective to show how artificial intelligence (AI) applied in robotics is increasingly expanding and being noticed, along with the technological evolution taking place all over the world. As a result, we are experiencing the fourth industrial revolution that brought a new paradigm where the evolution of technology, associated with the generation of information value, brought about a new economic concept.

Companies have bet on new technologies and digital transformation to insert artificial intelligence into their products and services. In this way, it is possible to achieve that it will be increasingly common to help these applications in our daily lives, not to take care of the functions performed by people, but rather to help and improve efficiency, regardless of the area, always looking for the union of human and machine.

It is up to engineers and scientists as data considerations, ethical about these advances, weighing their negative and positive impacts, fostering research and knowledge of these technologies to deconstruct the fear of a future with ultra-intelligent machines capable of surpassing the human being.

It is expected with the contributions of the research carried out, that the results indicate the convenience and number of potential applications to be developed, such as intelligent harvesters and autonomous vehicles that can transmit the plantation to identify the ripe fruits and weeds, ruling out any irregularity and performing the control without the use of pesticides.

Future works address AI research in robotics, The inclusion of analysis in new application areas due to the size and growing universe of robotics.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to “Fundação Araucária, in portuguese” for the financial support given to the seventh author of this paper.

REFERENCES

- Aydođan, R.; Marsa-Maestre, I.; Klein, M.; Jonker, C. M. **A Machine Learning Approach for Mechanism Selection in Complex Negotiations**. J. Syst. Sci. Syst. Eng. 2018. vol. 27, p. 134–155, doi: 10.1007/s11518-018-5369-5.
- Bakhshipour, M.; Ghadi, M. J.; Namdari, F. **Swarm robotics search & rescue: a novel artificial intelligence-inspired optimization approach**. Appl. Soft Comput. 2017. vol. 57, p. 708–726, doi: 10.1016/j.asoc.2017.02.028.
- Barca J. C.; Sekercioglu, Y. A. **Swarm robotics reviewed**. Robotica 2013. 2013. vol. 31, p. 345–359, doi: 10.1017/S026357471200032X.
- Bayindir, L. **A review of swarm robotics tasks**. Neurocomputing 2016. 2016. vol. 172, p. 292–321, doi: 10.1016/j.neucom.2015.05.116.
- Beni G. **From Swarm Intelligence to Swarm Robotics**. In: *Swarm Robotics*, Şahin E., Spears W.M. Springer: Berlin, Heidelberg, 2005. vol. 3342, doi: 10.1007/978-3-540-30552-1_1.
- Brooks, R. **A robust layered control system for a mobile robot**. IEEE J. Robot. Autom. 1986. vol. 2, no. 1, pp. 14–23. doi: 10.1109/JRA.1986.1087032.
- Chestnutt, J.; Michel, P.; Kuffner, J.; Kanade, T. **Locomotion among dynamic obstacles for the Honda ASIMO**. IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst. 2007. p. 2572–2573, doi: 10.1109/IROS.2007.4399431.
- Coppin, B. **Artificial Intelligence Illuminated**. 2nd Ed. Jones & Bartlett Learning. 2004.
- Corke P. **Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms in MATLAB**, 1st ed. Berlin: Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2011.
- Daylamani-Zad, D.; Graham, L. B.; Paraskevopoulos, I. T. **Swarm Intelligence for Autonomous Cooperative Agents for Real-Time Strategy Games**. 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games). 2017. p. 39–46, doi: 10.1109/VS-GAMES.2017.8055809.
- Din, A.; Jabeen, M.; Zia, K.; Khalid, A.; Saini, D. K. **Behavior-based swarm robotic search and rescue using fuzzy controller**. Comput. & Electr. Eng. 2018. vol. 70, p. 53–65, doi: 10.1016/j.COMPELECENG.2018.06.003.
- Faz-Mendoza, A.; Gamboa-Rosales, N. K.; Medina-Rodriguez, C. E.; Casas-Valadez, M. A.; Castorena-Robles A.; Lopez-Robles, J. R. **Intelligent processes in the context of Mining 4.0: Trends, research challenges and opportunities**. International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA) 2020. p. 480–484, doi: 10.1109/DASA51403.2020.9317095.

Gienger, M.; Toussaint, M.; Goerick, C. **Task maps in humanoid robot manipulation**. Int. Conf. Intell. Robot. Syst. 2008, p. 2758–2764, doi: 10.1109/IROS.2008.4651027.

Hamman, H. **Space-Time Continuous Models of Swarm Robotic Systems**. 1st ed. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 2010.

Hart, S.; Dinh, P.; Yamokoski, J. D.; Wightman, B.; Radford, N. Robot Task Commander: **A framework and IDE for robot application development**. International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2014, p. 1547–1554, doi: 10.1109/IROS.2014.6942761.

Haykin, S. S. **Neural networks and learning machines**. 3rd Ed. Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River. 2009.

Hexmoor, H. **Essential Principles for Autonomous Robotics**. Synth. Lect. Artif. Intell. Mach. Learn. 2013. vol. 7, pp. 1–155, doi: 10.2200/S00506ED1V01Y201305AIM021.

Khamis, A.; Hussein, A.; Elmogy, A. **Multi-robot Task Allocation: A Review of the State-of-the-Art**. In **Cooperative Robots and Sensor Networks**. 2015th ed., Koubâa A., Martínez-de Dios, J., Eds., Cham, Switzerland: Springer, 2014. vol. 554, pp. 31–51.

Li, H.; Li, J. **Recognition of robot based on attention mechanism and convolutional neural network**. Proc. 2019 IEEE 3rd Inf. Technol. Networking, Electron. Autom. Control Conf. 2019, p. 2578–2584, 2019, doi: 10.1109/ITNEC.2019.8728976.

Li, X.; Clerc, M. **Swarm Intelligence**. In Handbook of Metaheuristics, 272nd Ed., M. Gendreau and J. Y. Potvin, Eds. Cham. Switzerland: Springer, 2019. vol. 272, pp. 353–384.

McLurkin, J. **Multi-Robot Systems Engineering**. James McLurkin Personal Webpage. 2019. p. 1. Available online: <https://people.csail.mit.edu/jamesm/images/swarm/images/theswarm.jpg> (Accessed: 15 Sept. 2022).

Mendonça, M.; Kondo, H. S.; de Souza, L. B.; Palácios, R. H. C.; de Almeida, J. P. L. S. **Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm Robotics using Fuzzy Cognitive Maps**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). 2019. pp. 1–7, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858847.

Mendonça, M.; Palácios, R. H. C.; Papageorgiou, E. I.; de Souza, L. B. **Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 2020. p. 1–8, doi: 10.1109/FUZZ48607.2020.9177814.

O’Grady R. et al. **Swarm-Bots to the Rescue**. 10th European Conference on Advances in Artificial Life - Darwin Meets von Neumann. 2011. vol. 1, p. 165–172, doi: 10.1007/978-3-540-74913-4.

Parker, L. E. **Distributed Intelligence: Overview of the Field and its Application in Multi-Robot Systems**. J. Phys. Agents 2008. 2008. vol. 2, p. 5–14, doi: 10.14198/JoPha.2008.2.1.02.

Rizk, Y.; Awad, M.; Tunstel, E. W. **Decision Making in Multiagent Systems: A Survey**. IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst. 2018. vol. 10, p. 514–529, doi: 10.1109/TCDS.2018.2840971.

Rolf, M.; Steil, J. J.; Gienger, M. **Efficient exploration and learning of whole-body kinematics**. 8th Int. Conf. Dev. Learn. ICDL. 2009. p. 1–7, 2009, doi: 10.1109/DEVLRN.2009.5175522.

Roy S. et al. **Deep Learning for Classification and Localization of COVID-19 Markers in Point-of-Care Lung Ultrasound**. IEEE Trans. Med. Imaging 2020. vol. 39, p. 2676–2687, doi: 10.1109/TMI.2020.2994459.

Russell S.; Norvig P. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**, 4th Edition. Pearson, 2020.

Şahin, E. **Swarm robotics: From sources of inspiration to domains of application**. Lect. Notes Comput. Sci. 2005. vol. 3342, p. 10–20, doi: 10.1007/978-3-540-30552-1_2.

Sánchez-Sánchez, P. A.; García-González, J. R.; Coronell, L. H. P. **Encountered Problems of Time Series with Neural Networks: Models and Architectures**. Recent Trends in Artificial Neural Networks - from Training to Prediction. 2020. pp. 1–17, doi: 10.5772/intechopen.88901.

Siciliano B.; Khatib, O. Eds. **Springer Handbook of Robotics**, 2nd ed. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

Siciliano, B. **Springer Tracts in Advanced Robotics: Foreword**. vol. 83. STAR. 2012.

Simonyan, K.; Zisserman, A. **Very deep convolutional networks for large-scale image recognition**. 3rd Int. Conf. Learn. Represent. 2015, pp. 1–2.

Soares, P. P.; de Souza, L. B.; Mendonça, M.; Palácios, R. H. C.; de Almeida J. P. L. S. **Group of Robots Inspired by Swarm Robotics Exploring Unknown Environments**. IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). 2018. p. 1–7, doi: 10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491631.

Sugiura, H.; Gienger, M.; Janssen, H.; Goerick, C. **Real-time self-collision avoidance for Humanoids by means of Nullspace Criteria and Task Intervals**. International Conference on Humanoid Robots 2006. 2006. p. 575-580, doi: 10.1109/ICHR.2006.321331.

Suleiman W.; Kanehiro, F.; Miura, K.; Yoshida Suleiman, E. **Enhancing zero moment point-based control model: system identification approach**. Advanced Robotics 2011. 2011. p. 427-446, doi: 10.1163/016918610X551773.

Toussaint, M.; Gienger, M.; Goerick, C. **Optimization of sequential attractor-based movement for compact behaviour generation**. Proc. 2007 7th IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robot. HUMANOIDS. 2007. p. 122–129, doi: 10.1109/ICHR.2007.4813858.

Wooldridge, M. **An Introduction to MultiAgent Systems**. John Wiley & Sons, 2009.

Yingkun, Z. **Flight path planning of agriculture UAV based on improved artificial potential field method**. Proc. 30th Chinese Control Decis. Conf. 2018, p. 1526–1530, doi: 10.1109/CCDC.2018.8407369.

Zhang, L.; Liang, Y. C.; Niyato, D. **6G Visions: Mobile ultra-broadband, super internet-of-things, and artificial intelligence**. China Commun. 2019. vol. 16, p. 1–14, 2019, doi: 10.23919/JCC.2019.08.001.

AValiação DA PROBABILIDADE DE FALHA DE PÓRTICO PLANO DE AÇO SUJEITO A CARREGAMENTO GRAVITACIONAL E COM FLEXÃO EM TORNO DO EIXO DE MENOR INÉRCIA

Data de aceite: 02/01/2023

Danilo Luiz Santana Mapa

Marcilio Sousa da Rocha Freitas

RESUMO: A confiabilidade estrutural de pórticos de aço pode ser quantificada através da avaliação da probabilidade de violação de seus estados limites. No presente trabalho, através de análise estrutural avançada (análise inelástica de segunda ordem) no programa computacional CS-ASA, o carregamento gravitacional de um pórtico plano de aço foi incrementado até ocorrer a violação do estado limite último de resistência conforme prescrições da norma ANSI/AISC 360-16. Foram obtidos para o pórtico plano de aço os carregamentos gravitacionais limites para duas situações de projeto: pilares fletidos em torno do eixo de maior inércia e pilares fletidos em torno do eixo de menor inércia. O método FORM (*First Order Reliability Method*) foi utilizado para avaliar as probabilidades de falha da estrutura para ambas as situações. A norma ANSI/AISC 360-16 permite o emprego nas análises estruturais avançadas do coeficiente de 0,90 para ponderação das propriedades do aço, não fazendo distinção

se a flexão ocorre no eixo de menor ou de maior inércia nas estruturas de aço. A probabilidade de falha obtida na análise do pórtico com flexão em torno do eixo de menor inércia é ligeiramente maior do que a probabilidade de falha obtida para flexão em torno do eixo de maior inércia. Conclui-se que a análise avançada com o emprego do coeficiente de ponderação de 0,90 prescrito pela norma ANSI/AISC 360-16 resulta em níveis de segurança praticamente iguais, indiferente do eixo onde ocorre a flexão nos pilares, para o pórtico plano de aço analisado.

PALAVRAS-CHAVE: Pórtico de aço; análise avançada; eixo de menor inércia; probabilidade de falha.

ASSESSMENT OF THE FAILURE PROBABILITY OF PLANAR STEEL FRAME UNDER GRAVITY LOADS AND MINOR-AXIS BENDING

ABSTRACT: The structural reliability of steel frames can be measured by the probability of limit state violations. In this research, through advanced structural analysis (second-order inelastic analysis), using the CS-ASA software, the gravitational loading of a planar steel frame was increased until

the violation of the ultimate strength limit state, according to the ANSI/AISC 360-16 code. For the planar steel frame, the ultimate gravitational loads were obtained from two design situations: columns under minor-axis bending and columns under major-axis bending. The First Order Reliability Method (FORM) was used to evaluate the failure probabilities of the structure for both situations. The ANSI/AISC 360-16 code uses a factor of 0.90 applied to steel properties, regardless of whether the columns are under minor-axis or major-axis bending. The probability of failure obtained with the analysis of the steel frame with columns under minor-axis bending is slightly higher than the probability of failure obtained with the steel frame with columns under major-axis bending. Therefore, the advanced analysis using the factor of 0.90 prescribed by the ANSI/AISC 360-16 results in approximately equal safety levels, regardless of the axis where the bending occurs in the columns.

KEYWORDS: Steel frame; advanced analysis; minor axis bending; failure probability.

1 | INTRODUÇÃO

A confiabilidade estrutural de pórticos de aço pode ser quantificada através da avaliação da probabilidade de violação de seus estados limites. São definidos como estados limites de uma estrutura situações a partir das quais ela apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção (ABNT 2003). Segundo a norma ANSI/AISC 360 (2016), os estados limites podem: i) ser ditados por requisitos funcionais, como deflexões máximas; ii) estar relacionados ao comportamento estrutural, como a formação de uma rótula plástica ou mecanismo; e iii) representar o colapso total ou parcial da estrutura. As normas de projeto estrutural garantem que a probabilidade de violação de um estado limite é aceitavelmente pequena, através do emprego de combinações de ações e fatores de segurança consistentes.

Na avaliação dos estados limites, é possível empregar análise inelástica para determinação das respostas estruturais. De acordo com a norma ANSI/AISC 360-16, essa análise estrutural deve levar em consideração: i) as deformações de flexão, cisalhamento, axiais e de torção dos elementos estruturais, e todas as demais deformações de componentes e ligações que contribuam para os deslocamentos da estrutura; ii) efeitos de segunda ordem (incluindo $P-\Delta$, $P-\delta$ e efeitos de torção); iii) imperfeições geométricas; iv) reduções de rigidez devido à inelasticidade, incluindo escoamento parcial da seção transversal, que pode ser acentuado pela presença de tensões residuais; e v) incertezas nas resistências e rigidezes dos elementos e ligações (AISC 2016). O comportamento inelástico da maioria dos elementos estruturais é resultado principalmente das tensões normais longitudinais do elemento se igualando ao limite de escoamento do aço. Portanto, as tensões normais, produzidas pela força axial e momentos fletores nos eixos de maior e menor inércia, devem ser incluídas no cálculo da resistência plástica da seção transversal dos elementos (Chen e Atsuta 1976).

Os efeitos das tensões residuais podem ser incluídos diretamente em análises

inelásticas de plasticidade distribuída (zona plástica) ou modificando os métodos de análise inelástica baseados em rótulas plásticas (plasticidade concentrada). Vale ressaltar que, em perfis submetidos à flexão em torno do eixo de menor inércia, o efeito das tensões residuais é mais pronunciado, visto que afeta mais as fibras extremas (Gonçalves *et al.* 2019). O escoamento parcial, que ocorre antes da formação de uma rótula plástica, pode reduzir a rigidez à flexão do elemento estrutural, resultando em redistribuição de esforços e aumento dos efeitos de segunda ordem. Este é o caso de perfis I fletidos em torno do eixo de menor inércia e, por isso, tal redução na rigidez precisa ser considerada na análise inelástica.

No presente trabalho, com a utilização de análise estrutural avançada (análise inelástica de segunda ordem) no programa computacional CS-ASA (Gonçalves 2013), o carregamento gravitacional de um pórtico plano de aço com seções transversais compactas do tipo I será incrementado até ocorrer a violação do estado limite último de resistência, conforme prescrições da norma ANSI/AISC 360-16. Serão obtidos para o pórtico plano de aço os carregamentos gravitacionais limites últimos para duas situações de projeto: i) pilares fletidos em torno do eixo de maior inércia; e ii) pilares fletidos em torno do eixo de menor inércia. O método *First Order Reliability Method* (FORM) de confiabilidade será utilizado para avaliar as probabilidades de falha do pórtico plano de aço para as duas situações. O objetivo da pesquisa é, portanto, comparar as probabilidades de falha obtidas para o pórtico plano de aço, pois se acredita que o fator de ponderação de 0,90 prescrito pela norma ANSI/AISC 360-16 é capaz de garantir confiabilidade estrutural aceitável para as duas situações examinadas.

2 | CONFIABILIDADE ESTRUTURAL

Na análise de confiabilidade estrutural, a máxima solicitação (S) e a resistência disponível (R) são modeladas por variáveis aleatórias. O objetivo da análise de confiabilidade é assegurar o evento ($R > S$) durante toda vida útil da estrutura. A falha ocorre se R for menor do que S , o que é representado em termos de probabilidade como $P(R < S)$. Se ambas as variáveis aleatórias R e S possuem distribuição normal e são estatisticamente independentes, então a variável aleatória Z pode ser introduzida como $Z = R - S$. Então a Eq. 1 pode ser utilizada para definir a probabilidade de falha como:

$$P_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_z(z) dz = \Phi\left(\frac{0 - \mu_z}{\sigma_z}\right) = \Phi(-\beta_c) \quad 1$$

Sendo β_c o índice de confiabilidade de Cornell (1969) definido a seguir:

$$\beta_c = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad 2$$

Em sua implementação inicial, o índice de confiabilidade foi avaliado em função das médias e dos desvios-padrão da resistência e da solicitação máxima, como indicado na Eq.

2. Posteriormente, o índice de confiabilidade passou a ser obtido por métodos analíticos baseados em aproximações em séries de Taylor de primeira ordem (Método FORM).

2.1 Método analítico FORM

No Método FORM, as variáveis aleatórias U , cujas distribuições são quaisquer e podem ser dependentes entre si ou não, são transformadas em variáveis V normais padrão estatisticamente independentes, sendo a função de falha $G(U)$ escrita no espaço das variáveis reduzidas (espaço V) como $g(V)$. Depois disto, a superfície de falha definida por $g(V)=0$ é aproximada por uma superfície linear (ou hiperplano) no ponto com a menor distância até a origem, identificado como V^* (ponto de projeto no espaço das variáveis reduzidas). Uma das etapas desse método é a transformação das variáveis U , com distribuições quaisquer, em variáveis V normais padrão estatisticamente independentes. Utiliza-se comumente a transformação de Nataf (Melchers 1999) definida por:

$$V = (L)^{-1} \cdot (\sigma)^{-1} \cdot (U - m) \quad 3$$

Sendo:

m - vetor com as médias das variáveis U ;

σ - matriz diagonal contendo os desvios padrão das variáveis U ;

L - matriz triangular inferior obtida da decomposição de Choleski da matriz dos coeficientes de correlação de U .

Outra etapa importante do Método FORM é a busca ao ponto sobre a superfície de falha mais próximo à origem do sistema reduzido, denominado ponto de projeto V^* . Para encontrar o ponto de projeto, formula-se um problema de otimização P com uma restrição, tal que:

$$\begin{aligned} P: & \text{ minimizar } |V| \\ & \text{ Sujeito a } g(V) = 0 \end{aligned} \quad 4$$

Utiliza-se comumente o algoritmo denominado HLRF, desenvolvido por Hasofer e Lind (1974) e aprimorado por Rackwitz e Fiessler (1978), para resolução do problema de otimização apresentado pela Eq. 4. O processo iterativo gerado pelo algoritmo HLRF caminha em busca do ponto de projeto, resolvendo-se a seguinte equação:

$$V^{i+1} = \frac{1}{|\nabla g(V^i)|^2} \cdot \left[\nabla g(V^i)^T V^i - g(V^i) \right] \cdot \nabla g(V^i) \quad 5$$

Durante o processo iterativo determina-se o índice de confiabilidade β calculando-se a norma do vetor V^{i+1} e interrompe-se o processo quando a variação relativa do valor de β é inferior a uma tolerância estabelecida. De posse do índice de confiabilidade β , a probabilidade de falha pode ser obtida utilizando-se a Eq. 1.

3 I ANÁLISE ESTRUTUTURAL AVANÇADA

No presente trabalho, para realização da análise estrutural avançada do pórtico plano de aço, foi adotado o CS-ASA desenvolvido por Silva (2009) em linguagem Fortran 95. O CS-ASA realiza análises numéricas avançadas estáticas e dinâmicas de estruturas baseado no método dos elementos finitos e foi utilizado para obtenção da carga limite que leva a estrutura ao colapso, considerando os efeitos da inelasticidade do aço e não linearidade geométrica do pórtico.

No CS-ASA encontra-se implementado o método da rótula plástica refinado para acompanhar o processo de plastificação do aço na análise estrutural avançada. No método da rótula plástica refinado, a consideração da plastificação do material é concentrada nos pontos nodais de cada elemento finito. Emprega-se, nesse método, o módulo tangente para considerar a degradação da rigidez em função da variação das forças internas. No CS-ASA foi implementada a equação para o módulo de elasticidade tangente do AISC (2005), no qual a degradação da rigidez da seção varia em função do esforço normal, sendo expressa por:

$$\frac{E_t}{E} = -2,7243 \frac{P}{P_y} \ln \left(\frac{P}{P_y} \right), \text{ se } P > 0,39P_y \quad 6$$

Como critério para definir o estado limite último de resistência da seção transversal, adotam-se superfícies de plastificação, que descrevem a interação entre esforço normal e momento fletor. No contexto do método da rótula plástica refinado, essas superfícies são responsáveis por definir o instante em que ocorre a formação da rótula plástica (plastificação total da seção). Neste trabalho foi empregada a superfície de resistência proposta por McGuire, Gallagher e Ziemian (2000), que avalia a interação entre esforço normal e momento fletor no eixo de menor inércia:

$$M_{pny} = M_{py} \sqrt{\left(-3p^6 + \sqrt{9p^{12} - 4(p^2 - 1)} \right) / 2} \quad 7$$

Sendo:

M_{pny} - momento plástico reduzido em torno do eixo de menor inércia;

M_{py} - momento de plastificação total da seção transversal em torno do eixo y;

p - relação entre esforço normal solicitante e esforço normal resistente da seção transversal.

Para valores relativamente grandes de deslocamentos, a deflexão lateral de um membro pode levar ao aparecimento de momentos fletores adicionais devido à presença de um esforço normal. Esse comportamento é comumente chamado de efeitos de segunda ordem e são oriundos das deformações da estrutura à medida que é carregada. Para simular esses efeitos foram utilizadas as equações desacopladas de rigidez da formulação de elementos finitos linearizada proposta por Yang e Kuo (1994). Nas análises estruturais

não lineares do pórtico foram utilizadas: formulação plástica refinada proposta por Liew, White e Chen (1993) presente no CS-ASA (Silva, 2009); estratégia de incremento constante do parâmetro de carga; estratégia de iteração a carga constante; fator de carga incremental fixado em 0,1% do carregamento total; e o método de Newton-Raphson padrão como estratégia de solução não linear. Cada elemento estrutural do pórtico foi discretizado em quatro elementos finitos.

4 | EXEMPLO NUMÉRICO

Neste exemplo foi investigada a segurança estrutural com relação ao estado limite último de colapso do pórtico plano de um andar apresentado na Figura 1, na qual são mostradas a geometria, o carregamento atuante e as condições de apoio. O pórtico é composto por perfis laminados americanos: perfis W12x58 (W310x86) para os pilares; e perfil W24x76 (W610x113) para a viga. Todos são feitos do mesmo material: aço com tensão de escoamento de 345 MPa; e módulo de elasticidade longitudinal igual a 200 GPa. Foi introduzida uma imperfeição geométrica inicial (desaprumo) angular igual a $\Delta_0 = 1/500$ nos pilares (Figura 1), conforme recomendação das normas AISC 303-16 (2016) e AS4100 (1998), resultando em um deslocamento de 7,32 mm no topo dos pilares. É assumido que o momento fletor resistente dos elementos estruturais seja igual ao momento de plastificação total da seção transversal, pois considera-se que a viga e os pilares são adequadamente contidos lateralmente e as seções transversais dos perfis são compactas. As ligações entre os elementos viga-pilar foram consideradas como rígidas.

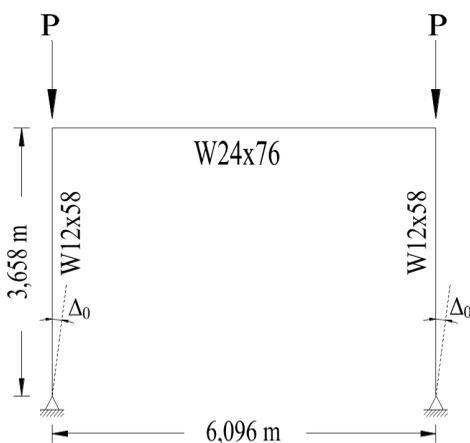


Figura 1 - Pórtico plano de um andar

Realizando a análise estrutural avançada do pórtico da Figura 1, conforme prescrições da norma AISC 360-16 (reduzindo a tensão de escoamento e módulo de

elasticidade do aço através da multiplicação pelo fator de ponderação de 0,90), chegou-se aos seguintes valores para a carga máxima aplicada no topo dos pilares do pórtico: $P = 2607 \text{ kN}$ quando ocorre flexão dos pilares em torno do eixo de maior inércia; $P = 1169 \text{ kN}$ quando ocorre flexão dos pilares em torno do eixo de menor inércia. Verifica-se que a carga suportada pelo pórtico é 2,23 vezes maior quando os pilares sofrem flexão em torno do eixo de maior inércia.

De modo a investigar os níveis de segurança do pórtico com relação ao estado limite último de colapso da estrutura, foram realizadas análises de confiabilidade considerando quatro variáveis aleatórias, cuja descrição estatística se encontra na Tabela 1. Foi considerado que a carga P aplicada no topo dos pilares (Figura 1) era resultado da seguinte combinação de ações entre carga permanente (D) e carga variável (L), sugerida pela norma ASCE 7-10 (ASCE 2010): $P = 1,2D_n + 1,6L_n$. Foi assumida a relação entre carga variável e carga permanente igual a 1,5, ou seja, $L_n = 1,5D_n$, valor típico segundo Ellingwood (2000).

Variável	Valor nominal	Valor médio	Coefficiente de variação (COV)	Distribuição	Referência
$D \text{ (kN)}$	D_n	$1,05.D_n$	0,10	Normal	Ellingwood <i>et al.</i> (1982)
$L \text{ (kN)}$	L_n	L_n	0,25	Ext. Tipo I	Ellingwood <i>et al.</i> (1982)
$E \text{ (GPa)}$	200,00	200,0	0,04	Lognormal	Bartlett <i>et al.</i> (2003)
$F_y \text{ (MPa)}$	345,00	379,5	0,06	Lognormal	Bartlett <i>et al.</i> (2003)

Tabela 1 - Descrição estatística das variáveis aleatórias

A Tabela 2 resume os resultados dos índices de confiabilidade obtidos no presente trabalho e obtidos por Liu (2019) relacionados ao estado limite último de colapso do pórtico plano. Os índices de confiabilidade obtidos resultam em probabilidades de falha iguais a 0,187% e 0,347%, para os pilares fletidos em torno do eixo de maior inércia e menor inércia, respectivamente. Já os índices de confiabilidade obtidos por Liu (2019) resultam em probabilidades de falha iguais a 0,212% e 0,226%, respectivamente.

Eixo onde ocorre flexão nos pilares	Índice β (Presente trabalho)	Índice β (Liu 2019)
Maior inércia	2,90	2,86
Menor inércia	2,70	2,84

Tabela 2 - Índices de confiabilidade obtidos para o pórtico

A probabilidade de falha obtida na análise do pórtico com flexão em torno do eixo de menor inércia é ligeiramente maior do que a probabilidade de falha obtida para flexão em torno do eixo de maior inércia. Nesse trabalho, tal probabilidade de falha foi 1,9 vezes maior. Em contrapartida, Liu (2019) encontrou uma probabilidade de falha 1,1 vezes maior.

Comparando os índices de confiabilidade do presente estudo com aqueles obtidos pelo outro autor, observa-se, na Tabela 2, que os índices de confiabilidade obtidos por Liu (2019) são próximos daqueles alcançados, resultando em probabilidades de falha da mesma ordem de grandeza.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, foi possível conhecer o nível de confiabilidade ao se utilizar as prescrições da norma americana AISC 360-16 (2016) no projeto de um pórtico plano de aço. Os resultados mostraram que a probabilidade de falha obtida para o pórtico com flexão em torno do eixo de menor inércia é ligeiramente maior do que a probabilidade de falha obtida para flexão em torno do eixo de maior inércia.

O índice de confiabilidade alvo para elementos de aço sujeitos à flexão deve ser de no mínimo 2,6 para as combinações entre ações gravitacionais do ASCE-7 (Ellingwood, 2000). Os índices de confiabilidade obtidos para o pórtico nessa pesquisa e por Liu (2019) foram superiores à confiabilidade alvo ($\beta > 2,6$).

Conclui-se que a análise avançada com o emprego do coeficiente de 0,90 para ponderação das propriedades do aço, conforme prescreve a norma AISC 360-16, resulta em níveis de segurança praticamente iguais e suficientes, indiferente do eixo no qual ocorre a flexão nos pilares, para o pórtico plano de aço analisado.

REFERÊNCIAS

ABNT (2003). *Ações e segurança nas estruturas - Procedimento*. NBR 8681. Rio de Janeiro, RJ.

AISC 303-16 (2016). *Code of standard practice for steel buildings and bridges*. American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois, EUA.

AISC 360-16 (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction (AISC), Chicago, Illinois, EUA.

AISC (2005). *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction. Chicago, Illinois, EUA.

AS4100 (1998). *Australian Standard AS4100 – Steel Structures*. Standards Australia, Sydney, NSW 2001, Australia.

ASCE 7-10 (2010). *Minimum design loads for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers. Reston, VA.

Bartlett, F. M., Dexter, R. J., Graeser, M. D., Jelinek, J. J., Schmidt, B. J. e Galambos, T. V. (2003). Updating standard shape material properties database for design and reliability. *Eng. J. AISC*, 40(1), 2–14.

Chen, W. F. e Atsuta, T. (1976). *Theory of Beam-Columns, Volume I: In Plane Behavior and Design, and Volume II: Space Behavior and Design*. McGraw-Hill, New York, NY.

- Cornell, C. A. (1969). A Probability-Based Structural Code. *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 66, n. 12, p. 974-985.
- Ellingwood, B. R. (2000). LRFD: Implementing structural reliability in professional practice. *Eng. Struct.*, 22(2), 106–115.
- Ellingwood, B., Macgregor, J., Galambos, T. V. e Cornell, C. A. (1982). Probability Based Load Criteria: Load Factors and Load Combinations. *Journal of the Structural Division*, 108, 978–997.
- Gonçalves, G. A. (2013). *Modelagem do Comportamento Inelástico de Estruturas de Aço: Membros sob Flexão em Torno do Eixo de Menor Inércia*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.
- Gonçalves, G. A., Silveira, R. A. M., Silva, A. R. D. e Silva, J. L. (2019). Inelastic second-order analysis of steel columns under minor-axis bending. *REM - International Engineering Journal*, Ouro Preto, vol. 72, issue 3, p. 405-414.
- Hasofer, A. M. e Lind, N. C. (1974). An exact and invariant first-order reliability format. *Journal of Engineering Mechanics*, v. 100, p. 111-121.
- Liew, J. Y., White, D. W. e Chen, W. F. (1993). Second-Order Refined Plastic-Hinge Analysis for Frame Design, Parts I and II. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 11, pp. 3196-3237.
- Liu, H. (2019). *System reliability calibrations for the Direct Design Method of planar steel frames with partially restrained connections*. Ph.D. Thesis, The University of Sidney, School of Civil Engineering.
- McGuire, W., Gallagher, R. H. e Ziemian, R. D. (2000). *Matrix Structural Analysis*. John Wiley & Sons, 480 p.
- Melchers, R. E. (1999). *Structural reliability analysis and prediction*. John Wiley & Sons, 2. ed., 431 p.
- Rackwitz, R. e Fiessler, B. (1978). Structural reliability under combined random load sequences. *Computer and Structures*, v. 9, p. 489-494.
- Silva, A. R. D. (2009). *Sistema computacional para análise avançada estática e dinâmica de estruturas metálicas*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.
- Yang, Y. B. e Kuo, S. R. (1994). *Theory & Analysis of Nonlinear Framed Structures*. Prentice Hall, 1. Ed., 450 p.

CAPÍTULO 7

AValiação DA QUALIDADE DO ESPAÇO FÍSICO EM ACADEMIAS DE GINÁSTICA E MUSCULAÇÃO NA CIDADE DO RECIFE/PE

Data de aceite: 02/01/2023

Emanoel Silva de Amorim

Universidade de Pernambuco – UPE;
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI; Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PEC; POLITECH – Tecnologia e Gestão da Construção de Edifícios; Pesquisador

Kássia Benevides Martins Gomes

Faculdade de Ciências Humanas – ESUDA; Programa de Pós-graduação em Gestão Ambiental e Sustentabilidade; Especialista

Girlândia de Moraes Sampaio

Universidade de Pernambuco – UPE;
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI; Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PEC; POLITECH – Tecnologia e Gestão da Construção de Edifícios; Pesquisadora

Paula dos Santos Cunha Boumann

Universidade de Pernambuco – UPE;
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI; Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PEC; LSHT – Grupo de Pesquisa de Segurança e Higiene do Trabalho; Pesquisador

Diogo Cavalcanti Oliveira

Universidade de Pernambuco – UPE;
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI; Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PEC; POLITECH – Tecnologia e Gestão da Construção de Edifícios; Pesquisador

José Allef Ferreira Dantas

Universidade de Pernambuco – UPE;
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI; Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PEC; AMBITEC – Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente; Pesquisador

Ana Maria Batista Farias

Universidade de Pernambuco – UPE;
Escola Politécnica de Pernambuco – POLI; Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PEC; LSHT – Grupo de Pesquisa de Segurança e Higiene do Trabalho; Pesquisador

Hugo Leonardo França Silva

Faculdade de Ciências Humanas – ESUDA; Programa de Pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho; Especialista

Thiago Araújo de Menezes

Universidade de Pernambuco – UPE; Escola
Politécnica de Pernambuco – POLI; Graduação em
Engenharia Civil; Aluno de Graduação

Arthur Henrique Neves Baptista

Faculdade de Ciências Humanas – ESUDA; Programa
de Pós-graduação em Engenharia de Segurança
do Trabalho; Doutor em Desenvolvimento Urbano

RESUMO: Este trabalho apresenta o resultado dos estudos de caso realizados em academias de pequeno e médio porte na Cidade do Recife, apontando aspectos ligados a qualidade do espaço físico como: acessibilidade, ergonomia, segurança do trabalho e sanitária. O trabalho avalia as edificações através das normas existentes relativas aos assuntos.

PALAVRAS-CHAVE: Acessibilidade Arquitetônica. Avaliação pós ocupação. Ergonomia.

ABSTRACT: This paper presents the results of case studies conducted in academies small and medium businesses in the city of Recife, pointing the quality aspects of the physical space as: accessibility, ergonomics, occupational safety and health. The study evaluates the building through existing standards relating to the matters.

KEYWORDS: Architectural Accessibility. Post occupancy assessment. Ergonomics.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo estudiosos, os gregos foram responsáveis pelo surgimento das primeiras escolas destinadas à preparação de atletas para exposições ginásticas em público. O pioneirismo grego nasceu da busca pelo corpo sã, mente sã e do ideal de beleza humana. A ginástica definida por Platão e Aristóteles era uma prática que salientava a beleza através dos movimentos corporais.

Existem poucas informações sobre o surgimento das academias de ginástica em nosso país. Tradicionalmente, os clubes esportivos estavam associados à prática de esportes, em decorrência da mudança do comportamento da população e da busca por exercícios físicos regulares. Nesse cenário que ocorreu o surgimento das primeiras academias de ginástica.

Há algumas décadas, uma parcela significativa da população, tanto no Brasil como em outros países, vem mudando seus hábitos, aumentando a busca por atividades físicas. O reflexo disso pode ser visto no aumento do número das academias de ginástica. O que no início foi visto como modismo foi ganhando credibilidade devido às pesquisas dos estudiosos na área da fisiologia humana, o que lhes permitiu afirmar que a prática de exercícios é importante durante toda a vida e não somente na infância com o intuito de melhorar a coordenação motora.

Além disso, houve o desenvolvimento tecnológico dos equipamentos específicos para esta área, o que fez com que aumentassem os adeptos na busca por um corpo perfeito.

Por outro lado, percebe-se que a escassez de espaços públicos adequados e a falta de segurança na prática de esportes ao ar livre têm feito com que as academias se tornem um atrativo principal. Desde então, estas buscam cada vez mais incrementos para atrair uma clientela diversificada, é tanto que diversas academias vão além dos serviços voltados para atividades físicas e oferecem outras vantagens como salão de beleza, estética corporal, espaços para compras, entre outros. E ainda há aquelas que apostam nas áreas de convívio para os clientes interessados no lazer.

Porém em meio a tanta diversificação do espaço das academias ainda existem poucas informações, legislações e estudos voltados para a regularização da qualidade do espaço físico das academias. E tendo em vista os novos conceitos de construção que visam à acessibilidade, qualidade no desenvolvimento de atividades, procuramos observar principalmente os espaços internos e a disposição dos equipamentos, bem como a divisão dos ambientes das academias.

O presente estudo irá avaliar academias de pequeno a médio porte, na cidade do Recife, observando conceitos básicos para o bem-estar dos usuários destes estabelecimentos, visando diagnosticar a qualidade do espaço arquitetônico em relação ao homem. Neste estudo serão abordados assuntos como acessibilidade, ergonomia, eficiência no desenvolvimento de atividades, entre outros.

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Avaliar a qualidade dos espaços físicos em academias de ginástica e musculação na cidade do Recife/PE.

2.2 Objetivos Específicos

Levantar, se existir, legislações e normativas voltadas para o regulamento das construções de academias de ginásticas e musculação na cidade do Recife;

Estudar conceitos ligados a qualidade dos espaços físicos de academias de ginásticas e musculação;

Elaborar um instrumento de avaliação da qualidade dos espaços físicos de academias de ginásticas e musculação.

3 | RELAÇÃO DO HOMEM COM O ESPAÇO ARQUITETÔNICO

3.1 Acessibilidade para todos

O processo de urbanização nos centros urbanos vem ocorrendo de maneira constante e acelerada, principalmente nas cidades que possuem uma acentuada verticalização. E quando desordenado e não planejado, ele surge atrelado a diversos problemas que afetam a qualidade de vida da população. A ausência de acessibilidade é um dos fatores que mais impactam a qualidade de vida da população (AMORIM; GOMES, 2017).

A NBR 9050, que é a norma de acessibilidade em edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, estabelece critérios e parâmetros técnicos para instalação e adaptação de edificações às condições de acessibilidade, visando proporcionar de maneira autônoma e segura, a circulação de pessoas independentemente de idade, estatura, ou limitação de mobilidade ou percepção. Portanto todos os espaços que vierem a serem projetados, construídos, montados ou implantados devem atender ao disposto na norma.

Serão citados alguns parâmetros, os quais serão utilizados na avaliação dos níveis de acessibilidade das academias.

3.1.1 Corredores e Portas

Os corredores devem ser dimensionados de acordo com o fluxo de pessoas, assegurando uma faixa livre de barreiras e obstáculos. Devendo ser observado os seguintes critérios:

- 0,90m para corredores de uso comum com extensão até 4,00m.
- 1,20m para corredores de uso comum com extensão até 10,00m e 1,50 para corredores com extensão superior a 10,00m.
- 1,50m para corredores de uso público.

As portas devem ter um vão livre mínimo de 0,80m e altura mínima de 2,10m (ver figura 01). Em portas de duas ou mais folhas, pelo menos uma delas deve ter o vão livre de 1,80m. As portas de sanitários, vestiários devem ter puxadores horizontais.

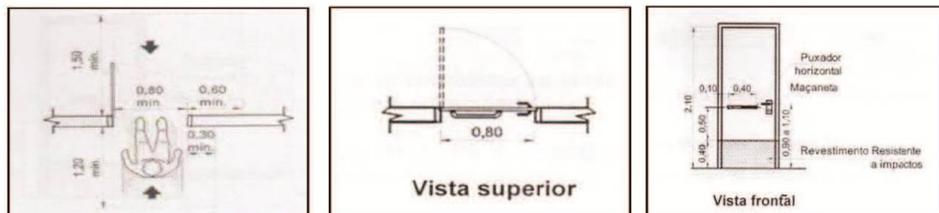


Figura 1 – Vistas superior e frontal de vão livre de 0,80m

Fonte: NBR 9050/2015.

3.1.2 Banheiros

A localização das barras de apoio deve atender as seguintes condições: junto à bacia sanitária, na lateral e o fundo devem ser colocados barras horizontais para apoio e transferência, com comprimento mínimo de 0,80 m, a 0,75 m de altura do piso acabado. À distância entre o eixo da bacia e a face da barra lateral ao vaso deve ser de 0,40m. A barra da parede do fundo deve estar uma distância máxima de 0,11m da sua face externa à parede e estende-se no mínimo 0,30m.

No caso de bacias com caixa acopladas deve-se garantir a instalação da barra na parede do fundo, de forma a se evitar que a caixa seja utilizada como apoio. A distância mínima entre a face inferior da barra deve ser de 0,15m.

Quando a bacia tiver altura inferior a 0,43m e 0,45m do piso deve ser ajustada da seguinte forma: Instalação de sóculo na base da bacia, devendo acompanhar projeção da base da bacia não ultrapassando em 0,05m o seu entorno.

O boxe para bacia sanitária deve seguir as áreas de transferências diagonal, lateral e perpendicular, bem como área para rotação de 180°. Deve ser instalado lavatório dentro do boxe, em local que não interfira na área de transferência (ver figura 02).

No boxe do chuveiro deve ser previsto área de transferência externa ao boxe, de forma a permitir aproximação paralela, devendo estender-se no mínimo 0,30m além da parede onde o banco está fixado. Os boxes devem ser providos de banco articulado ou removível, com cantos arredondados e superfície antiderrapante e impermeável.

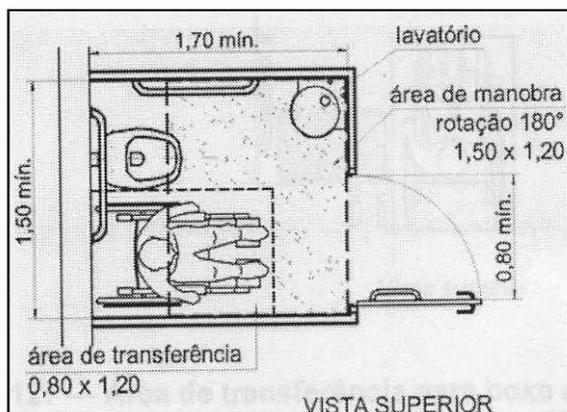


Figura 2 – Vista superior boxe – bacia

Fonte: NBR 9050/2015.

3.2 Ergonomia em academias de ginástica e musculação

Ao longo dos tempos têm-se buscado constantemente soluções que atendam às

necessidades de evolução das relações do ser humano com suas atividades de trabalho. A ergonomia aplica-se no estudo das relações que se estabelecem entre o homem e o trabalho.

É importante perceber que os espaços físicos devem estar adequados para serem usados e sentidos pelas pessoas, caso contrário podem causar constrangimentos graves, podendo até gerar demandas legais.

Porém, mesmo com todas as informações disponíveis acerca do tema, estes espaços muitas vezes não são concebidos tendo em vista o ser humano em todas as suas dimensões. Para espaços públicos, os constrangimentos são geralmente mais críticos, por envolver relações de ordem social.

As academias de ginástica, que estão se desenvolvendo cada vez mais, pode ser um exemplo de espaço público que pode impor tais constrangimentos. E os fatores são um mau dimensionamento do layout dos equipamentos e a superpopulação das academias em horários de pico, como exemplo às 19h.

Ao dimensionar um espaço físico e projetar o layout de uma academia deve ser observados critérios como:

- a) Dimensões antropométricas da população usuária em potencial;
- b) Dimensões físicas dos equipamentos;
- c) Área física disponível, com áreas de circulação e de espera.

Ao projetar um espaço físico também deve ser avaliada a atividade desenvolvida no mesmo. E então estudada as situações e movimentos que o usuário desenvolverá ao praticar a atividade.

Para a realização destas avaliações sugere-se a utilização das tabelas de dimensionamento da estrutura do corpo humano, disponível no livro *Las Dimensiones Humanas em los Espacios Interiores*, de Julius Panero e Martin Zelnik (ver figura 03).

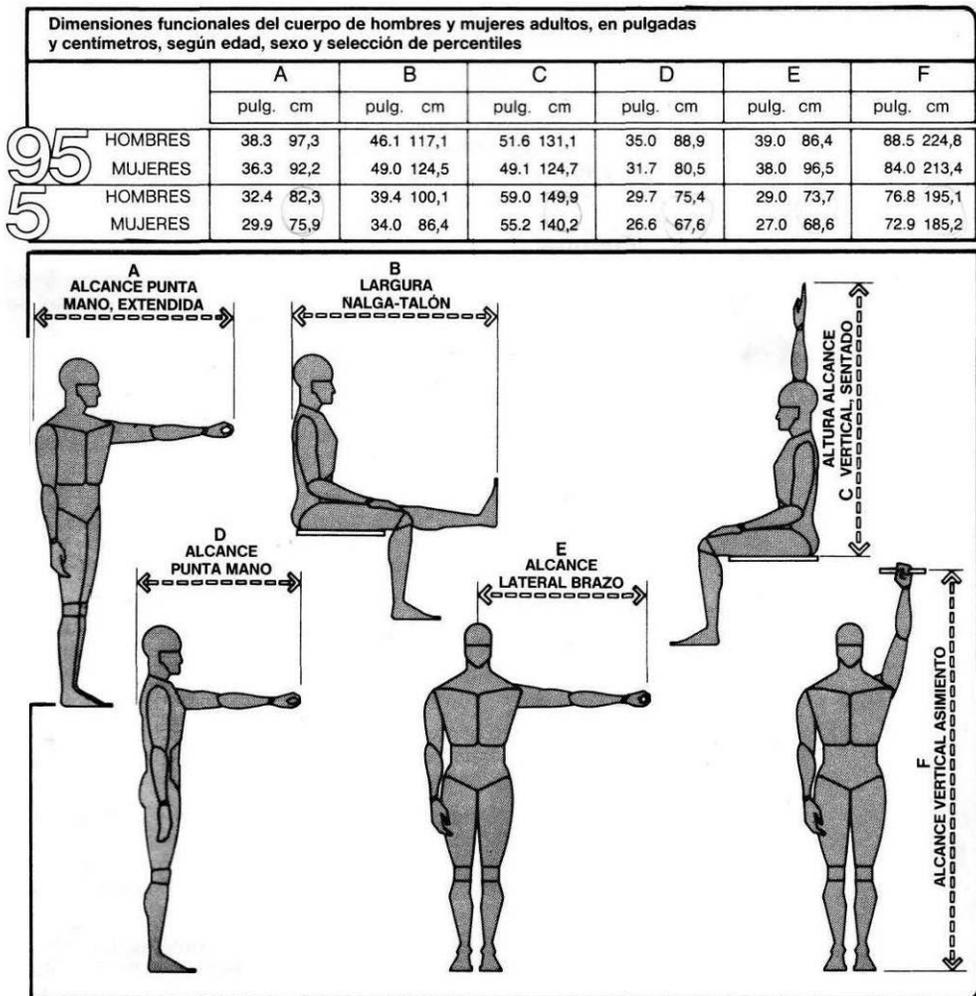


Figura 3 – Exemplo de tabela de dimensionamento

Fonte: Las Dimensiones Humanas em los Espacios Interiores.

3.3 Segurança Sanitária em academias de ginástica e musculação

A Divisão de Vigilância Sanitária fiscaliza, avalia e concede a licença de funcionamento aos estabelecimentos que exerçam atividades que afetam a saúde no Estado de Pernambuco. Portanto, é obrigatório a “Licença Sanitária” para o funcionamento de uma academia de ginástica e musculação.

Os parâmetros de avaliação de um imóvel para o recebimento da Licença Sanitária são os aspectos técnicos de higiene, organização, área física, equipamentos, funcionários, produtos, procedimentos etc.

É importante lembrar que toda academia de ginástica e musculação deve possuir

um responsável técnico. Considera-se responsável técnico pelo estabelecimento e equipamentos perante a Vigilância Sanitária, os profissionais legalmente habilitados, no caso, profissionais de educação física.

No que compete à resolução do Conselho Federal de Educação Física (CONFEF) nº 056/2003 as ações de Vigilância Sanitária nas academias consistem em:

- a) Verificar os documentos de identificação e licenças do estabelecimento;
- b) Vistoriar a estrutura físico-funcional;
- c) Verificar os acessos para o público e para o transporte de materiais e resíduos;
- d) Verificar a existência de sistema de esgotamento sanitário, o de abastecimento de água tratada e a existência de reservatório;
- e) Verificar a existência de ambulatório médico (lavatório dotado de sabão líquido / antisséptico, papel toalha, lixeira, outros) e de medicamentos (relacioná-los);
- f) Com relação aos recursos humanos, especificar os tipos de profissionais, quantidades e respectiva carga horária de cada um, conferir a assistência e responsabilidade técnica (registro no Conselho de Classe, especialidade e carga horária), inclusive do responsável técnico pelo ambulatório médico.
- g) Estado de conservação e higiene dos equipamentos e acessórios;
- h) Estado de conservação e higiene dos ambientes;
- i) Controle de segurança contra Incêndio.
- j) Revestimento de materiais de acabamento;
- l) Ventilação e iluminação dos ambientes;
- m) Instalações elétricas e hidro-sanitárias;

4 | METODOLOGIA DE PESQUISA

Para realização do presente estudo foram utilizadas como metodologia as pesquisas bibliográficas, levantamentos fotográficos, pesquisas in loco e entrevistas as profissionais da área de medicina, enfermagem e educação física.

Também foi elaborado um formulário de avaliação (ver Tabela 1) seguindo as diretrizes pesquisadas nos referenciais teóricos (Item 3.0). Esse formulário avalia algumas questões objetivas e outras subjetivas, onde foi empregado um sistema de cores que demonstra os diferentes níveis de acessibilidade e ergonomia através de cinco cores, onde “azul” foi utilizado para demonstrar plenas condições de acessibilidade e “vermelho” para uma péssima condição acessibilidade.

As pesquisas in loco foram realizadas em quatro academias de ginástica e musculação de pequeno a médio porte na cidade do Recife. As academias foram escolhidas pelo fato de serem referência na qualidade dos serviços prestados nos bairros situados. A partir dessa

avaliação in loco foi possível determinar aspectos positivos e negativos da estrutura física dessas academias em relação aos tópicos estudados no item 3.0 deste artigo.

ITENS AVALIADOS	ACADEMIA A				ACADEMIA B				ACADEMIA C				ACADEMIA D			
ACESSIBILIDADE																
1.0 Nível de acessibilidade da entrada principal.		X					X				X				X	
2.0 Nível de acessibilidade do Setor de Atividades.				X	X							X				X
3.0 Nível de acessibilidade dos corredores.		X					X				X					X
4.0 Nível de acessibilidade banheiros.			X				X				X					X
5.1 Existe Pavimento Superior?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
5.2 Caso a resposta anterior seja sim, informe o Nível de acessibilidade ao pavimento superior.				X								X				X
ERGONOMIA																
1.0 Nível de conforto ergonômico das dimensões antropométricas dos usuários em relação a atividade desenvolvida.			X				X				X				X	
2.0 Qualidade no conforto ergonômico em relação às dimensões dos espaços e quantidade de usuários.		X				X				X				X		
3.0 Possui áreas destinadas para usuários que não estão em atividade (repouso)?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
4.0 Possui rotas de circulação apropriada para a demanda de usuários?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
5.0 Nível de conforto ergonômico causado pelo layout dos equipamentos.			X				X				X				X	
SEGURANÇA SANITÁRIA E DO TRABALHO																
1.0 Possui equipamentos de combate e proteção contra incêndio?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
2.0 Possui rota de fuga e sinalização de emergência?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
3.0 Possui iluminação e ventilação natural em todas as áreas?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
4.0 Apresenta bom estado de conservação e higiene dos equipamentos e acessórios?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
5.0 Apresenta bom estado de conservação e higiene dos ambientes?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		
6.0 Possui ambulatórios ou enfermaria?	Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não			Sim	Não		

Tabela 1 – Formulário de avaliação

Fonte: Autores.

5 | APRESENTAÇÕES DOS DADOS OBTIDOS

Através da aplicação do formulário de avaliação conseguiu-se fazer uma análise comparativa da situação da estrutura física de cada uma das quatro academias estudadas. Por meio do levantamento percebeu-se aspectos da distribuição dos espaços, conforto ergonômico, dimensionamento do espaço e dos mobiliários e/ou equipamentos, acessibilidade, segurança sanitária e do trabalho.

5.1 Acessibilidade

No tocante da acessibilidade pode-se concluir que os níveis de acessibilidade das academias não atendem a todos os tipos de usuários. Em média, mesmo com a entrada principal com um bom nível de acessibilidade, existi uma grande barreira arquitetônica entre a recepção e a área de atividade, que é a catraca, a qual prejudica os usuários cadeirantes

de acessar os ambientes. Os corredores possuem um bom nível de acessibilidade, porém três academias não possuem banheiros acessíveis. Além disso, as três academias que possuem pavimento superior não possuem elevadores, também pode ressaltar que as escadas de acesso ao 1º andar são muito íngremes e não possuem corrimão.

5.2 Ergonomia

No que se refere à ergonomia, as academias apresentaram baixos níveis de qualidades em todos os itens analisados. Os níveis de conforto ergonômico em relação a quantidade de usuário em um espaço, em relação a área individual para o desenvolvimento de uma atividade, e em relação ao espaço entre equipamentos determinado no layout foram todos insuficientes podendo causar constrangimentos graves aos usuários. Nenhuma academia apresentou área de repouso para os usuários. Em tese pode-se apontar alguns fatores que contribuíram para os baixos níveis de conforto ergonômico, são eles: a superlotação de usuários, o aumento do número de equipamentos em um espaço com dimensões insuficientes, a falta de cuidado com o crescimento do empreendimento ao se projetar a academia e os problemas de se adaptar uma edificação com função anterior diferente a atual.

5.3 Segurança Sanitária e do Trabalho

Todas as academias apresentaram bom estado de conservação e higiene dos ambientes, equipamentos e acessórios. Porém, 100% das academias não apresentaram ambulatórios ou enfermaria, somente uma academia apresentou rota de fuga e sinalização de emergência. Metade das academias não apresentou iluminação e ventilação natural em todas as áreas, além de equipamentos de combate e proteção contra incêndio. É importante lembrar que todos os itens analisados nesse tópico são exigência da Divisão de Vigilância Sanitária e que o não cumprimento dessas acarreta a não aprovação da “Licença Sanitária”, necessária para o funcionamento de uma academia de ginástica e musculação.

6 | CONCLUSÕES

Através do presente trabalho percebeu-se que existe uma procura, por parte da população, por este tipo de empreendimento, e em detrimento a isso surge, com frequência, novas academias de ginásticas e musculação. Sendo que algumas das academias existentes nem sempre seguem os padrões mínimos exigidos para qualidade de utilização de seu espaço físico.

Existe a busca por diversificação nas atividades das academias, isso exige habilidade dos projetistas em saber lidar com tantos espaços diferenciados dentro de um único empreendimento, além de saber avaliar a necessidade presente do programa arquitetônico e seu dimensionamento para a quantidade de usuários que se deseja atender.

Apesar do constante crescimento e interesse de investidores nesta área ainda existe

uma falta de normas específicas, que considerem as especificidades de uma edificação voltada para essa finalidade. Ficando o projeto sem diretrizes normativas voltadas para o conforto e eficiência do funcionamento do espaço.

Em termo de acessibilidade foram apontados os graves erros e/ou negligência arquitetônica que ainda existem nos espaços públicos, assim como no item segurança sanitária e do trabalho, o que faz refletir sobre a qualidade do sistema de vistoria, avaliação e aprovações de licenças de funcionamento desses estabelecimentos. Vale ressaltar que todos possuíam licença sanitária, licença do corpo de bombeiro e alvará de funcionamento emitido pela prefeitura.

No tocante da ergonomia nos espaços avaliados pode-se verificar a necessidade urgente de uma normativa que possa regularizar as instalações, layout, dimensionamento mínimo para equipamentos e usuários. Algo que possa delimitar o mínimo de conforto para evitar constrangimentos físicos. Pois sem esse parâmetro o projeto torna-se subjetivo ficando à mercê do bom senso de cada projetista e no futuro de cada empreendedor.

Em termos arquitetônicos percebemos a importância de um bom projeto para proporcionar um melhor conforto aos usuários, melhorar a acessibilidade, diversificar as atividades exercidas, tornando o empreendimento cada vez mais atrativo, competitivo no mercado e proporcionando satisfação aos usuários.

REFERÊNCIAS

AMORIM, E. S.; GOMES, K. B. M. Avaliação dos níveis de acessibilidade em vias públicas: estudo na Rua de Santa Cruz, Recife/PE. In: XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, 2017, Recife. Anais [...].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9050; Acessibilidade de pessoas portadoras de deficiências em edificações, espaço, mobiliário e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BAPTISTA, A. H. N. Procedimentos metodológicos para a avaliação da acessibilidade de estruturas de circulação de pedestre com vistas ao projeto de “antropovias”. Recife: PPGE/UFPE, 2003, 142p. (Dissertação de mestrado, Engenharia de Produção).

CAMBIAGHI, S. Desenho Universal: Métodos e técnicas para arquitetos e urbanistas. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

CORBOLI, Nanci. Instalações esportivas Para jogar, malhar e fazer amigos. Disponível em <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/instalações-esportivas-parajogar.html>>. Acesso em: 18 de Abril de 2022.

GUIMARÃES, Lia. Estudo Ergonomico Para O Dimensionamento De Uma Academia De Musculação E Ginástica. Disponível em <<http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/arquivos/academia.pdf>>. Acesso em: 18 de Abril de 2022.

PANERO, J., ZELNIK, M. Las Dimensiones Humanas Em Los Espacios Interiores – Estándares Antropométricos. México: Ediciones G. Gill, 1993.

COMPARAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA UTILIZANDO ENVOLTÓRIAS DE RUPTURA LINEAR E CURVA. CASO DE ESTUDO MEDELLÍN – COLÔMBIA

Data de submissão: 08/12/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Eduardo Montoya Botero

Universidade de Brasília
Brasília, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0827459726575474>

George Fernandes Azevedo

Universidade Federal do Maranhão
Brasília, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3259343585706307>

Hernán Eduardo Martínez Carvajal

Universidad Nacional de Colombia
Medellin, Colombia
<http://lattes.cnpq.br/2409917419986324>

Edwin Fabian Garcia Aristizabal

Universidad de Antioquia
Medellin, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-4837-8518>

Newton Moreira de Souza

Universidade de Brasília
Brasília, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8863234872460861>

RESUMO: A resistência ao cisalhamento dos solos está relacionada à porção granular e à porção de argila presente no solo. Em tensões muito elevadas, a resistência de atrito entre as partículas impede o deslizamento entre elas, fazendo

com que o esmagamento se torne o principal modo de deformação. Assim, a taxa de aumento na força de cisalhamento diminui com o aumento das tensões normais, fazendo com que a envoltória de tensão de cisalhamento seja curva. Escorregamentos superficiais acontecem em profundidades de 0,5 m a 3 m. Nessas profundidades, a tensão normal efetiva é da ordem de 5 a 20 kPa. Esse intervalo está abaixo do intervalo de tensões nas quais os corpos de prova são comumente testados para projetos de estabilidade de encostas. Parâmetros de resistência são usualmente obtidos com um valor mínimo de tensão efetiva normal, de aproximadamente 50 kPa. O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado segundo o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais. O presente trabalho tem como objetivo principal comparar os resultados do fator de segurança, utilizando uma equação de talude infinito, com as envoltórias de Mohr-Coulomb e com uma envoltória curva, para uma encosta na cidade de Medellín, Colômbia. Para tanto, a metodologia prevista valeu-se de técnicas

de geoprocessamento. A declividade foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) das curvas de nível, os parâmetros de resistência foram estabelecidos mediante ensaios laboratoriais e a poropressão foi calculada usando elementos finitos. Como resultado, pode-se verificar em cada pixel o cálculo do fator de segurança com ambas as envoltórias.

PALAVRAS-CHAVE: Escorregamentos, Envoltória curva, Chuvas, Fator de Segurança.

COMPARISON OF FACTOR OF SAFETY USING LINEAR AND CURVED RUPTURE ENVELOPES. CASE STUDY MEDELLÍN – COLOMBIA

ABSTRACT: The shear strength of soils is related to the granular portion and the clay portion present in the soil. At very high stresses, the frictional resistance between particles prevents sliding between them, causing crushing to become the main mode of deformation. Thus, the rate of increase in shear force decreases with increasing normal stresses, causing the shear stress envelope to be curved. Shallow landslides occur at depths ranging from 0.5 m to 3 m. At these depths, the effective normal stress is of the order of 5 to 20 kPa. This range is below the range of stresses at which specimens are commonly tested for slope stability designs. Strength parameters are usually obtained with a minimum normal effective stress value of approximately 50 kPa. The result of the direct shear test, interpreted according to the Mohr-Coulomb failure criterion, is not appropriate for the study of the surface stability of slopes because the range of normal effective stresses, in practice, is not used in laboratory tests. The present work has as its main objective to compare the results of the safety factor, using an infinite slope equation, to the Mohr-Coulomb envelopes and to a curved envelope for a slope in the city of Medellín, Colombia. Therefore, the proposed methodology uses geoprocessing techniques. The slope was obtained from the digital elevation model (DEM) of the contour lines, the resistance parameters were established through laboratory tests, and the pore pressure was calculated using finite elements. As a result, the factor of safety calculation for both envelopes can be verified in each pixel.

KEYWORDS: Landslides, Rupture Envelope, Rains, Safety Factor.

1 | INTRODUÇÃO

Movimentos de massa são uma das causas mais frequentes de perdas humanas e econômicas em todo o mundo e, por isso, a determinação da ameaça associada a movimentos de massa, bem como a capacidade de prever esses eventos têm sido um assunto de grande interesse para a comunidade científica (Aleotti & Chowdhury 1999; Chacón et al 2006).

Para ambientes tropicais, caracterizados pelos perfis de intemperismo profundos e alto índice de chuvas, um número importante de pesquisadores estão concentrados na compreensão da chuva como um fator chave para a ocorrência de tais eventos (Crosta 1998; Terlien 1998; Polemio e Petrucci 2000; Iverson 2000 ; Larsen 2008).

No caso do Vale do Aburrá (Medellín - Colômbia), com um total de 3,4 milhões de habitantes, os movimentos de massa correspondem a 3 de cada 10 desastres que ocorrem na região e correspondem a 75% do total de vítimas por ano. Apenas os movimentos

de massa foram responsáveis por 1390 mortes e perdas econômicas superiores a US\$ 10 milhões no período de 1880-2007 (Aristizábal e Gómez 2007). Na Colômbia, foram registrados, durante o último século, 36 desastres gerados por movimentos de massa de magnitude considerável, sendo que o mais catastrófico foi desastre de Villatina, em Medellín, que ocorreu em 27 de setembro de 1987, com um número estimado de 640 mortes (Aristizabal et al., 2010).

Escorregamentos superficiais acontecem em profundidades de 0,5 m a 3 m. Nessas profundidades, a tensão normal efetiva é da ordem de 5 a 20 kPa. O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado em termos do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais.

O critério de ruptura de Mohr-Coulomb com parâmetros de resistência c' e ϕ' para ensaios convencionais, superestima a resistência da tensão cisalhante para baixas tensões normais, no intervalo de tensões que é importante para análises de falhas superficiais. O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado em termos do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais.

Tendo os parâmetros de resistência da envoltória de Mohr-Coulomb, é possível transformá-los para uma envoltória de ruptura curva sem coesão efetiva, como proposto por Lade (2010).

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal comparar os resultados do fator de segurança (FS) utilizando uma equação de talude infinito e as envoltórias de Mohr-Coulomb e de Lade (2010), para uma encosta na cidade de Medellín - Colômbia a qual foi previamente dividida em pixels quadrados. Para tanto, a metodologia prevista valeu-se de técnicas de geoprocessamento pelo uso de uma plataforma baseada em sistemas de informação geográfica, aplicadas a um conjunto de insumos do terreno.

A declividade foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) das curvas de nível; os parâmetros de resistência foram estabelecidos mediante ensaios laboratoriais e, a poropressão foi calculada usando elementos finitos, com base na ação de uma chuva considerada extrema na região de estudo. Todos os cálculos são feitos para uma profundidade de solo proposta por Azevedo et al. (2015) para a zona de estudo. Como resultado, podem se comparar em cada pixel o cálculo do fator de segurança com ambas as envoltórias.

2 | METODOLOGIA

Uma área de 1,5 km² foi escolhida para o estudo. Esta área está situada na costa noroeste da cidade de Medellín (Figura 1), localizando-se no Vale de Aburrá, no qual há

cinco outras cidades, além de Medellín, que formam a chamada Área Metropolitana de Medellín.

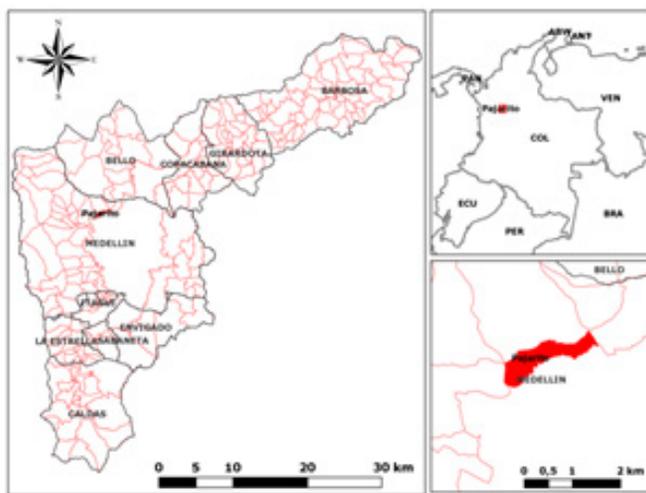


Figura 1. Localização da região de estudo.

Usando a topografia da área de estudo, um modelo digital de elevação (MDT) foi preparado com um tamanho de pixel quadrado de 10 m de lado. Considerando-se a classificação de susceptibilidade de escorregamentos em encostas feitas por García (2004), em que é apresentada a relação entre a ocorrência de deslizamentos de terra e o valor de inclinação do terreno, decidiu-se criar um histograma com nove tipos de declividades que, de acordo com García (2004), fornecem os maiores níveis de susceptibilidade.

Uma vez que os intervalos foram fixados, as declividades foram escolhidas, para as quais a análise numérica de infiltração foi processada. As inclinações das vertentes escolhidas corresponderam ao limite superior de cada classe do histograma.

Foi empregado, nos cálculos, o mapa de espessura de solo da região proposto por Azevedo et. al (2015) o qual tem a mesma resolução de pixel.

A partir da curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da estação pluviométrica San Cristóbal (INTEGRAL, 2011), foi estabelecida uma chuva extrema cujo período de recorrência (T_r) foi de 100 anos, Intensidade (I) 48 mm/h e duração (D) 100 minutos.

A caracterização geotécnica feita por Lôbo (2012) e INTEGRAL (2011) foi usada, da qual foram obtidos os parâmetros da curva de retenção de água e ensaio de cisalhamento, sendo que esses resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2. O peso específico do solo foi considerado em 20 kN/m³.

α (1/kPa)	n'	m	k (m/s)
------------------	------	-----	-----------

0,035	1,26	0,206	3×10^{-5}
-------	------	-------	--------------------

Tabela 1. Parâmetros da curva característica do solo.

Nº do teste	Resistência ao cisalhamento S (kPa)	Tensão efetiva σ' (kPa)
1	42,31	50
2	64,82	100
3	109,83	200

Tabela 2. Ensaios de cisalhamento.

Depois disso, uma análise numérica da infiltração foi realizada, a partir da qual se obteve a pressão dos poros (U) nos taludes escolhidos, caracterizados pela inclinação (β), para o fim da chuva. Para este fim, o código de elemento finito preparado no laboratório de geomecânica da Universidade de Kyoto, apresentado por Garcia (2010), foi usado.

De posse do perfil de poropressão em função da profundidade para as nove declividades do histograma, gerado pela chuva em estudo, foi elaborada uma carta de poropressão fazendo a interpolação do perfil desta variável nas nove declividades do histograma com o valor de inclinação em cada pixel, baseando-se na Tabela 3:

Inclinação pixel (%)	Perfil (%) pressão de poros associada
≤ 20.5	16
20.50 - 27.25	25
27.25 - 30.50	29
30.50 - 34.00	32
34.00 - 41.50	36
41.50- 52.50	47
52.50 - 64.00	58
64.00 - 85.00	70
> 85.00	100

Tabela 3. Associação entre declividades e poropressões.

A partir da análise numérica de infiltração e da interpolação anteriormente descrita, a variação da pressão nos poros é obtida em cada um dos taludes no fim de cada precipitação obtida da curva IDF.

Considerando-se a geometria dos nove taludes, caracterizados pela inclinação advinda do histograma sugerido por García (2004), juntamente com os parâmetros de resistência, também foi possível calcular a relação entre as tensões atuantes (τ) e as tensões de cisalhamento (s) para cada um dos cenários de combinações entre declividade

e chuva, o que resulta em um coeficiente de segurança, como mostrado na equação 1, proposta por Lade (2010).

$$FS = \frac{s}{\tau} = \frac{a.Pa.\left(\frac{\sigma'}{Pa}\right)^b}{\tau} \quad (1)$$

onde a e b são elementos adimensionais, σ' é tensão efetiva e Pa corresponde a pressão atmosférica na mesma unidade de s e σ' .

Lade (2010) propõe uma envoltória de ruptura sem coesão efetiva, que pode ser modelada por uma função potência da mesma forma da equação 2:

$$\left(\frac{s}{Pa}\right) = a \left(\frac{\sigma'}{Pa}\right)^b \quad (2)$$

A fim de calcular os valores de a e b, o logaritmo em ambos os lados foi empregado na equação 2 e uma expressão que representa uma função linear na escala logarítmica foram produzidos como representado na equação 3.

$$\log\left(\frac{s}{Pa}\right) = \log(a) + b.\log\left(\frac{\sigma'}{Pa}\right) \quad (3)$$

Criando uma relação entre s e τ , a equação que determina o fator de segurança de um talude infinito é mostrada na equação 4:

$$FS = \frac{a.Pa\left[\frac{\gamma_{sat}.h.(cos\alpha)^2 - U}{Pa}\right]^b}{\gamma_{sat}.h.cos\alpha.sin\alpha} \quad (4)$$

onde γ_{sat} é peso específico saturado do solo, h é profundidade da camada, α refere-se à declividade da encosta e U corresponde a poropressão;

3 | RESULTADOS

Nesta seção, serão mostrados os principais resultados alcançados na pesquisa, bem como a explanação das análises estabelecidas.

Do mapa de declividades presente na Figura 2 se conclui que o local de estudo apresenta uma distribuição que tende a se concentrar ao redor do intervalo 10 - 25%, mas sem descartar declividades menores do que 10% e muito maiores que 25%.

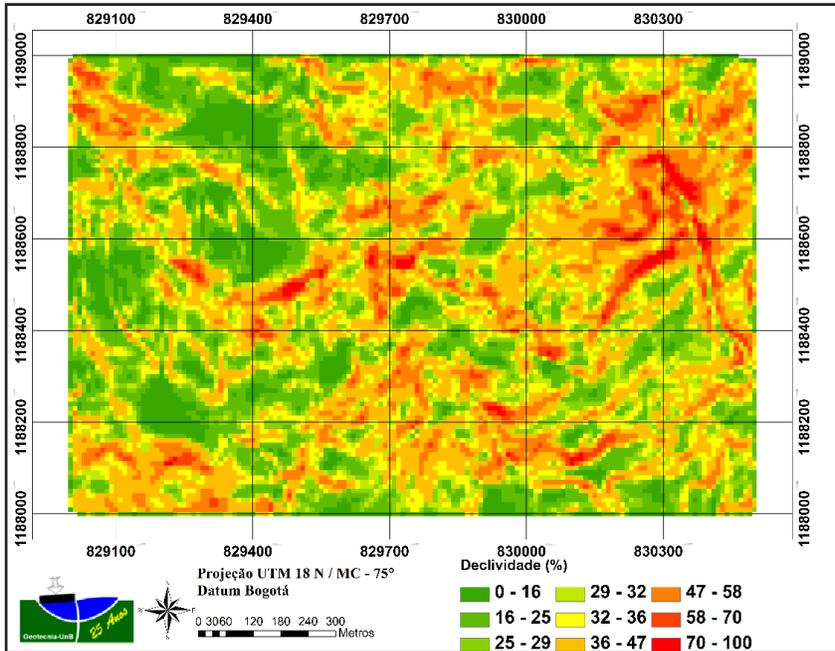


Figura 2. Mapa de declividades.

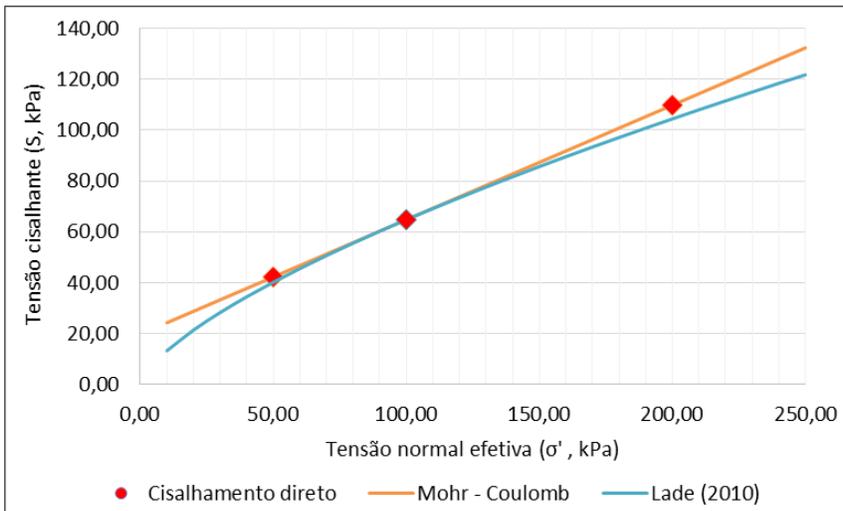


Figura 3. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto e as respectivas envoltórias.

Observa-se no gráfico da Figura 3 como os três pontos do ensaio ajustam-se mais à previsão de Mohr Coulomb, mas o ensaio de cisalhamento direto feito por INTEGRAL (2011) não utilizou tensões normais baixas segundo o sugerido em Lade (2010). Mesmo assim, não se descartou a previsão pelo ajuste parabólico (Lade, 2010), uma vez que são notórias as diferenças na previsão da resistência ao cisalhamento para baixas tensões na Figura 3.

Com os dados contidos na Figura 3 podemos extrair os parâmetros de ruptura do critério Mohr-Coulomb como sendo $c' = 19$ kPa e $\phi' = 24^\circ$ e os parâmetros do critério Lade (2010) $a = 0,65$ e $b = 0,69$.

Nas Figuras 4 e 5, encontram-se, respectivamente, os mapas relacionados aos fatores de segurança obtidos pelas envoltórias de Mohr-Coulomb e pela envoltória curva.

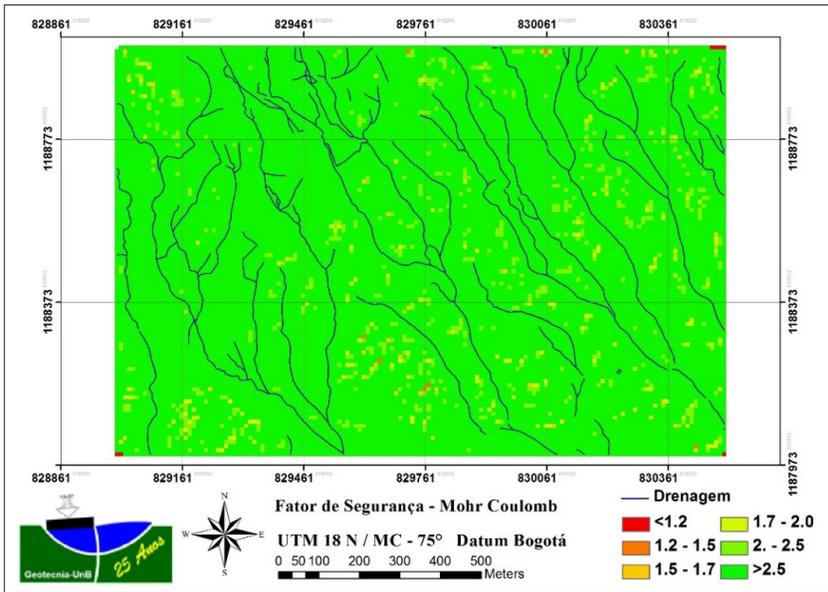


Figura 4. Mapa de fatores de segurança por Mohr-Coulomb.

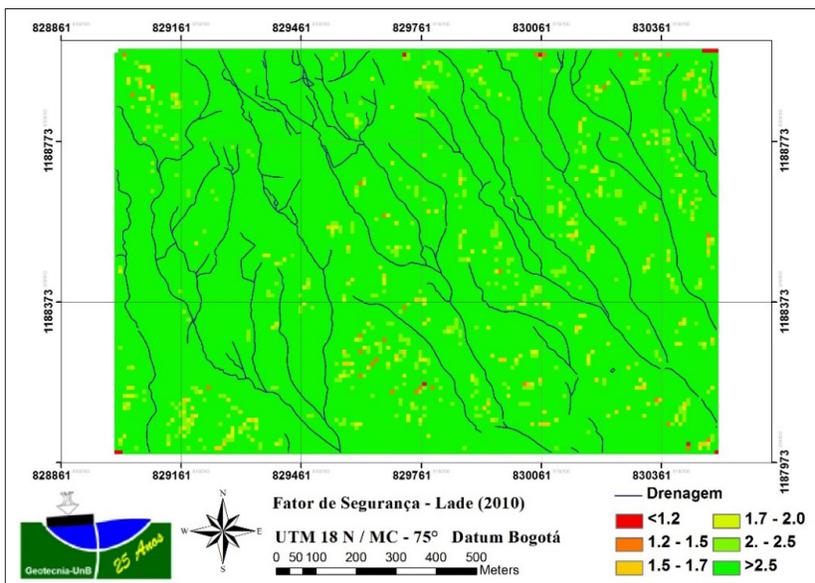


Figura 5. Mapa de fatores de segurança obtidos pela envoltória curva de Lade (2010).

Visualmente, a distribuição espacial entre as classes de valores de FS conseguidas com as diferentes envoltórias de ruptura apresentam grande similaridade. A maior parcela da região em estudo encontra-se classificada com FS superiores a 2,5. No outro extremo, a menor quantidade encontrada corresponde aos pixels com fatores de segurança que representam a faixa com menor estabilidade (FS inferiores a 1,2).

Há uma relação direta entre os menores fatores de segurança calculados e as regiões com maiores declividades, o que demonstra os preceitos presentes no modelo de estabilidade de taludes utilizado.

Pode-se também fazer uma análise quantitativa em relação à comparação entre os dois mapas. De forma geral, observa-se uma grande concordância entre as duas abordagens quando se trata dos valores de fator de segurança superiores a 2,5.

Uma melhor compreensão das diferenças entre as duas envoltórias de ruptura utilizadas pode ser averiguada a partir dos dados presentes na Tabela 4, a qual traz a distribuição dos pixels pelas classes dos fatores de segurança em números absolutos e em porcentagem.

4 | CONCLUSÕES

Ressaltam-se aqui as principais conclusões estabelecidas pelo presente trabalho.

O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado em termos do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais.

Comprovou-se que o critério de ruptura de Mohr-Coulomb com parâmetros de resistência c' e ϕ' para ensaios convencionais, superestima a resistência da tensão cisalhante para baixas tensões normais, no intervalo de tensões que é importante para análises de falhas superficiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro concedido pela Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Aleotti P. e Chowdhury R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 58, p. 21-44.

Aristizábal, E. e Gómez, J. (2007). Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá: originados por fenómenos naturales y antrópicos en el periodo 1880-2007, *Revista Gestión y Ambiente*, Vol. 10, p. 17-30.

Aristizábal, E., Martínez, H. e Gómez, J. (2010). Una breve revisión sobre el estudio de movimientos em masa detonados por lluvias, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales*, Vol. 34 (131), p. 209-227.

Azevedo, G.F., Montoya, B.E., Carvajal, H.E.M., Moreira, N.M. e Garcia E.F. (2015). Estimativa da profundidade do solo pelo uso de técnicas de geoprocessamento, estudo de caso: Setor Pajarito, Colômbia, XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, João Pessoa, PB, Brasil, INPE, Vol. 1, p. 4551-4558.

Chacón, J., Irigaray, C., Fernandez, T. e El Hamdouni, R. (2006). Engineering geology maps: landslides and geographical information systems, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 65 (1), p. 341-411.

Crosta, G. (1998). Regionalization of rainfall threshold: an aid for landslide susceptibility zonation, *Environmental Geology*, Vol. 35(2-3), p. 131-145.

Garcia, E. (2010). Numerical Analysis of the Rainfall Infiltration Problem in Unsaturated Soil, Ph.D. Thesis, Kyoto University. 170p.

Garcia, H.A.G. (2004). Avaliação da Susceptibilidade aos Movimentos de Massa Usando Sistemas de Informação Geográfica e Redes Neurais Artificiais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 140 p.

INTEGRAL (2011), Elaboración de estudios geológicos geotécnicos, hidrogeotécnicos, análisis de la vulnerabilidad estructural, y diseños de obras en las zonas de riesgo de la ciudad de Medellín, *Relatorio de Consultoria* 178 p.

Iverson, R. (2000). Landslide triggering by rain infiltration, *Water Resources Research*, Vol. 36(7), p. 1897-1910.

Lade, P.V. (2010). The mechanics of surficial failure in soil slopes, *Engineering Geology*, Vol. 114, p. 57-64.

Larsen, M.C. (2008). Rainfall-triggered landslides, anthropogenic hazards, and mitigation strategies, *Advances in Geosciences*, Vol. 14, p. 147-153.

Lôbo, B.R.H. (2012). Efeito do avanço da frente de umidade na redução da sucção e da resistência ao cisalhamento de um perfil de solo coluviar em Medellín-Colômbia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 110 p.

Polemio, M. e Petrucci, O. (2000). Rainfall as a Landslide Triggering Factor: An Overview of Recent International Research. *Landslides in research, theory and practice. Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides*, Carraiff, London, England, Vol. 3, p. 1219-1226.

EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRAS DE COCO A GESSO DE FUNDIÇÃO

Data de aceite: 02/01/2023

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima

<http://lattes.cnpq.br/4170242787528360>

Deborah Grasielly Cipriano da Silva

<http://lattes.cnpq.br/5330385384532235>

Ana Luíza Xavier Cunha

<http://lattes.cnpq.br/3151744044576520>

Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti

<http://lattes.cnpq.br/9008022571462686>

Felipe Bezerra de Lima

<http://lattes.cnpq.br/9392964744592829>

Jackson José dos Santos

<http://lattes.cnpq.br/7485334204106982>

Eyshila Paloma Costa de Brito

<http://lattes.cnpq.br/0065466719471642>

Lucas Ítalo Santos Gomes

<http://lattes.cnpq.br/3721716114900927>

Francisco das Chagas da Costa Filho

<http://lattes.cnpq.br/2930296374645794>

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo

<http://lattes.cnpq.br/7616387320307731>

José Dantas Neto

<http://lattes.cnpq.br/9137226205129315>

Romildo Morant de Holanda

<http://lattes.cnpq.br/4283130448063981>

Yêda Vieira Póvoas

<http://lattes.cnpq.br/1092873948823400>

RESUMO: A produção de gesso apresenta baixo potencial energético, o que, associado a possibilidade de reutilização dos resíduos gerados nesse processo e no de aplicação, releva potencial contribuição para a sustentabilidade do setor da construção civil. Nas últimas décadas, a questão ambiental tornou-se o foco de inúmeras pesquisas acadêmicas. A finalidade dos recursos naturais utilizados na construção exige que se busque alternativas adequadas para a continuidade das atividades do setor no futuro. A pesquisa em questão busca evidenciar o potencial do compósito de gesso e fibra de coco, dando destinação correta ao resíduo produzido. Os resíduos gerados pelo consumo de coco já se provaram eficientes para redução de ruídos quando utilizados em forma de mantas de fibra. Busca-se associar o gesso e a fibra de coco, formando um compósito que reaja de forma positiva, refletindo resultados vantajosos ou, ainda, que não interfiram negativamente nos ensaios realizados em laboratório. Para isso, foram coletadas

fibras de coco que foram tratadas e cortadas em diferentes tamanhos (0,5 cm e 1,5 cm), adicionadas nos teores de 0%, 0,5% e 1% em massa de gesso. O gesso foi caracterizado conforme as exigências da NBR 13207 (ABNT, 1994). No compósito foram realizados os ensaios de *mini-slump*, para determinação da relação água/gesso; de calor de hidratação e tempos de início e fim de pega, utilizando um calorímetro semiadiabático, e de resistência à compressão, de acordo com a NBR 12129 (ABNT, 2017). Como resultado, constatou-se que, dos tamanhos e dos teores de fibra adicionados, a adição de fibra de coco no teor de 0,5% e no tamanho de 0,5 cm apresentou bom resultado de resistência à compressão. O compósito não apresentou resultados que influenciasssem negativamente em sua execução nos ensaios de calorimetria. Com isso, fica evidenciado o potencial tecnológico e comercial do material na construção civil, podendo ser aplicado na fabricação de placas e blocos de gesso.

PALAVRAS-CHAVE: Gesso de fundição; Fibra natural; Resistência mecânica.

ABSTRACT: The production of gypsum has low energy potential, which, associated with the possibility of reusing the waste generated in this process and in the application, reveals a potential contribution to the sustainability of the civil construction sector. In recent decades, the environmental issue has become the focus of numerous academic research. The finite nature of the natural resources used in construction requires that adequate alternatives be sought for the continuity of the sector's activities in the future. The research in question seeks to highlight the potential of the composite of gypsum and coconut fiber, giving the correct destination to the waste produced. The residues generated by the consumption of coconut have already proven to be efficient for noise reduction when used in the form of fiber blankets. We seek to associate gypsum and coconut fiber, forming a composite that reacts positively, reflecting advantageous results or, even, that does not interfere negatively in the tests carried out in the laboratory. For this, coconut fibers were collected and treated and cut into different sizes (0.5 cm and 1.5 cm), added at 0%, 0.5% and 1% by mass of gypsum. The plaster was characterized according to the requirements of NBR 13207 (ABNT, 1994). In the composite, the mini slump tests were carried out to determine the water/gypsum ratio; of hydration heat and start and end times of setting, using a semiadiabatic calorimeter, and compressive strength, according to NBR 12129 (ABNT, 2017). As a result, it was found that, considering the sizes and fiber content added, the addition of coconut fiber in the content of 0.5% and in the size of 0.5 cm presented a good result of compressive strength. The composite did not present results that negatively influenced its performance in the calorimetry tests. With this, the technological and commercial potential of the material in civil construction is evidenced, and can be applied in the manufacture of plasterboards and blocks.

KEYWORDS: Gypsum plaster; Natural fiber; Compressive strength.

INTRODUÇÃO

A NBR 13207 (ABNT, 2017) define o gesso para construção como um material resultante da calcinação da gipsita ou de resíduos de gesso, constituído principalmente por sulfato de cálcio di-hidratado (gipsita). A calcinação da gipsita ocorre a cerca de 200°C, originando o sulfato de cálcio hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$). Por isso, o gesso é

considerado um dos aglomerantes mais ecológicos do mercado, devido a sua temperatura de calcinação ser consideravelmente mais baixa que a do cimento (1400°C) (DOLEŽELOVÁ et al., 2021).

O gesso ganha plasticidade em contato com a água, apresentando rápido enrijecimento durante a hidratação e retomando a sua composição original ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$). A partir desta combinação é produzida uma fina malha de cristais de sulfato hidratado, responsável pela coesão do composto, o que caracteriza a pega do gesso, havendo liberação de calor (OLIVEIRA, 2008).

O Pólo Gesso do Araripe, no estado de Pernambuco, é o maior produtor de gesso do Brasil, dada a ampla ocorrência e produção de gipsita na região (FERREIRA; SOUSA; CARNEIRO, 2019; LIMA; SANTOS FILHO; MISAS, 2019).

A fibra de coco é formada principalmente por celulose, podendo constituir 65% da fibra, hemicelulose e lignina (FUTAMI et al., 2021). A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA relata que a produção anual de cocos no Brasil chega a 1,12 bilhões de unidades, o que pode gerar mais de 800 toneladas de resíduo proveniente da casca do fruto (NUNES, 2021).

A quantidade de casca de coco verde gerada como resíduo agroindustrial e urbano, tem aumentado bastante. Sabe-se que esse resíduo corresponde a uma parcela significativa do peso do fruto in natura, cerca de 90%, e que o peso médio do coco após a retirada da água é de 1,5Kg (CORRADINI et al., 2019; SILVA; MARQUES; JUNIOR, 2012; JESUS JÚNIOR et al., 2013).

O acúmulo dessas cascas em locais inadequados na zona urbana, além de causar um efeito deletério à imagem da cidade, tem acarretado uma série de problemas econômicos e ambientais para os municípios, uma vez que, afeta os serviços municipais de coleta, transporte e deposição de lixo, por conta do grande volume que ocupa e do tempo de decomposição. Junto a isso, a sua forma e constituição dificultam a sua compactação, o que aumenta a demanda por área nos aterros e provoca a redução da vida útil dos mesmos (SILVA; JERÔNIMO, 2012; SILVA, et al., 2014; AGENCIA BRASIL, 2004). Diante disso, o reaproveitamento das cascas de coco verde surge como uma necessidade econômica e ambiental.

Do lixo gerado nas praias brasileiras, 70% é a casca do coco verde, resíduo este que apresenta potencial para emissão de gases como o gás metano e a proliferação de vetores de doenças e pragas. No Brasil, a maior parte da casca do coco é incinerada no local de coleta ou descartada em lixeiras (NUNES, 2021; SILVA et al., 2021). Costa e Lima (2018) afirmam que o processo de decomposição do coco pode se estender por mais de oito anos.

Rosa et al. (2009) indicam que o crescimento da demanda pela fibra de coco se dá pela procura por produtos ecologicamente corretos, por apresentar baixo custo, biodegradabilidade e características físicas interessantes para diferentes aplicações.

O setor da construção civil tem buscado alternativas sustentáveis para substituição de materiais convencionais, de forma a reduzir a produção e descarte de resíduos e a exploração de recursos naturais (OLIVEIRA; OLIVEIRA; MOLINA, 2021). Sáez et al. (2020) afirmam que é relevante repensar a produção dos materiais de construção, de modo a torná-los mais sustentáveis e causadores de menos impactos ambientais através da perspectiva da economia circular.

Nos últimos anos, pesquisas relacionadas a materiais locais e alternativos para aplicação na construção têm sido desenvolvidas, principalmente através da concepção de compósitos com insumos naturais (KUQO; MAI, 2021). Os resíduos agrícolas, incluindo os provenientes da plantação de frutos, podem causar sérios problemas ambientais, o que tem levado a busca pela reutilização economicamente positiva para estes subprodutos (HWANG et al., 2016).

A incorporação de fibras naturais em materiais de construção se tornou uma prática comum devido às vantagens desta combinação (KUQO; MAI, 2021), gerando compósitos com características que atendem os requisitos normativos ou até que apresentem comportamento melhor. Os compósitos de gesso apresentam vantagens como baixo custo e boa resistência ao fogo, sendo bastante aplicados em revestimentos internos (JIA; WANG; FENG, 2021).

Futami et al. (2021) afirmam que a adição de uma dosagem ótima de fibras naturais pode acarretar melhoras nas propriedades física, mecânica e térmica em materiais cimentícios. No caso dos gessos, o reforço com fibras apresenta excelente performance mecânica e comercialização mais abrangente como material de construção (JIA; WANG; FENG, 2021).

Dada a questão ambiental do descarte inadequado do resíduo de coco e levando em consideração o aspecto de inovação, objetiva-se avaliar o efeito da adição de fibras de coco ao gesso de fundição e suas propriedades no estado fresco e endurecido.

METODOLOGIA

O processo metodológico se inicia com a coleta e o tratamento da fibra natural, seguido pela descrição do traço a partir da definição dos teores de substituição e pelos ensaios pormenorizados nas normas técnicas regulamentadas no país.

Tratamento da fibra de coco

O processo de tratamento da fibra se deu inicialmente pela limpeza e separação do fio do material esponjoso presente no mesocarpo da casca do coco. Então, o material foi cortado em 0,5 e 1,5 cm, utilizando gabaritos confeccionados em plástico rígido, para garantir a uniformidade do corte, feito de forma manual. Por fim, a fibra tratada foi acondicionada a recipientes plásticos com tampa, com a identificação do respectivo comprimento.

Definição dos teores de substituição

As pastas de gesso foram preparadas com a substituição nas proporções de 0%, 0,5% e 1% em massa de gesso, a partir das quais foi possível analisar o comportamento do compósito, de acordo com as prerrogativas da NBR 13207 (ABNT, 2017).

Plano experimental

Os ensaios descritos neste item foram realizados para caracterizar física e mecanicamente os compósitos a base de gesso.

Mini-slump

A mistura foi realizada de forma a permitir a completa homogeneização das pastas estudadas. Pesados 50 gramas do gesso, o pó foi polvilhado sobre a água por 30 segundos, seguido por um repouso durante 60 segundos para que o gesso entrasse completamente em contato com água e completou-se com a mistura em movimentos contínuos por 40 segundos. Este processo se repetiu após a adição da fibra nas proporções e comprimentos determinados (Figura 1a), sendo previamente misturados os materiais secos, para não gerar variações no momento do polvilhamento (Figura 1b).

O ensaio de consistência das pastas foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Munhoz (2008). Utilizando um molde troncocônico de diâmetros de 20 mm no topo, 40 mm de base e 60 mm de altura e placa de vidro, sobrepostos a uma folha de papel milimetrado (Figura 1c), servindo de referência para a análise do espalhamento.

A mistura foi transferida para o molde, o qual foi retirado verticalmente e foi observado o diâmetro após o espalhamento sobre a placa, buscando encontrar as médias de leitura mais próximas possíveis dos 75 mm. Este valor caracteriza a consistência ideal para a produção de peças para a construção civil (MUNHOZ, 2008; PINHEIRO, 2011). Neste processo, foram utilizadas diferentes relações água/gesso (A/G) para uma mesma massa total de gesso ou gesso com fibra, definindo o fator ideal para cada proporção.

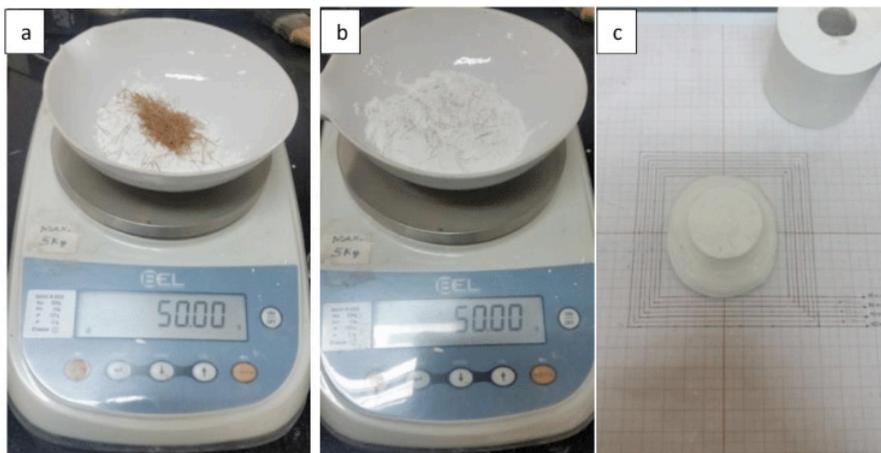


Figura 1: Pesagem de materiais secos para a mistura das pastas (a. e b.) e ensaio de mini-slump (c.).

Fonte: Autores (2017).

Calorimetria

Após a definição dos fatores de A/G ideais, foram realizadas as misturas para o ensaio de calorimetria, a partir do qual é possível observar as curvas de temperatura resultantes das reações de hidratação do gesso. Para isso, utilizou-se um calorímetro pseudo-adiabático (Figura 2), assim como o de Antunes (1999), Pinheiro (2011) e Silva, Santana e Póvoas (2019), constituído de um recipiente isolante, copo para disposição da pasta e termopares acoplados a um termômetro digital de 0,1°C de precisão, para o acompanhamento das variações da temperatura.

A pasta foi despejada dentro do copo e os sensores de temperatura colocados em contato direto com a mesma. Os dados de temperatura foram computados a cada minuto por cerca de 30 minutos. Andrade et al. (2016) afirmam que o tempo de início de pega se dá pelo aumento de 0,1°C/min, enquanto o tempo de fim de pega ocorre no momento do pico de temperatura da reação exotérmica.



Figura 2: Calorímetro semi-adiabático e termômetro durante ensaio de calorimetria.

Fonte: Autores (2017).

Resistência à compressão

A produção dos corpos de prova foi realizada de acordo com a NBR 12129 (ABNT, 2017), utilizando molde com três compartimentos cúbicos, resultando na moldagem simultânea de três corpos de com 50 mm de aresta. Para isso, o gesso de fundição ou gesso com fibras foi pesado e polvilhado sobre a água durante 1 minuto, mantendo repouso por 2 minutos e finalizando na mistura dos materiais por 1 minuto. A massa foi transferida para o molde, recebendo batidas para evitar vazios no corpo de prova, e rasado.

Após os 7 dias de cura a seco, o conjunto amostral de corpos de prova foi rompido em prensa mecânica com capacidade de carga de 30000N (Figura 3), vinculada a software de dados que indica o comportamento e a tensão máxima na ruptura dos cubos de gesso.

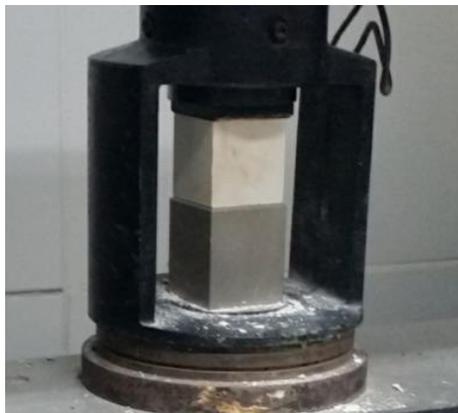


Figura 3: Ensaio de resistência à compressão 5x5.

Fonte: Autores (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mini-slump

O ensaio de mini-slump definiu a relação água-gesso mais próxima às condições ideais, dadas pelo espalhamento da pasta em 75 mm (Tabela 1).

COMPRIMENTO (cm)	PORCENTAGEM DE FIBRA	RELAÇÃO A/G
-	0	0,58
1,5	0,5	0,57
	1,0	0,58
0,5	0,5	0,56
	1,0	0,58

Tabela 1: Definição da relação água-gesso a partir do espalhamento da pasta.

Fonte: Autores (2017).

Kuqo e Mai (2021) encontraram valores semelhantes na adição de fibras de algas e de madeira, com a relação água/gesso de 0,62 para o teor de 1%. Enquanto Boccarusso et al. (2020) avaliaram compósitos de gesso com adição de fibras de cânhamo, apresentando 0,68 como teor de água em relação a quantidade de gesso. Fantilli, Józwiak-Niedźwiedzka e Denis (2021) encontraram os valores de 0,49 e 0,52 para compósitos de gesso com adição de fibras de lã e cânhamo, respectivamente.

Silva, Santana e Póvoas (2019) afirmam que as propriedades mecânicas podem ser influenciadas pela alteração da quantidade de água para cada mistura, no entanto, como a proposta é criar uma nova perspectiva para a reinserção do resíduo em uma cadeia produtiva, o estudo busca atender os requisitos normativos, garantindo a aplicabilidade do compósito.

Calorimetria

Neste ensaio foram analisados a temperatura de hidratação e o tempo de início e fim de pega, dados pelo momento em que a temperatura começa a variar em 1°C por minuto e pelo momento em que a temperatura começa a diminuir após um período de estabilização, sem que haja oscilação (Figura 6).

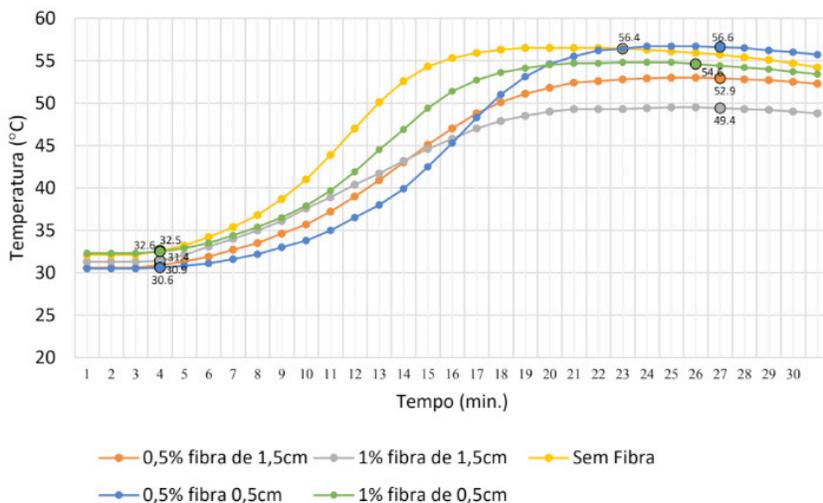


Figura 6: Comparativo do tempo de início e fim de pega entre as pastas de gesso.

Fonte: Autores (2017).

Observa-se que a inclusão da fibra aumentou o intervalo de tempo de pega, diminuindo a temperatura de final de pega e mantendo uma variação mais sutil de temperatura durante o endurecimento da pasta. Com a diminuição do tamanho da fibra, manteve-se o crescimento sutil da temperatura de hidratação, apesar deste efeito ter diminuído em relação à fibra de 1,5 cm. A temperatura de fim de pega apresentou diferenças muito pequenas entre as amostras.

Nota-se que as pastas com fibra, em geral, não apontaram divergências muito significativas entre si, destacando-se os diferentes percentuais da fibra de 1,5 cm apresentaram as temperaturas mais baixas de hidratação.

O tempo de início de pega não se alterou, tendo começado aos 8 minutos, somados os 4 minutos do preparo da pasta, uma vez que o tempo deve ser contado a partir do momento que o gesso entra em contato com a água. O tempo de início de pega obedeceu ao parâmetro máximo da NBR 13207, indicando que a pega deve começar antes dos 10 minutos para gesso de fundição (ABNT, 2017). O mesmo não ocorre para o tempo de fim de pega, o qual ultrapassou o limite máximo de 20 minutos para gesso de fundição, por 2 minutos na pasta sem adição de fibra, e entre 5 e 6 minutos nas outras pastas (Tabela 2).

COMPRIMENTO (cm)	PORCENTAGEM DE FIBRA	TEMPO DE INÍCIO DE PEGA (min.)	TEMPO DE FIM DE PEGA (min.)	INTERVALO DE PEGA (min.)
-	0	8	22	14
1,5	0,5	8	26	18
	1,0	8	26	18
0,5	0,5	8	26	18
	1,0	8	25	17

Tabela 2: Percentual e tamanho da fibra x tempo: início e fim de pega entre pastas.

Fonte: Autores (2017).

Estes resultados demonstram que o tempo de intervalo de pega da pasta com fibra aumentou em todos os casos estudados, com acréscimo médio de 3,75 minutos ou 17,04%, configurando maior tempo de intervalo de pega e, conseqüentemente, de abertura das pastas quando utilizadas em revestimentos de paredes e tetos. Com isso, pode-se inferir que a fibra atuou como retardador da pega do gesso.

Resistência à compressão

No ensaio de resistência à compressão observou-se a tensão de ruptura em corpos de prova cúbicos após 7 dias. O gesso não é conhecido por propriedades mecânicas elevadas, mas é um material sujeito a ação de cargas e impactos eventuais quando aplicado em forma de revestimento ou em placas, necessitando apresentar certa resistência mecânica (BOCCARUSSO et al., 2020).

Futami et al. (2021) explicam que a certo teor de incorporação de fibras, as propriedades mecânicas decaem drasticamente, devido aos vazios de ar produzidos durante a mistura em matrizes cimentícias.

A versão antiga da NBR 13207 (ABNT, 1994) indica que a tensão mínima dentre todos os corpos de prova ensaiados deve ser de 8,4 MPa, utilizada no presente estudo dada a ausência do parâmetro na norma atualizada.

Os corpos de prova sem fibra apresentaram, em média, uma tensão máxima suportada de 12,72 MPa, enquanto os com adição das fibras de coco em teor de 0,5% para as fibras de 0,5 cm e para 1,5 cm, observou-se aumento de tensão para 15,87 MPa e 15,02 MPa, respectivamente, configurando aumentos de resistência de 24,76% e 18,00% (Figura 8).

Os ensaios feitos com os blocos de gesso com 1% de fibra também apresentaram aumento na resistência. Os corpos de prova de 1% de fibra de 0,5 cm suportaram uma tensão de 13,74 MPa, um aumento de 8,02% quando comparado à do bloco sem fibra, enquanto os com 1% de fibra de 1,5 cm apresentaram tensão média de 13,75 MPa, um acréscimo de 8,10%.

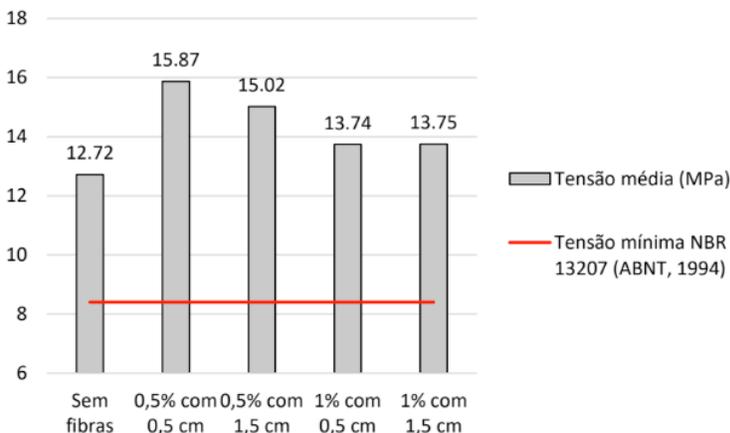


Figura 8: Resistência à compressão para corpos de prova 5x5x5.

Fonte: Autores (2017).

Nascimento (2018) avaliou que a adição de fibras de coco em tamanhos de 1 cm e 2 cm apresentaram boa resistência mecânica, principalmente no teor de 10% de substituição, após avaliar as propriedades de compósitos com fibra de coco e cortiça triturada.

Carlos, Nóbrega e Souza (2017) adicionaram o bagaço de cana-de-açúcar, criando compósitos com incorporação de 1% e 2% de fibra, obtendo aumento nas resistências à compressão em 13,38% e 15,26%, respectivamente, em comparação aos corpos de prova de referência.

Quando adicionado o sisal às pastas de gesso, em proporções de 2% e 3%, a resistência decaiu em mais de 50%, provavelmente devido a dificuldade de homogeneização, pois as fibras apresentaram massa específica mais baixa que o gesso, mas foram incorporadas em massa, gerando um alto volume de material e criando vazios nos blocos avaliados (CARLOS; NÓBREGA; SOUZA, 2017).

CONCLUSÕES

Os ensaios de calorimetria apontam que a adição de fibra de coco à gesso de fundição aumenta o tempo de intervalo de pega em cerca de 4 minutos (acréscimo aproximado em 19%). Os ensaios de resistência à compressão indicam que os corpos de prova com adição de fibra de coco suportaram uma tensão maior que os que não tinham fibra (aumento de cerca de 25%). Os ensaios de resistência à tração na flexão apontam que a adição de fibra de coco aumentou em 10% e, quando não houve aumento, não apresentou diferenças significativas nas tensões suportadas.

O aumento ou diminuição dos teores de fibra adicionados não apresentaram alterações significativas entre si nos ensaios de calorimetria. Já nos de resistência à

compressão, pode-se observar que as menores proporções de fibra (0,5%) apresentaram os melhores resultados. Quanto ao ensaio de tração na flexão, os corpos de prova com o teor de 0,5% e em tamanho de 0,5 centímetros exibiu-se como a opção mais vantajosa dentre as proporções e tamanhos de fibra.

Como a mistura da fibra ao gesso apresentou melhoras tanto na resistência à compressão quanto na resistência à tração na flexão, e não apresentou resultados que influenciem negativamente em sua execução quanto a calorimetria, o compósito demonstra potencial tecnológico e comercial na construção civil, podendo ser utilizado como placas e blocos de gesso.

REFERÊNCIAS

AGENCIA BRASIL. **Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Aproveitamento agroindustrial da casca de coco verde ainda é reduzido.** 2004. Disponível em: < <http://www.radiobras.gov.br> > acesso 01 out 2022.

ANDRADE, A. C.; SOUSA, J. G. G.; FERRAZ, A. V.; OLIVIER, N. C. Avaliação de pastas de gesso com aditivo incorporador de ar. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2016, São Paulo. **Anais eletrônicos [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2016. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac/entac2016_artigos.html. Acesso em: 18 jul. 2022.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da Influência da Cal Hidratada nas Pastas de Gesso.** 1999. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13207:** Gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13207:** Gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12129:** Gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2017b.

BOCCARUSSO, L. DURANTE, M.; IUCOLANO, F.; MOCERINO, D.; LANGELLA, A. Production of hemp-gypsum composites with enhanced flexural and impact resistance. **Construction and Building Materials**, v. 260, p. 120476, 2020.

CORRADINI, E.; ROSA, M. de F.; MACEDO, B. P. de; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. C Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP**, v. 31, n. 3, p.837-846, 2019.

COSTA, H. K. S.; LIMA, L. C. P. DE. Fibra de coco: estudo exploratório sobre registro de patentes. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, p. 387–398, 2018.

DOLEŽELOVÁ, M.; SCHEINHERROVÁ, L.; KREJSOVÁ, J.; KEPPERT, M.; ČERNÝ, R.; VIMMROVÁ, A. Investigation of gypsum composites with different lightweight fillers. **Construction and Building Materials**, v. 297, 2021.

JESUS JÚNIOR, L. A.; TOMMASI, C. A.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, A. M.; RUSSO, S. L. Análise da Produção de Coco no Estado de Sergipe Frente ao Crescimento da Cultura no Nordeste e no Brasil. **Revista Gestão, Inovação e Tecnologias [online] – GEINTEC. Aracaju- SE**, v. 1, n. 1, p. 67 - 76, 2013.

SILVA, R. A.; CAVALCANTE, L. F.; HOLANDA, J. S.; PEREIRA, W. E.; MOURA, M. F.; NETO, M. F. Determinação das propriedades mecânicas do fruto do coqueiro anão utilizando ensaios de compressão. **Revista Evolvere Scientia [online]**, v. 28, n. 2, p. 310-313, 2014.

NUNES, M. U. C. **Coprodutos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pos-producao/coprodutos>. Acesso em: 03 out. 2022.

FANTILLI, A. P.; JÓZWIAK-NIEDŹWIEDZKA, D.; DENIS, P. Bio-fibres as a reinforcement of gypsum composites. **Materials**, v. 14, n. 17, 2021.

FERREIRA, F. C.; SOUSA, J. G. G.; CARNEIRO, A. M. P. Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 4, p. 207–221, 2019.

FUTAMI, E.; SHAFIGH, P.; KATMAN, H. Y. B.; IBRAHIM, Z. Recent progress in the application of coconut and palm oil fibres in cement-based materials. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 22, 2021.

HWANG, C.; TRAN, V.; HONG, J.; HSIEH, Y. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 984–992, 2016.

JIA, R.; WANG, Q.; FENG, P. A comprehensive overview of fibre-reinforced gypsum-based composites (FRGCs) in the construction field. **Composites Part B: Engineering**, v. 205, n. July 2020, p. 108540, 2021.

KUQO, A.; MAI, C. Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass *Posidonia oceanica* and pine (*Pinus sylvestris*) wood fibers. **Construction and Building Materials**, v. 282, p. 122714, 2021.

LIMA, C. E. S.; SANTOS FILHO, J. I.; MISAS, C. M. E. Panorama geral da ocorrência e produção de gipsita no Polo Gesseiro do Araripe. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE E SOCIEDADE E III CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO (CONIMAS), 2019, Campina Grande. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize, 2019. Disponível em https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conimas-e-conidis/2019/TRABALHO_EV133_MD1_SA52_ID487_07112019211557.pdf. Acesso em: 18 jul. 2022.

MUNHOZ, F. C. **Utilização do Gesso Para Fabricação de Artefatos Alternativos no Contexto de Produção Mais Limpa**. 2008. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

OLIVEIRA, H. M. Aglomerantes. Em BAUER, L. F. A. **Materiais da Construção I**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

OLIVEIRA, K. A.; OLIVEIRA, C. A. B.; MOLINA, J. C. Lightweight recycled gypsum with residues of expanded polystyrene and cellulose fiber to improve thermal properties of gypsum. **Materiales de Construccion**, v. 71, n. 341, 2021.

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso Reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 352 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

ROSA, M. de F.; MATTOS, A. L. A.; CRISOSTOMO, L. A.; FIGUEIREDO, M. C. B. de; BEZERRA, F. C.; VERAS, L. de G. C.; CORREIA, D. Beneficiamento da casca de coco verde. In: CARVALHO, J. M. M. de (Org.). **Apoio do BNB à pesquisa e desenvolvimento da fruticultura regional**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2009. Cap. 8, p.165-190.

SÁEZ, P. V.; MERINO, M. R.; SORRENTINO, M.; AMORES, C. P.; ASTORQUI, J. S. C.; ARREBOLA, C. V. Mechanical characterization of gypsum composites containing inert and insulation materials from construction and demolition waste and further application as a gypsum block. **Materials**, v. 13, n. 1, p. 1–14, 2020.

SILVA, G. O.; JERÔNIMO, C. E. Estudo de Alternativas para o Aproveitamento de Resíduos Sólidos da Industrialização do Coco. . Revista Monografias Ambientais [online] – REMOA, v. 10, n. 10, p. 2193 – 2208, 2012.

SILVA, E.; MARQUES, M.; JUNIOR, F. CELSO. Aplicação de Fibra de Coco em Matrizes Cimentícias Application of Coconut Fiber in Cementitious Matrix. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental [ONLINE] - REGET UFSM, v. 8, n. 8, p. 1555-1561, 2012.

SILVA, D. G. C.; SANTANA, C. V.; PÓVOAS, Y. V. Production of components with plaster residue and sodium citrate: physical, mechanical, rheological analysis. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 33–43, 2019.

SILVA, J. P. C.; SANTOS, M. F. S.; OLIVEIRA, J. K. C. R.; SILVA, J. M.; AMORIM, P. L.; GOMES, T. C. A. Relação hemicelulose/lignina na estimativa da aceleração da compostagem da casca de coco seco previamente submetida à hidrólise alcalina e cama de ovinos. In: X Seminário de Iniciação Científica e Pós-graduação da Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2021, Aracaju. **Anais eletrônicos [...]**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1138531/relacao-hemiceluloselignina-na-estimativa-da-aceleracao-da-compostagem-da-casca-de-coco-seco-previamente-submetida-a-hidrolise-alcalina-e-cama-de-ovinos>. Acesso em: 18 jul. 2022.

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E NA ESTRUTURA DO AÇO TENAX 300IM

Data de submissão: 19/12/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Carlos Triveño Rios

Engenharia de Materiais – CECS –
Universidade Federal do ABC
Santo André –SP, Brasil

Giselle Primo Samogin

Engenharia de Materiais – CECS –
Universidade Federal do ABC
Santo André –SP, Brasil

Debora Christina Ramos

Engenharia de Materiais – CECS –
Universidade Federal do ABC
Santo André –SP, Brasil

RESUMO: O presente trabalho tem por finalidade analisar a influência do tratamento térmico nas propriedades mecânicas do aço TENAX 300IM. Esse aço no estado recozido foi submetido a tratamentos térmicos de austenitização entre 990 e 1020 °C, tempera em óleo, duplo revenido em 545, 605, 610, 615 e 625 °C, por um tempo de 2+2 horas. A caracterização estrutural foi realizada por difração de raios-X, e, as propriedades mecânicas foram realizadas por medidas de dureza Rockwell-C, medidas de energia de impacto em amostras com e sem entalhe e por medidas de limite de escoamento compressivo. Os resultados mostram que

a estrutura das amostras temperadas é constituída por fases metaestáveis e após duplo revenido houve precipitação de carbonetos do tipo MC, M₂C e M₆C. Com diminuição da temperatura de revenido houve aumento de dureza e uma queda no limite de escoamento e com aumento da temperatura de revenido houve tendência de aumento da energia de impacto.

PALAVRAS-CHAVE: Aço ferramenta, TENAX 300IM, Tenacidade.

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES AND STEEL STRUCTURE 300 IM TENAX

ABSTRACT: The present work has by objective to analyze the influence of the heat treatment on the mechanical properties of 300IM TENAX steel. This steel in the annealed state was subjected to heat treatments of austenitizing between 990 and 1020 °C, quench in oil, double tempered at 545, 605, 610, 615, and 625 °C, for a time of 2+2 hours. The structural characterization was performed by X-ray diffraction, and the mechanical properties were performed by Rockwell-C hardness measurements, impact energy measurements in samples with and without notch, and compressive

yield limit measurements. The results show that the structure of the temperate samples consists of a metastable phase and after double tempering there was precipitation of MC, M_2C and M_6C carbides. With decrease of tempering temperature there was increase of hardness and a decrease in the compressive yield limit and with increase of the temperature of tempering there was tendency of increase of the impact energy.

KEYWORDS: Tool steel, 300IM TENAX, Toughness.

1 | INTRODUÇÃO

Aços de alta qualidade são utilizados para a fabricação de ferramentas aplicada para operações de conformação e corte de metais. São geralmente aços complexos de alta liga, contendo quantidades relativamente grandes de tungstênio, molibdênio, vanádio ou cromo. Os conteúdos desses elementos de liga tornam esses aços desejáveis para aplicações que requerem alta resistência, alta tenacidade e alta dureza [1]. Segundo a “American Iron and Steel Institute – AISI”, os aços ferramenta, do grupo H, para trabalho a quente, são divididos em três subgrupos; aços ferramenta; ao cromo, ao tungstênio, e ao molibdênio [2]. Estes aços são utilizados para forjamento a quente, extrusão, e em matrizes de fundição [3].

Aços ferramenta ao cromo possuem excelente resistência ao impacto e amolecimento em altas temperaturas e à fadiga térmica. Este tipo de aço é utilizado em processos de forjamento e de fundição sob pressão. Para tal, deve possuir uma concentração média de carbono e cromo entre 3 a 5%. O teor médio de carbono e cromo promove bom compromisso entre tenacidade e dureza, assim como reduz a formação de camadas de óxidos durante tratamentos térmicos. A resistência sob elevadas temperaturas é obtida por têmpera onde dispersões finas e estáveis de ligas de cromo e vanádio precipitam e estes carbonetos engrossam lentamente [2]. Aços ferramenta de tungstênio para trabalho a quente têm maior dureza a quente em relação aos demais aços ferramenta de trabalho a quente, além de terem uma excelente resistência ao amolecimento em operações de trabalho a quente [2]. Aços ferramenta de molibdênio para trabalho a quente têm propriedades intermediárias comparadas aos ligados ao cromo e tungstênio e, portanto, oferece uma escolha alternativa, dependendo da disponibilidade e custo [2].

Um dos aços de ferramentas de alta qualidade que pode ser usado em vários processos de fabricação a quente e a frio é o aço TENAX 300IM, que é uma variação do aço AISI H11. Tem baixo teor de Si em torno de 0,3% menor que do aço H11 que tem 1,0% de Si. Além disso, tem baixo teor de carbono e alto teor de cromo em comparação com outros aços de ferramentas e, portanto, é considerado como um aço ao cromo a quente. Este aço possui uma tenacidade melhorada frente a aços H11, alta resistência e boa ductilidade. Por conseguinte, muito apropriado para a fabricação de algumas ferramentas especiais, incluindo trem de pouso de aeronave e pás de rotor de helicóptero e eixos [4,5].

O aço TENAX 300IM, pode ser usado em ambientes de alta tensão, tal como

forja a quente, extrusão a quente, fundição sob pressão, etc. Durante essas operações de fabricação, vários mecanismos de danos atuam simultaneamente para produzir danos cumulativos à ferramenta e causam desvios crescentes da geometria original da ferramenta devido ao desgaste, micro-lascamento, ou quebra parcial ou total da ferramenta [6].

Apesar de existir uma literatura extensa sobre as alterações nas propriedades mecânicas e estruturais de aços H11 ou H13 por modificação no teor de Si [7-11]. O presente trabalho tem por finalidade contribuir um pouco mais na avaliação das propriedades mecânicas e estruturais do aço TENAX 300IM resultante de tratamentos térmicos de austenitização, tempera e duplo revenido.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O aço TENAX 300IM, foi fornecido pela Empresa Villares Metals no estado recozido em 760 °C por uma hora. Esse material foi cortado em 36 corpos de prova de 60x12x12 mm das quais foram obtidas amostras para as diferentes caracterizações.

Os corpos de prova foram austenetizados em 990, 995, 1010 e 1020 °C por um tempo 30 minutos, seguido de tempera em óleo sob agitação na temperatura de 70 °C, e posterior duplo revenido em 545, 605, 610, 615, e 625 °C, por um tempo de 2+2 horas. Todos os tratamentos térmicos foram realizados num forno tipo Mufla elétrico à vácuo (marca Linn Elektro Therm, modelo LM 312 SO 1729). O resumo das amostras tratadas termicamente é apresentado na tabela 1.

Amostra	Operação			
	Austenitização (30 min)	Tempera	Duplo Revenido (2 + 2 horas)	Resfriamento
T990-2R605	990 °C	Óleo	605 °C	Ar
T995-2R610	995 °C	Óleo	610 °C	Ar
T995-2R625	995 °C	Óleo	625 °C	Ar
T995-2R545	995 °C	Óleo	545 °C	Ar
T1010-2R610	1010 °C	Óleo	610 °C	Ar
T1020-2R615	1020 °C	Óleo	615 °C	Ar

Tabela 1: Tratamentos térmicos do aço TENAX 300IM: austenitização, tempera e duplo revenido.

As amostras tratadas termicamente foram preparadas nas dimensões de 10x10x55 mm e 10x7x55 mm para ensaios de impacto em corpos de prova com entalhe de 2 mm e corpos de prova sem entalhe, respectivamente. O ensaio de Impacto de Charpy foi realizado segundo as especificações da North American Die Casting Association (NADCA), utilizando uma máquina de 800 Joules de capacidade (*JB-W800*). Os ensaios de compressão foram realizados a temperatura ambiente em corpos de prova de 6,0x5,0x9,8 mm, utilizando

um equipamento da Instron com capacidade de 100 kN (MTS - 810 – Flex Test 40). A velocidade de compressão da travessa foi 0,5 mm/min. As medidas de dureza Rockwell C foram realizadas utilizando o durômetro Digimess, modelo OSM B – com cone de diamante de 60°, utilizando uma pré carga de 10kgf e uma carga de impressão de 150kgf e o tempo de impressão foi de 15 segundos. Cada valor médio corresponde a seis medidas de dureza Rockwell C. A caracterização estrutural foi realizada em um difratômetro X'Pert Powder (PAN analytical) utilizando uma radiação Cu-K α (1,54056 Å), tensão de 40 kV e corrente de 40 mA. As varreduras foram realizadas na faixa angular de 35 a 85° (2 θ).

3 | RESULTADOS

Os resultados de difração de raios-X, apresentados na figura 1, mostram que a amostra recozida é constituída apenas pela fase ferrita-a, não se observando os picos da fase cementita (Fe₃C) de estrutura ortorrômbica, o que pode estar associado ao fenômeno de fluorescência no equipamento de DRX por utilizar tubos de ânodo de cobre que produz comprimentos de onda muito próximos ao do ferro [12]. Nas amostras temperadas em óleo, previamente tratadas por austenitização em 990 e 1020 °C se observa apenas presença da fase metaestável martensita-a' que estão em sobreposição com a fase ferrita-a. Essa sobreposição é associada ao fato de que a fase metaestável martensita-a, é, formada por ferrita-a saturada de carbono [13]. Outro fato que reforça a presença da martensita-a é de que os picos são menos intensos e de maior largura que da amostra recozida, que apresenta uma estrutura mais estável. Segundo o diagrama de transformação por resfriamento contínuo (TRC) para o aço ferramenta TENAX 300IM, o início de transformação de austenita-g em martensita-a' ocorre em 329 °C, finalizando a transformação em torno de 120 °C. Sugerindo que a transformação de austenita em martensita é total.

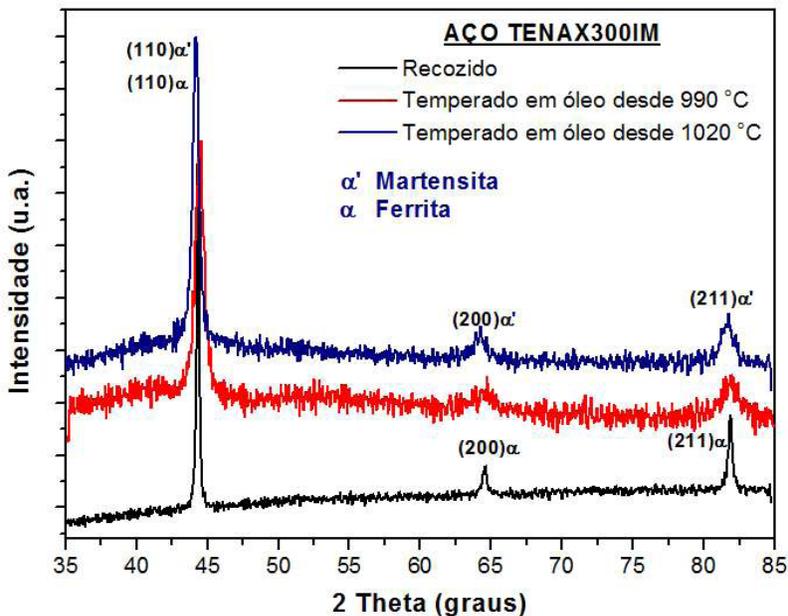


Figura 1: Padrões de DRX de amostras do aço TENAX 300IM na condição recozida e temperada em óleo de amostras austenitizadas em 990°C e 1020°C.

Nos padrões de DRX das amostras das figuras 2 e 3 se observa presença de carbonetos do tipo MC, M3C e M6C além da fase ferrita- α , diferente das amostras recozidas e temperadas em óleo, sugerindo que durante o tratamento de duplo revenido houve precipitação de carbonetos e perda do reticulado tetragonal da fase martensita metaestável. Nas amostras com variação da temperatura de austenitização e variação da temperatura de revenido (Figura 2), observa-se uma tendência de redução da fração de volume dos carbonetos com aumento da temperatura de austenitização e da temperatura de revenido, indicando que em temperaturas mais altas de austenitização há maior dissolução de carbonetos. Estes resultados também são observados para o grupo de amostras com temperatura de austenitização constante e variação da temperatura revenido (Figura 3), ou seja, com aumento da temperatura de revenido de 545 °C para 610 °C, há aumento da fração de volume de precipitação de carbonetos. Porém, um aumento na temperatura de revenido para 625 °C mostra picos menos intensos dos carbonetos, sugerindo que essa temperatura pode ocorrer mecanismos de recristalização e esferoidização dos carbonetos. Já na temperatura de revenido de 545 °C se observa presença da fase martensita α' junto a precipitados de carbonetos. Isso sugere que na temperatura de 545 °C a martensita não perde a totalidade do seu reticulado tetragonal, porém, já existe a precipitação de carbonetos.

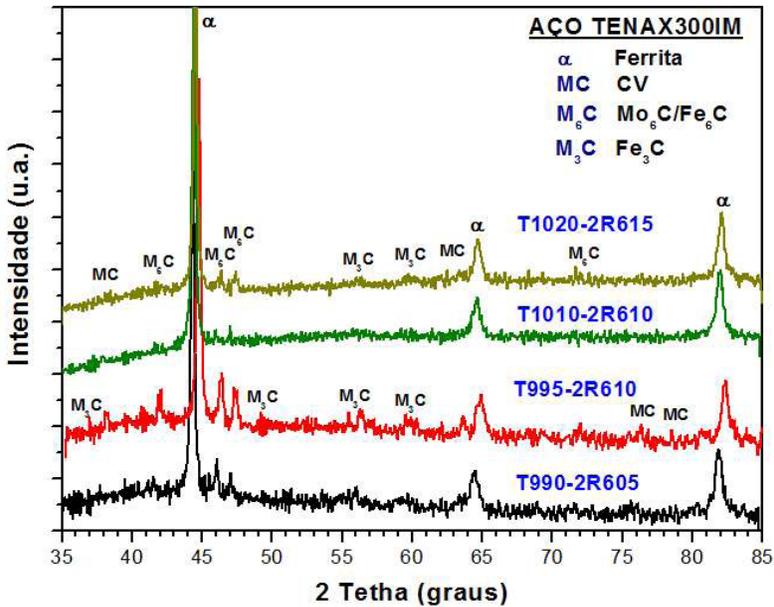


Figura 2. Padrões de DRX do aço TENAX 300IM em amostras com variação da temperatura de austenitização (990, 995, 1010 e 1020 °C) e variação da temperatura de revenido (605, 610, 615 e 620°C).

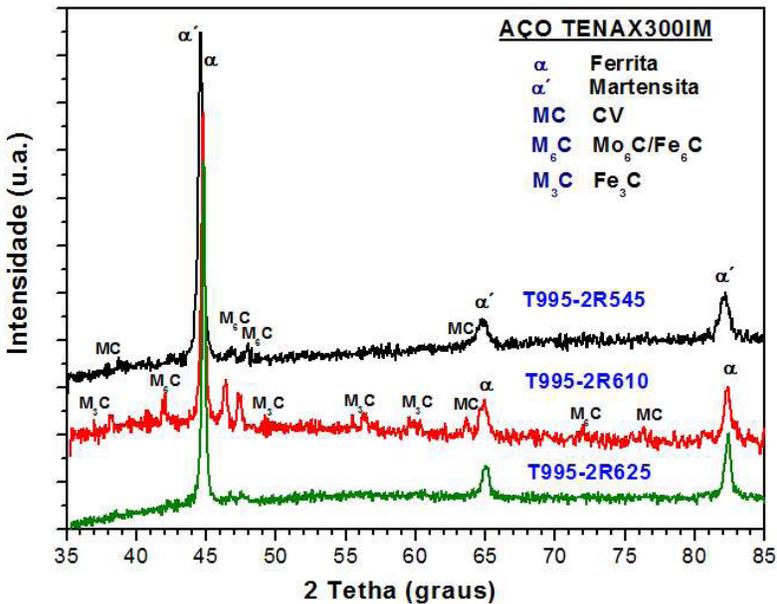


Figura 3. Padrões de DRX do aço TENAX 300IM em amostras austenetizadas em 995 °C com variação da temperatura de revenido (545, 610 e 625 °C).

Após os tratamentos térmicos de duplo revenido se realizou as medidas de dureza Rockwell C que são apresentados na figura 4. Observa-se que as amostras T990-2R605, T1010-2R610, T1020-2R615 e T995-2R610 apresentam um valor em torno de 43 HRC. Considerando os desvios padrão, esses valores de dureza sugerem, que os ciclos de tratamento térmico de austenitização em 990, 995, 1010, 1020 °C e revenido em 605, 610 e 615 °C, são adequados para operações de trabalho a quente de aços ferramenta, que requerem durezas em torno de 44 a 46 HRC. Já as amostras com ciclos térmicos de austenitização em 995 °C, revenida em baixa temperatura de 545 °C, e revenida em alta temperatura de 625 °C, exibem durezas em torno de 50 HRC e 39 HRC, respectivamente. A maior dureza pode estar associada à presença da fase martensita não transformada totalmente em carbonetos nem em ferrita. E a menor dureza pode estar associada a mecanismos de amaciamento como a recristalização. Indicando, que a temperatura de revenido de 545 e 625 °C não são adequados para obter uma dureza adequada para trabalho a quente.

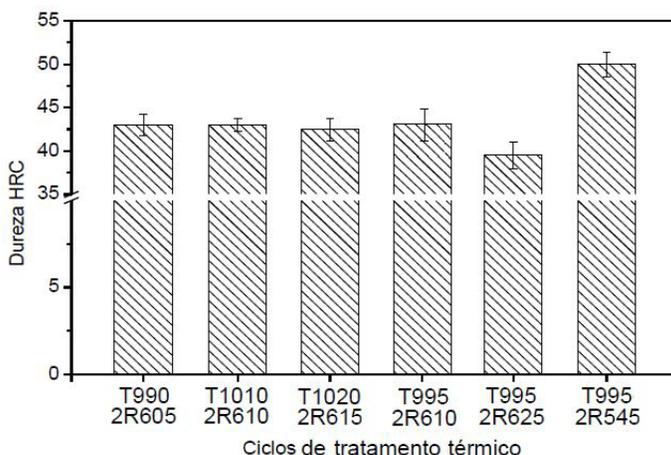


Figura 3. Dureza Rockwell-C em amostras austenitizadas em 990, 995, 1010 e 1020 °C e duplo-revenidas em 545, 605, 610, 615, e 625 °C.

Na figura 4 observa-se que existe uma diferença significativa de energia absorvida para um corpo de prova com e sem entalhe. Todos os corpos de prova sem entalhe não sofreram ruptura, justificando os valores acima de 300,0 J. Além disso, a energia absorvida durante o impacto das amostras sem entalhe é em média 14 vezes superior que das amostras com entalhe, isso devido a que as amostras com entalhe em V possuem um concentrador de tensões.

Na figura 4.a observa-se o grupo de amostras revenidas e austenitizadas com diferentes temperaturas, porém, que apresentaram dureza quase similar (T990-2R605, T995-2R610, T1010-2R610, T1020-2R615) foi observado que a amostra austenitizada

e revenida em menor temperatura (T990-2R605) apresentou a menor energia absorvida durante impacto na condição sem entalhe e com entalhe que é de $372,9 \pm 12,6$ J e $19,4 \pm 3,1$ J, respectivamente. Com aumento da temperatura de austenitização e de revenido se observa uma tendência de aumento na energia absorvida, sendo o máximo de $392,0 \pm 1,9$ J, e $30,6 \pm 1,1$ J, para as amostras sem e com entalhe respectivamente. Para esse grupo de amostras, os valores obtidos estão dentro do esperado, quando comparados com outros trabalhos [14]. Segundo Okuno T. [15] há um limite de temperatura de austenitização para obtenção de alta tenacidade. Passando esse limite os grãos austeníticos tornam-se grosseiros devido à dissolução dos carbonetos secundários por completo, o que resulta em baixa tenacidade e fragilização do material.

Na Figura 4.b observa-se o grupo de amostras austenitizadas na mesma temperatura com diferentes temperaturas de revenido, porém, que apresentam diferentes durezas (T995-2R610; T995-2R625; T995-2R545). Observou-se que a amostra de maior dureza, de menor temperatura de revenido (T995-2R545) exibe a menor energia absorvida durante o impacto na amostra com entalhe e sem entalhe. Como visto nos padrões de DRX (Figura 3), este comportamento deve-se à presença de martensita não revenida que exibe um comportamento frágil. Com aumento da temperatura de revenido (T995-2R610) há precipitação de carbonetos do tipo MC e M₂C e maior presença de martensita revenida, tornando o material de maior tenacidade. Um maior aumento da temperatura de revenido (T995-2R625) conduz a uma redução na tenacidade, o que pode estar associado a mecanismos de amaciamento como de recristalização, esferoidização de carbonetos de liga. Segundo R. A. Mesquita et al. [16], a redução do teor de silício em aço ferramenta do grupo H, acelera a formação da cementita e facilita a formação dos carbonetos de liga em menores temperaturas, dificultando o surgimento dos carbonetos finos e agulhados tipo M₂C, que precipitam apenas em alta temperatura. Os resultados mostrados indicam que tratamentos térmicos adequados de austenitização para o aço TENAX 300IM estão na faixa de 990 a 1020 °C, e duplo revenido na faixa de 605 a 615 °C, que é diferente do aço ferramenta H11, onde é sugerido um duplo revenido em 550 °C [17].

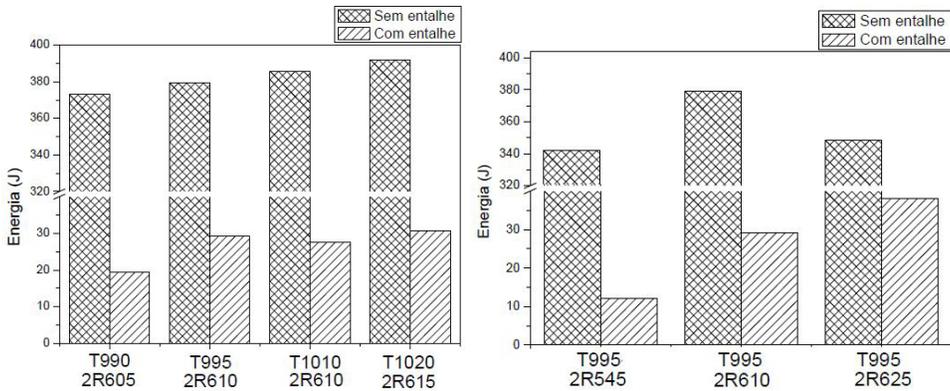


Figura 4. Variação da energia absorvida obtida por ensaios de Impacto em função da temperatura de tratamento de duplo revenido do aço TENAX 300IM

Os valores de limite de escoamento para 0,2% de deformação compressiva, obtidas de curvas de tensão-deformação são apresentadas na tabela 2. Observa-se que com aumento da temperatura de austenetização de 990 para 1010 °C e de revenido de 605 para 615 °C, o limite de escoamento se mantém em torno de 1380 MPa, comportamento que é concordante com os valores de dureza e a energia absorvida durante impacto. As amostras revenidas em menor temperatura (545 °C) com maior limite de escoamento (1863 MPa) e revenida em maior temperatura (625 °C) com o menor limite de escoamento (1160 MPa), também se mostram concordantes com os resultados da dureza Rocwell C e os valores de energia absorvida. Sugerindo de novo que os ciclos de tratamento térmico adequados para aços ferramenta a quente, do aço TENAX 300IM, esta na faixa de austenetização de 990 para 1020 °C, e duplo revenido na faixa de 605 a 615 °C.

Amostra	Limite de escoamento compressivo, $\sigma_{0,2\%}$ (MPa)
T990-2R605	1385
T995-2R610	1378
T1010-2R610	1365
T1020-2R615	1390
T995-2R625	1160
T995-2R545	1863

Tabela 2: Limites de escoamento compressivo do aço TENAX 300IM para diferentes ciclos de tratamento térmico.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados apresentados sugerem que a seleção do tratamento térmico para o aço ferramenta TENAX300IM® é de extrema importância para o seu emprego em

processos de conformação a quente. Esse tratamento térmico pode ser alcançado na faixa de temperaturas de austenitização de 990 para 1020 °C combinado a um duplo revenido na faixa de 605 a 615 °C. Temperaturas maiores conduzem a um amolecimento e redução nos valores da tenacidade e temperaturas menores produzem estruturas fragilizantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Central de Multiusuários (UFABC) pelo apoio experimental, e ao Laboratório da Engenharia de Materiais (UFABC).

REFERÊNCIAS

- [1] Kaszynski J., Breitler R., How the Steelmaking Process Influences the Properties of Hot Work Die Steels, Technical Paper - Society of Manufacturing Engineers CM02-216 (2002) 1-12.
- [2] Kennedy, R.; Krauss, G.; Roberts, G.; **Tool Steels**. 5 Ed. ASM International, 1998.
- [3] Krauss, G.; **Steels Heat Treatment and Processing Principles**. The Materials Information Society - ASM International, 1990.
- [4] Davis J. R., **ASM Specialty Handbook: Tool Materials**, ASM Internat., Materials Park, Ohio, 1995.
- [5] Roberts G. A., Krauss G., **Tool Steels**, 5th edition, ASM for Metals, Metals Park, Ohio, 1998.
- [6] Fnides B., Yalles M. A., Aouici H., Hard Turning of Hot Work Steel AISI H11: Evaluation of Cutting Pressures, Resulting Force and Temperature, *Mechanic 72/4* (2008) 59-63.
- [7] Garrison Jr, W. M., Influence of silicon on strength and toughness of 5wt-%Cr secondary hardening steel. *Materials Science and Technology*, v. 3, n. 4, p. 256-9, April 1987.
- [8] Delagnes, D.; Lamesle, P.; Mathon, M.H.; Mebarki, N.; Levaillant, C. Influence of silicon content on the precipitation of secondary carbides and fatigue properties of a 5% Cr tempered martensitic steel. *Materials Science & Engineering A*, v. 394, n.1-2, p. 435-44, 2005.
- [9] Umino, M.; Sera, T.; Kondo, K.; Okada, Y.; Tubakino, H. Effect of silicon content on tempered hardness, high temperature strength and toughness of hot working tool steels. *Tetsu-to-Hagane*, v. 89, n. 6, p. 673-9, June 2003.
- [10] Ule, B.; Vodopivec, F.; Pristavec, M.; Gresovnik, F., Temper embrittlement of hot work die steel. *Materials Science and Technology*, v. 6, n. 12, p. 1181-5, Dec. 1990.
- [11] Mesquita, R.A.; Barbosa, C.A., Efeito do Si e P na tenacidade do aço H11, utilizado em ferramentas de trabalho a quente. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 61., 2006, São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2006. 1 CD ROM.
- [12] Pellizzari M., Rajendran I., Senthilkumar D.; Effect of treatment on the hardness and tensile behavior of AISI 4140 steel, 2011.

[13] Costa e Silva, A. L., Mei, P. R.; **Aços e ligas especiais**. Sumaré, SP. Editora Blucher, Villares Metals, 2010.

[14] Mesquita, R. A., *et. al.*; Aços ferramenta para trabalho a quente com baixo teor de Silício: caracterização e aplicações. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.4, n.4, p. 7-15. 2008.

[15] Okuno, T. Effect of microstructure on the toughness of hot work tool steels, AISI H13, H10 and H19. *Journal of the Iron and Steel Institute*, v. 27, n.1, p.51-59. Jan. 1987

[16] Mesquita R. A., Barbosa C. A., Gonçalves C. S., Kestenbach H. J., Aços ferramenta para trabalho a quente com baixo teor de silício: Caracterização e Aplicações, *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*, São Paulo, v.4, n.4, 2008, p.7-15.

[17] Qamar S. Z., 5Heat Treatment and Mechanical Testing of AISI H11 Steel, *Key Engineering Materials Vols 656-657 (2015) pp 434-439*.

EFEITO DO ULTRASSOM NA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM CHÁS: UMA REVISÃO

Data de aceite: 02/01/2023

Camila Araújo Costa Lira

Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos - UFC
<http://lattes.cnpq.br/3350468853746545>

Kamila de Lima Barbosa

Licenciatura em Química - UECE
<http://lattes.cnpq.br/5556729030271400>

Tereza Raquel Pereira Tavares

Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos - UFC
<http://lattes.cnpq.br/6041523404335190>

Anayza Teles Ferreira

Especialista em Nutrição Funcional e Fitoterapia - Uniq
<http://lattes.cnpq.br/4761125994595652>

Antonia Ingrid da Silva Monteiro

Especialista em Nutrição Clínica e Fitoterapia - UVA
<http://lattes.cnpq.br/8908523706712064>

Maria Rayane Matos de Sousa Procópio

Especialista em Fitoterapia clínica- IPGS
<https://lattes.cnpq.br/5773563776504454>

Marcelo Henrique Raulino Soares Nunes

Engenheiro Agrônomo - UFC
<http://lattes.cnpq.br/4110194630375196>

Amanda Caúla Fontenele

Graduanda em Engenharia de Alimentos - UFC
<http://lattes.cnpq.br/6565993636979267>

Izabel Cristina de Almeida Silva

Graduanda em Engenharia de Alimentos - UFC
<http://lattes.cnpq.br/7594079222951936>

Francisca Andressa Rabelo da Silva França

Especialista em Nutrição Clínica e Esportiva - Faculdade de Quixeramobim.
<http://lattes.cnpq.br/2465007418998780>

Anderson Charles de Freitas Silva

Doutor em Ciências Fisiológicas - UECE
<http://lattes.cnpq.br/4329024774989309>

José Diogo da Rocha Viana

Doutor em Engenharia de Alimentos - UFSC
<http://lattes.cnpq.br/0315625605853333>

RESUMO: O chá é a segunda bebida mais consumida no mundo e possui compostos químicos que lhe conferem sabor e aroma deleitáveis ao paladar. Os compostos bioativos que mais têm sido apresentados em estudos relativos aos chás são os

constituintes polifenólicos, que incluem flavanóis, flavandióis, flavonóides e ácidos fenólicos. Dessa forma, várias pesquisas utilizaram diferentes métodos de extração e solventes para avaliar a atividade bioativa, entre estas técnicas está o ultrassom, que vem sendo empregada para a extração de compostos bioativos em chás, por ser um método que realça a qualidade dos alimentos, reduz o tempo de processo, energia e aumenta a vida útil. Este trabalho teve como objetivo fornecer uma revisão abrangente sobre a extração de compostos bioativos em diferentes tipos de chás utilizando o ultrassom. Durante a pesquisa, foram selecionados cinco artigos, para avaliar e destacar entre eles quais as metodologias envolvidas, incluindo as características e parâmetros para a otimização do processo, além das vantagens e os principais compostos bioativos encontrados em chás através de extração com a técnica de ultrassom. Foi observado que a extração com ultrassom é dependente da temperatura, do tipo de solvente envolvido, concentração, tempo de extração e potência ultrassônica. Salienta-se que os parâmetros de otimização auxiliam na redução do consumo de solvente e gasto energético do processamento, influenciando positivamente no rendimento da extração. De uma forma geral, é possível afirmar que a aplicação do processo assistido por ultrassom em chás apresenta-se como uma alternativa eficiente na extração de compostos bioativos.

PALAVRAS-CHAVE: Extração de fitoquímicos; polifenóis; processos não térmicos.

THE EFFECT OF ULTRASOUND ON THE EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN TEAS: A REVIEW

ABSTRACT: Tea is the second most widely consumed beverage in the world and has chemical compounds that give it a taste and aroma that are delightful to the palate. The bioactive compounds that have been most frequently presented in tea studies are the polyphenolic constituents, which include flavanols, flavandiols, flavonoids, and phenolic acids. Thus, several research have used different extraction methods and solvents to evaluate bioactive activity, among these techniques is ultrasound, which has been employed for the extraction of bioactive compounds in teas because it is a method that enhances food quality, reduces process time, energy, and increases shelf life. This paper aimed to provide a comprehensive review on the extraction of bioactive compounds in different types of teas using ultrasound. During the research, five articles were selected, to evaluate and highlight among them which methodologies are involved, including the characteristics and parameters for process optimization, as well as the advantages and the main bioactive compounds found in teas through extraction with the ultrasound technique. It was observed that extraction with ultrasound is dependent on temperature, the type of solvent involved, concentration, extraction time, and ultrasonic power. It is emphasized that the optimization parameters help in reducing the solvent consumption and energy expenditure of the processing, positively influencing the extraction yield. In general, it is possible to state that the application of the ultrasound-assisted process in teas presents itself as an efficient alternative in the extraction of bioactive compounds.

KEYWORDS: Extraction of phytochemicals; polyphenols; non-thermal processes.

1 | INTRODUÇÃO

Depois da água, o chá é a segunda bebida mais consumida no mundo (BINDES *et al.*, 2018), apresenta diversos compostos químicos como proteínas, aminoácidos, fibras, carboidratos, minerais, alcalóides, vitaminas e, como principal componente, polifenóis, compostos antioxidantes que apresentam relevada importância para a saúde humana, além de possuir sabor e aroma deleitável ao paladar (SILVA; VILELLA, 2019).

E, os compostos bioativos que mais têm sido apresentados em estudos relativos aos chás são os constituintes polifenólicos, que incluem flavanóis, flavandióis, flavonóides e ácidos fenólicos, sendo que sua maior parte se manifesta na forma de flavanóis e, dentre eles, prevalecem as catequinas, sendo a epigallocatequina galato, a principal catequina que confere ao chá a maioria de suas propriedades antioxidantes (ÁVILA *et al.*, 2017). Em contrapartida, os compostos bioativos são substâncias reativas, sensíveis a muitos estímulos como a temperatura, que podem comprometer a sua atividade e utilização (BRITO, 2019). Enquanto que o chá, convencionalmente, é uma bebida preparada utilizando água quente, o que pode causar a redução ou inativação desses conteúdos, devido a sua sensibilidade térmica.

De acordo com Altemini *et al.*, (2015) e Bakht *et al.*, (2019), várias pesquisas utilizaram diferentes métodos de extração e solventes para avaliar a atividade bioativa, entre estas técnicas está o ultrassom, que vem sendo empregada para a extração de compostos bioativos em chás, por ser um método que realça a qualidade dos alimentos, reduz o tempo de processo, energia e aumenta a vida útil. Além disso, o ultrassom permite ajustes de frequência, que combinada a um solvente adequado, pode otimizar a extração destes compostos a temperaturas mais baixas que a convencional, buscando preservar as suas propriedades fitoquímicas.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo fornecer uma revisão abrangente sobre a extração de compostos bioativos em diferentes tipos de chás utilizando o ultrassom. Este estudo ressalta as metodologias envolvidas, incluindo as características e parâmetros para a otimização do processo, além das vantagens e os principais compostos bioativos encontrados em chás através de extração com a técnica de ultrassom.

2 | METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão sistemática de trabalhos científicos que estudam efeitos do ultrassom na extração de compostos bioativos em chás foi feita a partir de um levantamento bibliográfico realizado durante o período de Agosto de 2021, a partir de material publicado nas bases de dados, *Scencedirect*, *Medline Pubmed* e *Scientific Electronic Library Online (Scielo)* nos últimos 5 anos (2016-2021). Foram empregados os descritores “*ultrassound in tea*”, “compostos bioativos em chá”, “extração com ultrassom”, buscando por artigos originais, de revisão, monografias, dissertações e teses.

Além das bases acima citadas, como estratégia de busca foi utilizado também o site Google Acadêmico e a checagem da lista de referências das publicações mais recentes, utilizando como critério de inclusão artigos em português e/ou inglês.

A triagem inicial do conteúdo consistiu na avaliação dos títulos e dos resumos. Em seguida, foi realizada a leitura crítica das pesquisas selecionadas para determinar quais respondiam aos critérios para serem incluídos na revisão, buscando ênfase no objetivo e metodologia, visando à contextualização e debate entre os autores e confecção dessa pesquisa. Foram encontrados cerca de 10 mil resultados a respeito do tema, sendo utilizado um número total de onze obras, das quais cinco foram avaliadas quanto aos parâmetros de otimização do processo, vantagens e principais compostos bioativos encontrados em chás. O critério de exclusão foi artigos, monografias, dissertações e teses que não possuíam dados com referências completas, e obras que não apresentavam relevância de acordo com o tema estudado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Principais compostos bioativos encontrados em chás

Durante a pesquisa, foram encontrados estudos em diferentes tipos de chás, como chá verde, chá doce, chá de limão e chá de videira, o que resultou em uma variedade de compostos bioativos encontrados durante a extração com ultrassom.

Ayyildiz et al., (2018) estudaram a otimização de parâmetros para a extração de galato de epigalocatequina (EGCG) do chá verde (*Camellia sinensis*) e destacaram este composto como o principal polifenol presente nesta bebida, o EGCG também é conhecido por possuir vários efeitos benéficos à saúde. Neste mesmo trabalho, os autores ainda extraíram epigalocatequina (EGC), galato de epicatequina (ECG) e epicatequina (EC). A técnica de ultrassom possibilitou a extração de uma maior quantidade de compostos fenólicos, grupo ao qual pertencem as catequinas, as quais foram determinadas por cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) acoplada a detector de ultravioleta. De acordo com as absorvâncias e concentrações analisadas verificou-se que a água se comportou como o melhor solvente extrator, acompanhada pelo metanol, etanol, acetona e isopropanol, confirmando os dados presentes na literatura. Nos estudos de Ayyildiz et al., (2018), a energia do ultrassom foi eficaz no aumento de extração da catequina em água. A concentração máxima de EGCG foi de 4,95g/100g durante a EAU (extração assistida por ultrassom) com água, o que corrobora com os estudos de Oliveira et al., (2016), que avaliou a aplicação de processo ultrassom na extração de catequinas dos resíduos de chá verde. Porém, outras concentrações de catequina foram maiores na EAU com etanol frente a EAU com água. Visto que, utilizando etanol como solvente, obteve-se a concentração máxima de EGCG de 7,45 g/100 g, quase 2 vezes maior do que na extração com água.

Dessa forma, pôde-se constatar a eficiência desse método para extração de catequinas no chá verde.

Em outro estudo, Liu et al., (2021) encontraram e quantificaram a atividade antioxidante de isoquercitrina, trilobatina e floridzina em chá doce (*Lithocarpus litseifolius* [Hance] Chun). Neste trabalho, os autores observaram que a potência ultrassônica foi o principal fator para aumentar a eficiência da extração do chá doce, onde os rendimentos de isoquercitrina ($16,9 \pm 0,79$ mg / g), floridzina ($34,2 \pm 1,76$ mg / g) e trilobatina ($162 \pm 1,07$ mg / g) significaram, respectivamente, 68,6%, 50,3% e 63,3% superiores aos resultados da extração por maceração. Também ficou constatado que o conteúdo de floridzina foi aparentemente mais alto, assim como a isoquercitrina foi o antioxidante mais forte em chá doce com base na seleção de pico de DPPH, seguida da trilobatina e floridzina, e suas capacidades antioxidantes foram principalmente associadas ao número e posição de grupos –OH.

Nos estudos de Xie et al., (2019) foram avaliadas as propriedades antioxidantes do tradicional chá de videira (*Ampelopsis grossedentata*), onde, por meio de análises de cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC), os autores consideraram o dihidromiricetina (DMY) como o principal composto fenólico presente neste chá. No perfil de HPLC na mistura contendo 1 mg de polifenóis do chá de videira (VTP) e 1 mg de DMY padrão, em que o pico principal aumentou para cerca de duas vezes mais do que no VTP sozinho, ou seja, esses dados indicam que o pico principal no VTP é o DMY. Além disso, os autores estimaram que o teor de DMY no chá de videira veio de três locais diferentes, de acordo com a curva padrão da dihidromiricetina. Portanto, o teor de DMY foi estimado em 21,67%, 20,79% e 16,42% no pó seco de chá de videira, e em 64,44%, 62,36% e 56,22% no extrato de polifenol de chá de videira (VTP) das províncias de Hunan, Guizhou e Guangxi, respectivamente. Foi observado que o conteúdo DMY das províncias de Guizhou e Hunan era significativamente maior do que o da província de Guangxi. Nos ensaios de DPPH, uma maneira dependente da concentração foi observada na faixa de 0,6125 a 10 $\mu\text{g/mL}$. A concentração para eliminar os radicais DPPH 50% (IC50) por VTP dos produtos Hunan, Guizhou e Guangxi foi estimada em 4,51 $\mu\text{g} / \text{mL}$, 4,06 $\mu\text{g} / \text{mL}$ e 4,31 $\mu\text{g/mL}$, respectivamente. O conteúdo de DMY foi tão alto quanto 64,44%, 62,36% e 56,22% em VTP de três locais. Estes dados indicaram que DMY é o principal captador de radicais DPPH em VTP. A alta atividade antioxidante do VTP e do DMY foi observada em ambos os ensaios, sugerindo que o VTP extraído possuía forte capacidade antioxidante e poderia ser desenvolvido como um agente antioxidante utilizado na biologia humana.

Saifullah et al., (2020) estudaram a extração de compostos fenólicos e antioxidantes das folhas da árvore do chá com aroma de limão (*Leptospermum petersonii*), onde quantificaram o teor de fenólicos totais, flavonóides totais e proantocianidina. Durante este estudo, foi avaliada a influência de solventes e parâmetros de extração assistida por ultrassom (EAU), incluindo tempo, temperatura e poder de sonicação, no rendimento

de compostos fenólicos e na capacidade antioxidante das folhas da árvore do chá com aroma de limão. A eficiência de extração nas condições ótimas do EAU foi comparada com a técnica do banho de água com agitação. Sob as condições ideais de extração, os rendimentos de fenólicos totais, flavonóides, proantocianidinas foram $98,91 \pm 1,20$ (mg GAE/g peso seco), $76,12 \pm 0,79$ (mg CE/g peso seco), $117,71 \pm 2,18$ (mg CE/g peso seco), respectivamente. As propriedades antioxidantes de quatro ensaios, incluindo FRAP, CUPRAC, ABTS e DPPH foram $581,29 \pm 14,23$, $5534,87 \pm 19,56$, $1636,18 \pm 4,11$ e $889,29 \pm 20,68$ (mM TE/g peso seco), respectivamente. Portanto, a técnica de extração EAU mostrou-se mais eficiente na extração de fenólicos totais e capacidade antioxidante em comparação com a extração convencional em banho-maria com agitação.

3.2 Metodologias e parâmetros de otimização utilizados para a extração de compostos bioativos com ultrassom

De uma maneira geral, os autores utilizaram combinações de fatores para otimizar a extração de compostos bioativos com a técnica de ultrassom, entre eles, destacam-se: o solvente escolhido e sua respectiva concentração, a temperatura, o tempo de extração e a potência utilizada. A seguir, a **Tabela 1** resume as metodologias utilizadas pelos trabalhos discutidos nesta revisão, nas quais foram encontrados os melhores rendimentos de extração.

Autores	Compostos bioativos	Solvente e concentração (%)	Temperatura (°C)	Tempo (min.)	Potência (W)
Ayyildiz et al., (2018)	Catequinas (EGCG, EC, ECG, EGC)	Etanol-água (67,8%)	66,53 °C	43,75 min	2000 W
Oliveira et al., (2016)	Catequinas	Água (100%)	25 °C	120 min	160 W
Xie et al., (2019)	fenólico dihidromiricetina (DMY)	Etanol-água (70%)	70 °C	40 min	Não especificado
Liu et al., (2021)	isoquercitrina, trilobatina e flordizina	Etanol-água (69%)	25 °C	18,4 min	450 W
Saifullah et al., (2020)	fenólicos totais, flavonóides totais e proantocianidina	Acetona-água (50%)	50 °C	60 min	200 W

Tabela 1. Parâmetros de otimização para a extração de compostos bioativos utilizando ultrassom.

Fonte: Próprio autor (2021).

Os parâmetros de otimização de extração foram obtidos através de análises combinatórias, através da metodologia de superfície de resposta.

Como mostra a **Tabela 1**, foi observado que, para a maioria dos trabalhos que utilizam o etanol como solvente, a concentração mais eficiente ficou ao redor de 70% (v/v). Xie et al., (2019) observaram que os extratos obtidos por solventes orgânicos, incluindo etanol, metanol, acetona e acetato de etila mostraram conteúdo de polifenol significativamente maior do que o da água. Entretanto, devido ao uso do etanol ser reconhecido na indústria de alimentos, este foi escolhido como solvente para extrair o polifenol do chá de videira. Neste mesmo estudo, para otimizar as condições de eficiência, a concentração de etanol, o tempo de extração e a temperatura foram investigados. Foi observado, portanto, que o rendimento do polifenol aumentou de uma maneira dependente da concentração de 10 a 70% de etanol, e o maior rendimento de polifenol foi obtido por extração com etanol a 70%. Xie et al., (2019) também constataram que o rendimento de polifenóis teve influência do tempo de extração e da temperatura de maneira dependente, variando de 20 - 60 min a 40 - 100°C, respectivamente. De acordo com os resultados de Saifullah et al., (2020), foi possível observar que os solventes utilizados afetam significativamente o rendimento de extração dos compostos fenólicos e as propriedades antioxidantes. Sendo assim, para este estudo, 50% de acetona em água foi considerado o solvente mais adequado, e, junto aos parâmetros de tempo 60 min, temperatura 50 °C e poder de sonicação de 200 W, formaram as condições ideais para a extração desses compostos em chá com aroma de limão. A água também se mostrou um excelente solvente, segundo Oliveira et al., (2016), porém, para isto, houve um incremento de até 100% no tempo de extração, comparado com os outros trabalhos que utilizam o etanol. Para todos os experimentos aqui estudados, o incremento na temperatura auxiliou na eficiência da extração, em contrapartida, há um limite para que este incremento seja aplicado, podendo haver perdas de atividade antioxidante e teor de compostos bioativos, devido à sensibilidade térmica dos mesmos. Dessa forma, é possível afirmar que o tempo de extração depende do solvente utilizado, do tempo de extração e da temperatura aplicada.

Não foi possível fazer uma correlação entre as diferentes potências utilizadas pelos autores, visto que esta configuração depende do modelo e características específicas dos equipamentos utilizados nos experimentos. Entretanto, assim como foi relatado por Saifullah et al., (2020), a potência ultrassônica também é um fator que pode influenciar na eficiência do processo. E, para Liu et al., (2021), os rendimentos dos compostos bioativos aumentaram com a potência, de 270 W para 450 W, mas foram reduzidos com o aumento adicional, portanto, tem-se que um incremento na potência pode causar a degradação dos antioxidantes alvo.

3.3 Vantagens da extração de compostos bioativos com ultrassom

Entre as vantagens mais importantes descritas pelos autores dos trabalhos aqui

revisados, está a utilização do sistema ultrassom em tecnologia de alimentos para o processamento, preservação e extração de compostos. Essa tecnologia é o modo preferido para extrair as catequinas do chá verde, devido ao aumento da eficácia do processo de extração em temperatura mais baixa, retendo sua atividade antioxidante (AYYILDIZ et al., 2018).

De uma maneira geral, os autores relatam que a tecnologia de ultrassom foi explorada para melhorar a qualidade dos alimentos, reduzindo o tempo de processo, energia e aumentando a vida útil, destacando que a extração de compostos bioativo através de ultrassom assistida oferece um melhor rendimento, produtividade e seletividade, além de redução do uso de solventes químicos, tornando-se um dos principais “*ecos friendly process*”. Simultaneamente, com a EAU tenta-se reter o potencial antioxidante máximo e os atributos sensoriais, como cor, sabor, proteínas que reduzem a doçura e conteúdo de pectina (AYYILDIZ et al., 2018).

Essa técnica também foi utilizada para aumentar o conteúdo de polifenóis extraídos do chá de videira. Os dados revelaram que a extração mais o tratamento ultrassônico pode aumentar significativamente o rendimento de VTP do que apenas com etanol (XIE et al., 2019). Assim como foi observado por Saifullah et al., (2020), a eficiência de extração de fenólicos totais e capacidade antioxidante nas condições ótimas do EAU mostrou-se mais eficiente frente a técnica do banho de água com agitação. Tais evidências podem ser justificadas pelos fenômenos de cavitação, principal mecanismo do ultrassom, que criaram microcanais nas amostras, assim, aumentaram a penetração de solvente, aumentando a transferência de massa durante a extração (AYYILDIZ et al., 2018).

4 | CONCLUSÕES

Através desta revisão foi possível concluir que a aplicação do processo assistido por ultrassom em chás apresenta-se como uma alternativa eficiente na extração de compostos bioativos. Dentre estas substâncias encontradas pelos autores, estão os grupos das catequinas em amostras de chá verde, a dihidromiricetina (DMY) em evidência no chá de videira, as isoquercitrina, trilobatina e floridzina presentes no chá doce e compostos fenólicos, flavonóides e proantocianidina nas folhas de chá com aroma de limão.

Conclui-se também que a extração destes compostos é dependente da temperatura, do tipo de solvente envolvido e sua concentração, além do tempo de extração e potência ultrassônica, e que os parâmetros de otimização auxiliam na redução do consumo de solvente e gasto energético do processamento, bem como influenciam positivamente no rendimento da extração. Por fim, é apresentada a possibilidade de utilização dos parâmetros de otimização para projetar um modelo industrial, usando uma sonda de ultrassom em um volume maior continuamente ou sondas de ultrassom em cada lado do tanque extrator com um sistema de agitação.

REFERÊNCIAS

ALTEMIMI, Ammar; CHOUDHARY, Ruplal; WATSON, Dennis G.; LIGHTFOOT, David A.. Effects of ultrasonic treatments on the polyphenol and antioxidant content of spinach extracts. **Ultrasonics Sonochemistry**, [S.L.], v. 24, p. 247-255, maio 2015. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.10.023>>.

ÁVILA *et al.* Compostos bioativos presentes no chá verde e preto. Revista UNILUS Ensino e Pesquisa, v. 14, n. 37, out./dez. 2017.

AYYILDIZ, Sena Saklar; KARADENIZ, Bulent; SAGCAN, Nihan; BAHAR, Banu; US, Ahmet Abdullah; ALASALVAR, Cesarettin. Optimizing the extraction parameters of epigallocatechin gallate using conventional hot water and ultrasound assisted methods from green tea. **Food And Bioproducts Processing**, [S.L.], v. 111, p. 37-44, set. 2018. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2018.06.003>>.

BAKHT, Md. Afroz; GEESI, Mohammed H.; RIADI, Yassine; IMRAN, Mohd.; ALI, Md. Imtiyaz; AHSAN, Mohamed Jawed; AJMAL, Noushin. Ultrasound-assisted extraction of some branded tea: optimization based on polyphenol content, antioxidant potential and thermodynamic study. **Saudi Journal Of Biological Sciences**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 1043-1052, jul. 2019. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.07.013>>.

BINDES, Marlon Menezes Maciel; REIS, Miria Hespanhol Miranda; CARDOSO, Vicelma Luiz; BOFFITO, Daria Camilla. Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from green tea leaves and clarification with natural coagulants (chitosan and Moringa oleifera seeds). **Ultrasonics Sonochemistry**, [S.L.], v. 51, p. 111-119, mar. 2019. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.10.014>>.

BRITO, G. O. de. Microencapsulação de Compostos Bioativos Extraídos de Cajá (*Spondias mombin* L.). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia). Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia, Brasília, 2019. 52 p.

LIU, Yi; LIU, Hong-Yan; XIA, Yu; GUO, Huan; HE, Xiao-Qin; LI, Hang; WU, Ding-Tao; GENG, Fang; LIN, Fang-Jun; LI, Hua-Bin. Screening and process optimization of ultrasound-assisted extraction of main antioxidants from sweet tea (*Lithocarpus litseifolius* [Hance] Chun). **Food Bioscience**, [S.L.], v. 43, p. 101277, out. 2021. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101277>>.

OLIVEIRA, R. S. *et al.* Aplicação de processo ultrassom na extração de catequinas dos resíduos de chá verde. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 7, n.3, p. 29-40, set./dez. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rebrapa>> Acesso em: 22 jul. 21.

SAIFULLAH, Md; MCCULLUM, Rebecca; MCCLUSKEY, Adam; VUONG, Quan. Comparison of conventional extraction technique with ultrasound assisted extraction on recovery of phenolic compounds from lemon scented tea tree (*Leptospermum petersonii*) leaves. **Heliyon**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 1-12, abr. 2020. Elsevier BV. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03666>>.

SILVA, R. L. VILLELA, M. D. Rev. UNINGÁ *Review*, Maringá, v. 34, n.2, p.39-50,abr./jun. 2019.

XIE, Kun; HE, XI; CHEN, Keyu; CHEN, Jihua; SAKAO, Kozue; HOU, De-Xing. Antioxidant Properties of a Traditional Vine Tea, *Ampelopsis grossedentata*. **Antioxidants**, [S.L.], v. 8, n. 8, p. 295, 9 ago. 2019. MDPI AG. <<http://dx.doi.org/10.3390/antiox8080295>>

OS DESAFIOS DO GESTOR DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE PEQUENO PORTE

Data de aceite: 02/01/2023

Alessandro Dias

Bacharelado do Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário Braz Cubas, Brasil

Maykon Aurélio Alves

Bacharelado do Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário Braz Cubas, Brasil

Natanael Oliveira

Bacharelado do Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário Braz Cubas, Brasil

Mayara dos Santos Amarante

Professor Titular do Centro Universitário Braz Cubas, Brasil
Mestre em Gestão de Negócios pela Fundação Instituto de Administração – FIA

o impacto da globalização nas indústrias nacionais com a ameaça do mercado externo no preço e prazos dos produtos nacionais, a gestão do conhecimento nas indústrias de manufatura e a responsabilidade social que as empresas exercem na sociedade que transcorreram durante as aulas teóricas do curso. Para evidenciar estas dificuldades iremos apresentar literaturas que mostram a evolução da engenharia passando pelas revoluções industriais em especial a quarta revolução industrial que irá apresentar grande relação com os desafios do gestor de produção, e também o cenário ao longo das últimas décadas e o cenário atual no Brasil e no mundo e o impacto que essas diferenças causam na atuação de um profissional de Engenharia de Produção nas atribuições que lhe competem como profissional que irá ingressar no mercado, e o seu impacto no desenvolvimento e competitividade das indústrias brasileiras em relação ao mercado externo, evidenciando as dificuldades encontrados em uma indústria de pequeno porte e como se associam com as problemáticas. Entendemos que os problemas vividos na empresa utilizada em nosso de caso não são tão diferentes de outras tantas empresas espalhadas no Brasil afora, principalmente levando em

RESUMO: O presente artigo baseia-se nas dificuldades em que os gestores de produção enfrentam e nós enfrentaremos pós formados nas organizações empresariais independentemente do ramo de atuação, onde confrontamos materiais teóricos que abordam os conceitos sobre o uso da tecnologia na indústria, os problemas ambientais encontrados nas empresas,

consideração que esses desafios macros que abordamos tanto podem ser enfrentados pela ausência dos temas, como também pelo excesso dos mesmos.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia, Desafios, Impacto, Desenvolvimento, Competitividade.

ABSTRACT: This article is based on the difficulties that production managers face and we will face postgraduates in business organizations regardless of the field of activity, where we confront theoretical materials that address the concepts of the use of technology in industry, the environmental problems found in companies, the impact of globalization on national industries with the threat of the foreign market on the price and deadlines of national products, knowledge management in manufacturing industries and the social responsibility that companies exercise in society that took place during the theoretical classes of the course. To highlight these difficulties, we will present literatures that show the evolution of engineering through industrial revolutions, especially the fourth industrial revolution, which will present a strong relationship with the challenges of the production manager, and also the scenario over the last decades and the current scenario in the Brazil and the world and the impact that these differences have on the performance of a Production Engineering professional in the duties that are incumbent on him as a professional who will enter the market, and its impact on the development and competitiveness of Brazilian industries in relation to the foreign market, highlighting the difficulties found in a small industry and how they are associated with the problems. We understand that the problems experienced in the company used in our case are not so different from many other companies spread across Brazil, especially considering that these macro challenges that we address can be faced both by the absence of themes, as well as by the excess of them .

KEYWORDS: Engineering, Challenges, Impact, Development, Competitiveness.

1 | INTRODUÇÃO

Vivemos num mundo globalizado e dinâmico, onde dizemos que exige cada vez mais de nós tanto como pessoas, quanto como profissionais. O advento da tecnologia vem eliminando barreiras de distâncias, facilitando na aplicação prática do termo globalização, possibilitando em segundos comunicarmos e conhecermos a outra parte do planeta em segundos, podemos adquirir produtos e mercadorias do outro lado do planeta, podemos monitorar pessoas e processos há quilômetros de distância.

A partir desse exponencial avanço tecnológico que vem cada vez mais ligeiro em duas décadas de civilização, as pessoas vêm mudando seus hábitos e costumes, utilizando-se dessa tecnologia para facilitar seu cotidiano, obrigando as indústrias dos mais variados segmentos de atuação a reestruturarem-se para atender esse novo consumidor nesse novo cenário mercadológico.

Ao longo de cinco anos de curso e pela vivência no mercado de trabalho, essa mudança nos chamou a atenção como objeto de estudo, pois essa nova dinâmica que vivemos obriga cada vez mais as organizações empresariais a se desenvolverem e otimizarem seus processos internos e conseqüentemente, os profissionais em que nelas

trabalham ou almejam ingressarem nesse mercado profissional, obrigando-os a cada vez mais buscarem seus aperfeiçoamentos diante da competição que está a cada dia maior e vindo de cada vez mais longe do local de origem.

Nosso objetivo na elaboração desse trabalho será expor quais os desafios que o profissional e empresas brasileiras enfrentam na área da engenharia de produção ocasionados pelo avanço da tecnologia e mudanças no cenário mercadológico oriundas do novo perfil de consumidor que a cada dia vem em extrema evolução, onde diariamente se transforma, sempre em constante transformação, exigindo novas facilidades, novos produtos, novos costumes e etc.

2 | METODOLOGIA

Como metodologia para elaboração do presente trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica, onde foram investigadas a fim de observar dados e informações para evidenciar as problemáticas encontradas no estudo de caso. Foram utilizadas cerca de 11 referências entre livros, monografias e trabalhos de conclusão de cursos e mestrados. Estas referências foram encontradas em sites de busca como Google acadêmico, Scielo e periódicos universitários, além do portal da Abepro, Associação Brasileira de Engenharia de Produção.

3 | ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: EVOLUÇÃO E CONCEITO

As indústrias e demais organizações empresariais são o espelho da humanidade. Hoje numa civilização cada dia mais dinâmica, elas são obrigadas a também serem dinâmicas para poderem atender esse consumidor.

Temos registros históricos das primeiras indústrias, somente na Primeira Revolução Industrial, vinda da Inglaterra. Antes disso, temos a chamada “indústria caseira”, sendo feita a partir da fabricação de produtos utilizados na vida camponesa da civilização da época, como ferramentas, roupas e calçados, entre outros, todos utilizadas na vida do campo da época, que era no momento o que as pessoas pediam como demanda, sendo tudo fabricado artesanalmente, sem nenhuma escala de fabricação. Funcionava da seguinte maneira: um membro da família necessitava de um calçado para seus pés, então ele ia num sapateiro que fabricava um sapato somente para esse consumidor. O Engenheiro Lewton Burity Verri, descreve da seguinte forma esse período:

Antes do início do século XIX, por volta de 1780-1790, na Inglaterra, prevalecia um sistema de indústria baseado no conceito caseiro – Indústria Caseira – onde os ofícios dos artesãos se resumiam na elaboração de mercadorias relacionadas às necessidades humanas fora da condição “consumista”. Eram os sapateiros, os alfaiates, as costureiras, os ceramistas, os padeiros, os pedreiros, os ferreiros, os moveleiros, os carpinteiros, os confeitadores e etc. (VERRI, 2015, p. 21).

Iniciamos essa relação no século XIX, vindas da primeira revolução industrial. A Revolução industrial provocou no Reino Unido um crescimento exacerbado de sua população. Deu emprego, provocou a migração do campo para a cidade, repercutiu nas leis de produtos rurais, aumentou o reforço de escolaridade, imprimiu um sistema de logística, e além de continentes e mazelas sociais.

A Revolução Industrial trouxe mais conforto, bem-estar, segurança e saúde, do que tinha o homem das matas e o homem das cavernas. A gastura da terra estava apenas recomeçando, em seus ciclos, por um novo fator – consumos excessivos de insumos e matérias-primas.

Daí nasce o consumismo não só pelo fato da redução dos preços, que deu acesso ao mais pobre dos membros do império inglês, como, também nascem as disciplinas da engenharia que aprimoravam a qualidade das mercadorias, sua durabilidade, seu estilo e se incorporavam nelas às características das classes sociais e da aristocracia inglesa.

Constantemente vivemos revoluções que mudam a indústria e também a população, desde 1785 com a primeira revolução industrial onde vimos os primeiros passos de uma larga mecanização da produção, passando pela clássica segunda revolução industrial famosa por Henry Ford que adotou a manufatura em massa criada por Frederick Taylor em suas fábricas para diminuir custos até a terceira revolução industrial que surge logo após a segunda guerra mundial no Japão e até hoje suas metodologias são adotadas por todo o mundo (SACOMANO, 2018).

No final da citação do Sacomano, o mesmo cita os períodos da Segunda Guerra Mundial que são base das metodologias de organização industrial e empresarial que utilizamos até hoje para gestão do negócio, porém no momento, não é nosso interesse nos aprofundar agora.

A partir dessa demanda latente de produtos e mercadorias e avanço da sociedade, a indústria da época foi aprimorando para atendimento dessa nova demanda. Nesse período, inicialmente tivemos as primeiras indústrias como conhecemos, sendo conhecidas como Indústria Galpão. Dessa forma, Verri (2015), as descreve como:

Em pleno século XIX, construíram as Indústria Galpão pela convergência de várias máquinas secundárias que eram acionadas por monstruosas caldeiras, de modo a aperfeiçoar o uso da energia calorífica de uma única caldeira, por exemplo, para transmissão de força, em várias máquinas especializadas e simultâneas, dispostas nas proximidades. (VERRI, 2015, p. 23).

Foi nesse cenário que surgiu o uso das máquinas a vapor como meio de industrialização em massa. Assim, o uso dessa tecnologia foi aperfeiçoado o sincronismo da máquina a vapor, extinguindo a energia vinda da queima de madeiras e degradação do solo, permitindo que o controle da aplicação de sua energia fosse racional e denominado por acionamento engenhoso, conferindo poder para aplicação de forças dosadas, sob medidas colossais de força em “cavalos a vapor”, termo criado pelo engenheiro e matemático, James Watt.

Essas forças que poderiam desencadear, permitiram o “processamento” de materiais e realizar operações de fabricação em grande escala, levando à concepção da Indústria Galpão, para abrigar as engenhocas da nova fase de industrialização. Mais tarde, tal tecnologia, foi substituída pelo uso do motor elétrico um pouco antes da entrada do século XX, onde a tecnologia industrial de acionamento e transmissão de força incorporou aos processos de produção, o motor elétrico, mais limpo que a máquina a vapor, também capaz de gerar as mesmas forças colossais ao menor dispêndio energético. Na ocasião, as usinas hidrelétricas, estavam nascendo com a combinação das máquinas a vapor acionando os geradores de eletricidade e estes por sua vez, conectados a motores elétricos dispostos exatamente, nos pontos de aplicação nas máquinas de produção. É mais uma modelagem do sistema industrial que conhecemos.

A partir desse ponto, iniciava-se a necessidade de escalar a produção para conseguir acompanhar o aumento da demanda de mercadorias e produtos que nesse estágio crescia exponencialmente a escala produtiva das empresas industriais. Era o início da Era da Produção Seriada ou simplesmente, Fordismo. Lewton Burity Verri (2015), nos cita que:

Nos fins do século XIX, já se começava a vislumbrar uma técnica racional de programação de fábricas baseada em padronização de materiais, de práticas operacionais e de mercadorias modeladas em estruturas rígidas de especificação de estilo, cor e funcionalidade, resultando na possibilidade de elevar a produção com altíssimo grau de repetição e pouca variedade. O motor elétrico, a instrumentação elétrica e os eletricitistas – mecânicos estavam criando meios operacionais para um novo estilo de produção, com a sedimentação da padronização, entrando na era da Produção Seriada, base do Fordismo – Henry Ford – EUA (VERRI, 2015).

Essa dinâmica de administração de produção perdurou até meados de 1960, quando tivemos o surgimento da 3ª Revolução Industrial, também conhecida como Toyotismo, sendo essa baseada no Sistema Toyota de Produção. E, passado 3 décadas, entramos na Quarta Revolução Industrial com o advento da inteligência artificial, dentro da indústria.

Schwab (2019), também desenrola essa evolução histórica de maneira mais resumida, citando da seguinte forma:

A primeira revolução industrial ocorreu aproximadamente entre 1760 e 1840. Provocada pela construção de ferrovias e pela invenção da máquina a vapor, ela deu início à produção mecânica. A segunda revolução industrial, iniciada no final do século XIX, entrou no século XX e, pelo advento da eletricidade e linha de montagem, possibilitou a produção em massa. A terceira revolução industrial começou na década de 1960. Ela costuma ser chamada de revolução digital ou do computador, pois foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação em mainframe (década de 1960), da computação pessoal (década de 1970 e 1980) e da internet (década de 1980).

Portanto, após cerca de 80 anos, estamos vivendo o início da quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, as primeiras evidências dessa revolução

se dão no ano de 2011 na feira de Hannover, com o nome de “Plattform Industrie 4.0”, com o objetivo de integrar sistemas de produção e gestão buscando maior produtividade e qualidade para (SACOMANO, 2018). Assim como as outras revoluções industriais, é esperado que a quarta revolução traga impactos sociais, ambientais e éticos para a sociedade atual, e diferente das revoluções anteriores espera-se que sejam impactos positivos (CAVALCANTI E SILVA, 2011).

Espera-se que a quarta revolução industrial com o mundo globalizado que vivemos hoje e com cerca de 10 anos de existência já tenha se disseminado por grande parte do mundo, mesmo que com pequenas evidências. Mas o cenário que mostraremos no nosso estudo de caso é diferente, veremos que apesar dos esforços por parte da empresa adotar tecnologias e metodologias 4.0 no Brasil, são encontradas certas dificuldades desde encontrar tecnologia por um preço justo até mesmo na parte de gestão do conhecimento por parte de gestores e líderes da fábrica.

4 | DESAFIOS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Sabemos que esse artigo é uma parte de requisitos para conclusão desse curso de engenharia de produção, sabemos também que grande parte dos alunos que chegam nessa etapa já tem alguma vivencia com o que encontrarão pela frente no mercado de trabalho, por isso muitos optam por escolher temas ligados mais ligados à operacionalização das atividades do engenheiro, modelos de gestão, técnicas de controle das atividades, temas de negócios da atualidade e/ou do futuro, entre outros, não explorando a essa altura os desafios que encontrarão pela frente. Dessa forma, decidimos explorar esse universo dos desafios que encontraremos como engenheiros.

Slack, Chambres e Johnston (2007) citam desafios que os gestores de produção enfrentarão no mercado de trabalho futuramente, conforme Figura 01:



Figura 01 – Cinco desafios para os gerentes de produção.

Fonte: Slack, Chambres e Johnston (2007)

Entende-se que, segundo os autores citados os profissionais que gerenciam os ambientes de produção são obrigados a lidar com cinco desafios importantes na execução de seus trabalhos e que afetam de alguma maneira suas atividades profissionais, são eles: Responsabilidade social, Responsabilidade ambiental, Globalização, Tecnologia e Gestão do conhecimento. Os autores entendem essas questões como:

A responsabilidade social visa o bem-estar natural de todos que participam do negócio da empresa, seja este membro alguém da diretoria, colaboradores, comunidade cerca do negócio, pessoas que contratam ou adquirem os produtos e serviços ofertados pela empresa. Lembrem-se que esse valor tem que algo voluntário não imposto e obrigatório, algo genuíno do negócio para as pessoas, impactando positivamente na vida dessas pessoas.

A responsabilidade ambiental é um conjunto de atitudes voltadas para o desenvolvimento sustentável. Elas têm por objetivo o crescimento econômico aliado a proteção do meio ambiente em que vivemos. Dessa forma, as empresas são obrigadas a rever seus métodos de produção, avaliando os impactos ambientais no planeta.

Globalização é tida como a integração com maior intensidade das relações socioespaciais em escala mundial, operando pela conexão entre as diferentes partes do globo terrestre. Em outras palavras mais resumidas, a globalização é a integração mundial.

A tecnologia é o uso de técnicas e do conhecimento adquirido para aperfeiçoar e/ou facilitar o trabalho com a arte, a resolução de um problema ou a execução de uma tarefa específica.

A gestão do conhecimento consiste na administração do conhecimento técnico e prática do capital humano da organização. É um processo sistemático de identificação, criação, renovação e aplicação dos conhecimentos estratégicos na vida de uma empresa. Seu conceito está ainda mais conectado em identificar, integrar, recuperar e compartilhar o conhecimento existente nas organizações.

4.1 Responsabilidade Social

A responsabilidade social pode ser tratada como o modo em que a empresa lida com suas partes interessadas no negócio, seja ela comunidade, provedores externos, clientes e colaboradores, mais especificamente a alta gestão com atividades e relacionamento com a sociedade, é a imagem que a empresa passa para a sociedade. Para o Instituto Ethos (2021), ele a define como:

A Responsabilidade Social é uma forma de conduzir os negócios da empresa de tal maneira que a torna parceira e corresponsável pelo desenvolvimento social. A empresa socialmente responsável é aquela que possui a capacidade

de ouvir os interesses das diferentes partes (acionistas, funcionários, prestadores de serviços, fornecedores, consumidores, comunidade, governos e meio ambiente) e conseguir incorporá-los nos planejamentos de suas atividades, buscando atender às demandas de todos e não apenas dos acionistas ou proprietários.

Inicialmente como engenheiros de produção podemos considerar que esta é um desafio que não tem importância, mas as atitudes que as empresas tomam hoje são o que fazem com que elas estejam presentes no mercado nos próximos anos, colocando ideias criativas e ousadas de forma que impactante no dia a dia dos consumidores com isso em mente podemos dizer que os engenheiros de produção são responsáveis por diversas atividades dentro de uma companhia e dentre elas podemos elencar essa responsabilidade de colocar em prática ideias que estejam alinhadas com a sociedade, valores e missão e visão da organização a qual pertence.

4.2 Responsabilidade Ambiental

Não existe um conceito aceito em maioria sobre a gestão ambiental, mas no geral o entendimento mais aceito são o conjunto de ações para promover a qualidade ambiental com o objetivo de preservar o equilíbrio entre meios e atividades no âmbito da organização no que diz respeito ao ambiente.

A responsabilidade ambiental é aplicável aos danos e aos riscos de danos ambientais quando decorrentes de atividades profissionais, desde que seja possível estabelecer uma relação de causalidade entre o dano e a atividade em questão. Os danos ambientais são definidos como os danos diretos ou indiretos causados ao ecossistema, assim como a contaminação direta ou indireta dos solos que impliquem um risco importante para a saúde humana. (Directiva 2006/21/CE, 2006)

Podemos entender que o gestor de produção como responsável por processos e parte da gestão da organização deve ser o precursor para que a empresa faça o aproveitamento consciente dos recursos dos quais utiliza, buscando alternativas menos poluentes de produção, bem como maneira de reaproveitamento dos meios de produção, pois um dos maiores desafios que o mundo enfrentará neste novo milênio, é fazer com que as organizações passem a proteger e melhorar o meio ambiente, fazendo uso dos padrões baseados na gestão ambiental e no uso sensato de ferramentas econômicas dentro de regulamentações e normas. Diante disso, Tachizawa (2002) mostra que: *“o novo contexto econômico efetiva-se nas organizações que sejam éticas, com toda imagem institucional no mercado, que atuem de forma ambientalmente responsável”*.

Por isso o conceito de desenvolvimento sustentável vem sendo debatido incansavelmente em fóruns mundiais. A preocupação do homem com a natureza vem crescendo preocupada com o futuro do planeta que deixaremos para as futuras gerações. Para Cavalcanti (2003), *“equivale à idéia de manutenção de nosso sistema de suporte de*

vida. Ele significa comportamento que procura obedecer às leis da natureza. Basicamente, trata-se do reconhecimento do que é biofisicamente possível em uma perspectiva de longo prazo”.

4.3 Globalização

Citamos um pouco acima que a globalização é tida como a integração com maior intensidade das relações socioespaciais em escala mundial, operando pela conexão entre as diferentes partes do globo terrestre. Em outras palavras mais resumidas, a globalização é a integração internacionais. Para Lopes e Gonçalves (2017): *“a globalização é um processo de expansão econômica, política e cultural a nível mundial. Sua origem remete ao período das Grandes Navegações no século XVI, momento em que as trocas comerciais se ampliaram para outras nações”.*

Essa visão bastante simplista vem sendo usado por vários estudiosos, todavia, não é uma explicação universal sobre tema gerando alguns embates entre especialistas do tema. Na falta de consenso sobre o tema da globalização, Ribeiro (2009) afirma que:

Na ausência de consenso sobre a globalização como um fenômeno ideológico e multifacetado, definido pela convergência de culturas, economias e dimensões políticas, podemos observar diferenças significativas nos discursos provenientes de diferentes perspectivas teóricas, ideológicas e disciplinares.

Entendemos que a globalização está presente há séculos no contexto das organizações empresariais e países tendo como premissa a troca de mercadorias e produtos entre nações, possibilitando a quebra de barreiras territoriais e geográficas para estes. Exemplificamos esse cenário partindo do início da globalização nas Grandes Navegações, onde até mesmo o descobrimento do Brasil foi fruto de uma atividade como essa, embarcações portuguesas partiram de Porto de Lisboa em Portugal rumo à Índia, em busca de compra de especiarias indianas.

Nota-se que a atividade de globalização sempre existiu, entretanto, foi somente no final dos anos 1990, esse termo ganhou notoriedade e popularidade.

Porém, para Ribeiro (2009), *“os processos de globalização contemporâneos não têm precedentes, uma vez que governos e sociedades ao redor do globo estão tendo que se ajustar a um mundo onde não existe mais uma clara distinção entre internacional e doméstico e entre negócios internos e externos”.*

Vemos que o avanço descomunal da globalização no século XXI, está associado ao avanço tecnológico e facilidades de transportes e telecomunicações, por isso adiante falaremos um pouco sobre a tecnologia e o desafio do gestor de produção moderno que enfrentará a necessidade de atualizar-se a si mesmo e sua empresa para acompanhar o avanço tecnológico, desde no ramo de transportes, facilidades do dia a dia e principalmente, telecomunicação e indústria 4.0, necessitando conhecimento com dados em nuvens e

internet das coisas.

Slack, Chambres e Johnston (2007), relatam esse fenômeno da seguinte forma:

O debate em torno da globalização está relacionado ao status, em transformação do estado ou nação e o seu retrocesso antes as forças de globalização. O que Mike Moore (chefe da Organização Mundial do Comércio, OMC) chama de dois Ts – tecnologia e telecomunicações – tem ajudado a diminuir a importância das barreiras entre nações. Isso tem provocado, por necessidade, amplo movimento de redução e barreiras protecionistas entre países e blocos comerciais.

Conclui-se que, a troca de mercadorias e produtos e culturas tem apresentado constantes mudanças nos macros cenários das organizações empresariais e governos dos países que em determinado ambiente e cenário, necessitam de implementar medidas protecionistas para as empresas nacionais, afim de frear parte ou total da de concorrentes estrangeiros.

4.4 Tecnologia

Como já abordado no artigo é evidente o impacto global nos resultados da empresa, e questões tecnológicas como novas abordagens, técnicas e ferramentas podem auxiliar a melhorar esse cenário.

Tecnologia pode ser compreendida como o uso de tecnologias já existentes e conhecidas ou até mesmo novas tecnologias, com isso em mente podemos dizer que a depender das tecnologias usadas as empresas podem ficar para trás em relação aos seus concorrentes locais ou externos, (GEISSBAUER, 2017).

Vemos ano a ano, já há séculos o quanto a sociedade tem se desenvolvido fazendo diariamente o uso de novas tecnologias, criando e aperfeiçoando ferramentas que buscam a otimização das atividades cotidianas profissionais e pessoais, onde nem sempre é necessário algo mirabolante ou inovador para ser tecnológico, até mesmo um simples martelo em dado momento da história da humanidade foi uma ferramenta importante e com teor tecnológico. Atualmente na indústria, vivemos a Era da Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, fazendo o uso das ferramentas de integração e compartilhamento de dados e informações, computação em nuvem e Internet das Coisas (*IoT*).

A indústria 4.0 é a versão 3.0 da revolução industrial, que apesar de não haver um consenso entre os especialistas, a maioria dos autores data o seu início durante a década de 1970, onde foram introduzidas tecnologias de automação e a robótica sobre os processos individuais, reduzindo espaço e tempo nas indústrias, mas não atingiu somente a indústrias, mas sim, áreas como a telecomunicação, biotecnologia e nanotecnologia, que tiveram grande impactos e mudança recorrentes da Indústria 3.0.

Na Alemanha em 2012, chegamos ao modelo que caracteriza a indústria 4.0, um modelo onde empresas, governo e universidades uniram-se para desenvolver um programa institucional com o objetivo de reduzir custos e aumentar a competitividade da indústria

local, surgindo assim a indústria 4.0. Apesar de existirem modelos que sugeridos para serem seguidos como indústria 4.0, ainda não há uma definição concreta do realmente é a indústria 4.0 pois é um campo de atuação muito amplo, unindo o mundo digital com o mundo real que está em construção, utilizam-se muitos conceitos do mundo da tecnologia da informação, algo que há alguns anos não seriam imaginados com tanta influência dentro das industriais, conceitos como o *Big Data*, *IoT*, *Data Science* e outros meios para a análise dos dados que afetam a indústria de maneira a termos mais tecnologias e monitoramento sobre os processos, a chamada virtualização da indústria.

Todos estes conceitos citados anteriormente, tornam possível visualizar em muitas vezes diversos caminhos para um único final analisando de ponta a ponta a empresa, processo por processo, um controle absoluto da produção em tempo real, a análise do tempo de produção, e a influência que o método de produção teve em todo o processo, calculando independentemente cada etapa ou fase da produção.

É certo que a implementação de um modelo de indústria 4.0 irá maximizar as chances de prospecção da organização, aumentando sua capacidade produtiva, com análises individuais das etapas de produção, conseqüentemente, aumentando o valor das empresas que utilizam as tecnologias da indústria 4.0.

Porém a implementação destas tecnologias possui um custo elevado, estando ainda distante das pequenas e médias empresas brasileiras, obrigando o mercado a procurar por alternativas para implementá-las com um custo menor que o habitual, seja por códigos QR ou rádio frequência, tecnologias de fácil aplicação e baixo custo que possibilitam a comunicação em tempo real das máquinas com uma central de operações, desde o setor de planejamento de produção até mesmo o setor de recursos humanos por meio de sistemas de ERP.

4.5 Gestão do Conhecimento

Um dos maiores desafios enfrentados atualmente pelas organizações empresariais está em saber extrair o conhecimento gerado e acumulado ao longo dos anos por um colaborador. Nesse sentido, o conceito de gestão do conhecimento surgiu na década de 1990, definido não mais como uma moda da eficiência operacional, mas sim como uma parte estratégica das organizações. Pode ser aplicada em qualquer empresa, entretanto, exige a criação de novos modelos organizacionais, com estruturas, processos, sistemas gerenciais e posições de liderança que permitam enfrentar qualquer barreira existente nos processos de transformação da organização.

A gestão do conhecimento consiste na administração dos ativos de conhecimento de uma empresa. É um processo sistemático de identificação, criação, renovação e aplicação dos conhecimentos estratégicos na vida de uma companhia. O conceito abrange um conjunto de metodologias e tecnologias que visam criar condições para identificar, integrar, capturar, recuperar e compartilhar o conhecimento existente nas organizações (VALENTIM, 2018).

A gestão do conhecimento é reconhecida como um recurso estratégico inserido nas empresas e no cotidiano das pessoas. Estamos na era do conhecimento, sabemos que, num processo lógico, toda experiência e informação gerada pelo ser humano em sociedade torna-se em conhecimento, conhecimento presente nas bancas acadêmicas, nos livros e nas enciclopédias virtuais (REBOUÇAS, 2014).

Portanto, entende-se que a soma do conhecimento de todos os colaboradores de uma empresa resulta no seu capital intelectual, criado a partir da troca de conhecimento entre o capital humano, o capital estrutural e o capital clientes. Para Valentim, 2018: *“o capital intelectual pode ser encontrado na forma de conhecimento nos indivíduos, como conhecimento adicional, quando as pessoas compartilham conhecimento. Para auxiliar na aprendizagem coletiva e no compartilhamento de conhecimento, o mais adequado suporte tecnológico deve ser definido”*.

Entretanto, ao falarmos de conhecimento, é necessário o entendimento que o conhecimento é o resultado de um filtro feito a partir do compilado de dados e informações e experiências práticas, resultando no conhecimento. É esse conhecimento que auxilia na diferenciação de empresas, pois cada empresa possui seu próprio conhecimento sendo formado pelos seus colaboradores e experiências vividas por elas. Portanto, Valentim (2018), destaca que:

O conhecimento é uma mistura de vários elementos: é fluido como também pode ser formalmente estruturado, é intuitivo e por isso difícil de ser entendido em termos lógicos. O conhecimento existe na mente dos conhecedores. Nas organizações, costuma ser encontrado em rotinas, processos, práticas e normas organizacionais, e não só em documentos ou repositórios.

Em suma, a gestão do conhecimento é uma das modalidades de gestão que auxilia o controle, o acesso e o compartilhamento de informações e conhecimentos relevantes num processo de trabalho. Vimos que esse conhecimento empresarial vem adquirido de informações, pesquisas, experiências profissionais e humanas que colaboram no aperfeiçoamento dos profissionais que trabalham nessa organização.

5 | ESTUDO DE CASO: NOVATREF TREFILADOS DE PRECISÃO LTDA

Realizamos como objeto de estudo em nosso artigo, a indústria do ramo de metalurgia Novatref Trefilados de Precisão Ltda. A empresa completa nesse ano de 2021, exatos 21 anos de existência, inicialmente situada no Ipiranga na cidade de São Paulo, porém após três anos de vida, mudou-se para a cidade de Ferraz de Vasconcelos, estando alocada na Travessa Benedito Sebastião Sobrinho, número 90, Bairro Vila Tanquinho em Ferraz de Vasconcelos.

Nos dias atuais, a empresa possui cerca de 70 colaboradores divididos em alguns setores, são eles: administrativo, trefilados, manufatura, qualidade, manutenção, PCP e

almoxarifado. O setor administrativo tem suas subdivisões, como o financeiro, os recursos humanos, além de vendas (todas as subdivisões ficam no mesmo escritório).

O setor de trefilados é responsável por trefilhar tubos de alumínio, latão, cobre e *tombac*. Antes dos tubos passarem pelas trefiladeiras, eles são submetidos ao recozimento nos fornos, após essa etapa são feitas pontas nos tubos para o processo seguinte de trefilação. Depois de trefilados, os tubos são endireitados, pois algumas barras entortam quando passam nas máquinas. Daí pode haver dois processos distintos: o primeiro se dá quando o único serviço daquele pedido é somente a trefilação, a partir daí as barras são lavadas para serem expedidas e transportadas até seus clientes. O segundo processo possível se dá quando além de trefilhar tubos os clientes pedem peças manufaturadas, então os tubos são carregados até o setor de manufaturados.

O setor de manufaturados é responsável pela transformação dos tubos em produtos para servirem de matéria-prima ou componentes para outras empresas. Nele é feito corte de materiais, abrilhantamento de tubos, dobras de barras cortadas, além do polimento. Como exemplo de produtos manufaturados na empresa, é possível citar cabos de vela de carros, torneiras, arruelas e componentes de equipamentos médicos.

O controle de Planejamento e Controle da Produção – PCP é responsável por gerenciar os pedidos colocados pela equipe de vendas, fazer a apuração da produção, gerar relatórios semanais de status produtivos dos pedidos, fazer a programação de produção da semana de trabalho e transmiti-la à supervisão de cada setor produtivo da empresa e colaborar com o encarregado afim de que sua programação seja cumprida. Também é válido salientar que, por diversas vezes muitos pedidos de produção ou ordens de serviços da empresa têm problemas com prazos de entrega ou atrasos num cronograma para cumpri-los.

O setor de manutenção é responsável por manter em uso as máquinas dos setores de trefilação e manufatura, além de criar dispositivos mecânicos que são utilizados nas sessões, como por exemplo, dispositivos para dobra de bicas, para corte de materiais etc.

O almoxarifado da empresa é competente pelo recebimento e armazenagem da matéria-prima da empresa, além de estocar, embalar, expedir e transportar os produtos acabados até os seus clientes.

Antes disso, vale a pena destacar as dificuldades que a empresa enfrentou durante a pandemia do COVID-19 no ano de 2020, onde para sobreviver aderiu ao programa do benefício emergencial realizando a suspensão e redução dos contratos de trabalho de seus colaboradores visto que entre o fim de março, seguindo os meses de abril, maio, junho e julho do ano de 2020 o faturamento bruto despencou em 40%.

Já os meses seguintes de agosto, setembro, outubro e novembro do mesmo ano, o mesmo foi subindo exponencialmente juntamente com a demanda de peças acabadas e semiacabadas.

Esse aumento de demanda pode ser explicado pela alta do dólar para importação de

estrangeiros, onde por exemplo, se pegarmos o produto L000746 – Bica Latão Retangular 30.60 x 9.60 – 2364451, o cliente importava do mercado chinês a cerca de US\$ 4,00 na taxa de câmbio de R\$4,28 (em meados de Jan/20, cerca de R\$17,12); já no instante em que escrevemos esse artigo em Abril/2021, o dólar encontra-se na casa de R\$5,50, convertendo em R\$22,00 um aumento de 33,9%; tornando a importação desse item inviável no momento, obrigando-o a adquirir esse produto da indústria nacional, assim, fortalecendo a demanda da Novatref.

Embora tenhamos esse lado positivo de aumento de demanda para a empresa, ela também sofre o lado inverso da cadeia, a aquisição de matéria-prima independente qual seja o metal, alumínio, latão e cobre, tem sido bastante problemática para o abastecimento da fábrica, as extrusoras vem sofrendo com a alta do dólar para aquisição de metais, onde no momento a maioria está com um lead time de entrega superior a 60 dias, e não conseguem manter o valor do produto da entrega do produto, sendo necessário um reajuste. Segundo a Direção da empresa, a dificuldade das extrusoras e revendas de metais em importar seus insumos vem deixando cada dia mais escassa a circulação do produto.

Ainda exemplificando a abordagem da globalização utilizando a empresa Novatref, ela consta com uma vasta carteira de clientes do mercado de metais sanitários, onde a mesma fabrica os tubos utilizados nas bicas/ torneiras. Nesse mercado, a empresa tem como principais concorrentes indústrias chinesas que conseguem competir com ela no mercado nacional.

Essas indústrias conseguem competir em relação aos preços menores que conseguem a venda de seus produtos perante os fabricantes de metais sanitários. Embora haja taxas de importações e demais encargos como forma de protecionismo às empresas nacionais, produtos chineses ainda conseguem chegar ao Brasil mais baratos do que nacionais.

Segundo o Depto. Comercial da Novatref, eles sabem e conhecem essa dificuldade de competição, porém confiam nos produtos de alta qualidade que fabricam, além do próprio desejo dos fabricantes de metais sanitários que preferem adquirir suas matérias-primas de indústrias nacionais, pois não há pedido mínimo de compra de produtos, o prazo de entrega consegue ser menor e facilidade de “socorro” em situações adversas são mais facilitadas, aumentando o grau de satisfação dos clientes da Novatref. A briga para obtenção de pedidos nesse mercado vem sendo uma batalha quase diária, às vezes, sendo necessário concorrer em outros aspectos que não sejam somente o preço, é preciso conquistar os clientes diante dos outros 3P’s dos 4P’s de Marketing. A necessidade de redução de gastos internos e automatização da linha de produção vem sendo fundamentais e necessários para a prática do “bom preço” e competitivo seja capaz de concorrer com os produtos do mercado asiático, embora ainda haja outros fatores de compra, anteriormente ditos como diferenciação da marca e do produto Novatref, facilidade em questões relacionadas a prazos de entrega e quantidades dos pedidos.

No que tange ao desafio da tecnologia, durante visita técnica realizada na empresa Novatref, vimos a dificuldade dela em buscar e adquirir novas tecnologias e modernizar seus processos internos, pois sendo uma indústria de pequeno porte, possui inúmeras dificuldades financeiras para realização de um alto valor para investimentos, principalmente no cenário econômico que o Brasil e o mundo passam.

Os profissionais de gestão de produção e/ou processos, enfrentam diariamente os problemas relacionados às informações. O compartilhamento de informações associadas a pedidos, especificações, rotinas diárias vêm sendo desgastantes. Segundo a Alta Diretoria da empresa, a disposição irrestrita do wi-fi da empresa para seu time de gestores de processos vem sendo uma das maneiras de auxiliar no compartilhamento de informações e de comunicação, fazendo-se de grupos de WhatsApp.

Outro ponto analisado foi a tecnologia empenhada na provisão de produtos e serviços. Vimos que o maquinário da empresa na linha de produção não é do mais moderno, onde no setor de trefilação as máquinas já têm uma vida de cerca de 20 anos e no setor de manufatura, variando de 5 a 10 anos de tempo de vida. Novamente, durante a visita os envolvidos nos transmitiram que pouco a pouco a empresa busca novas tecnologias para a operação produtiva. Nos relataram que o setor de manufatura abriga os processos de corte e dobra do metal de latão destinado para a linha de metais sanitários.

Inicialmente, essa linha de produtos começou a ser fabricada no ano de 2011, porém de uma forma quase que totalmente manual. Os cortes de peças eram feitos em serra policorte, onde era necessário o uso de dois operadores na operação, um no manuseio do disco de corte e outro para segurar a barra de tubo na transformação de peça. O processo seguinte de dobra, era feito manual por dispositivos mecânicos confeccionados na própria empresa, necessitando também de dois operadores na operação, pois para a dobra do tubo era necessário empurrar uma base giratória com o molde, exigindo um esforço alto esforço mecânico por parte dos profissionais.

Em 2015, a empresa investiu cerca de R\$15.000,00 na adaptação e melhoria do sistema de dobra de peças. Internamente, adaptou esses dispositivos mecânicos para serem acoplados em motores elétricos, permitindo que a dobra de peças seja feita de maneira automatizada, permitindo que a operação seja realizada somente por um colaborador em vez de dois. Notou-se uma melhora significativa de produção média diária, segundo dados do PCP, saltando de 150 para 400 peças dobradas diariamente, além da redução do custo do processo. Atualmente a empresa adaptou mais duas máquinas de dobra automatizada, tendo 3 máquinas para essa operação e está em fase de estudo para a confecção da quarta máquina de dobra automatizada, porém essa deverá passar por remodelagem para atender novos objetivos da empresa em relação a redução de perdas de materiais na confecção de bicas, dessa forma, há a discussão do sistema de travamento de peças, exigindo novas tecnologias de comandos elétricos, comandos lógicos programáveis – CLP e demais ferramentas.

O corte de peças anteriormente realizado por dois operadores também sofreu transformação. Realizou-se a mudança do corte feito por uma máquina policorte, por uma serra de bancada com acionamento pneumático, permitindo a operação de dois para somente um colaborador.

Questionados sobre os investimentos em automação da linha de produção, a empresa nos esclareceu que realiza já a cerca de 6 anos pequenas melhorias em suas máquinas de produção, e que é preferível confeccionar suas máquinas e dispositivos de produção internamente do que adquirir maquinário já pronto por empresas especializadas. De acordo com os diretores, existem dois grandes fatores que norteiam a discussão, o primeiro é o alto custo de uma máquina como essa, onde uma dobradeira de tubos automatizada varia de R\$70.000,00 até R\$500.000,00. O segundo fator é a personalização do equipamento, permitindo que ele seja confeccionado conforme necessidade da empresa ou do processo, fugindo de modelos padrão existentes no mercado de automação industrial.

Para Slack et. al. (2007): *“a tecnologia pode aumentar a automação, que em conjunto com a centralização pode produzir economias de escala bastantes significativas. Está, portanto, ajudando a empresa ser melhor que seus concorrentes”*.

A respeito do conhecimento organizacional, vimos na empresa que o know-how adquirido por cada colaborador não é compartilhado. Esse é um dos principais desafios para os profissionais de lideranças de cada processo industrial e pelo Recursos Humanos. O conhecimento técnico dos colaboradores é de extremo valor para a empresa, visto que o valor desse capital humano é de inestimável valor.

Grande parte desse conhecimento mencionado é fruto do saber técnico dos profissionais da empresa, que há anos trabalham nesse segmento de metais trefilados e manufaturados. Infelizmente esse saber técnico ou know-how da empresa não está documentado no sistema de gestão da empresa, está restrito a poucos profissionais que conhecem e desenvolvem a área técnica produtiva da empresa, impedindo a troca de experiência e conhecimento. Essa é uma das maiores fraquezas empresa.

Na trefilação, é existente o ciclo de trefilação de cada um dos mais de 3.000 produtos, porém nesse ciclo contém apenas as medidas de passes e ciclos de recozimentos, necessitando de uma supervisão sempre do supervisor de trefilação durante a operação. Notamos também que embora exista o cálculo de escoamento, alongamento e resistência de um tubo metálico, esse cálculo não é utilizado, pois os ciclos de passes de trefilação não são feitos seguindo o cálculo teórico, mas sim, pelo know-how dos profissionais, onde segundo os mesmos, não conseguem seguir o cálculo teórico pela escassez de ferramentas de trefilação (chamadas de fieiras e mandris). Dessa forma, digamos que ao realizar o cálculo teórico, é dito que o diâmetro de um tubo metálico num determinado passe deverá ser de 13,00 mm, entretanto, os profissionais elaboram ciclo seguindo a fieira existente disponível de 13,15 mm. Para eles, essa variação de 0,15 mm não é impactante durante os passes intermediários, desde que no momento do último passe acabado de trefilação seja

na medida especificada pelo cliente obedecendo a variação de $\pm 0,01$ mm do especificado nominal.

Na manufatura de peças, esse cenário não é muito diferente. Aqueles dispositivos de dobras de tubos para metais sanitários necessitam de um setup específico para cada um dos dispositivos. Hoje em dia a empresa possui cerca de 42 dispositivos de dobras entre aqueles que ainda estão num processo de tração mecânica e aqueles que já estão no processo de tração de dobra automatizada e, cerca de 400 modelos diferentes de bicas dos mais variados perfis de tubos, bítolas de tubos e diâmetros de moldes de peças e ângulos de dobra.

Recomenda-se imediatamente em ambos os processos a documentação dessas informações de autoconhecimento ou “monopólio do conhecimento”. A criação de métodos de documentar é de extrema urgência, visto que a área produtiva pode sofrer inúmeros percalços sem a presença desses técnicos; na refilação é possível aprimorar o uso do ciclo de trefilação e na manufatura, elaboração de um manual de setup de dispositivos de dobra dos tubos de metais destinados a linha de metais sanitários.

Outro ponto que sugere-se para melhor gestão do conhecimento é a intensificação do plano de treinamentos anual feito pela empresa, possibilitando a troca de experiências e conhecimentos, além da criação da função do “colaborador referência” que tem as mesmas funções que os demais colaboradores, porém é ele o profissional a realizar treinamentos práticos das operações produtivas da fábrica, tanto para novos funcionários, quanto para os antigos que precisarem de auxílio, permitindo a troca de experiências entre ambos.

Outro possível ponto de melhoria para as peças manufaturadas e tubos trefilados é a criação da “receita do bolo”, um documento de passo a passo de cada etapa do processo, vinda de modo prático, podendo ser feita e salva no próprio ERP da empresa, no campo de engenharia de produção, na guia de ciclos de produção. Essa possibilidade de realizar essa receita pelo ERP, além de ficar mais bem incorporada ao sistema de gestão da empresa, é também o arquivamento, o salvaguardo e a garantia que essas informações estarão disponíveis para revisão sempre que solicitadas.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nós autores desse artigo o tratamos como um artigo de tema diferenciado em uma turma de engenharia de produção. Normalmente, é habitual os estudantes em período de pré-conclusão de seus cursos escreverem artigos propondo melhorias em organizações empresariais dos mais variados segmentos de atuação, onde o uso de ferramentas de gestão que são implementadas em processos críticos e/ou problemáticos. Ao final desses artigos são expostos os resultados iniciais e os resultados esperados, onde caso eles sejam positivos, o plano de melhoria é validado.

Nosso artigo tem como ponto de partida uma problematização um pouco diferente

dos demais. Propomos o estudo dos desafios que os responsáveis pela gestão de produção e processos enfrentarão em seu cotidiano profissional após estarem formados. Utilizando como base de estudos uma indústria de pequeno porte, descrevemos três grandes desafios que em muitas vezes, são maximizados em empresas pequenas.

Durante visitas técnicas nas dependências da empresa identificamos que com os desafios propostos teoricamente, na prática são dificuldades vividas e enfrentadas diariamente na gestão industrial da fábrica. Fazendo da premissa dos temas, realizamos a correlação entre si, sendo a globalização um desafio que força a busca da constante melhoria de seus processos, pois os concorrentes da empresa não estão localizados em região próxima a ela e seus mercados, passando a uma esfera global. Essa escalada da concorrência tem forçado a empresa a cada dia manter-se mais competitiva, pois macro fatores influenciam a tomada de decisão de seus gestores para disputas mercadológicas.

Outro desafio encontrado foi a problematização em volta da tecnologia. Vimos que a empresa possui um pequeno porte financeiro e que não consegue realizar altos investimentos monetários na produção fabril. O uso de tecnologias de comunicação deve ser encorajado para facilitar o fluxo de informações relacionadas a provisão de produtos e serviços.

Compreendemos as dificuldades financeiras para a automação, todavia deparamos com uma Diretoria conhecedora de suas dificuldades, e que pouco a pouco conforme sua saúde financeira permite a automação industrial vem sendo realizada no setor de produtos manufaturados, todavia, o mesmo engajamento para automação não é visto no setor de tubos trefilados. Estimulamos a Diretoria para investimentos de ferramentas para uso da trefilação, pois a alma de uma trefilação está em seu jogo de ferramentas (feiras e mandris), entretanto, não evidenciamos um vasto jogo de ferramentas, dificultando inclusive o trabalho e ciclos de operações dos produtos fabricados.

O desafio enfrentado pelo novo gestor de produção está relacionado a gestão do conhecimento. Atualmente o capital humano é de valor inestimável para as organizações empresariais, porém, nada o serve se não for feita a primeira parte dele, a gestão. Tratamos a gestão do conhecimento como um processo de identificação, criação, renovação, aplicação e compartilhamento dos conhecimentos adquiridos pelos colaboradores da empresa, de maneira técnica e de experiência profissional. Problematizamos na empresa Novatref a dificuldade em haver o compartilhamento desse conhecimento, pois todas as informações relacionadas ao sistema produtivo da empresa, todo o seu know-how não está documentado, está gravado no intelecto dos responsáveis da gestão produtiva. Essa situação torna a empresa refém de seus gestores atuais e não permite a ascensão de novos profissionais, dificultando ainda mais o compartilhamento do conhecimento. Encorajamos a criação de manuais de gestão operacional, como espécies de “receitas de bolos” permitindo a inclusão do conhecimento do capital humano esteja inserido em seu sistema de gestão industrial, e que, estará disponível quando necessário e a quem o solicitar.

Conclui-se que, as dificuldades evidenciadas na empresa Novatref, não são exclusivas da organização e de seu corpo de profissionais; são desafios que os profissionais enfrentam e os novos enfrentarão na gestão industrial de uma indústria ou qualquer outra organização empresarial em que trabalharmos. Salientamos ainda, que os desafios servem para fortalecer a nós como pessoas e profissionais, dando-nos novos cenários, situações e permitindo que adquirimos um enorme aprendizado pela experiência vivida e para as organizações pontos para poderem melhorarem seus processos, permitindo que estejam cada vez mais competitivas mercadologicamente.

REFERÊNCIAS

CAVALCANTI, Clóvis. Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas. 4. ed. Recife, PE: Fundação Joaquim Nabuco, 2003.

DIRETIVA 2006/21/CE. Disponível em Disponível em: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/site/pt/oj/2004/l_143/l_14320040430pt00560075.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2021, às 19h42min.

INSTITUTO ETHOS DE EMPRESAS E RESPONSABILIDADE SOCIAL. Disponível em: <<http://www.ethos.org.br>>. Acesso em 05 set. 2021, às 13h48min.

LOPES, Karina; GONÇALVES, João. O que é globalização?. Karina Lopes e João Gonçalves, Portal Politize-se. 2017. Disponível em: <<https://www.politize.com.br/globalizacao-o-que-e/>> Acesso em 27 abr. 2021, às 19h32min.

REBOUÇAS, Fernando. O que é gestão do conhecimento? Fernando Rebouças – Sociedade Brasileira de Gestão do Conhecimento – SBGC, 2014. Disponível em <<http://www.sbgc.org.br/blog/o-que-e-gestao-do-conhecimento>>. Acesso em 04 mai. 2021, às 08h35min.

RIBEIRO, Maria Clotilde Meirelles. Globalização e novos atores: a paradiplomacia das cidades brasileiras, Maria Clotilde Meirelles Ribeiro – Salvador: Editora Scielo EDUFBA: 2009.

SACOMANO, José Benedito. Indústria 4.0: conceito e fundamentos. José Benedito Sacomano - São Paulo: Editora Blucher, 2018.

SCHWAB, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. Klaus Schwab – São Paulo: Editora Edipro: 2019.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. Nigel Slack, Stuart Chambers e Robert Johnston; tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher – 2 ed. – São Paulo: Atlas, 2007.

TACHIZAWA, Takeshy. Gestão ambiental e responsabilidade social corporativa: estratégias de negócios focadas na realidade brasileira. Takeshy Tachizawa. São Paulo: Atlas, 2002

VALENTIM, Celso Ricardo Salazar. Gestão do conhecimento: o que é e por que aplicá-la na sua empresa. Celso Ricardo Salazar, 2018. E-book disponível em <<https://humantech.ws/humantech/ebooks/ebook-Gestao-do-Conhecimento.pdf>>. Acesso em 30 abr. 2021, às 21h47min.

VERRI, Lewton Burity. PCP: planejamento e controle da produção: administração e controle da produção: produção ao menor custo. Lewton Burity Verri – 1ed. – Santa Cruz do Rio Pardo, SP: Editora Viena, 2015.

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

Data de submissão: 17/11/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Marcela Trojahn Nunes

Universidade Federal de Santa Maria -
Campus Cachoeira do Sul, Laboratório
de Síntese e Caracterização de
Nanomateriais (LSCNano)
Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9415805189326573>

Fabiele Schaefer Rodrigues

Universidade Federal de Santa Maria -
Campus Cachoeira do Sul, Laboratório
de Síntese e Caracterização de
Nanomateriais (LSCNano)
Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0421593776428066>

Jocenir Boita

Universidade Federal de Santa Maria -
Campus Cachoeira do Sul, Laboratório
de Síntese e Caracterização de
Nanomateriais (LSCNano)
Cachoeira do Sul – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0256204940447001>

RESUMO: A utilização de resíduos agrícolas tem se tornado uma necessidade, devido ao seu alto custo ambiental. Como exemplo disso, temos a cinza de casca de arroz (CCA), produzida pela queima indiscriminada da casca de arroz, bem

como, temos a necessidade de buscar por alternativas de reaproveitamento do resíduo de forma sustentável, seja aplicando em nanomateriais, seja extraíndo o SiO_2 presente na cinza de casca de arroz. Este estudo aborda o uso de técnicas de caracterização para o resíduo de cinza de casca de arroz, mostrando a qualidade da SiO_2 presente no resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: Cinza de casca de arroz; SiO_2 ; Cristobalita.

RICE HUSK ASH RESIDUE APPLICATION POTENTIAL

ABSTRACT: The use of agricultural waste has become a necessity due to its high environmental cost. As an example of this, we have rice husk ash (RHA), produced by the indiscriminate burning of rice husk, as well as the need to look for alternatives to reuse the waste sustainably, either by applying it to nanomaterials or by extracting SiO_2 present in rice husk ash. This study addresses the use of characterization techniques for rice husk ash residue, showing the quality of SiO_2 present in the residue.

KEYWORDS: Rice husk ash; SiO_2 ; Cristobalite.

1 | INTRODUÇÃO

O arroz é um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando uma área aproximada de 168 milhões de hectares, produzindo aproximadamente 741 milhões de toneladas de grãos em casca. O Brasil possui uma produção anual de 11 a 13 milhões de toneladas de arroz com casca nas últimas safras (média de 2008/09 até 2014/15), conforme a SOSBAI (2016).

O grão de arroz consiste da cariopse e da casaca, que é uma camada protetora. A casca é composta de duas folhas modificadas que correspondem a cerca de 20% do peso do grão. Através da secagem, separa-se a casca da cariopse, obtendo-se o arroz integral (JULIANO e BECHTEL, 1985).

A casca de arroz em função do seu alto poder calorífico, aproximadamente 16,720 kJ/kg, e do baixo custo, é utilizada como alternativa a substituição da lenha empregada na geração de calor e vapor necessários para os processos de secagem e parboilização dos grãos de arroz na própria indústria (DELLA et al., 2001). Após a queima da casca de arroz, temos como resultado a cinza da casca (CCA), gerada nesse processo, por sua vez, quando descartada de maneira imprópria promove a poluição no solo, pois apresenta uma quantidade de carbono residual, além da concentração de óxidos alcalinizantes, como por exemplo, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, e outros, os quais, ao entrar em contato com a água, alcalinizam o meio aquoso (ZUCCO, 2007).

Segundo Zucco e Beraldo (2008), o aproveitamento de resíduos agrícolas mostra-se primordial em função do alto custo ambiental proveniente do seu inadequado descarte na natureza. Desta maneira, a cinza de casca de arroz produzida pela sua queima indiscriminada tornara-se preocupante em virtude do grande volume produzido anualmente. As pesquisas envolvendo a obtenção de materiais para a construção civil, empregando a CCA na aplicação industrial e o uso na construção civil (concreto e argamassa), revelam que a cinza deve ser de alta qualidade, com elevado grau de pureza, principalmente, pela exigência de que apresente elevada reatividade química. Uma vez que, segundo Isaia et al. (2016), o teor de sílica da CCA, quase sempre acima de 90 %, quando queimada com controle de temperatura conferindo-lhe uma microestrutura amorfa. Contudo, estima-se que a maior parte da produção de CCA tenha aplicações secundárias devido à queima sem controle de temperatura, o que resulta em um grau de cristalinidade, possuindo menor reatividade.

Assim, em 1924 o uso da CCA em concreto foi patenteado. A partir daí, surgiram diversas pesquisas com o uso da CCA em matrizes cimentícias, tanto para cinzas produzidas com queima controlada, quanto aquela à base de cinza de casca de arroz residual (NAIR et al., 2006).

A utilização da CCA pode melhorar as propriedades do concreto, além de viabilizar um destino sustentável a rejeitos que geralmente seriam descartados no meio ambiente

ou em aterros industriais. Neste mesmo cenário temos a necessidade da substituição de alguns componentes nos concretos, como o cimento e o seus agregados devido ao seu elevado custo e escassez dos componentes na natureza, podendo esta substituição ser realizada através do aproveitamento de resíduos. Onde o uso desses rejeitos pode melhorar as propriedades do concreto.

Conforme Schulz (2013), são considerados nanomateriais todos aqueles constituídos por partículas ou aglomerados delas com tamanho que apresente entre 1 e 100 nm. Assim, é importante ressaltar que a nanotecnologia, ou seja, uma tecnologia que manipula de maneira controlada a matéria nessa escala relaciona-se diretamente apenas aos nanomateriais manufaturados, projetados para ter características de interesse na escala de nanômetros. Além disso, as nanopartículas (NPs) podem ser obtidas através de diferentes componentes químicos, com destaque para os óxidos de zinco, manganês e titânio, contudo a utilização dos óxidos de ferro apresenta vantagens, como facilidade de síntese, magnetismo, baixa toxicidade, biocompatibilidade, alta capacidade de adsorção e baixo custo (HUA et al., 2012; XU et al., 2012).

O trabalho tem como objetivo obter resultados que possibilitem o uso de resíduos em aplicações tecnológicas, seja em catálise, engenharias e também como material suporte para nanopartículas diversas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Resíduo de cinza de casca de arroz

O resíduo de cinza de casca de arroz é adquirido em empresas que beneficiam arroz, onde após a queima descontrolada da casca do arroz, gerando a cinza de casca de arroz. Após a coleta da cinza de casca de arroz, este resíduo passa por uma separação através de peneiras passante 200 mesh. É realizado um tratamento térmico de 100°C durante 30 minutos para eliminar o excesso de água contida na cinza de casca de arroz. Na figura 1 temos a imagem da cinza de casca de arroz após o tratamento térmico.



Figura 1 – Resíduo de cinza de casca de arroz.

Fonte: Autor.

2.2 Difração de Raios X (XRD)

A técnica de difração de raios X consiste na medida microestrutural de materiais, cristalinos e amorfos, podendo em alguns casos, medir na fase líquida. As aplicações são vastas em diferentes áreas de conhecimento, como, por exemplo, na engenharia, ciência de materiais, química, física, entre outras, (BOITA, 2014).

Conforme Zachariasen (1945), considerando o ponto de vista da física ondulatória, os raios X, ao atingirem o material, podem ser espalhados elasticamente pelos elétrons de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente). O fóton de raios X após a colisão com o elétron muda sua trajetória, contudo mantém sua fase e energia, podendo assim dizer que a onda eletromagnética é instantaneamente absorvida pelo elétron e retroespalhada, onde cada elétron atua como centro de emissão de raios X.

Assim, a intensidade difratada depende principalmente do número de elétrons no átomo, bem como da distribuição dos átomos no espaço, pois os vários planos de uma estrutura cristalina apresentam diferentes densidades de átomos ou elétrons, fazendo com que as intensidades difratadas sejam distintas para os diferentes planos cristalinos originados, segundo Boita (2014).

Deste modo, o XRD permite obter informações sobre a estrutura cristalina ou amorfa dos materiais, geralmente na fase sólida. As medidas foram realizadas em um Mini Flex da marca Rigaku, na faixa de 5° - 100° , com ânodo de Cu K α (17.5 mA, 40 kV e $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$). Os picos de difração foram indexados usando o software Crystallographica Search-Match (version 2.1.1.1) e a base de dados cristalográficos ICDD, The International Centre for Diffraction Data.

2.3 Espectroscopia de Fotoelétrons Induzidos por Raios X (XPS)

Baseada no efeito fotoelétrico, elucidado por Albert Einstein em 1905, temos

a técnica de Espectroscopia de Fotoelétrons Induzidos por Raios X (XPS). Esse efeito está relacionado à emissão de fotoelétrons de uma superfície após a absorção de fótons (fotoemissão), conforme Hofmann (2005) e Watts e Wolstenholme (2003).

A Espectroscopia de Fotoelétrons Induzidos por Raios X consiste na incidência de fótons de raios X com energia bem definida sobre a superfície, os quais interagem com os elétrons da amostra, transferindo-lhes energia. Salienta-se que a energia do fóton incidente deve ser maior do que a energia de ligação do elétron ao átomo, fazendo com que ele seja emitido com certa energia cinética.

Como resultado, o espectro obtido pelo XPS é representado por um número de contagens em função da energia cinética dos fotoelétrons, podendo ser alterada para energia de ligação. Este processo permite a identificação dos elementos presentes a partir da posição dos picos, possibilitando, ainda, uma varredura na região de um pico de interesse, mostrando o estado químico de um determinado elemento (WATTS e WOLSTENHOLME, 2003).

A identificação dos picos originados no XPS de acordo com o nível quântico do fotoelétron de origem deve ser realizada com o auxílio de um banco de dados, de acordo com Moulder et al. (1992).

A Espectroscopia de Fotoelétrons Induzidos por Raios X (XPS) foi medida no Laboratório Nacional de Nanotecnologia (LNNano) do CNPEM em Campinas - SP. As medidas foram feitas no modo convencional, em modelo K- Alpha (Thermo Scientific) com energia de 100 - 4000 eV, com sistema de compensação de carga. Para fins de tratamento de dados, os espectros foram corrigidos com base no pico do C 1s (284,5 eV), com precisão experimental de 0,1 eV e medidos com energia de 1486,6 eV através de ânodo de AlK α . O tratamento de dados foi realizado com uso do software CASA XPS, versão 2.3.14 e ajustados com uma função soma Gaussiana - Lorentziana assimétrica (20 % de contribuição).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O difratograma apresentado na figura 2 corresponde ao resíduo da cinza de casca de arroz, que corresponde à fase Cristobalita (SiO₂), de acordo com a base de dados cristalográfica. A presença da única estrutura relacionada ao SiO₂, é resultado da presença de Si na casca do arroz cerca de 90 %, o que mesmo após a sua queima não ocorre sua degradação ou mudança de fase.

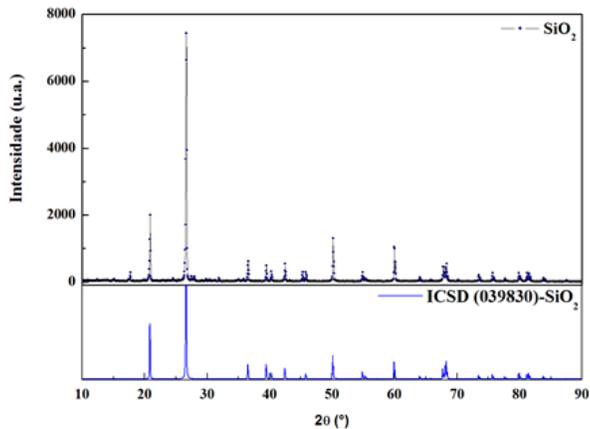


Figura 2 – Difração de raios X do resíduo de cinza de casca de arroz junto da medida padrão fornecida pela base de dados ICSD.

Fonte: Autor.

A cristalinidade encontrada no resíduo de cinza de casca de arroz surpreende, pois sem haver tratamento térmico considerável acima de 100°C, já se encontra em uma excelente cristalinidade. Isso pode vir a potencializar suas aplicações tecnológicas.

A análise de espectroscopia de fotoelétrons induzidos por raios (XPS) correspondeu a medidas na região de ampla energia, e na região local do Si 2p para o resíduo de cinza de casca arroz mostrado na figura 3. A medida na região local apresenta apenas uma componente com energia de ligação em 103,5 eV, posição em energia correspondente ao padrão de SiO₂ encontrada na literatura (Craciun et al., 1995), relacionada a ligações Si-O. Este resultado de XPS está correlacionado com o resultado de XRD.

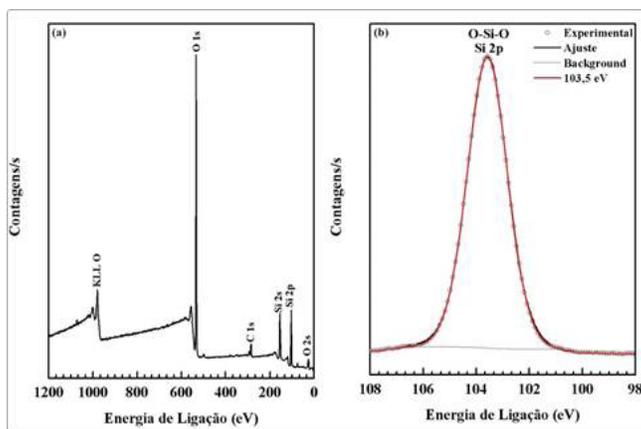


Figura 3 – Espectro de XPS do resíduo de cinza de casca de arroz em (a) em ampla energia e (b) varredura local Si 2p.

Fonte: Autor.

Em ambos os resultados das técnicas de caracterização XRD e XPS, mostram uma medida limpa com qualidade sinal/ruído excelente, mostrando a qualidade do composto encontrado no resíduo de cinza de casca arroz. As aplicações do composto SiO₂ são inúmeras, e cada vez mais se expande, principalmente na eletrônica.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados de XRD e XPS se relacionam entre si, descrevendo a mesma linguagem em termos de resultados, mostrando que o resíduo possui apenas a fase de SiO₂, sem a presença de outras impurezas junto do resíduo. Para a medida de XRD a fase corresponde a Cristobalita, e no XPS, possuem ligações do tipo Si-O, o que reforça o resultado de XRD. Estes resultados evidenciam potenciais aplicações com o uso de resíduo de cinza de casca de arroz, seja como material suporte para nanoestruturas diversas, ou o SiO₂ de forma extraída do resíduo a partir de tratamento químico, para aplicações em meios industriais, como na indústria de pneus, creme dental, vidros e principalmente em sistemas que empregam a areia como agregado, sendo o caso da área de construção civil. Este último requer mais estudos quanto à substituição do mesmo em aplicações tecnológicas que envolvem o uso de areia convencional.

AGRADECIMENTOS

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Processo 403838/2016-9.

REFERÊNCIAS

CRACIUM, V., READER, A. H., Vandenhoudt, D. E. W., Best, S. P., Hutton, R. S., Andrei, A. & Boyd, I. W. **Thin Solid Films** **255**, 1995, p.290-294.

DELLA VP, KÜHN I, HOTZA D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**. 2001;24(6):778-782.

HOFMANN, P. **Lecture notes on surface science**. 5. ed. Arhus: Springer, 2005, 192 p

HUA M, ZHANG S, PAN B, ZHANG W, LV L, ZHANG Q. Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. **Journal of Hazardous Materials**. 2012;211-212:317-331.

ISAIA GC, ZERBINO RL, GASTALDINI ALG, SENSALÉ GR. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte II): durabilidade. **Ambiente Construído**. 2017;17(2):233-252.

JULIANO BO, BECHTEL DB. The rice grain and its gross composition. **Rice: chemistry and technology**. Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, 1985.

MOULDER, J. F.; STICKLE, W. F.; SOBOL, P. E.; BOMBEN, K. D. Chastian, J. ed. **Handbook of X-Ray Photoelectron Spectroscopy**. Eden Prairie: Perkin-Elmer Corporation. 1992, 275 p.

NAIR DG, JAGADISH KS, FRAAIJ A. Reactive pozzolanas from rice husk ash: an alternative to cement for rural housing. **Cement and Concrete Research**. 2006;36(6):1062-1071.

SCHULZ PA. Nanomaterials and the interface between nanotechnology and environment. **Vigilância Sanitária em Debate**. 2013;1(4):53-58.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO – SOSBAI. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas: SOSBAI, 2016.

XU P, ZENG GM, HUANG DL, FENG CL, HU S, ZHAO MH, LAI C, WEI Z, HUANG C, XIE GX, LIU ZF. Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review. **Science of the Total Environment**. 2012;424:1-10.

WATTS, J. F.; WOLSTENHOLME, J. **An introduction to surface analysis by XPS and AES**. John Wiley & Sons, 2003, 207 p.

ZUCCO, L. L. **Avaliação do comportamento físico-químico-mecânico de misturas cimento-cinza casca de arroz por meio de corpos-de-prova cilíndricos e placas prensadas**[thesis]. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola/Universidade Estadual de Campinas; 2007. 381 p.

ZUCCO LL, BERALDO AL. Efeito da adição de cinza de casca de arroz em misturas cimento-casca de arroz. **Engenharia Agrícola**. 2008; 28(2):217-226.

REPLACEMENT OF CONVENTIONAL VEHICLES WITH ELECTRIC ONES ON THE MACROMETRÓPOLE PAULISTA: ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR THE HORIZON OF 2030

Data de aceite: 02/01/2023

Guilherme Pedroso

Collaborating Researcher, Institute of Energy and Environment - IEE/USP São Paulo, Brazil

João Marcos Pavanelli

EACH/USP, São Paulo, Brazil

Raiana Schimer Soares

Doctorate Student, Institute of Energy and Environment - IEE/USP São Paulo, Brazil

Célio Bermann

Institute of Energy and Environment - IEE/USP São Paulo, Brazil

ABSTRACT: This article analyzes impacts resulting from the replacement of conventional cars (CVs) with 100% electric (EVs) in the horizon of 2030 in the region of Macrometrópole Paulista (MMP), located in the State of São Paulo, Brazil. The impacts under analysis are consumption of fuels and electric energy and environmental emissions with a focus on gas CO₂. The vehicle fleets up to 2019 are collected from the licensing statistics of the National Department of Transport (DENATRAN) and the State Department of Transport of the State of São Paulo (DETRAN-SP). The projection

of vehicles from 2020 to 2030 is estimated using Linear Regression and BASS methods. The consumption of automotive fuels is available in the Statistical Yearbook of Energy Products by municipalities in the State of São Paulo and electric energy for EVs is estimated by the Authors backed by data from the available bibliography. And, the supply of electricity in Brazil in the horizon of the year 2030 is available in the National Energy Plan 2030 – PNE 2030 - of the Ministry of Mines and Energy (MME/EPE 2007). The methodological approach of the research is summarized in Figure 2. The case study of this work is limited in terms of region that is the Macrometrópole Paulista (MMP – Figure 1) and to the six analysis scenarios defined, all with a view to the 2030 horizon. The research relies on secondary data collected from governmental institutions, statistical database and academic publications and reports. The sections of the paper are Introduction, Methodological Approach, Objective and Questions to Answer, Case Study, Results, and Conclusions and Comments.

KEYWORDS: Urban transport; Electric Vehicle; Macrometrópole Paulista; Energy consumption; CO₂ emissions.

1 | INTRODUCTION

According to the International Union of Urban Transport (UITP), cities face great challenges to address the process of urban mobility in the face of the increase in the world population that is increasingly urbanized. Currently, 53% of the population ^{lives} in urban areas and, by 2050, this number is expected to reach 67%. In 2014, 64% of trips were made within the urban environment and the total kilometers traveled should increase three times more by 2050 (AUDENHOVE, 2014).

Magalhães (2014) defines transportation as a system. In his model, the researcher defines that the system entries are made up of: people or goods to be transported; energy; equipment and services; and economic, political, cultural and family actions. It defines useful outlets which are the actual transfers of passengers and goods made between points of origin and destinations and other outlets as the waste generated by the equipment and services, including the emissions of greenhouse gases (GHG). Energy, an essential entry in the transport system, is the basis for studies on consumption (energy intensity), energy efficiency and pollutant emissions.

GHG emissions caused by transport systems are directly linked to energy efficiency. GHG emissions in the world in 2013 totaled 49 Giga tons of CO₂ equivalent (GtCO₂eq). The total emissions produced by energy consumption, which represent 71% of the overall total, is broken down into: 31% produced by the electricity generation sectors; 31% for heating; 15% for transport systems; 12% for manufacturing and construction; 8% for combustion and other fuels; and 3% for fugitive emissions. As the third party responsible for GHG emissions, the transport sector becomes a target for attentions of society in general and by the governments. As so, it demands incentives to develop innovative solutions to reduce the amount of air pollution. Aligned with this demand, electromobility is one of the promising emerging technologies effective to reduce air pollution generated by transports (DELGADO et. al., 2017).

VUCHIC (2007) stratifies the study of energy consumption and efficiency in urban passenger transportation systems in terms of: vehicles, rolling infrastructure and operational aspects. Analyzing the theme of energy efficiency in passenger transport, SCHILLER (2010) also says that the system is linked to fuels, vehicles and the road scheme of cities. BAEDEKER & HÜGING (2012) ratify SCHILLER's approach (2010), understanding that energy efficiency in transport must be analyzed in terms of vehicle performance, the modes that are used to travel and the performance of the system as a whole. According to these researchers, vehicles can become more efficient through technologies that develop new fuels, reduce engine consumption, reduce weight, improve the aerodynamics of conveyors and reduce friction losses in general system items. As for the system as a whole, the authors state that attention should also be paid to reducing the amount of travel through land use planning actions and interactions between economic and social activities.

Among the opportunities for clean and efficient vehicles, the electric vehicle technologies are receiving more and more attention. The study called “Governance and Public Policies for Electric Vehicles (EV)” analyzes who the stakeholders are, their motivations and how these actors establish and govern actions for the insertion of electromobility in the automotive sector (CONSONI et. al., 2018). The authors researched these elements in the countries that lead this technological trend and also in Brazil. The work states that the fleet of EVs starts to be significant in Norway, Holland, Sweden, France, China, United States, Germany and Japan.

According to CONSONI et. al., 2018 p.11-12, the country’s leading electrical mobility as Holland, Sweden, France, China, United States, Germany and Japan, it is argued that, “at present, the reduction of greenhouse effect emissions is the main vector. Such concern is the shield for the development and diffusion of EVs, as it places this socio-technical object as a common point for the solution or alleviation of local environmental problems (air quality and public health) and global - less dependence on fossil fuels and reduction of greenhouse gas (GHG) emissions.”

In Brazil, however, there is still no specific motivation since ethanol, as a vehicle fuel, is effective and efficient in reducing GHG. The 100% electric EV will face, in Brazil, competition with conventional vehicles (CVs) powered by this type of fuel. A point to highlight is the cost of EV in Brazil, which today is more than double that of a CV that can provides to families the same passenger transport service. With the exception of Norway, in the leading countries in EV production, the list of stakeholders has in common an active presence of the productive sector. In Brazil, however, the participation of the automotive industry with the intention of technological development of EVs in the country is low, since its low diffusion makes importing and distributing this type of product more viable. In leading countries, actions for the insertion of EV in fleets are governed by public and private actions focusing on regulatory measures to stimulate electromobility. In Brazil, EV’s specific governance actions are aimed at stimulating consumption and reducing vehicle costs. More details the reader can found in Annex I (CONSONI et. al., 2018).

The 100% electric EV also competes in Brazil and in the world with the hybrid electric that consolidates itself with the recent technology that combines electric motors with a flex-fuel internal combustion engine that works with both fossil fuel and ethanol. Recent examples are the launch of hybrid/flex models by automakers Toyota (Corolla) and Nissan (Leaf) (FONTANA, G. (2019); FORTUNATTI, L., (2020)).

Besides the high acquisition cost compared to a CV equivalent, in Brazil the EV manufacturers should assess the complete EV lifecycle to estimate its environmental benefits, including its entire value chain (like the process of the vehicle manufacturing itself, battery recharging consumption at the electric posts and the lithium batteries, from manufacturing to its disposal).

With regard to cost, it is likely that EVs would currently only be widely accepted

by users at the expense of government subsidies for manufacturers and bonuses for buyers. Regarding environmental aggressions, the comparison with the CV cannot be made merely considering the waste that goes out through the exhaust, where, really, the 100% electric types, or even the hybrids, take great advantage because they only use the gasoline propellant occasionally. The comparison should consider the complete vehicle fuel life cycle for the VC (gasoline, or diesel, or ethanol) as well as the electrical energy for the EV. The CV with an ethanol engine reduces CO₂ emissions by more than 70% when compared to a gasoline engine, counting the total fuel product cycle from manufacturing to the exhaust. As for electric energy for EV, for this energy to be effective to reduce emissions and environmental impacts, it must be generated from clean renewable sources (LUCENA, 2018).

2 | METHODOLOGICAL APPROACH

The methodological approach is presented in Figure 2. The case study limits the research, in terms of region, to the Macrometrópole Paulista (MMP – Figure 1) and there are six analysis scenarios under analysis. The research relies on secondary data collected from governmental institutions, statistical database and academic publications and reports.

The MMP is one of the largest urban agglomerations in the southern hemisphere and, according to the United Nations (ONU, 2013), MMP is one of the main metropolises in the world and the largest economic and financial hub in South America.

Inserted in the State of São Paulo, MMP has 174 municipalities. For reference, the State of São Paulo has 645 municipalities with a total of 45.9 million inhabitants. This is one of the 27 Brazilian states that, all together, sum a total of 5,570 municipalities with an estimated population of 210.1 million of inhabitants. Figure 2 shows the geographical view of these urban agglomerations (EMPLASA, 2012; IBGE, 2018).

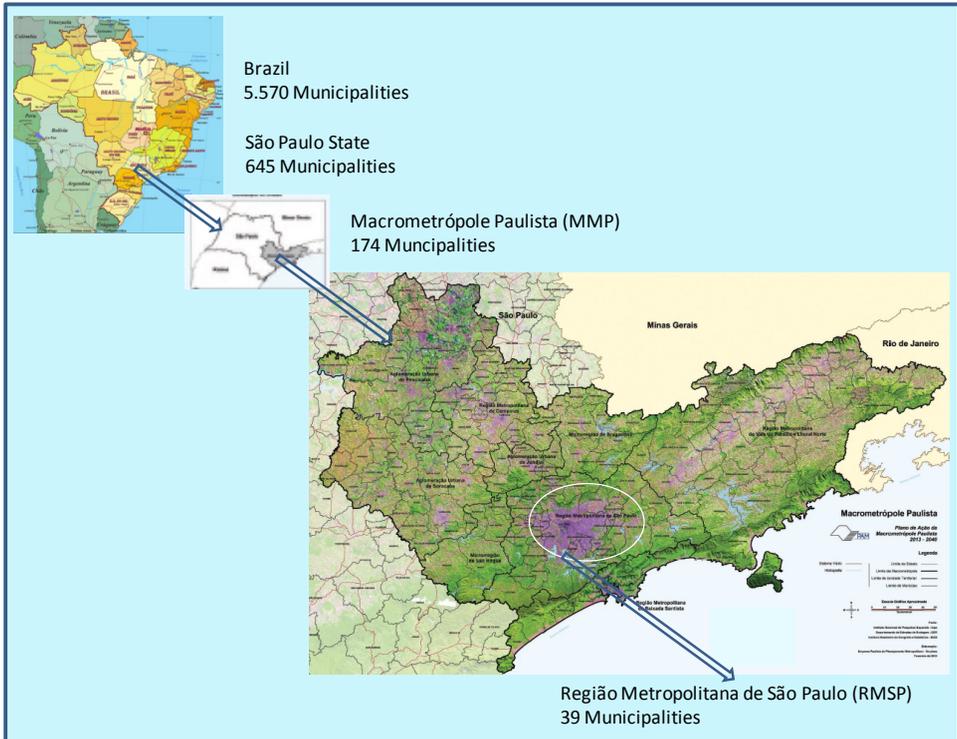


Figure 1. Geographic visions of the São Paulo State, MMP and RMSP.

Source: Authors, based on EMLASA (2012); IBGE (2018).

The MMP municipalities are grouped into Metropolitan Regions (RMs), Urban Agglomerations (AUs) and Regional Units (UR). The RMs are Baixada Santista, Campinas, Sorocaba and Vale do Paraíba and Litoral Norte (VPLN); the AUs are Jundiaí and Piracicaba; and the only UR is Bragantina. This territory is located in the southeastern region of the State of São Paulo and concentrates high-tech industries, diversified commerce, complex services and the most productive agribusiness in Brazil. The largest port and airport, the best road complex and the largest centers of knowledge and innovation in the country are installed there (EMLASA, 2012; IBGE, 2018).

The importance of MMP is evidenced by its numbers: 33.7 million inhabitants, representing 74.6% of the population of the State of São Paulo (ESP) and 16% of Brazil; territorial area of 53.4 thousand km², 21.5% of the ESP area; 27% of ESP municipalities; 50% of the Urbanized Area (11,700.2 km²) of the ESP; it houses 20% of the protected natural heritage of ESP; it also houses the Port of Santos, which handled, in 2016, 28.5% of the country's exports and port imports of goods and the Guarulhos International Airport (São Paulo), which served 36.6 million passengers in 2016; the region's GDP was R \$ 1.82 trillion in 2018, which is equivalent to 82.8% of ESP's GDP and 25% of the Brazilian GDP

(EMPLASA, 2012; IBGE, 2018).

Among the 174 municipalities of the MMP, 39 of them form the so-called Metropolitan Region of São Paulo (RMSP) which has a population of the order of 22 million inhabitants (IBGE, 2018) and is classified as one of the six largest Metropolitan Regions in the world according to the United Nations Organization (ONU, 2013). The RMSP is divided into four zones: West, Southeast, Southwest and West. The Municipality of São Paulo is the nucleus that integrates all zones (or sub-regions).

The six analysis scenarios under study are all with a view to the 2030 horizon.

In the first three scenarios the analysis focuses on CO₂ emissions: (1) substitution of CV taxis powered with ethanol by EVs in the city of São Paulo (MSP); (2) replacement of CV buses fueled with diesel oil by EVs in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP); (3) replacement of all CVs flex-fuel cars with EVs at the MMP.

In the next scenarios, attention is paid to the electric energy which is consumed from the SIN. Comparison is made between the estimated EV fleets against the strategic reserve of the SIN: scenario (4) considers all EVs estimated to travel on the MMP; scenario (5) considers all EVs estimated to travel in Brazil; and scenario (6) takes all estimated flex-fuel CV cars to travel on the MMP which are converted into EVs.

Six Annexes provide information that complements with details topics presented in this text. They are available for consultation online.

Despite the issue of the lack of a goal for the dissemination of EV at national level, this work employs regional scenarios in which there are technical and economic motivations favorable to the implementation of this technology. The specific objectives of the work are: (i) to select scenarios to assess criteria of energy efficiency, volume of CO₂ emissions and attractiveness to receive incentives via top-down public policies that foster pilot projects to demonstrate feasibility for diffusion on a larger scale; (ii) to estimate the amounts of CVs and EVs in each scenario based on secondary vehicle licensing data made available by Federal and São Paulo State entities and on future estimates prepared by the authors; (iii) to estimate energy consumption and CO₂ emissions for CVs and EVs in each scenario; (iv) to assess the impact of EV electric consumption on the strategic reserve of the Brazilian Electricity Interconnected System (SIN, 2003); (v) to compare the emissions of VCs and EVs in each scenario; (vi) and, finally, to analyze the results and present comments and recommendations.

The demands of vehicle fuels by CVs and electricity by EVs were used as indicators for the analysis of energy impacts. EVs are restricted to 100% electric cars and city buses, both for passenger transport actions.

The estimation of CO₂ emissions by CV vehicles when carrying out a specific transport service is done by multiplying the energy consumed by the engine by the CO₂ emission factor (EF) of the fuel used. In a similar process, for EVs the energy consumed is electrical. When fleet emissions are analyzed over a period of time, it is necessary to know

the types and quantities of vehicles in the fleets. The analysis is simple to be done in fleet statistics released by recognized entities. However, as is the case with this research, there is the fact that the analysis has to be done for future fleets, in the horizon of 2030.

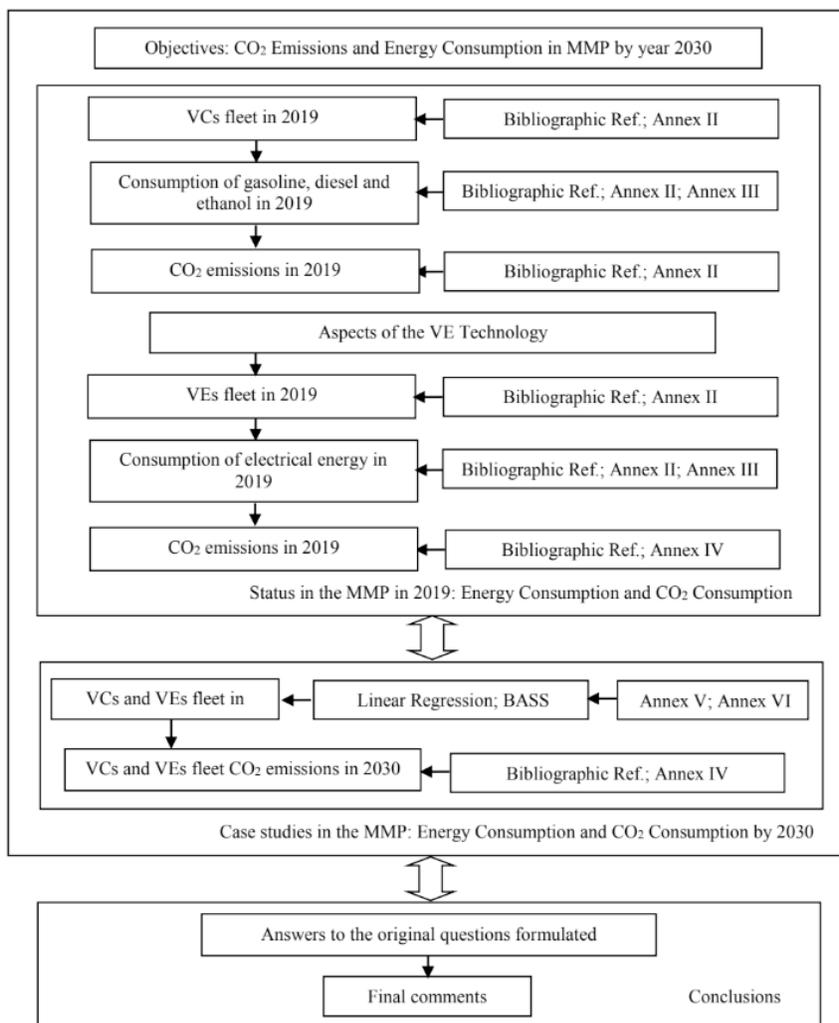


Figure 2. Methodological approach.

Source: Authors.

3 | OBJETIVE AND QUESTIONS TO ANSWER

Inserted in the context of the themes discussed above, this article aims to analyze the energetic and environmental effects resulting from the replacement of CVs by 100% electric EVs. The analysis of environmental impacts carried out is restricted to CO₂ emissions. The horizon of the study is the year 2030. And the electrical energy consumed to recharge the

EV batteries are supplied by the National Interconnected energy System (SIN).

Two innovations are present in this research. The first one is the geographical limit to which it is dedicated. The study is restricted to the region called Macrometrópole Paulista (MMP), located in the State of São Paulo, Brazil. In this region there are large concentrations of people who demand high public and individual mobility due to the presence of: important industrial infrastructure; agricultural production; and air, land and naval transport nodes that also demands great mobility of people and goods. The second innovation within this work is the combination of the Linear Regression method with the BASS model to estimate the number of vehicles CVs and EVs on the MMP up to 2030.

The questions that guide the present work are: (1) would the SIN system be prepared to supply battery recharges for all estimated EVs to travel on the MMP ?; (2) what is the maximum number of EV vehicles that could be fueled within the SIN strategic reserve limit ?; (3) which scenarios have the greatest reductions in CO₂ emissions due to the replacement of CVs by EVs ?; and, finally, (4) what are the strategies for installing electro-posts for recharging EV batteries?

4 | CASE STUDY

4.1 Fleet of cars and buses VCs on the MMP in 2019

The surveys that follow reflect the databases of the National Department of Transport (DENATRAN) and the State Department of Transport of the State of São Paulo (DETRAN-SP) with vehicle licenses available from 2012 to 2019.

4.1.1 Licensing

Table 1 shows the quantities of conventional cars and buses licensed in each of MMP's eight urban agglomerations in 2019. (DENATRAN, 2020).

Urban Agglomeration	Car	Bus
AU de Jundiaí	365.990	2.089
RM da Baixada Santista	464.860	3.403
RM de Campinas	1.414.849	12.783
RM de Sorocaba	858.138	5992
RM de SP	9.356.732	76489
RM do VP e LN	948.457	5195
UR da Bragantina	196.094	1.105
AU de Piracicaba	637643	5.532
TOTAL	14.242.763	112.588

Table 1. CVs car and bus licenced in MMP in 2019.

Source: Authors, based on DENATRAN (2020).

As in Brazil there were 56,785,464 car licensing and 648,829 buses in 2019, 25% of cars and 17% of urban buses are concentrated in MMP (DENATRAN 2020).

In the State of São Paulo, in December 2019 19,402,262 automobiles were licensed, 6,334,938 in the city of São Paulo alone, and 170,728 buses, 50,276 of them in the municipality of São Paulo. Thus, the MMP is home to around 73% of automobiles in the State of São Paulo and 66% of urban buses (DENATRAN, 2020). More details can be found in Annex II, which also shows the evolution of these numbers from 2018 to 2019, ratifying these percentages.

4.1.2 Consumption of gasoline, diesel oil and ethanol

According to the Statistical Yearbook of Energy Products by municipalities in the State of São Paulo (GESP/SEM, 2019), consumptions of gasoline, diesel oil and ethanol in MMP occurs aggregated by urban agglomeration, as shown in Table 2.

Urban Region	Vehicular Fuel		
	Gasoline – liters	Diesel Oil – liters	Ethanol – liters
AU de Jundiaí	205.454.786	233.464.692	200.984.055
RM da Baixada Santista	273.226.605	344.547.330	211.556.258
RM de Campinas	700.702.262	958.961.246	831.301.912
RM de Sorocaba	444.303.110	494.595.097	531.550.802
RM de SP	3.871.867.587	3.090.605.375	3.702.150.497
RM do VP e LN	614.667.202	692.519.817	474.076.423
UR da Bragantina	130.259.703	152.994.759	108.976.631
AU de Piracicaba	278.692.199	640.818.888	435.878.295
TOTAL MMP	6.519.173.454	6.608.507.204	6.496.474.873

Table 2. Consumption of vehicular fuel in the MMP in 2019.

Source: Authors, based on GESP/SEM (2019).

As diesel consumption is prohibited for automobiles and light vehicles in Brazil, these modes used, in the MMP in 2019, gasoline and ethanol in the approximate proportion of 50% for each fuel.

The evolution of fuel consumption from 2018 to 2019 is shown in Annex II, in which it can be seen that, from one year to the other, there was a reduction in gasoline consumption, stability in diesel oil and an increase in ethanol.

For information purposes, Annex III shows three maps that individualize the consumption of these three types of fuel for each of the 174 municipalities of MMP in 2017.

4.1.3 CO₂ emissions

The estimation of CO₂ emissions by CVs cars is done in a top-down manner by

multiplying the specific CO₂ Emission Factor (EF) for each fuel by the quantity used. Annex IV shows the detailed calculations for these indices. Table 3 shows the EFs for burning gasoline, diesel oil and ethanol in internal combustion engines.

A Flex type of motor can use either: 100% gasoline or 100% ethanol. The motor is automatically adjusted when the type of fuel is identified by an internal controller.

Note that the utilization of gasoline or ethanol in Brazil is not enforced by specific regulation law, but by the availability of each type of fuel in the market as well as by the cost of each one. In terms of cost versus performance (consumption per km) the utilization of ethanol is more effective when it cost is 70% lower than the one for gasoline.

Fuel	Liter	Emission Factor (EF) [tCO ₂]
Gasoline	1,0	0,0022942971
Diesel Oil	1,0	0,002696998
Ethanol	1,0	0,000921504

Table 3. Emission Factors to estimate CO₂ emissions.

Source: Authors, based on: Annex III; MELO (2001).

Table 4 shows the estimated emissions of CO₂ by CVs cars at MMP 2019.

Urban Region	tCO ₂			
	Gasoline	Diesel Oil	Ethanol	Total
AU Jundiáí	471.374	629.654	185.208	1.286.236
RM Baixada Santista	626.863	929.244	194.950	1.751.057
RM Campinas	1.607.619	2.586.317	766.048	4.959.984
RM de Sorocaba	1.019.363	1.333.922	489.826	2.843.112
RM SP	8.883.215	8.335.358	3.411.546	20.630.118
RM VP e LN	1.410.229	1.867.725	436.863	3.714.817
UR da Bragantina	298.854	412.627	100.422	811.903
AU Piracicaba	639.403	1.728.288	401.664	2.769.354
	14.956.921	17.823.133	5.986.527	38.766.581

Table 4. Estimation of CO₂ emissions by CVs in the MMP in 2019.

Source: Authors, based on: Table 2 x FE.

The evolution of CO₂ emissions from 2018 to 2019 follows the evolution of fuels consumptions (Annex II). The corresponding variations in CO₂ emissions show the same trend: decrease in the case of gasoline consumption, stability in diesel and increase in ethanol. The overall balance for the three fuels shows a reduction of 1,581,250 tCO₂ from

2018 to 2019. Ethanol is an international commodity as is sugar, both produced in Brazil from the same raw material (sugar cane). Producers have the option to produce one or the other product according to international quotations. And the consumers, by their turn, choose the best price either for gasoline or ethanol, a fact that modulates quantities used.

4.2 Aspects of the EV technology

After describing elements that show the socioeconomic importance of the MMP for studies of urban mobility, statistics on CVs vehicles and CO₂ emissions that currently occur due to the burning of vehicular fuel in this region, aspects of electromobility and then their applicability and effects on energy and environmental impacts are now analyzed.

4.2.1 Vehicles

There are four basic types of vehicles that incorporate electric motors: (i) The pluggable electric, with electric motor, that uses the energy of batteries charged in the electric grid (SIN); (ii) The hybrid one, whose electric traction energy is generated on board by an internal combustion engine that works with conventional vehicle fuel; (iii) The plug-in hybrid, equipped with batteries that are recharged with energy collected either from the SIN grid or from the embedded generator; (iv) And the one that uses electrical energy generated by an onboard energy cell (SILVA, 2014):

THEOTONIO & TREDINNICK (2018), in turn, define five types of EVs:

Type (i): “Plug in Electric Vehicle” (PEV), an acronym that refers to two categories, “Battery Electric Vehicle” (BEV) and “ Plug-In Hybrid Electric Vehicle ”(PHEV); in these categories the electricity that recharges the batteries is provided by an electrical outlet connected to the power distribution grid;

Type (ii): “Hybrid Electric Vehicle” (HEV or FHEV), whose vehicle uses both an electric motor and an internal combustion engine and does not use the electrical network for recharging;

Type (iii): The “Plug-In Hybrid Electric Vehicle” (PHEV), a plug-in hybrid electric that uses electricity obtained from the distribution network to power an electric motor, but which also uses an internal combustion engine in parallel to the electric engine, similar to a pure hybrid, to ensure greater travel autonomy;

Type (iv): The “Extended Range Electric Vehicle” (EREV) is a long-range hybrid electric vehicle equipped with an autonomy extender system that allows the change of operation from a battery-powered electric vehicle to a conventional vehicle with an internal combustion engine after full discharge battery after a certain number of kilometers traveled;

And finally a Type (v), the “Fuel Cell Vehicle” (FCV), an electric vehicle equipped with fuel cells that convert the chemical energy of a substance, such as hydrogen gas, into electrical energy.

The main brands that have already filed patent applications in Brazil for their products

related to EVs at the Brazilian Institute of Industrial Brands and Patents - IMPI were: Toyota (JP), Nissan Motor (JP), Scania CV AB (SE), Honda Motor CO (JP), Volvo (SE), LG CHEN LTD (KR), General Electric Company (US), Renault SAS (FR), Qualcomm Incorporated (US), and Man Truck & Bus AG (DE). There are also ongoing parent orders for companies from Germany, Brazil, Italy, China, India and England (THEOTONIO & TREDINNICK, 2018).

Based on data from manufacturers available in the bibliography consulted, in the herein study of scenarios there were considered: only 100% electric vehicles equipped with batteries of 60 kWh of energy (average value of the reported products), which can supply to the engines 0.3 kWh/km; motor with power of 60 kW (80 HP); and average travel autonomy in the order of 200 km. For 100% electric EV buses, the following figures were considered: vehicles equipped with 200 kWh of energy batteries, capable of delivering 1.0 kWh/km to engines; two engines of 100 kW (265 HP) each (Authors' estimate, based on BT, 2017); and travel autonomy also of 200 km.

4.2.2 EV charging equipment

There are four basic types of battery chargers (SILVA, 2014):

Type 1: (i) Domestic, single-phase, for slow time charge (~ 8.0h for a 24 kWh battery) with 3.5 kW (16A/220 Vac) power without end of charge control signal (pilot control); (ii) Non-domestic, single-phase, for slow time charge (~ 8.0 h for a 24 kWh battery) with a power of 3.5 kW (16A/220 Vac) with control in compliance with IEC-309-2 standard; (iii) Non-domestic, three-phase, for slow time charge (~ 4.0h to 6.0h for a 24kWh battery) with 11.0 kW power (Vac) with pilot control signal, complying with the IEC-309 standard -2;

Type 2: (i) Non-domestic, for semi-fast time charge (~2.0h for a 24 kWh battery), single-phase, with 7.4 kW power (in Vac at 32A) or single-phase, with 14.5 kW power (in Vac at 63A); (ii) three-phase, with power of 22 kW (in Vac to 32A); all options with pilot control signal complying with SAE 1772 standard;

Type 3: (i) Non-domestic, for semi-fast charge (~2.0h for a 24 kWh battery), single-phase, with 7.4 kW power; (ii) or three-phase, with a power of 22 kW (in Vac, 32A), with pilot control signal in compliance with the SAE 1772 standard;

Type 4: (i) Non-domestic, for quick time charge (~20.0 to 30.0 minutes, for a 24 kWh battery) in Vac (250 Vac at 95A) (ii) or in Vcc (400 Vac at 60A).

The EV charging equipment can be installed in places such as homes, businesses centers, parking lots, highways and shopping centers, among others. The residential ones are for slow time charging, the semi-fast ones for public places and in companies and, the fast ones, for charging stations on streets, highways, shopping centers and parking lots (LEITE, 2017).

In Brazil there are already a number of charging networks in operation and others under installation processes. The BMW manufacturer, in partnership with the local energy

concessionaire EDP, installed some charging points on the Dutra highway, which connects São Paulo to Rio de Janeiro. In addition to BMW, EDP, in partnership with the company Findes, is also developing a network of charging points in the Espírito Santo state. Paraná is another state that will have a large network of charging posts on the highway connecting the Port of Paranaguá to the Foz do Iguaçu city (SOUZA, 2019). The “PlugShare” tool is a software application that indicates locations of charging posts and is now available in Brazil (PlugShare, 2019).

The city of São Paulo has around 50 charging points (2018). However, there are initiatives ongoing by EV manufacturers, such as BMW, which began installing about 80 charging posts on commercial points spread across the states of São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Minas Gerais, Santa Catarina and the Federal District in Brasília (TEIXEIRA, 2018).

Regarding the number of recharging points ZEMOGINSKI (2018) cite an example on what happens in the city of Shenzhen, China, for taxis and electric buses. To make the operation of the fleet of 12,600 taxis in the city feasible, 500 recharging equipment were made available, distributed at the passenger waiting points. For the 17,000 buses, the city created bus garages with more than 5,000 slow chargers, distributed in groups of 510 charging stations (Table 5).

EV (Type)	City/Region	EV(Units)	Charging point (Units)	Installation Logistic	EV per recharging post
ZEMOGINSKI (2018)			Hypothesis by Authors; ZEMOGINSKI (2018)		
Taxi	Shenzhen (China)	12.600	500 (type not informed)	Bording waiting points: 400 (Hypothesis) with 31,5 taxis (average) and set of 1,25 (average) charging points in each one waiting point (with time charring strategy to use the charging posts)	25,2 (Note: this number means that it is needed a time charring strategy to use the charging posts)
Urban Bus	Shenzhen (China)	17.000	5.000 (slow charging) distributed in sets of 510 unities	Garages: 10 (Hypothesis), with average of 1700 buses and set of 510 charging points on each one	3,4 (Nota: tem que haver estratégia de compartilhamento)

Table 5. Logistic of charging points installation for taxis and urban buses - Shenzhen

Source: Authors, based on: Hypothesis taken by the Authors; ZEMOGINSKI, 2018.

4.2.3 Energy efficiency

Energy intensity or energy consumption of a system are generic terms that define the relationship between the energy consumed (system input) and a production unit (useful output). This relationship is also known as the consumption rate. The inverse relationship of energy consumption defines the Energy Efficiency rate with *cet paribus* conditions of

capacity to perform work: an increase in the consumption necessary to produce the same useful output (perform the same work) reduces the energy efficiency of the system. (DE LA RUE DU CAN, 2010; ISO 50001: 2011; PATTERSON, 1996; VUCHIC, 2007).

On urban passenger transportation field, energy consumption is usually measured by the relationship between the energy consumed and the number of passengers (p) transported between points of origin and destination. The relationship metrics can be, for example, kWh/ p -km, or joules- p -km, or liters (l) of fuel per passenger transported per km (l/ p -km). Accurate figures on energy efficiency are difficult to estimate due to the number of factors that affect the calculations. These factors are, for example: the scope of the assessment (the whole system? Only vehicles? Vehicles plus the road infrastructure? Etc.); types of energy; vehicle characteristics; rolling track characteristics (technology and layout); operational aspects (expressways, locations and operating regimes); energy consumed by vehicles outside the normal operating scenario (for example, when they are in maintenance workshops and, then, not transporting passengers); knowledge of the energy consumed per vehicle/km for the different loads and influences due to factors external to the direct operation of vehicles for the transportation of people (for example, energy consumed by maintenance teams with special vehicles) (VUCHIC, 2007).

As an example of the application of this type of metric, data of the São Paulo Metro for 2014 cited that the system: carried an average of 1,110,432,599 passengers on working days in the year; its trains covered the equivalent of 18,065,234 km; and were consumed in the year in the order of 540,000 MWh in the operation of transportation services. Based on these data, the distribution of consumption per passenger in the year was 0.486 kWh/passenger and consumption per km was 29.9 kWh/km (METRÔ, 2014).

The EV vehicle has an energy efficiency around 50% to 70% for the 100% electric configuration, in which the energy losses occur mainly during the process of recharging the batteries. The 100% electric EV has less mechanical friction among components when compared to the CV, since the electric motor is directly coupled to the wheels. Thus, the energy expenditure by distance traveled is lower in the EV compared to the CV. Losses are 30 to 50% in the electric hybrid VE and 35 to 40% in the fuel cell version (NUNES, 2008).

In the CV vehicle there are energy losses in the exhaust system (heat loss), in the engine cooling system and in all the frictions that occur between the mechanical parts in the path from the engine down to the movement of the wheels. In this whole path, the effective energy that reaches the CV wheels is about 22% of the energy that is generated in the burning of the energy source in the combustion chamber. (NUNES, 2008).

It should be noted that the technology present in EVs allows configuring options to save energy, for example, turning off the engines whenever the vehicle is stopped in traffic (technology already available in some CVs and recovering kinetic energy in the form of electrical energy during braking, process called regenerative braking. This is possible because an electric motor can be reconfigured to operate as an electricity generator and

then be able to self-recharge the onboard batteries while braking occurs. The EV, therefore, can return energy to the embedded system itself (THEOTONIO & TREDINNICK, 2018).

4.2.4 Brazilian plan for electricity generation and consumption by 2030

The offer of electricity in Brazil in the 2030 horizon is known (planned) in the documents “National Energy Balance and National Energy Plan 2030” provided by the Ministry of Mines and Energy of 2018 (MME/EPE, 2018,a,b – Balanço Energético Nacional 2018 base 2017; MME/EPE, 2007 – Plano Energético Nacional 2030).

As the 100% electric EV needs to use electric energy (EE) to recharge its batteries, this consumption will demand energy mainly from the National Interconnected System (SIN), although there are initiatives of alternative sources for distributed generation. It is therefore important that the introduction of EV fleets in cities in Brazil is analyzed together with the energy provided by the SIN.

The National Energy Plan projects in the supply pole the production plus importation of EE in the order of 1,194.9 TWh in the year 2030. In the consumption pole, the projection is for 1,030.1 TWh. This scenario shows then a strategic reserve of electrical energy in the order of 164.8 TWh for that year.

4.3 Impacts of the 100% electric EV fleet of cars on the MMP in 2019

The following items inform the vehicle fleet of EV cars on the MMP in 2019 and the corresponding electricity consumption and CO₂ emissions.

4.3.1 Licencings

Figure 3 shows the historical series of 100% electric cars licensed in Brazil between January 2012 and April 2019. This data is published by ANFAVEA - National Association of Vehicle Manufacturers, made with data from DENATRAN - National Department of Transport (ANFAVEA, 2019; DENATRAN, 2020).

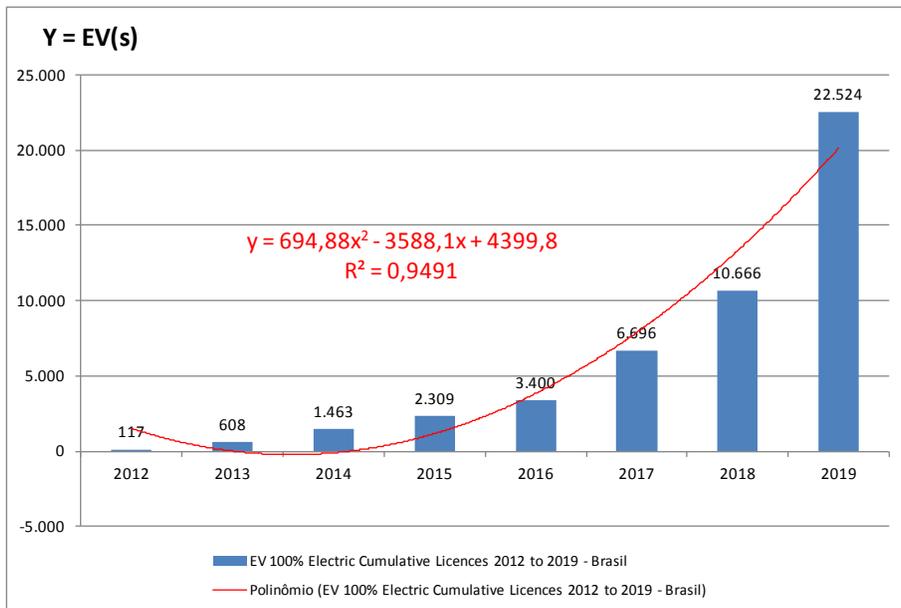


Figure 3. Car 100% Electrical Licensed in Brasil in 2019.

Source: Authors, based on ANFAVEA (2019); DENATRAN (2020).

Adopting the assumption that the MMP has a fleet of cars in the order of 25% of the cars of Brazil, then around 5,631 EVs ($22,524 \times 0.25$) were licensed in this region in 2019.

4.3.2 Electric power consumption

Through a bottom-up approach and with the assumptions that each EV runs an average of 20,000 km/year (Authors) and that EVs typically consume between 0.1 to 0.23 kWh per kilometer according to THEOTONIO & TREDINNICK (2018), the consumption of electric power by EVs running at the MMP in 2019 was in the order of:

Electrical consumption = $5,631 \text{ EVs} \times 20,000 \text{ km} \times \text{year/VE} \times 0,23 \text{ kWh/km} = 25,902,600 \text{ kWh}$

4.3.3 Emissions of CO₂

The CO₂ emission for electricity consumption from the SIN is calculated by multiplying the total energy involved by the Emission Factor (EF) by 0.0750 tCO₂/MWh, an index that is monthly published by the Ministry of Science, Technology, Innovation and Telecommunication (MCTIC, 2019).

Based on the following equation, it is possible to estimate the emissions produced by EVs that traveled through the MMP in 2019 in the order of 1,950 tCO₂.

Emissions = 5,631 (EVs) x 20,000 km ano/VE x 0,23 kWh /km/EV x 0.0750 tCO₂/MWh = 1,950 tCO₂

4.4 Impacts of the 100% electric EV fleet of buses on the MMP in 2019

As done for cars, the following items inform the fleet of EV buses at the MMP in 2019 and the corresponding electricity consumption and CO₂ emissions.

The fleet of 100% electric buses present at the MMP in 2019 is concentrated in the cities of São Paulo and Campinas.

In São Paulo there are fifteen units equipped with on-board batteries (AB, 2019) and 201 trolleybuses powered with energy captured outside the vehicle through the SIN grid with pantographs (SPTTrans, 2018). Campinas, in turn, has thirteen units equipped with on-board batteries (Diário do Transporte, 2018) and the local City Hall has plans to expand the fleet to 400 units in the near future (Diário do Transporte, 2019).

As the numbers in 2018 and 2019 of electric buses present in the MMP are modest, the studies of energy consumption and CO₂ emissions for this modality of EV will be made for the specific scenarios described in the next item.

4.5 Analysis of impacts in scenarios for the MMP in the horizon of 2030

The analysis of EV impacts in the 2030 horizon implies firstly estimating vehicle fleets in future periods. Next, electricity consumption and CO₂ emissions are calculated.

4.5.1 *Diffusion of EVs in Brazil and in the MMP*

The International Energy Agency (IEA) estimates that, in 2030, the global stock of electric cars should reach 140 million units, which represents 10% of the total light passenger vehicle fleet. The “Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change and Call to Action” sets a global goal for the deployment of 100 million electric cars and 400 million of two and three-wheel vehicles (electric bikes and tricycles) in 2030 (DELGADO et. al., 2017).

A recent study carried out in Brazil by FGV Energia shows that the world fleet of vehicles for passengers (excluding buses and motorcycles) was 2 million in 2016. The number is expected to reach 13 million in 2020 and, in 2030, the study corroborates the estimated 140 million, or 10% of the total car fleet. In Brazil, from 2011 to 2016, only 5.9 thousand electric and hybrid cars were sold (combining combustion and electric engines), only 0.3% of the world fleet. Of the total sold in the country, 2,079 were sold in 2016 and the Toyota Prius hybrid model accounted for almost 80% of sales, with 1,635 units sold. (FGV Energia, 2017; 2018).

In 2017, the licensed electric or hybrid electric vehicles in Brazil represented 0.2% of the nearly 2.2 million of the licensed cars. The Brazilian Association of Electric Vehicles

(ABVE) informs, with data from 2018, that there are about 10,000 electric or hybrid vehicles running in the country. This number is less than 0.03% of the 36 million car fleet. (TEIXEIRA, 2018).

4.5.2 *Estimated fleets of EVs in Brazil and MMP by 2030*

The methods used by the Authors to estimate EV fleets between 2020 and 2030 are those of Linear Regression and BASS.

Linear Regression is a statistical procedure that has become a widespread tool for the development of future product sales trends to allow business managers to plan actions, among others, the acquisition of raw materials, expansion of companies in hiring staff and estimating profits (McFEDRIES, 2007; MEDEIROS et. al., 2013).

In general, Linear Regression analysis is used to determine the relationship between a phenomenon that depends on another. For example: the sales volume of a product (y) can be dependent on the sales price (x); the sale price of the product can be mainly dependent on the amount of assembly hours it requires; or mainly dependent on the cost of the necessary raw material. The phenomena are studied by analyzing the interaction between the dependent (y) and independent (x) variables.

After defining the variables for a given case, the regression method allows the analyst to: (i) visualize the future general trend of the relationship between “x” and “y” from known values of the relationship between these variables in a given period of time; (ii) expand the known trend to other “y” values.

In the case of the article in this paper (y) refers to the number of vehicles that are licensed and (x) the time periods in which licensing takes place until the year 2030.

The steps for applying the Linear Regression model are: (i) collect historical (known) data for (y) over a given period of time; (ii) determine the linear equation that describes the behavior of (y) as a function of (x); (iii) apply the equation in the future periods of specific cases.

Based on the historical evolution of EVs shown in Figure 3, the Authors’ estimate for the amount of 100% electric EVs to be licensed in Brazil in 2030 is 598,262 (Figure 4).

Adopting the 25% national fleet index for MMP, the estimate of EVs to be licensed in this region in 2030 is around 150,000 units.

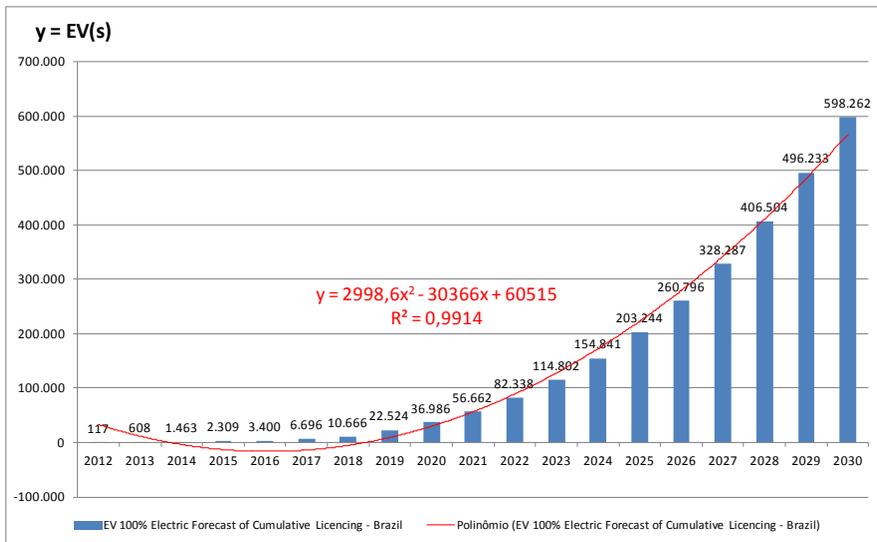


Figure 4. Forecast for 100% electrical cars to be licensed in Brazil up to 2030.

Source: Authors, with Linear Regression method considering the evolution from 2012 to 2019.

The BASS diffusion model (BASS, 1969) is used to determine the number of sales at a certain time based on the coefficients of innovation (p) and imitation (q). They focus on the growth (adoption) and spread (diffusion) of new products.

This model gives a good baseline forecast of long-term sales patterns of new products and technologies based on data for: (i) recently launched product that has few periods of historical sales data is available; (ii) product were not yet produced, but it is similar to existing ones whose sales history is well known.

In the BASS diffusion model buyers are separated into two groups: innovators and imitators. Innovators are buyers who are more receptive to new products and are the first ones to buy them, while imitators are buyers who purchase new products based on the influence and interaction with others who have already adopted such new technology.

The mathematical model, known as the BASS Model Principle, is presented in Equation (1). The behavioral rationale that supports such equation are (BASS, 1969, p. 217):

a) Initial purchases of the product are made by both “innovators” and “imitators” and the distinction between them is the buying influence. Innovators are not influenced in the timing of their initial purchase by the number of people who have already bought the product, while imitators are influenced by the number of previous buyers. Imitators “learn,” in some sense, from those who have already bought and used the new technology;

b) The importance of innovators will be greater at first but will diminish monotonically along the time;

c) “ p ” refers to the coefficient of innovation and “ q ” the coefficient of imitation.”

The model allows the forecaster to determine the probability of a purchase at time t given that the individual has not yet previously purchased the product.

$$n(t) = pm + (q - p) N(t) - q/p (N(t))^2 \quad (1)$$

Where

$n(t)$ = Sales in period (t)

$N(t)$ = Cumulative sales in period (t)

m = Total number of buyers in the market

p = Coefficient of innovation

q = Coefficient of imitation

Over the years, the BASS Model Principle has been extended in order to model different situations.

Applied to the case of this study, the BASS model projects the number of “sales” of 179,297 EVs in 2030 in the MMP, which is an amount very close to that estimated with the Linear Regression model.

Annexes V and VI show more details of these two models and the fleets of EVs on forecast in the 2030 horizon.

4.5.3 *Energy and environmental impacts*

The total energy consumption by EV cars is first estimated by the authors to later obtain CO₂ emissions. The assumptions for calculating total electricity consumption and emissions are, respectively:

(i) Electrical consumption for EVs:

$$\text{Electrical consumption} = \text{number of EVs} \times 20,000 \text{ kWh/km-EV} \quad (2)$$

(ii) EVs Emissions

$$\text{Emissões} = \text{Electrical consumption} \times \text{EF (Emission Factor of CO}_2\text{)} \quad (3)$$

Adopted EF: 0,0750 tCO₂/MWh

The power adopted for automobiles is 0.23 kWh/km (THEOTONIO & TREDINNICK, 2018). As VE buses use more powerful electric motors, it is herein considered double the consumption adopted for cars, that is 0.46 kWh/km. Applying these values in equations (2) and (3) in different possible situations for the future, six scenarios were analyzed and the results are shown in next section.

5 | RESULTS

Six scenarios are analyzed. Scenarios 1, 2 and 3 analyzed emissions in cases ordered from the smallest to the largest territory, that is, the city of São Paulo, Metropolitan Region of São Paulo and MMP. Emission balances resulted out of the replacement of vehicular fuels with electric energy.

In the other scenarios, 4, 5 and 6, the analysis focused on electricity consumption and its impacts on the SIN's strategic reserve of energy.

The results are presented in five items. The first one has the conventional car and bus fleets (CVs) licensed at the MMP in 2019 and corresponding fuel consumptions and CO₂ emissions. The second shows aspects of electric vehicles (EVs) technology and figures of the Brazilian electricity plan for generation and consumption by 2030. The third show impacts of the 100% electric EV vehicles licensed at the MMP in 2019. The fourth shows impacts of the fleet of 100% electric buses licensed at the MMP in 2019. Finally, the fifth shows the analysis of scenarios.

Just reminding, the questions that guide the present work are: (1) would the SIN system be prepared to supply battery recharges for all estimated EVs to travel on the MMP ?; (2) what is the maximum number of EV vehicles that could be fueled within the SIN strategic reserve limit ?; (3) which scenarios have the greatest reductions in CO₂ emissions due to the replacement of CVs by EVs ?; and, finally, (4) what are the strategies for installing electro-posts for recharging EV batteries?

Following are the analyzes of impacts on total electricity consumption and CO₂ emissions for EVs in the six scenarios selected for EVs to penetrate in the MMP by 2030.

Scenarios

Scenario 1: Replacement of CV taxis fueled with ethanol by EVs in the city (municipality) of São Paulo (MSP) in 2030.

This scenario was selected because there is data available in the consulted bibliography (ADETAX, 2019; SMT/DTP, 2017) on the number of taxis (34,000 in 2018), type of fuel used (ethanol) and average daily mileage that these vehicles travel in the city of São Paulo (200 km). In addition, the taxi driver class is covered by public policies to reduce the cost of its vehicles for fleet renewal. The State of São Paulo also has regulations that reduce taxes for EVs.

The São Paulo City Hall (MSP) has a database that accounts for the evolution of the taxi fleet between 2000 and 2017 (SMT/DTP, 2017). Applying the Linear Regression and BASS methods, the fleet in 2030 is estimated at 36,000 units (details in Annexes V and VI).

The electric energy consumption of EVs and the reduction of emissions by replacing VC taxis with EVs in the MSP are shown in Table 6.

Scenario Year 2018				
	Vehicles (Taxis)	Ethanol Consumption (liter)	Electrical Energy Consumption (MWh/year)	CO ₂ Emissions (t)
CV	34.000	244.500.000	NA	225.308,00
Scenario Year 2030				
EV	36.000	NA	165.600	12.420
CO ₂ balance in the year 2030				212.888,00

Table 6. CO₂ effects of replacing CV ethanol taxis with EVs in the city of São Paulo in 2030.

Source: Authors, based on: ADETAX (2019); MELO (2001); MCTIC (2019); SMT/DTP (2017).

Note that the reduction in CO₂ emissions (212,888.00 t) is significant, because the electricity consumption from the SIN has a much lower FE, compared to the ethanol consumption index.

Scenario 2: Replacement of CV buses fueled with diesel oil by EVs in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP).

This scenario, like the first one, also has known data regarding: vehicle fleet and type and consumption of vehicle fuel used; and it is likely to receive specific attention from the government to receive public policies to encourage substitution by EVs, mainly because the urban bus system is highly criticized due to the use of diesel oil in large quantities.

The National Traffic Department (DENATRAN, 2020) has the evolution of the bus fleet between 2000 and 2015. Applying the Linear Regression and BASS methods, a fleet with 185,226 units is estimated in 2030 (details in Annexes V and VI).

Electricity consumption and emission reductions by replacing CV buses with EVs are shown in Table 7.

Scenario Year 2018				
	Vehicles (Buses)	Diesel Consumption (liter)	Electrical Energy Consumption (MWh/year)	CO ₂ Emissions (t)
CV	73.400	3.140.380.199	-	8.469.599,12
Scenario Year 2030				
EV	185.226	-	127.805,94	715.513,4
CO ₂ balance in the year 2030				8.341.793,40

Table 7. Replacement of diesel buses with EVs in the RMSP.

Source: Authors, based on: DENATRAN (2020); MELO (2001); MCTIC (2019).

Comparing with Scenario 1, note the much greater reduction (8,341,793.40 t) of CO₂ emissions because it is contemplated with the low FE of electric energy replacing the high FE of the diesel oil.

Scenario 3: Replacement of all flex-fuel vehicles estimated for the MMP by electric

ones.

This is a scenario in which all flex-fuel CVs estimated for the MMP in 2030 are converted to electric along the period 2021 to 2030.

The estimate of the Brazilian fleet of this type of CV in 2030 is made by the Authors with the application of the Linear Regression method to the total vehicle licenses in the national territory (details in Annex IV, Figure AIV-6). Licenses are estimated for 86,880,351 units. Applying the consideration that 25% of them will be in the MMP, this fleet is 21,720,088 units.

Gasoline and ethanol consumption is estimated by keeping the relationship between vehicles and consumption in 2019 (Tables 1 and 2). Maintaining that ratio, 21,720,088 CVs will be consuming 9,941,482,039 liters of gasoline and 9,907,066,903 liters of ethanol. The FEs for gasoline and ethanol are the ones in Table 3. The reduction of emissions by conversions to VEs is shown in Table 8. In summary, the case compares two situations in 2030: that of flex-fuel vehicles fueled with gasoline and ethanol and that of all of them converted into electric vehicles.

Scenario Year 2018					
	Vehicles	Gasoline Consumption (liters/year)	Ethanol Consumption (liters/year)	Electric Consumption (MWh/year)	CO ₂ Emissions (t)
VC	21.720.088	9.941.482.039	-	-	26.812.157
		-	9.907.066.903	-	26.719.339
Total 1					53.531.496
Scenario Year 2030					
VE	21.720.088	-	-	99.912.405	7.493.430
Total 2					7.493.430
Balance in Year 2030 (Total 1 - Total 2)					46.038.066

Table 8. Replacement of the VC flex-fuel car fleet with VEs on MMP in 2030.

Source: Authors, based on: DETRAN SP (2018); GESP/SEM (2017).

This scenario also shows a significant reduction in CO₂ emissions (46,038,066 t) if the entire car fleet at the MMP would to be electric ones in 2030.

Scenario 4: Energy consumption of the estimated EVs to travel on the MMP.

The number of private EV vehicles that will be licensed in Brazil by 2030 is estimated by the authors at 598,262 units, applying to the historical series of 100% electric vehicles licensed in Brazil between January 2012 and April 2019 the Linear Regression and BASS methods (details in Annexes IV and V). With the assumptions that 25% of these EVs will be circulating in the MMP (150,000 units), traveling 20,000 km per year and consuming 0.23 kWh per kilometer, the energy consumption will be 690 MWh or 0.69 TWh per year. This consumption does not affect the energy reserve of the SIN, which is in the order of 164.8

TWh in the year 2030 (MME/EPE, 2007).

Scenario 5: Energy consumption of all estimated EVs for Brazil.

Like in Scenario 4, the SIN's strategic reserve is easily preserved. The 598,262 units that, traveling an average of 20,000 km per year and consuming 0.23 kWh per kilometer, the energy consumption will be about 2.7 TWh a year, far below 164.8 TWh.

Scenario 6: Energy consumption if all flex-fuel CVs estimated for MMP in 2030 is converted to EVs.

This case is like Scenario 3 in terms of quantity of vehicles (21,720,088), but here with attention to electricity consumption.

$$\begin{aligned}\text{Electrical consumption} &= 21,720,088 \text{ (EVs)} * 20,000 \text{ (km year/VE)} * 0.23 \text{ kWh /km-VE} \\ &= 99,91 \text{ TWh} \qquad \qquad \qquad (4)\end{aligned}$$

Here, again, the amount of electricity that would to be consumed does not affect the SIN reserve.

After all, the question that still remains open is about the maximum number of EVs in Brazil that could compromise the SIN's energy reserve. Within the assumptions established for the calculation of the number of EVs, the limit would be a fleet of approximately 35.6 million units (equation (5)).

$$\begin{aligned}\text{Electrical consumption} &= 36,000,000 \text{ (EVs)} * 20,000 \text{ (km year/VE)} * 0.23 \text{ kWh /km/VE} \\ &= 165,60 \text{ TWh} \qquad \qquad \qquad (5)\end{aligned}$$

Electric Recharging equipment

Scenarios 1 and 2

Electro recharging units are estimated for scenarios 1 and 2, the conversion of 36,000 taxis in the Municipality of São Paulo (MSP) and 185,226 buses in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP), always in the 2030 horizon.

For taxis there are about 2,000 passenger pick-up points in the City of São Paulo (ADETAX, 2019) which gives an average of 18 vehicles parked in each point. Considering the hypothesis that nine of them are parked and the others in service and also that there is a sharing of a charger for every two cars, then each point would have three recharging posts (Authors' Hypothesis). In total there would be 6,000 recharging posts distributed among the 2,000 points. The recharging equipment can be, for example, of the semi-fast type. Table 9 summarizes these figures.

The fleets of buses in the RMSP are headquartered in garages in the 39 municipalities. Establishing the hypothesis that up to 300 vehicles are accommodated in each garage, the city of São Paulo will need 159 garages (to accommodate the biggest fleet) and the other cities from one to 14, totaling 620 garages (Authors). If all buses would to be recharging at

the same time, 186,000 recharging points would be necessarily. However, considering that the fleets would have 100% of units circulating during peak transport periods and 50% in valley periods and that there are also units under maintenance, the number of recharging points may be lower. It is estimated that half of the points, 93,000, can be installed in banks of 150 units in each of the 620 garages (Authors). The recharging equipment can be, for example, of the slow type, fueling the buses parked at night or when parked in the garages along the day outside the transport peak intervals (Table 9).

EV (Type)	City/ Region	Vehicles	Recharging units	Installation logistics	Recharging units per vehicle
	Source: ADETAX 2019; DETRAN SP 2019; Authors estimation			Authors' estimation	
Taxi	São Paulo City (MSP)	36.000	6.000 (slow to medium time charging)	Passenger waiting point: 2.000 (with an average of 18 taxis each and a bank of 3 recharging unit in each one – semi-fast charging time)	6 (Note: there must be a time sharing strategy)
Urban Bus	São Paulo Metropolitan Area (RMSP)	185.226	93.000 (slow time charging)	Garages: 620 (estimated), with an average of 300 buses and a bank of 150 recharging unit in each one- slow charging time)	2 (Note: there must be a time sharing strategy)

Table 9. Logistics for recharging facilities for taxis and city buses - MSP and RMSP.

Source: Authors, based on: ADETAX (2019); DETRAN SP (2019).

Scenarios 3 and 6

In Scenarios 3 and 6 there are large quantities of 100% electric EV vehicles: 21,720,088 and 36,000,000 of units. In the view of the Authors, the recharging equipment for these high quantities of EVs will have to be installed in different locations, for example, in homes, shopping centers, condominium garages, existing filling stations for CVs and in parking lots, among others.

Scenarios 4 and 5

Scenarios 4 and 5 will deal with small quantities of 100% electric EV vehicles, respectively 150,000 and 598,262. These quantities of EVs could have their batteries easily recharged with recharging points installed in different locations of the MMP (Authors).

Energy efficiency

According to THEOTONIO & TREDINNICK (2018) electric vehicles typically consume between 0.1 to 0.23 kWh per kilometer. The same authors report that the average consumption for a vehicle equivalent consuming gasoline is 0.98 kWh per kilometer. According to these figures, when comparing two equivalent CV and EV vehicles developing the same transport service, the EV “stops losing” 0.75 kWh per kilometer traveled.

5.1 Comments

CO₂ emissions – Reductions due to the substitution of CV by EV

Figure 5 shows the emission reductions (millions of tons) in ascending order provided by the conversions of CV vehicles by EVs described in Scenarios 1, 2 and 3.

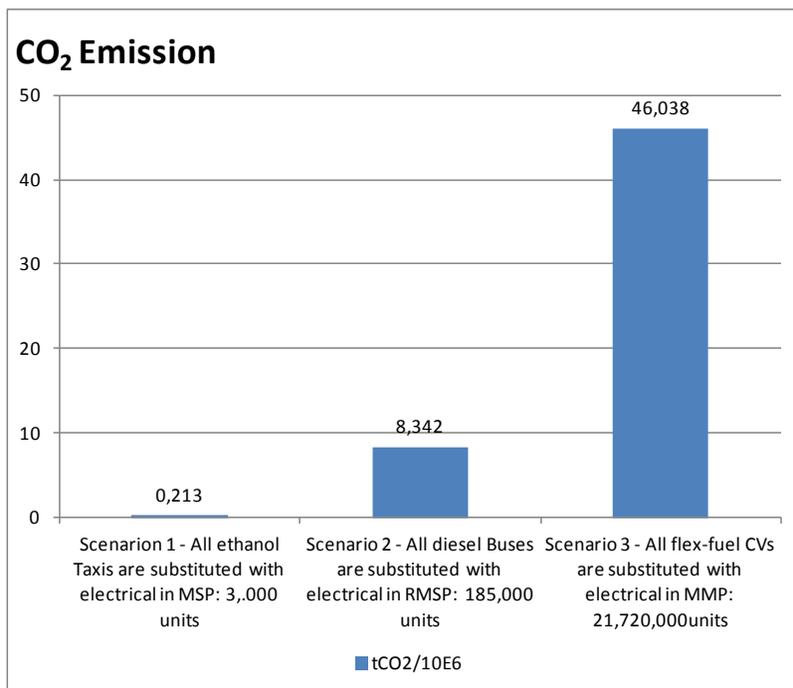


Figure 5. Reductions on CO₂ Emissions per Scenarios.

Source: Authors.

Electricity consumption from SIN

In the scenarios 4, 5 and 6 analyzed, the electricity consumption does not exceed the strategic reserve of the SIN planned for 2030. As discussed above, to exceed this reserve, figures of the order of 36.0 million EV vehicles would be necessary (Figure 6)

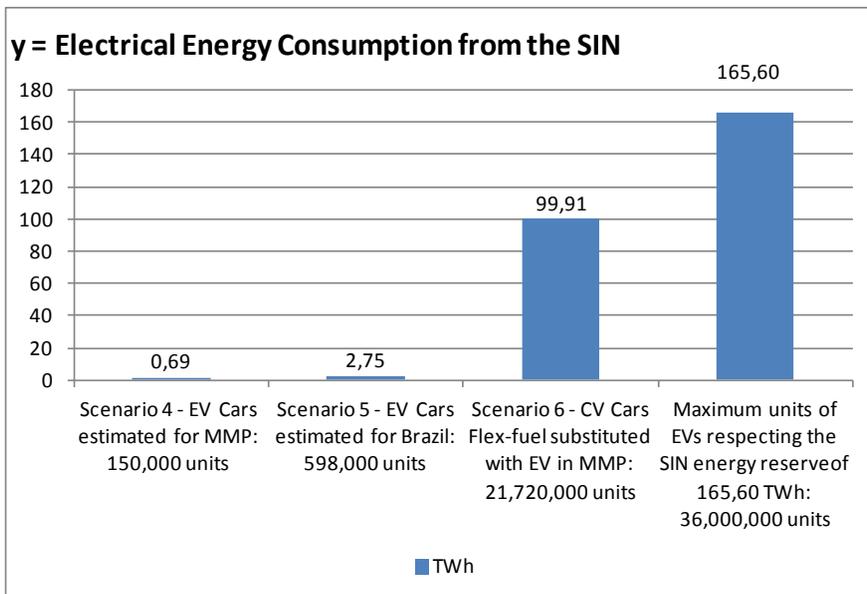


Figure 6. Electrical Energy Consumption per Scenario and Limit for SIN.

Source: Authors.

6 | CONCLUSIONS AND COMMENTS

6.1 Answers to questions

Regarding the impacts on the offer of electrical energy supplied by the SIN, in all the scenarios surveyed the limits of electricity consumption are below the strategic reserve of the 2030 energy planning. Within the assumptions and limits of this study the offer available by the SIN would be compromised only in the case of a national fleet of EVs above 36 million vehicles.

EVs have lower CO₂ emissions than CVs, as shown in Scenarios 1 to 3. Scenarios 1 and 2 show significant emission reductions, especially scenario 2. Scenarios 1 and 2 can be promoted by Public Authorities, which have the power to implement policies for the conversions of conventional taxis and buses to EV types. Scenario 3 is a bold hypothesis, which in addition to demanding public incentive policies to engage the owners of private VC cars to opt for the electric models also faces the need of a large infrastructure of battery recharging equipment.

In relation to the best types and locations of equipment for recharging batteries, these equipment can be of the types of slow recharging (8.0 h), medium or semi-fast recharging (2.0 to 4.0 h) and fast recharging (in the order of 20.0 to 40.0 minutes) and can be installed in different locations, according to specific cases.

In terms of energy consumption and CO₂ emissions, the EV: first, it is more efficient

than CV due to its specific characteristics, mainly due to the high efficiency of electric motors; and it takes the benefit that the Brazilian electric supply is generated substantially (in the order of 70%) by “clean” hydroelectric and wind power plants. Efficiency is related to the entire motor and traction set, which, due to its fewer mechanical components, provides a system with low thermal loss due to mechanical frictions. As the electric motor can be mounted directly on the wheels and has instant torque, the system does not require a gearbox. There is also the ability to convert and store kinetic energy into electrical, since the electric motor can act as a generator, which allows it to participate with electric braking when necessary and also recharge the onboard batteries. With proper electronics on board, battery consumption can be even optimized, for example, with automatic power off when the vehicle is stopped in traffic.

6.2 Final comments and next steps

Reminding, the purpose of this article was to analyze energy and environmental impacts related to the introduction of electric vehicles in MMP in the horizon of 2030.

Relevant observations:

(i) in Scenario 1, the reduction in CO₂ emissions in the year 2030 would be of the order of 213,000 t, in Scenario 2 of 8,342,000 t and, in Scenario 3, of 46,038,000 t. Scenario 2, in particular, shows that the conversion of diesel CV buses to 100% electric EVs is a very interesting case. In it, all CV buses powered by diesel oil are replaced by electric vehicles in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP), comprising 39 municipalities.

(ii) in all scenarios, there is no electricity consumption that compromises the national strategic reserve planned in the SIN for the year 2030. The 164.8 TWh reserve projected for the year 2030 in the National Energy Plan 2030 would be compromised in the hypothesis (theoretical) of an amount of EVs in the order of 36.0 million units. This hypothesis, however, is seen by the Authors as far from the diffusion trend identified for EVs in the 2030 horizon. It is not the case of the electrical intensity (consumption) observed in the analyzed cases, but, for future cases that exceed the 36,0 million EVs, in order not to overload the SIN system during vehicle recharging periods, regulatory policies could be put in place, such as: applying differentiated taxes on kWh to direct recharges outside peak consumption hours for various other social services; there is also the possibility of recharging equipment to be powered outside the SIN system, such as, for example, the use of alternative energies generated by photovoltaic cells or wind powered generators.

Next steps:

Improve EV related estimates

(i) Improve the calculations of CO₂ consumption and emissions, seeking to make a more elaborated time synchronization between the data related to estimating the vehicle fleets, electricity consumption and CO₂ emissions;

(ii) Follow up on the strategic reserve of the SIN that is currently under review within

the ongoing national energy plan forecasting 2050 (MME/EPE);

(iii) Follow up on vehicle fleet data made available by DENATRAN; the improvement of the historical series of cars and buses fleets will make future estimates more robust, improving the estimates herein done with Linear Regression and BASS methods;

Keep improving the estimating fleet model

(i) The EV dissemination models (Annexes V and VI) must be updated periodically according to the evolution of the historical series and any EV parameters that modify the innovation and imitation coefficients of the BASS model (e.g. any public incentive policy can change the trend of EV adoption); it is also recommended that a market research be carried out to investigate the real intentions for people to purchasing and or using electric vehicles for the next coming decades and to consider investigating any changes in consumer behavior in the automotive market; these are perceptions that can reduce or increase consumption, therefore the coefficient of imitation of the BASS model.

Keep following the EF figures

(i) The EF provided by the national Electric System Operator is variable and published monthly. This electric energy grid (SIN) system considers a mix of renewable and fossil energy generation sources to calculate the electrical EF. As most of the electricity generated in Brazil comes from hydroelectric plants, good periods of rain are essential. In periods of drought, the thermoelectric plants are activated, which impacts (increases) the EF.

THANKS

This work was supported by the São Paulo State Research Support Foundation (FAPESP) within the research of Global Climate Change, as part of the activities of the Project “Environmental governance in the Macrometrópole Paulista, in face of climate variability”, Process No. 15 / 03804-9.

SUPPLEMENTARY INFORMATION

Supplementary information associated with this article can be found in Annexes available online at: <https://drive.google.com/drive/folders/1DFMrITLdW0Eu1ve4Gp3zS3Z2eejuAVvz>

Annex I - Topics on Governance and Public Policies for Electric Vehicles (EV).

Annex II - Evolution of the CV fleet, vehicle fuel consumption and CO₂ emissions between 2018 and 2019 at MMP.

Annex III - Consumption of gasoline, diesel oil and ethanol in each of MMP's 174 municipalities.

Annex IV - CO₂ emission factor (EF) for gasoline, ethanol, diesel oil and electricity.

Annex V - Diffusion of 100% Electric and Hybrid EVs with Linear Regression Model.

Annex VI - Diffusion of 100% Electric and flex-fuel EVs with BASS Model.

REFERENCES

- AB (2019). **BYD entrega 15 ônibus elétricos em São Paulo: Lote torna a capital paulista a cidade com a maior frota do tipo no Brasil.** Automotive Business - AB, Novembro, 2019. <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/30242/byd-entrega-15-onibus-eletricos-em-sao-paulo> (Accessed 03 April 2020).
- Acordo de Paris (2015). **Texto.** https://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/Acordo_Paris.pdf (Accessed 10 July 2019).
- Acordo de Paris (2016). **Contribuição Nacionalmente Determinada (intended Nationally Determined Contribution – iNDC).** https://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/convencao/indc/BRASIL_iNDC_portugues.pdf (Accessed 10 July 2019).
- ADETAX (2019) - Associação das Empresas de Taxi do Município de São Paulo. **Taxi em São Paulo.** www.adetax.com.br/index.php/informacoes-e-servicos/taxi-em-sao-paulo/ (Accessed 5 February 2019).
- ANFAVEA (2019). Associação dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Estatísticas.** <http://www.anfafea.com.br/estatisticas.html> (Accessed 15 August 2019).
- AUDENHOVE, F. et al. (2014). **The future of urban mobility 2.0: imperatives to shape extended mobility ecosystems of tomorrow.** UITP - Arthur De Little, 2014. <http://www.uitp.org>. (Accessed 03 February 2019).
- BAEDEKER, S.B.; HÜGING, H. **Urban transport and energy efficiency (2012).** In: Sustainable transport: a sourcebook for policy-makers in developing cities. Berlin: DGf, 2012. <http://www.giz.de> (Accessed 12 December 2014).
- BASS F. M. (1969) **A New Product Growth for Model Consumer Durables.** Management Science, Vol. 15, No. 5, Theory Series (Jan., 1969), pp. 215-227.
- Brasil (2018). **Governo sanciona a lei 13. 755/2018 que institui o Programa Rota 2030.** Ministério da Economia, Indústria, Comércio e Serviços - MEICS. Brasília, 11/12/2018. <http://www.mdic.gov.br/> (Accessed 10 January 2020).
- BT (2017) - BOMBARDIER TRANSPORTATION. **Innovia Monorail 300 technology.** <http://http://www.bombardier.com> (Accessed 10 February 2017).
- CONSONI, F. L. et al. (2018). **Estudo de Governança e Políticas Públicas para Veículos Elétricos.** Projeto Sistemas de Propulsão Eficiente – PROMOB-e (Projeto de Cooperação Técnica bilateral entre a Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial - SDCI/MDIC e a Agência de Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ). Brasília, Fevereiro, 2018.
- DE LA RUE DU CAN, S. et al. **Energy Efficiency indicators methodology booklet.** Berkley, Berkeley National Laboratory 2010. Environmental Energy Technologies Division May 2010, LBNL 3702E.

DELGADO, F. et al., 2017. **Cadernos - Carros Elétricos**. FGV Energia e Accenture Strategy, Rio de Janeiro 2017. <http://www.fgv.br/energia> (Accessed 10 March 2019).

DENATRAN (2020). Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), Ministério da Infraestrutura (MIC). **Serviços DENATRAN**. <https://portalservicos.denatran.serpro.gov.br/> (Accessed 15 February 2020).

DETRAN SP (2018). **Estatística de trânsito, frota de veículos licenciados, 2018**. Departamento Estadual de Transportes de São Paulo. <https://www.detran.sp.gov.br/wps/wcm/connect/portaldetran/detran/detran/EstatisticasTransito/sa-frotaVeiculos/d28760f7-8f21-429f-b039-0547c8c46ed1?presentati&ontemplate=portaldetran%2FAT-etranPaginaODetranImpressao>. (Accessed 10 December 2018).

Diário do Transporte (2018). **BYD e CPFL firmam acordo com prefeitura de Campinas: Parceria vai definir área livre de poluição para o transporte coletivo**. Diário do Transporte, Campinas, 14 de março de 2018. <https://diariodotransporte.com.br/2018/03/14/byd-e-cpfl-firmam-acordo-com-prefeitura-de-campinas-parceria-vai-definir-area-livre-de-poluicao-para-o-transporte-coletivo/>. (Accessed 03 April 2020).

Diário do Transporte (2019). **Campinas terá a maior frota de ônibus elétricos do mundo, perdendo apenas para a China**. Diário do Comércio, Campinas, 30 agosto, 2019. <https://diariodotransporte.com.br/2019/08/30/campinas-tera-a-maior-frota-de-onibus-eletricos-do-mundo-perdendo-apenas-para-a-china/> (Accessed 03 April 2020).

EMPLASA (2012). **Macrometrópole Paulista**. <https://www.emplasa.sp.gov.br/MMP> (Accessed September 2018).

FGV Energia (2017). **Brasil tem apenas 5,9 mil carros elétricos e híbridos**. <https://fgvenergia.fgv.br/noticias/brasil-tem-apenas-59-mil-carros-eletricos-e-hibridos> (Accessed 10 February 2019).

FGV Energia (2018). **Brasil tem potencial para vender 150 mil carros elétricos ao ano**. <https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2018/02/brasil-tem-potencial-para-vender-150-mil-carros-eletricos-ao-ano.html> (Accessed 10 February 2019).

FONTANA, G. **Toyota lança novo Corolla, primeiro carro híbrido flex**. Auto Esporte, Guarujá, SP, Setembro, 2019. <https://g1.globo.com/carros/carros-eletricos-e-hibridos/noticia/2019/09/03/toyota-lanca-novo-corolla-primeiro-carro-hibrido-flex.ghtml> (Accessed 20 September 2019).

FORTUNATTI, L. **Sistema e-Power será o foco da marca (Nissan), mesmo com a experiência do elétrico Leaf: Nissan diz que carros híbridos são o futuro pela dificuldade de recarga**. <https://insidevvs.uol.com.br/news/391290/nissan-hibridos-futuro-eletricos/> (Accessed 10 February 2020).

GESP/SEM (2017). **Anuário Estatístico de Energéticos por municípios no Estado de São Paulo 2017, ano base 2016**. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO - Secretaria de Energia e Mineração. São Paulo, 2017. <https://mobilidadesampa.com.br/mobilidade-urbana/> (Accessed 8 April 2019).

GESP/SEM (2019). **Anuário Estatístico de Energéticos por municípios no Estado de São Paulo 2019, ano base 2018**. GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO - Secretaria de Energia e Mineração. São Paulo, 2019. http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf (Accessed 18 March 2020).

IBGE (2018). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Cidades**. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/alambari/panorama> (Accessed 10 January 2019).

iNDC (2015) - intended Nationally Determined Contribution (Contribuição Nacionalmente Determinada). **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima**. República Federativa do Brasil, 24 set 2015. http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf (Accessed 15 January 2019).

IPCC, (1996). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) – Revised 1996. The Reference Manual, Volume 3, Energy. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref10.pdf> (Accessed 10 March 2019).

IPCC (1996). Intergovernmental Panel on Climate Change – Revised 1996 IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – The Reference Manual. Volume 3, Energy**. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ref10.pdf> (Accessed 10 March 2019).

ISO (2011) – Organization for International Standardization. **ISO 50001:2011 - Energy management systems** - Requirements with guidance for use, 2011.

LEITE, Danilo (2017). **O futuro no caminho certo. Emotive Mobilidade Elétrica**. Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL Energia, 2017. <http://www.abve.org.br/wp-content/uploads/2018/03/4.1-Emotive-Mobilab.pdf> (Accessed 11 November 2018).

LIU, J (2012). **Electric vehicle charging infrastructure assignment and power grid impacts assessment in Beijing**. Energy Policy 51 (2012) 544–557

LOISEL, R.; PASAOGLU, G.; THIEL, C (2014). **Large-scale deployment of electric vehicles in Germany by 2030: An analysis of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid concepts**. Energy Policy 65 (2014) 432–443.

LOPES, M. M.; FILIPE, M.; MARTINEZ, L. M. **A rule-based approach for determining the plausible universe of electric vehicle buyers in the Lisbon Metropolitan Area**. Transportation Research Part A 59 (2014) 22–36.

LUCENA, G. (2018). **Os prós e contras dos carros elétricos: a eletrificação vai salvar todos ou é tudo exagero? Entre mitos e fatos, a verdade está no meio do caminho**. <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/os-pros-e-contras-do-carro-eletrico/> (Access 10 February 2020).

MAGALHÃES, M. T. Q (2014). **Definição de transporte: uma reflexão sobre a natureza do fenômeno e objeto da pesquisa e ensino em transportes**. Transportes, v. 22, n.3, p. 1-11, 2014.

MCTIC (2019). Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovações e Comunicações. **Fator Médio Mensal de Emissões de CO₂ (tCO₂/MWh)**. https://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html (Accessed 12 February 2020).

MCT (1999). Ministério da Ciência e Tecnologia - **Fator de emissão de carbono para combustíveis - Femiss**. <http://www.met.gov.br> (Accessed 10 December 2018).

METRO-SP (2014) METRÔ de São Paulo. **Relatório da Administração, 2014**. <http://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/pdf/rel-administracao.pdf> (Accessed 20 July 2015).

McFEDRIES (2007). **Fórmulas e Funções com MS Office Excel 2007**. Pearson, SP, 2007.

MEDEIROS, V. Z. et. al., (2013). **Métodos Quantitativos com Excel**. CENAGE Learning, SP, 2013.

MELO, Álvares Jr. Olimpio (2001); LINKE, Renato (2001). Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. CETESB, 2001. https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/gases_efeito_estufa.pdf (Accessed 15 January 2019).

MME (1999). Ministério das Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. BEN(1999). www.mme.gov.br (Accessed December 2018).

MME/EPE (2018a). Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2018 base 2017, Síntese**. Ministério de Minas e Energia. Colaboração com Empresa de Pesquisa Energética. Brasília – MME - EPE, 2017. <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> (Accessed 10 January 2019).

MME/EPE (2018b). Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2018 base 2017, Relatório Final**. Ministério de Minas e Energia. Colaboração com Empresa de Pesquisa Energética. Brasília – MME - EPE, 2017. <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018/Int.pdf> (Accessed 10 January 2019).

MME/EPE (2007). Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Ministério de Minas e Energia. Colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília - MME - EPE, 2007. http://www.cck.com.br/artigos/gerenciamento_energia/Plano-Nacional-Energia-2030.pdf (Accessed 10 January 2019).

MORRISSEY, P.; WELDON, P.; O'MAHONY, M. **Future standard and fast charging infrastructure planning: An analysis of electric vehicle charging behaviour**. Energy Policy 89 (2016) 257–270.

NUNES, Antonio Jr (2008). **Evolução e perspectivas dos veículos elétricos híbridos**. In 1° Workshop nos materiais magnéticos para a indústria automobilística atual e as perspectivas dos carros híbridos. ABVE- Associação Brasileira do Veículo Elétrico, 2 de Julho de 2008, São Paulo, SP.

ONU (2013). **Organização das Nações Unidas - ONU inaugura escritório no centro de São Paulo**. <https://nacoesunidas.org/onu-inaugura-escritorio-no-centro-de-sao-paulo/> (Access 20 February 2019).

PASAOGLU, G.; HONSELAAR, M.; THIEL, C. **Potential vehicle fleet CO₂ reductions and cost implications for various vehicle technology deployment scenarios in Europe**. Energy Policy 40 (2012) 404–421.

PATTERSON, M. G. (1996) **What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues**. Energy Policy. V. 24, n. 5, p. 377-390, 1996

PlugShare (2019). **PlugShare: o app que encontra eletropostos no Brasil**. <https://carroeletrico.com.br/blog/plugshare/> (Accessed 12 February 2020).

SCHILLER, Preston L.; BRUUN Eric; KENWORTHY Jeff (2010). **An Introduction to sustainable Transportation: Policy, Planning and Implementation**. London, 2010. ISBN-13:978-1844076659.

SCHULZE, M.; ZAPATA J. R. **Impact of Electrical Vehicles on Strategic Planning of Energy Infrastructure**. 2010 International Conference on Power System Technology. 978-1-4244-5940-711, 2010 IEEE.

SMT/DTP (2017) - SMT/Secretaria Municipal de Transportes/Departamento de Transportes Públicos - DTP3 (2003 a 2014). Frota de **Taxis no Município de São Paulo 2000 a 2017**. https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/dados_estatisticos/info_cidade/transportes/index.php?p=260371 (Accessed 21 March 2020).

SILVA, J. P. N. (2014). **Avaliação de impactos da inserção de veículos elétricos no sistema de distribuição das concessionárias EDP Bandeirante e EDP ESCELSA**. Master Dissertation, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, 2014.

SIN (2003) - SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL. **OPERADOR NACIONAL DOS SISTEMAS ELÉTRICOS – ONS, 2003**. <http://www.ons.br/ons/sin/index.htm> (Accessed 01 February 2019).

SPTTrans (2018). **Relatório de Administração 2018**. http://www.sptrans.com.br/media/1537/relatorio_de_administracao_2018.pdf (Accessed 04 April 2020).

SOUZA, D. (2018). **Associação Brasileira do Veículo Elétrico Prevê Aumento Anual de 200% da Frota Caso Impostos Sejam Reduzidos**. Associação Brasileira de Veículo Elétrico - ABVE, 21 Junho 2018. <https://petronoticias.com.br/archives/113618> (Accessed 22 November 2018).

SOUZA, G. (2019). **Carro elétrico Brasil 2018! - Guia definitivo e modelos disponíveis por aqui!**. <https://carroeletrico.com.br/blog/carro-eletrico/> (Accessed 15 May 2019).

TEIXEIRA, L. B. (2018). **O que falta para os carros elétricos invadirem o Brasil**. <https://forbes.uol.com.br/negocios/2018/10/o-que-falta-para-os-carros-eletricos-invadirem-o-brasil/> (Accessed 10 August 2018).

THEOTONIO, S. B.; TREDINNICK, M. R. A. C. **Veículos Elétricos e Híbridos – Panorama Patentário no Brasil**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI. Rio de Janeiro, 2018, CDU: 347.771:629.113(81).

VUCHIC, V. R., (2007). **Urban transit: systems and technology**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2007.

ZHANG, L.; BROWN, T; Samuelsen, S. **Evaluation of charging infrastructure requirements and operating costs for plug-in electric vehicles**. Journal of Power Sources 240 (2013) 515-524.

ZEMOGINSKI, F. (2018). **Shenzhen, na China, é 1ª cidade a ter 100% dos ônibus e táxis elétricos**. Copy from ChinaUOL. <https://copyfromchina.blogosfera.uol.com.br/2018/12/11/shenzhen-realiza-a-utopia-damegalopole-sem-carros-poluentes/> (Accessed 16 January 2019).

UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GEOMECÂNICA PARA A ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Data de aceite: 02/01/2023

Elias Enes de Oliveira

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/9745481052880427>

Melissa Alves Fernandes

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/0293721585092539>

Geraldo de Souza Ferreira

Universidade Federal Fluminense
Niterói - Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/7737006660315245>

RESUMO: A Geomecânica é o estudo do comportamento mecânico dos meios contínuos. Na indústria de petróleo, a Geomecânica se faz necessária desde a prospecção até a produção de hidrocarbonetos. O presente trabalho visa delinear a importância da Geomecânica na formação do profissional de engenharia de petróleo, destacando as principais áreas envolvidas pela mecânica das rochas e realizando um mapeamento das universidades brasileiras que disponibilizam o curso de Geomecânica ou mecânica das rochas para os alunos de engenharia de petróleo, seja como matéria obrigatória

ou optativa em sua matriz curricular. Além disso, destaca-se a utilização dessa área no ambiente profissional, com uma amostra de engenheiros de petróleo formados e inseridos no mercado de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Geomecânica, mecânica das rochas, engenharia de petróleo, matriz curricular.

A REFLECTION ON THE IMPORTANCE OF GEOMECHANICS FOR PETROLEUM ENGINEERING

ABSTRACT: Geomechanics is the study of the mechanical behavior of continuous media. In the oil industry, geomechanics is necessary from prospecting to the production of hydrocarbons. The present work aims to outline the importance of geomechanics in the training of petroleum engineering professionals, highlighting the main areas involved in rock mechanics and mapping the Brazilian universities that offer the geomechanics or rock mechanics course for engineering students. petroleum, either as a mandatory or optional subject in its curriculum. In addition, the use of this area in the professional environment is highlighted, with a sample of petroleum engineers trained and inserted in the job

market.

KEYWORDS: Geomechanics, rock mechanics, Petroleum Engineering, curriculum.

1 | INTRODUÇÃO

Na indústria de petróleo, o estudo integrado da geologia, geofísica, petrofísica e mecânica das rochas é denominado Geomecânica (SOROUSH, 2013). Essa disciplina surge com objetivo de quantificar as respostas da formação rochosa a quaisquer alterações em componentes como estado de tensão, pressão de poros e resistência das rochas correspondentes. Por sua vez, a definição de tensões e deformações em três dimensões para aplicação em um dado campo ou ambiente geológico constitui o que usualmente denomina-se modelo geomecânico. Uma vez elaborados, modelos geomecânicos são usados em diversas etapas na indústria mineral (BRITO et al, 2011) e na indústria petrolífera desde a prospecção até a produção de hidrocarbonetos.

Em atividades do cotidiano, o engenheiro irá lidar com situações que exigem um conhecimento, pelo menos, básico acerca do que o geólogo ou geofísico fazem. No entanto, muitos não estão preparados para se comunicar com tais profissionais pela limitação de conhecimento em determinado assunto.

No Brasil, a demanda por profissionais que trabalham na exploração e produção de petróleo tem sido crescente. Desde 2006, quando os reservatórios do Pré-Sal foram descobertos, a oferta do curso de Engenharia de Petróleo no país por instituições públicas e privadas aumentou consideravelmente, como constatado por Cabral et al (2012).

As propriedades reológicas do sal e das rochas-reservatório carbonáticas presentes no Pré-Sal trazem desafios diferenciados para os engenheiros de petróleo, com destaque para as atividades que envolvam conhecimento do comportamento dos maciços rochosos às diversas solicitações, em especial durante as fases de perfuração e produção de petróleo. Neste contexto, as empresas buscam cada vez mais profissionais capazes de entender e de aplicar em seu cotidiano os saberes e práticas do campo de conhecimento da Geomecânica. No entanto, esse estudo da integração da geofísica, geologia estrutural, mecânica das rochas e modelagem e simulação matemática, podem não estar consolidado em sua área de formação profissional.

O presente trabalho busca enfatizar a pertinência e a relevância dos estudos sobre a Geomecânica, destacando a vasta gama de aplicações deste campo do saber na indústria do petróleo; também tem como objetivo efetuar o levantamento quantitativo dos cursos de graduação em Engenharia de Petróleo que fornecem cursos relacionados à Geomecânica e, por fim, realizar uma investigação exploratória sobre a compreensão que profissionais da indústria possuem sobre a importância dos conhecimentos relacionados à Geomecânica.

2 | METODOLOGIA

Para se atingirem os objetivos deste trabalho, com um melhor entendimento da importância da Geomecânica para a Engenharia de Petróleo, são devidamente apresentadas as aplicações desta disciplina para esta área de estudo.

Adicionalmente, foram realizadas duas pesquisas: a primeira com o objetivo de se verificar o ensino de Geomecânica nas unidades acadêmicas nacionais em que se oferece a formação em Engenharia de Petróleo e; a segunda para se compreender como os profissionais da indústria já formados pensam em relação à Geomecânica.

2.1 Aplicações da Geomecânica na Indústria de Petróleo

A utilização de modelos baseados em conhecimentos da Geomecânica ocorre em todas as etapas de um processo de exploração e produção de hidrocarbonetos. Neste tópico são apresentadas as aplicações da Geomecânica na Engenharia de Petróleo.

2.1.1 *Análise de Bacias*

A análise de bacias compreende o estudo da origem, evolução e inversão de bacias (ALLEN & ALLEN, 2013). Entender a história geológica da deposição de uma bacia é ferramenta fundamental para o desenvolvimento da exploração de óleo e/ou gás de uma determinada região. O desenvolvimento e evolução de bacias têm sido modelados numericamente baseados em dados geológicos e estruturais.

Entretanto, existem poucos modelos de análise de bacias que levam em consideração as alterações no regime de tensões. Essas alterações, tanto durante a formação das bacias, como no período de exploração, influenciam a geração, migração, e acumulação de hidrocarbonetos, por alterarem a permeabilidade e, conseqüentemente, a transmissividade hidráulica do reservatório. A modificação do regime de tensões pode, por exemplo, ocasionar a perda de capacidade selante de falhas e fraturas, o que compromete a integridade do sistema rocha-reservatório.

A geração de falhas e sua influência na migração e acumulação de fluidos em uma bacia são condicionadas pela distribuição e magnitude de tensões “in situ”. Por isso, a estimativa de geopressões é fundamental na etapa exploratória.

2.1.2 *Reativação de falhas em reservatórios*

As falhas em um reservatório de petróleo podem representar uma ambigüidade. Se, por um lado, tais falhas atuam como selantes que impedem o escape indesejável de fluidos dos reservatórios para outras locações, por outro, elas podem atuar como o caminho de migração desses fluidos, se reativadas.

Um dos grandes desafios na exploração de um reservatório de petróleo é a identificação e a caracterização das falhas naturais presentes no mesmo. A geologia

estrutural tem sido uma ferramenta imprescindível aos profissionais da área que atuam na caracterização mecânica desses reservatórios.

O estudo das falhas permite identificá-las como permeáveis ou não-permeáveis e com isso verificar a capacidade de acumulação de fluidos de petróleo na rocha reservatório. Para tais tipos de reservatórios, uma grande preocupação é a possibilidade de reativação de falhas. Assim sendo, o engenheiro de petróleo precisa estimar o risco de reativação dessas falhas e, por isso, os critérios de falha de Morh-Coulomb são frequentemente utilizados para tal objetivo.

Visto que a reativação de falhas pode acarretar sérios problemas, com consequências econômicas e ecológicas, as companhias do setor petrolífero têm investido em modelagens Geomecânicas 3D e 4D para garantir a integridade dos seus reservatórios, fazendo-se necessário, ao engenheiro de petróleo que almeje trabalhar em tais companhias, o bom entendimento de mecânica das rochas.

2.1.3 Estabilidade de poços

Nauroy (2011) enfatiza as aplicações da Geomecânica em diversas operações na indústria de petróleo e destaca como a Geomecânica pode otimizar a perfuração de poços. De acordo com este autor “alcançar máxima eficiência em condições normais e resolver problemas sob condições excepcionais que podem eventualmente danificar a broca, em particular” são as duas principais preocupações que drillers, profissionais responsáveis pela perfuração, têm em seus projetos.

Na perfuração, a trajetória dos poços está relacionada com a estabilidade mecânica da formação. No projeto de perfuração, a trajetória do poço é determinada pelo regime de deformação a que um determinado reservatório está submetido. Por exemplo, quando um campo está submetido a um regime de deformação extensional, que propicia o desenvolvimento de falhas normais, a direção mais estável para a perfuração é na direção da tensão horizontal mínima, pois, nesta direção, as tensões atuantes na parede do poço terão uma menor tensão diferencial, o que resulta em menor possibilidade de colapso provocado por fraturas geradas por cisalhamento.

Cheatham Jr. (1984) estudou a importância de se manter a estabilidade de poços durante a perfuração, destacando causas de instabilidades, tais como: presença de água nos folhelhos, a pressão no poço maior que a pressão de fratura ou menor que a pressão de colapso. Este aspecto é importante tendo em vista que, quando a rocha é removida durante a perfuração, tensões passam a atuar na parede do poço tendendo a restabelecer um novo equilíbrio, causando então desmoronamentos se não for utilizado fluido de perfuração com peso adequado para conter o colapso da rocha.

Um apropriado entendimento do estado de tensão em subsuperfície torna-se extremamente necessário e permite ao engenheiro de petróleo estimar ou calcular

parâmetros estáveis para um projeto de perfuração.

2.1.4 Análise de Permeabilidade

A permeabilidade é definida por Thomas (2004) como “a medida da capacidade de uma rocha permitir o fluxo de fluidos”. Para que a extração de hidrocarbonetos exista, é preciso que a rocha permita o fluxo de fluidos através delas. A permeabilidade foi equacionada por Henry Darcy no início dos anos 1800, que constatou que a permeabilidade é diretamente proporcional à vazão. Ou seja, quanto mais permeável a formação, maior será o fluxo de hidrocarbonetos e conseqüentemente, maior a produção.

Por essa razão, a permeabilidade é um dos fatores que mais influenciam na produção de hidrocarbonetos. Assim, um estudo desse parâmetro é essencial para a viabilização da exploração de determinado campo de petróleo. Existem inúmeras correlações para o estudo da permeabilidade, porém, poucos projetos consideram sua variação pela mudança dos estados de tensão e deformação da rocha matriz. Para uma análise completa da porosidade e da permeabilidade absoluta, alguns efeitos geomecânicos como a compactação e estresses horizontais devem ser levados em conta.

Modelos de reservatórios que utilizam de métodos numéricos como ferramenta de simulação atualizam a permeabilidade da formação de acordo com os estresses e deformações sofridos pela rocha, assim como a variação da pressão de poro.

2.1.5 Simulação de Reservatórios

O comportamento de um reservatório depende tanto das propriedades do fluido quanto do meio poroso ali presente (SARAIVA,2010). Deformações rochosas causadas por tensões e deformações realizadas pelas camadas superiores à zona de interesse podem afetar diversos parâmetros, como a porosidade, permeabilidade, pressão de poro, e a compressibilidade do reservatório, influenciando o escoamento de fluidos.

A simulação de reservatórios utiliza softwares que tentam prever características do comportamento do fluxo multifásico de fluidos através de meios porosos. Entretanto, a maioria desses programas negligencia ou simplifica os parâmetros geomecânicos fundamentais que podem afetar a produtividade do reservatório, tendo como único padrão a compressibilidade dos poros.

Contudo, somente esse padrão não é suficiente para determinar o comportamento do reservatório. Outros comportamentos como mudança nas tensões e pressão de poros devido a forças ativas por camadas superiores devem ser considerados nas simulações. A interação da Geomecânica com a simulação de reservatórios vem crescendo muito na última década, principalmente em casos de óleos pesados, fraturamento hidráulico e reservatórios compactados. Isso ocorre porque o estudo da relação entre a extração de fluido e a deformabilidade do reservatório traz uma visão mais abrangente dos fenômenos

físicos que ocorrem em reservatórios deformáveis.

Na simulação do reservatório, a Geomecânica se faz presente gerando uma estimativa acurada da magnitude e orientação do campo de tensões, essenciais durante a produção e abandono de um poço.

2.1.6 Estimulação de Poços

A estimulação de poços é caracterizada por uma série de técnicas que têm como principal objetivo maximizar a produção de um poço (ZHANG et al, 2009), aumentando a produtividade da formação pela criação de canais condutivos ou correção de danos causados durante a perfuração e completação.

Um dos métodos mais utilizados atualmente em reservatórios de baixa permeabilidade é o fraturamento hidráulico. Esse método consiste na injeção de um fluido fraturante com pressão acima da pressão de fratura, juntamente com um agente de sustentação, ou propante, que mantém a fratura aberta, sendo que o processo de abertura da fratura depende de parâmetros mecânicos da formação. O projeto, ou design, de um fraturamento hidráulico deve ser antecedido por um estudo geomecânico prévio, para evitar perda de controle do fraturamento, além de eventuais danos e efeitos negativos ao reservatório.

2.1.7 Métodos de Recuperação de Hidrocarbonetos e Enhanced Oil Recovery (EOR)

A injeção de fluidos em reservatórios para aumentar o fator de recuperação, quando se usam métodos de recuperação secundária e EOR, pode alterar o estado de tensão in situ e levar à reativação de falhas. Isso ocorre porque a injeção de fluidos altera a pressão de poros que está relacionada às tensões efetivas e alteração das tensões diferenciais. O uso de critérios de falha, como o de Mohr-Coulomb, mostra a iminência do risco de reativação de falhas.

Pereira et al (2010) constataram reativações de falhas provocadas pela injeção de fluidos para a recuperação de petróleo em reservatórios. De fato, para que se considere a adoção de métodos secundários de recuperação de petróleo, são necessárias diversas modelagens para se avaliar a viabilidade econômica de continuar a produção. Os métodos mais avançados de recuperação requerem uma análise mais detalhada do comportamento mecânico da região.

2.2 Universidades brasileiras que oferecem Geomecânica

Segundo Pizzol (2014), a Geomecânica ficou por décadas sendo negligenciada ou dada pouca importância.

Apesar da Mecânica das Rochas ser de extrema importância em muitas áreas da indústria de petróleo, tais como perfuração, produção e engenharia de reservatório, esta

área ainda é vista como um campo complexo e restrito a alguns profissionais. Por isso, o curso de Geomecânica ainda não está incluso em muitos cursos de Engenharia de Petróleo do Brasil.

Um mapeamento com trinta e seis universidades que oferecem o curso de Engenharia de Petróleo foi realizado, mas apenas vinte e sete disponibilizavam a matriz curricular em sua página institucional. Dentre as que apresentavam matriz curricular, foi realizado um mapeamento de disciplinas que envolviam Geomecânica, muitas vezes nomeada mecânica das rochas. A análise dos resultados é discutida na seção 3 desse trabalho.

Utilizando-se da ferramenta de pesquisa online, o SurveyMonkey, foi possível reunir respostas de profissionais que atuam como engenheiros de petróleo na indústria e também no meio acadêmico.

Seis perguntas foram elaboradas com o objetivo de verificar o que tais engenheiros entendem acerca da disciplina e se os mesmos já a estudaram, ou utilizaram ou utilizam Geomecânica aplicada em suas respectivas áreas de atuação. Vinte e cinco engenheiros de petróleo de sete universidades responderam o questionário dentre as quais Universidade Federal Fluminense e Universidade Federal do Rio de Janeiro tiveram maior participação com 19 formulários completos. Tais resultados serão discutidos na seção 3 desse trabalho.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das Universidades Brasileiras que Oferecem Geomecânica

Dentre as trinta e seis universidades analisadas, apenas vinte e sete disponibilizavam a matriz curricular em seu site.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam os resultados das grades curriculares estudadas. Do espaço amostral de vinte e sete instituições, apenas nove oferecem a disciplina específica de mecânica das rochas e/ou Geomecânica. Além disso, oito instituições não oferecem nenhuma disciplina diretamente relacionada à Geomecânica, como, por exemplo, geologia estrutural, métodos geofísicos ou métodos não sísmicos de exploração. Em outras palavras, mais da metade dos cursos de Engenharia de Petróleo não disponibilizam a disciplina e cerca de 30% das instituições sequer apresentam disciplinas que envolvem a área de maneira direta.

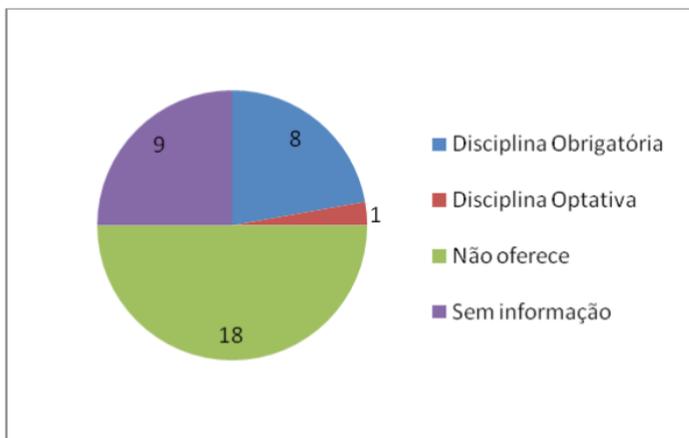


Gráfico 1 – Cursos de Engenharia de Petróleo que oferecem a disciplina de Geomecânica ou Mecânica das Rochas.

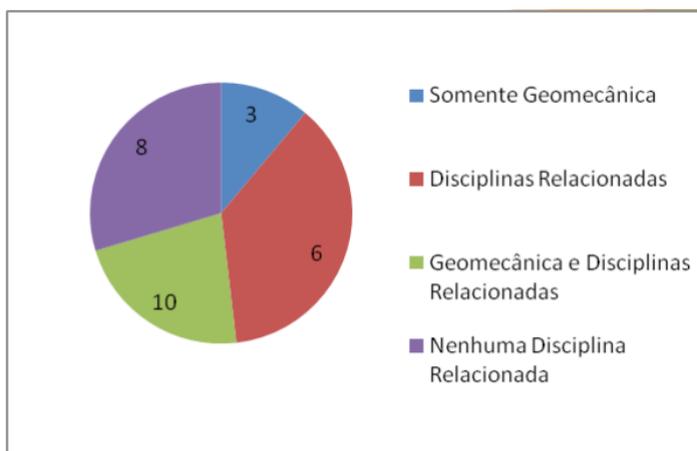


Gráfico 2 – Cursos de Engenharia de Petróleo que oferecem Disciplinas Relacionadas a Geomecânica.

3.2 Análise da opinião dos engenheiros em relação à relevância da Geomecânica

As perguntas elaboradas e disponibilizadas online no SurveyMonkey e respondidas completamente por 19 pessoas, foram: Você sabe o que é Geomecânica? Você já estudou Geomecânica, Geologia Estrutural ou Mecânica das Rochas na faculdade? Qual sua área de atuação na indústria de Petróleo? Você já utilizou ou utiliza Geomecânica em sua área de atuação/trabalho? Você acredita que o estudo de Geomecânica aplicado a Engenharia de Petróleo seja importante?

Nessa pesquisa, 92% das pessoas afirmaram saber o que é Geomecânica. Possivelmente, os dois engenheiros que não sabem do que se tratava essa disciplina tenham estudado em universidades em que a matriz curricular inicial não tenha favorecido

o ensino de Geociências, e podem também hoje atuar em áreas que não exigem tal conhecimento aprofundado.

Segundo o Gráfico 3, apenas 40% dos engenheiros de petróleo não estudaram Geomecânica, geologia estrutural ou mecânica das rochas na faculdade, mas, ao se relacionar a segunda pergunta à primeira, a maioria sabe do que se trata devido a conhecimento posterior, seja no mundo do trabalho, seja em estudos específicos pós-universitários.

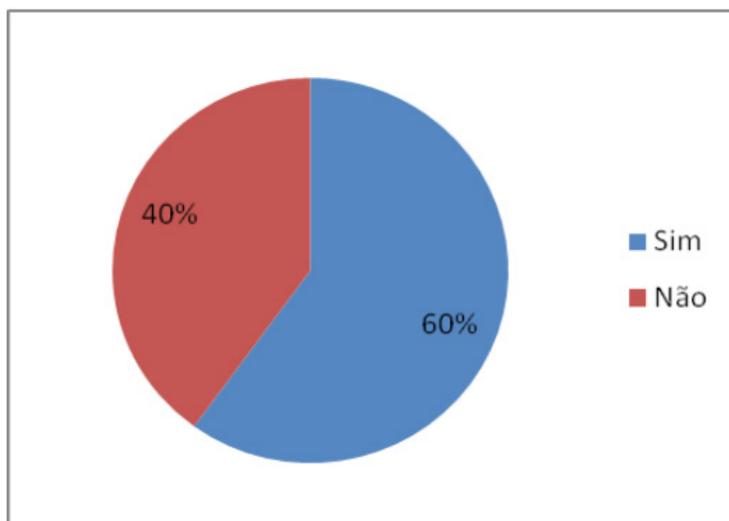


Gráfico 3 – Engenheiros que estudaram Geomecânica, mecânica das rochas ou geologia estrutural na faculdade.

As 3 principais áreas de atuação dos engenheiros que responderam a essa pesquisa Survey são i. Ensino e Pesquisa (28.57%); ii. Operações/Produção de Petróleo (23.81%), e iii. Dinâmica e Descrição de Reservatórios (19.05%). As outras duas áreas para as quais havia opção de resposta, “Perfuração e Completação” e “Planejamentos e Projetos”, tiveram poucos respondentes, o que pode estar relacionado, por exemplo, à situação de constrangimento e restrições de investimentos pela qual, atualmente, passa a indústria de petróleo, reflexo da recessão econômica do país.

Ademais, com baixos preços do petróleo no cenário internacional, tornam-se inviáveis investimentos em novos projetos de pesquisa e exploração. Sendo assim, muitos profissionais tiveram que voltar às universidades e academias devido à queda na taxa de empregabilidade, o que explica o alto número de profissionais atuando em Ensino e Pesquisa, em especial em projetos associados a cursos de mestrado e doutorado.

Quando foi perguntado se tais profissionais já utilizaram de Geomecânica em suas respectivas áreas de atuação, 6 em cada 10 engenheiros de petróleo responderam que

sim, isto é, utilizam definições e aplicações dessa disciplina em seu cotidiano de trabalho, o que mostra que a quantidade de aplicações da Geomecânica é, portanto, vasta para a indústria petrolífera.

Por fim, a última pergunta da pesquisa survey indagou se o estudo de Geomecânica é importante ou não para engenharia de Petróleo (Gráfico 4).

De acordo com o Gráfico 4, 92% dos engenheiros responderam positivamente a esta questão. Dois engenheiros responderam não à pergunta. Esta situação mostra a coerência entre perguntas e respostas, pois, na primeira questão, dois engenheiros responderam não à pergunta “Você sabe o que é Geomecânica?”, o mesmo número de respostas negativas à pergunta “Você acredita que o estudo de Geomecânica aplicado a Engenharia de Petróleo seja importante?”

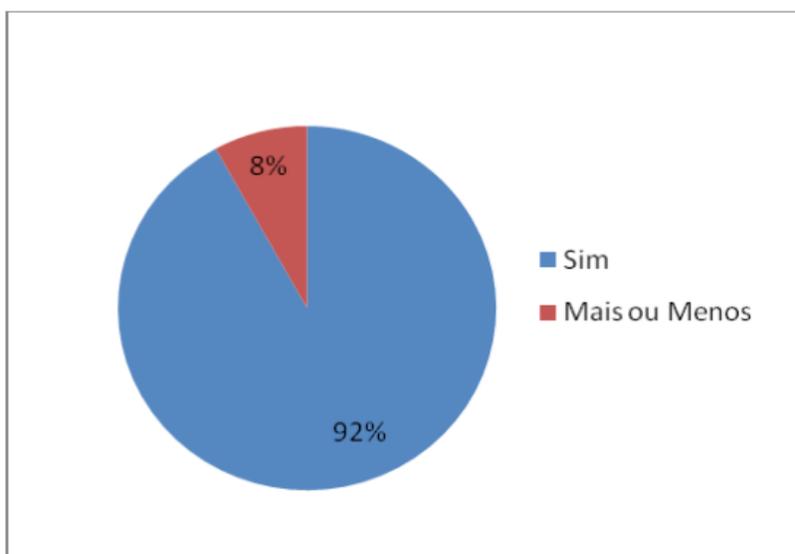


Gráfico 4 – Engenheiros que acham importante o estudo de Geomecânica

4 | CONCLUSÕES

A exploração de hidrocarbonetos envolve um estudo integrado de diversas disciplinas e não se pode negar a necessidade de boa comunicação entre os profissionais que trabalham em um mesmo projeto. A Geomecânica tem potencial para propiciar esta integração, permitindo aglutinar os conhecimentos da engenharia aos conhecimentos teóricos e práticos de geólogos e geofísicos, a fim de facilitar os estudos nas etapas de exploração e produção de petróleo. Verificou-se neste artigo que as principais áreas de atuação do engenheiro de petróleo estão atreladas ao estudo de Geomecânica, tornando o ensino dessa disciplina crucial à formação acadêmica deste engenheiro. Essa ideia

também se destacou na opinião dos profissionais atuantes no mercado de óleo e gás acerca do tema.

Diversas universidades com o curso de Engenharia de Petróleo têm entendido que há uma necessidade de se aprimorar o ensino nessa área, incluindo tal matéria em suas grades curriculares, mas na maioria das vezes é dada apenas como uma opção ao aluno.

A Geomecânica deveria ser uma disciplina base para a formação do Engenheiro de Petróleo, assim como cálculo, física, geologia e outras disciplinas.

A inclusão desse campo de conhecimento como uma disciplina específica não só aumenta a perspectiva de atuação do aluno em relação a diversas áreas citadas neste trabalho, como também facilita o entendimento de diversos fenômenos desde a simulação de reservatório até a produção de hidrocarbonetos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à equipe do Grupo PetroPET – Grupo Institucional de Educação Tutorial em Engenharia de Petróleo pela convivência, apoio e aprendizado coletivo, que muito contribuem em nosso desenvolvimento acadêmico, profissional e científico.

E à Universidade Federal Fluminense, pelo apoio financeiro à realização das atividades do Grupo PetroPET.

REFERÊNCIAS

ALLEN, P. A. & ALLEN, J. R. **Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessment**. Wiley-Blackwell, 2013.

BRITO, S. N. A.; CELLA, P. R. C.; FIGUEIREDO, R. P. **Importância da Geologia de Engenharia e Geomecânica na Mineração**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 1 (Edição Especial), p. 123-140, 2011.

CABRAL, C. P.; JUNIOR, E. T. L.; CAVALCANTE, E. P. A.; OLIVEIRA, F. C.; PIMENTEL, V. A. K.; LYRA, R. T. **Um Panorama dos Cursos de Engenharia de Petróleo no Brasil**. Disponível em <http://www.abenge.org.br/cobenge/legado/arquivos/7/artigos/104386.pdf>. Acesso em 09 novembro de 2022.

CHEATHAM, J. B. (1984, June 1). **Wellbore Stability**. Society of Petroleum Engineers, 1984. doi:10.2118/13340-PA.

ESPINDOLA, F. E. M. **Análise Geomecânica na Perfuração e Cimentação de Poços de Petróleo em Zonas de Sal**. 2011. Dissertação de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Rio de Janeiro - RJ.

NAUROY, J. F. **Geomechanics Applied to the Petroleum Industry**. Editions Technip, 2011.

OSORIO, J. G. HER-YUAN, C. TEUFEL, L. W. **Numerical Simulation of the Impact of Flow-Induced Geomechanical Response on the Productivity of Stress-Sensitive Reservoirs**. SPE Reservoir Simulation Symposium, 1999.

PENDLETON, L. E. **Horizontal Drilling Review**. Archie Conference on Reservoir Definition and Description, 1991.

PEREIRA, L. C., COSTA, A. M., SOUSA, L. C., AMARAL, C. S., SOUZA, A. L. S., FALCAO, F. O. L., OLIVEIRA, M. F. **Specialist Program For Injection Pressure Limits Considering Fault Reactivation Criteria**. American Rock Mechanics Association, 2010.

PIZZOL, D. A. **Uma metodologia unificada empregando o método dos volumes finitos para a solução acoplada do escoamento e da Geomecânica em meios porosos**. 2014. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis - SC.

REIS, A. F. **Orientação e Magnitude de Tensões na Bacia Potiguar: Implicações para Evolução de Bacias em Margens Passivas**. 2012. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica . Natal - RN.

SARAIVA, T. C. **Efeitos Geomecânicos na Simulação de Reservatórios Carbonáticos**. 2010. Projeto de Graduação do Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. Rio de Janeiro - RJ.

SOROUGH, H. **Discover a Career in Geomechanics**. Society of Petroleum Engineers, 2013. doi:10.2118/0313-015-TWA.

ZHANG, J., LANG, J., STANDIFIRD, W. **Stress, Porosity, and failure-dependent compressional and shear velocity ratio and its application to wellbore stability**. Journal of Petroleum Science and Engineering, p.193-202, 2009.

FISSURAÇÃO NO CONCRETO ARMADO: POSSÍVEIS CAUSAS E TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO

Data de aceite: 02/01/2023

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Estudante de Graduação 6º. semestre do
Curso de Engenharia Civil na Faculdade
Santo Agostinho – FSA

Diego Silva Ferreira

Orientador do trabalho. Professor do
Curso de Engenharia Civil na Faculdade
Santo Agostinho – FSA

Trabalho na XV Semana Científica da Faculdade
Santo Agostinho – SEC 2017, evento realizado
em Teresina, de 2 a 6 de outubro de 2017.

RESUMO: Como o concreto armado é um mecanismo de construção bastante utilizado no Brasil, tem-se uma quantidade significativa de estruturas que apresentam o seu desempenho sendo ameaçado e comprometido devido a aparições de patologias. Sendo o fenômeno da fissuração uma anomalia que surge de maneira mais frequente em estruturas de concreto armado, é imprescindível que haja aperfeiçoamento de estudos sobre esse tipo de patologia para que se tenha um controle eficaz desta afim de não haver danos graves a ponto de prejudicar a funcionalidade, segurança,

aparência, durabilidade e desempenho da edificação. Em virtude disso, neste trabalho estudou-se de forma criteriosa, baseando-se em literaturas, algumas das características dessas fissuras incluindo possíveis causas, suas origens e técnicas de resolução de forma a agregar informações na identificação do correto diagnóstico desta patologia com a finalidade de servir de base para pesquisas futuras. Mas para isso, primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica sobre as causas e origens das patologias em geral de modo a reforçar o entendimento quanto à manifestação dessas anomalias que se tornaram uma problemática no âmbito da construção civil. Chegou-se ao conhecimento que a fase mais importante do estudo é o diagnóstico que, se for equivocado, resultará em intervenções inúteis.

PALAVRAS-CHAVE: Fissuras. Patologias. Concreto armado.

1 | INTRODUÇÃO

As fissuras são aberturas que têm uma participação importante no quesito de funcionar como veículo condutor de agentes agressivos à estrutura. Estas

afetam a superfície do concreto e ocorrem no instante em que as deformações sofridas por este elemento estrutural ultrapassam as deformações críticas.

“ Em todas as construções, que tem sua estrutura executada em concreto, fissuras podem surgir depois de anos, dias ou mesmo horas. As causas destas fissuras são várias e de diagnóstico difícil. O termo fissura é utilizado para designar a ruptura ocorrida no concreto sob ações mecânicas ou físico-químicas. ” (FIGUEIREDO, 2005).

“ A fissuração nos elementos estruturais de concreto armado é causada pela baixa resistência à tração do concreto. Apesar de indesejável, o fenômeno da fissuração é natural (dentro de certos limites) no concreto armado. O controle da fissuração é importante para a segurança estrutural em serviço, condições de funcionalidade e estética (aparência), desempenho (durabilidade, impermeabilidade, etc.). Deve-se garantir, no projeto, que as fissuras que venham a ocorrer apresentem aberturas menores do que os limites estabelecidos considerados nocivos. Pequenas aberturas de fissuras, mesmo sem colocar em risco a durabilidade da estrutura, podem provocar alarme nos usuários leigos pelo efeito psicológico. Assim, a abertura máxima das fissuras, sem prejudicar a estética ou causar preocupação nos usuários depende da posição, profundidade, finalidade da estrutura, distância do observador, etc. ” (SILVA, 2003).

“ O que se espera em uma estrutura de concreto armado é que esta cumpra requisitos mínimos de segurança, funcionalidade e aspecto estético que lhe sejam exigidos em função das ações e influências ambientais que venham a atuar sobre a mesma durante sua vida útil. ” (REIS E LOPES, 2006).

Porém, devido a determinados problemas patológicos, o que se tem visto, é uma grande degradação dessas estruturas nos últimos anos.

Muitas das interações que ocorrem entre os elementos que constituem o concreto armado (cimento, areia, brita, água e aço), com os aditivos e os agentes externos, resultam em irregularidades na referida estrutura que podem comprometer a sua eficiência, provocar efeitos estéticos indesejáveis ou causar desconforto psicológico nos usuários.

É a partir destes “sintomas” que se inicia o processo de análise das respectivas causas e origem do fenômeno patológico, primordial para a correta identificação do problema. O correto é que as patologias do concreto armado sejam evitadas ou, então, tratadas de tal forma para que não ocorra perda da estrutura ou de peças estruturais.

É importante ressaltar que as normas procuram incorporar medidas intensas – critérios de durabilidade -, que se baseiam nos meios pelo qual o concreto (expansão e corrosão) e o aço (corrosão) deterioram-se. Assim, as principais medidas de prevenção estão relacionadas a esses critérios juntamente às sugestões para projeto e execução da obra.

A norma NBR 6118 (2014), no item 7.3, ainda cita outras recomendações que são importantes na busca da durabilidade de uma estrutura, no que diz respeito às formas arquitetônicas e estruturais:

- a) Disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade da

estrutura devem ser evitadas;

b) Deve ser previsto em projeto o acesso para inspeção e manutenção de partes da estrutura com vida útil inferior ao todo, tais como aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros.

Nas estruturas, a vida útil está diretamente relacionada à durabilidade e ao desempenho do concreto.

“ Tradicionalmente, a durabilidade de uma estrutura de concreto tem sido considerada através de regras implícitas, de modo determinístico, por intermédio de fatores como cobertura mínimo, relação água/aglomerante máxima, limitação de abertura de fissuras, tipo de cimento, tipo de aditivo, etc. Estes valores são tomados a partir de pesquisas de laboratório ou de campo e lições oriundas da experiência prática. Os resultados que se tem obtido com este procedimento leva, em geral, a um grau satisfatório de durabilidade, mas com variações significativas (positivas ou negativas) devido à grande influência das condições reais do meio ambiente envolvente e do concreto real colocado nas peças estruturais. “ (ISAIA, 2001).

Com isso, a fase mais importante no processo de determinação de patologias que inferem na durabilidade e, conseqüentemente, na vida útil do concreto é o correto diagnóstico para, assim, agir-se de modo eficiente propiciando uma recuperação adequada ao tipo de problema apresentado. Pois, se for de maneira equivocada, resultará em intervenções impróprias, que pode dificultar possíveis estudos futuros. A utilidade do tratamento ou da solução só pode ser confirmada quando se há uma resposta aceitável e convincente da estrutura ao tratamento.

Em face ao exposto, este trabalho tem o objetivo de contribuir com sugestões úteis para se determinar o correto diagnóstico da patologia de fissura que aparece fluentemente em estruturas de concreto armado baseando-se nas suas possíveis causas e origens de tal modo a servir de embasamentos para pesquisas futuras.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Causas e origens das patologias

Para distinguir as causas que provocam o surgimento de patologias no concreto é preciso observar a forma que ocorre a manifestação que, normalmente, é tida em partes externas das estruturas. Mas, há partes externas que não são perceptíveis, como é o caso de fundações, arrimos, piscinas, dentre outros, que estão parciais ou totalmente enterradas; as faces internas das juntas de dilatação; e as do interior de galerias e reservatórios. Nesses locais citados anteriormente, o problema só é detectado se for identificado por inspeções que forem programadas e executadas especificadamente.

De forma a exemplificar, as manifestações a seguir podem indicar a existência de patologias no concreto:

- Fissuras e Trincas;
- Desagregação;
- Erosão e Desgaste;
- Disgregação (Desplacamento ou Esfoliação);
- Segregação;
- Manchas;
- Eflorescência;
- Calcinação;
- Flechas Exageradas;
- Perda de Aderência entre concretos (nas juntas de concretagem);
- Porosidade;
- Permeabilidade.

Os aspectos que influenciam na origem de uma patologia são a etapa da vida da estrutura em que surgiu e a predisposição para que agentes desencadeassem seu processo de formação. As origens das anomalias mais comuns do concreto são:

- Defeitos de projeto;
- Má qualidade dos materiais ou uso inadequado;
- Erros na execução;
- Erosão e desgaste;
- Utilização para fins diferentes dos calculados em projeto;
- Falta de manutenção no decorrer do tempo;
- Uso inadequado da estrutura.

Na Figura 01, pode-se observar que as patologias são motivadas, geralmente, por falhas no planejamento que antecede à construção. Similarmente, podem ocorrer na realização de uma ou várias tarefas durante o processo de execução da obra, ou em seguida, quando há o término da construção e entregue ao usuário.

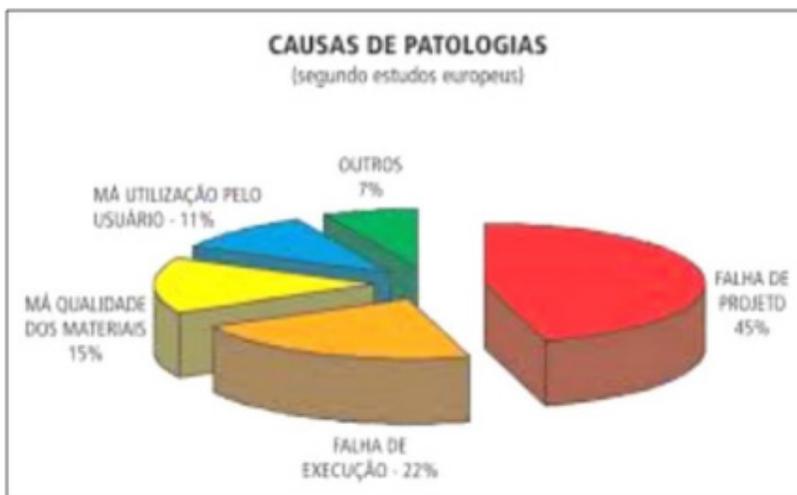


Figura 01 – Gráfico que relaciona as principais causas de patologias.

Fonte – COUTO (2007)

Há ainda as patologias motivadas por agentes externos como: ação da umidade, variação de temperatura, instabilidade do solo, ação excessiva dos ventos. Pode-se citar até situações mais graves e catastróficas como abalos sísmicos. Esses agentes causam patologias das mais simples às mais graves, e é missão do profissional de Engenharia prever e dimensionar a estrutura, de modo a evitar ao máximo o acontecimento de patologias decorrentes desses fenômenos.

3 | CARACTERÍSTICAS, POSSÍVEIS CAUSAS E ORIGENS DAS FISSURAS

Os “sintomas” mais comuns que ocorrem nas estruturas e com causas muito variadas são as fissuras. Essas causas dependem da sua posição com relação ao elemento, a abertura, a direção e seu grau de desenvoltura (com relação à direção e à abertura). E quanto a sua ocorrência inerente ao concreto armado, onde depende da dimensão na qual a seção foi calculada nos Estágios II (seção fissurada) ou III (ruptura). Ou seja, a manifestação da fissura nem sempre é, portanto, manifestação patológica, já que corresponde às aberturas e suas causas.

Baseando-se na NBR 6118 (2014), as fissuras são consideradas agressivas quando sua abertura na superfície do concreto armado ultrapassa os seguintes valores: a) 0,2 mm para peças expostas em meio agressivo muito forte (industrial e respingos de maré); b) 0,3 mm para peças expostas a meio agressivo moderado e forte (urbano, marinho e industrial); c) 0,4 mm para peças expostas em meio agressivo fraco (rural e submerso).

Na Figura 02, em pesquisa sobre as fissuras em estruturas de concreto armado, Dal Molin (1988) detectou as principais causas de fissuras, com as respectivas incidências.

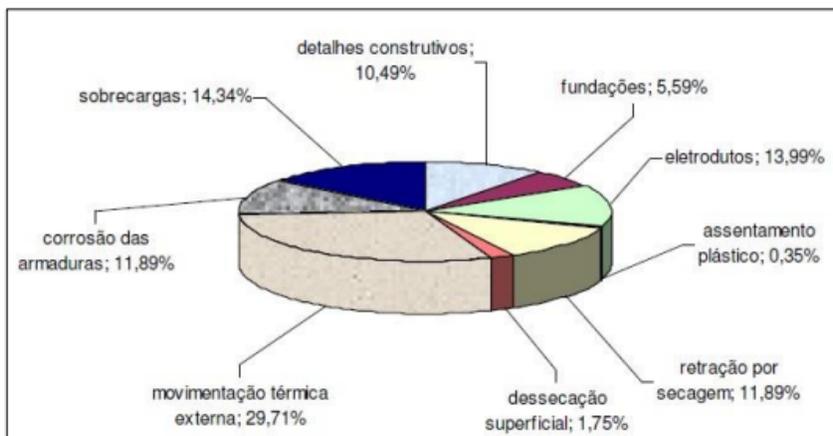


Figura 02 – Tipos e incidência de fissuras em concreto armado.

Fonte – DAL MOLIN (1988)

O conceito de fissura com relação à “trinca” e “rachadura” diferenciam-se entre si em alguns aspectos. Por exemplo, as trincas possuem dimensões diferentes (possuem aberturas maiores que 0,5 mm) das fissuras, mas assemelham-se no que diz respeito ao tratamento. Enquanto as rachaduras são diferenciadas das demais devido a uma abertura bem mais profunda e acentuada com dimensão superior a 1 mm e a partir de 1,5 mm são denominadas de fendas. Á título de demonstração, tem-se a Figura 03 com exemplos de fissura, trinca e rachadura.

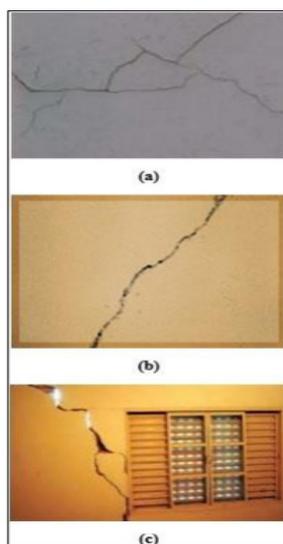


Figura 03 – a) fissura, b) trinca, c) rachadura.

Fonte – FÓRUM DA CONSTRUÇÃO (2015)

3.1 Fissuras Ativas ou Inativas

É com a especificação do tratamento é possível analisar se a fissura é ativa (viva ou instável) – que apresenta variação de abertura –, ou se é inativa (morta ou estável) – que não apresenta variação de abertura.

Para verificar essa análise, ver Figura 04.

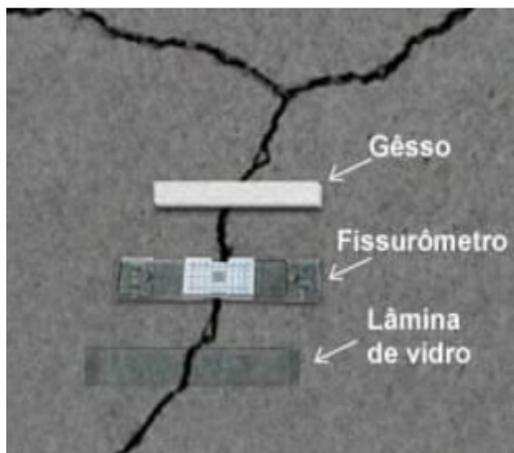


Figura 04 – Utensílios utilizados para a checagem da fissuração.

Fonte – PIANCASTELLI (1997)

Conforme a Figura 04, observa-se que com a utilização de plaquetas de vidro ou gesso pode-se fazer uma análise de checagem na abertura, contudo se romper caso a fissura venha a variar. Mas também por meio da medição de forma direta dessa variação com o uso do fissurômetro. Para dar um tratamento eficaz à fissura é importante identificar o agente causador que pode ser: atuante, onde a fissura possui instabilidade e não atuante, na qual possui estabilidade.

Assim, é possível determinar algumas possíveis causas de fissuras conforme ver-se na Tabela 01.

MATERIAL	CAUSA	“SINTOMA”
NO CONCRETO FRESCO	Assentamento plástico; Dessecação superficial; Vibrações; Retração hidráulica; Variações térmicas.	FISSURAS
NO CONCRETO ENDURECIDO	Esforços solicitantes excessivos, principalmente flexão e cisalhamento; Concentração de tensões; Recalques de fundação; Corrosão de armaduras; Retração hidráulica.	FISSURAS

Tabela 01 – Algumas causas de fissuras.

Fonte – PIANCASTELLI (1997)

4 I TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO DE FISSURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

As técnicas de resolução em fissuras iniciam-se com a verificação se elas são ativas ou inativas, como visto anteriormente. As fissuras consideradas inativas são as que são causadas por retração hidráulica, recalques estabilizados e juntas de concretagem mal executadas, devido a esforços excessivos ou intervenção de reforços. Enquanto as fissuras que são consideradas ativas estão relacionadas à variação de temperatura, onde funcionam como ‘juntas naturais’.

Contudo, pode-se sintetizar que se o agente causador da fissura não mais atua no local, pode-se identificar como inativa, caso contrário, como ativa. Porém, no quesito do comportamento do reparo, qualquer fissura pode ser tratada como ativa.

A seguir serão abordadas algumas técnicas de resolução de maneira específica, dependendo da característica da fissura.

1. Reparos nas inativas – consiste na recuperação do concreto onde este se encontra sem separações (monoliticidade). É feito a aplicação de produtos que funcionam como adesivos que são capazes de promover a aderência entre os concretos de suas duas faces. Pode ser aplicado por gravidade ou por injeção sob pressão (ar comprimido), conforme o caso.
2. Reparos nas ativas (ou inativas com monoliticidade não exigida) – é feito por junta de dilatação. É sugerido que as ‘novas juntas’ devem ser vedadas com mastiques ou outros materiais elásticos de modo a impedir a penetração de materiais que impeçam sua livre movimentação (pó, areia, brita etc.) ou que sejam prejudiciais ao concreto (água, óleo, fuligens etc.)
3. Reparos especiais – refere-se aos casos onde a execução de técnicas padronizadas são ineficazes. Nesses casos, há adaptações, combinações de

técnicas ou procedimentos alternativos.

Logo, para a análise das fissuras faz-se uma classificação das mesmas segundo a sua estabilidade. Diz-se que uma fissura está estabilizada, é passiva ou morta quando a causa que a provocou foi eliminada e, por isso, a fissura não tem movimento longitudinal ou transversal. Uma fissura é ativa quando a causa que a provoca continua existindo, portanto, tem movimento.

À título de conhecimento, alguns outros procedimentos são sugeridos e que podem ser efetuados para a realização de reparos nas estruturas em concreto armado:

- Limpa-se a fissura com jato de ar e aumenta-se a espessura da mesma para, em seguida, tratá-la;
- Aplica-se material epóxi sobre a superfície como selante;
- Injeta-se resina epóxi nos orifícios na parte inferior até que o material transborde pela parte superior;
- Finalmente, fecham-se os orifícios.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como foi visto existem inúmeros problemas patológicos que comprometem o desempenho das estruturas, mas que a correta escolha da técnica a ser empregada em suas recuperações estruturais é que vai tratar o problema e garantir êxito no trabalho. A condição fundamental para a escolha desta técnica é a identificação e classificação das ocorrências que resulte em um diagnóstico que corrija adequadamente as anomalias observadas. Contudo, cada obra tem suas respectivas restrições e circunstâncias, de caráter construtivo e executivo, na qual não se pode padronizar um único método de diagnóstico.

Por isso, esta pesquisa teve a intenção de representar uma introdução ao tópico de patologias dando ênfase às fissuras com o estudo de algumas características, causas, origens e algumas práticas de reparação sugeridas em estruturas de concreto armado. Utilizou-se de diversas literaturas para aprofundar a análise feita afim de disseminar e atribuir conhecimento tanto de interesse acadêmico como profissional. Onde este estudo pode servir de aproximação e referência ao tema.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**, 2014.

COUTO, J. P.; COUTO, A. M. **Importância da revisão dos projectos na redução dos custos de manutenção das construções**. In: CONGRESSO CONSTRUÇÃO 2007, 3, 2007, Coimbra, Portugal. Universidade de Coimbra, 2007.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul.** Tese de M. Sc. – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

FIGUEIREDO, E. P. **Mecanismo de Transporte de Fluidos no Concreto.** In: ISAIA, G. C. Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

ISAIA, G. C. **Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. São José dos Campos, 2001.

PIANCASTELLI, E. M. **Patologias do concreto.** Minas Gerais: UFMG, 1997. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/patologias-do-concreto_6160_10_0>. Acesso em: 13 de junho de 2017.

REIS, C. de O.; LOPES, A. M. J. **Considerações sobre prova de carga em estruturas de concreto.** Ouro Preto: REM, 2006.

SILVA, R.C. **Vigas de concreto armado com telas soldadas: análise teórica e experimental da resistência à força cortante e do controle da fissuração.** Tese (Doutorado), São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2003, 328p.

AMANDA FERNANDES PEREIRA DA SILVA - Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFSA), é Mestranda em Ciência e Engenharia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação (PPGCM) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atua na área de pesquisa Materiais Magnéticos, Semicondutores e Semicondutores Magnéticos Diluídos com aplicações antibacterianas sob orientação do Professor Doutor Ramón Raudel e Professora Doutora Francisca Araújo. Além disso, seus temas de interesse são: Construção Civil, Patologia das Construções, Materiais da Construção Civil, Perícia Judicial, Concreto, Análise do Comportamento de Solos, Ensino de Engenharia e Educação à Distância.

A

Acessibilidade arquitetônica 87

Aço ferramenta 121, 124, 128, 129

Análise avançada 77, 84, 85

Artificial intelligence 57, 58, 59, 60, 65, 66, 68, 73, 74, 76

Autonomous vehicle 58, 59

Avaliação pós ocupação 87

B

Borra oleosa 39, 40, 41, 42, 46, 47, 53

C

Chuvas 98

Cinza de casca de arroz 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168

CO₂ emissions 169, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 183, 185, 188, 189, 190, 191, 194, 195, 196, 197

Competitividade 2, 141, 142, 150, 198

Cristobalita 161, 165, 167

D

Desafios 38, 141, 142, 143, 146, 147, 148, 151, 156, 158, 159, 204, 205

Desenvolvimento 2, 6, 7, 20, 30, 31, 37, 39, 43, 54, 87, 88, 95, 105, 120, 141, 142, 145, 147, 148, 159, 167, 198, 205, 206, 213

E

Eixo de menor inércia 77, 79, 81, 83, 84, 85

Electric vehicle 169, 171, 179, 200, 201

Empresa 1, 2, 39, 41, 46, 47, 48, 52, 53, 109, 123, 141, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 201

Energy consumption 169, 170, 174, 181, 182, 185, 188, 189, 190, 191, 192, 195

Engenharia 6, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 22, 24, 29, 30, 31, 38, 54, 57, 85, 86, 87, 96, 106, 118, 119, 120, 121, 130, 132, 141, 142, 143, 144, 146, 157, 164, 168, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 219, 224, 225

Engenharia de Petróleo 203, 204, 205, 209, 210, 212, 213, 214

Ensino em engenharia 30

Envoltória curva 97, 98, 104

Equações diferenciais ordinárias 30

Ergonomia 87, 88, 90, 91, 93, 95, 96

Escorregamentos 97, 98, 99, 100

Extração de fitoquímicos 133

F

Fator de segurança 12, 97, 98, 99, 102, 105

Fibra natural 108, 110

Fissuras 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224

G

Geomecânica 101, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214

Gesso de fundição 107, 108, 110, 113, 115, 117

Gestão 1, 2, 3, 4, 38, 86, 119, 120, 141, 144, 146, 147, 148, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159

I

Impacto 14, 15, 17, 49, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 141, 142, 150

Índice de confiabilidade 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 26, 27, 79, 80, 84

Interdisciplinaridade 30, 37, 38

M

Macrometrópole Paulista 169, 172, 176, 197, 199

Matriz curricular 203, 209, 210

Mecânica das rochas 203, 204, 206, 208, 209, 210, 211

Método AHP 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 53, 54

Método Monte Carlo 5, 10

Modos de falha 5, 8, 18

P

Patologias 215, 216, 217, 218, 219, 223, 224

Polifenóis 133, 134, 136, 138, 139

Pórtico de aço 77

Precision agriculture 58, 65

Probabilidade de falha 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 77, 79, 80, 83, 84

Processos empresariais 1

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 86, 87, 88, 89, 93, 95, 96, 122, 133, 134, 139, 144, 146, 148, 152, 154, 161, 162, 167, 218

R

Resíduos sólidos 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 120

Resistência dos materiais 8, 9, 30, 31, 38

Resistência mecânica 108, 116, 117

S

SiO₂ 161, 165, 166, 167

Superfície de estado limite 5, 7

T

Tecnologias para o tratamento de borra oleosa 39

Tenacidade 121, 122, 128, 130

TENAX 300IM 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129

U

Unmanned aerial vehicle 58

Urban transport 169, 170, 198

ENGENHARIA- RIAS:

Pesquisa, desenvolvimento
e inovação 3

- 
-  www.atenaeditora.com.br
 -  contato@atenaeditora.com.br
 -  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 -  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIAS:

Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br