

Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

Mariana Natale Fiorelli Fabiche
(Organizadora)



Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

Mariana Natale Fiorelli Fabiche
(Organizadora)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 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-NãoDerivativos 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 – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaia/TO

Profª Drª Cristina Aledi Felseburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

Profª 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. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª 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. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª 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 em perspectiva: ciência tecnologia e inovação

Diagramação: Ellen Andressa Kubisty
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharias em perspectiva: ciência tecnologia e inovação / Organizadora Mariana Natale Fiorelli Fabiche. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2400-0 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.000240305</p> <p>1. Engenharia. 2. Ciência. 3. Inovação tecnológica. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizadora). II. Título. CDD 620</p>
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.

É com grande entusiasmo e dedicação que apresento a você leitor a nova coleção “Engenharias em perspectiva: ciência tecnologia e inovação”.

Essa é uma coleção atual contendo diversos trabalhos científicos relevantes e de grande importância na área da Engenharia.

A obra é composta por quatorze capítulos categorizados e interdisciplinares que dissertam sobre diversos assuntos no âmbito da engenharia.







Nessa obra encontra-se assuntos relacionados aos temas, sendo: uma visão da robótica na construção civil, conceitos e aplicações metrológicas do escaneamento óptico 3D, estudo de vazamento em uma usina termelétrica, sistemas de cura para peças fabricadas com fibra de carbono resinada, avaliação de geotêxteis e solos residuais, estudo da autodepuração em um rio, estudo de uma barreira acústica, entre outros assuntos pertinentes dentro do ramo da engenharia.

Com uma abordagem fácil e objetiva, essa obra se mostra de grande relevância para pesquisadores e profissionais dos mais diversos níveis de conhecimento. Além do mais, essa obra busca incentivar a divulgação de novos trabalhos científicos e ressalta a importância dos pesquisadores escolherem e divulgar seus trabalhos por meio de plataformas confiáveis, como a Atena Editora.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.


Mariana Natale Fiorelli Fabiche

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE GEOTÊXTEIS E SOLOS RESIDUAIS TROPICAIS POR MEIO DE ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO CONVENCIONAIS	
Marcela Giacometti de Avelar	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403051	
CAPÍTULO 2	21
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA FÍSICO-MECÂNICA DO PAPEL DE EMBALAGEM TRATADA COM ADITIVOS	
Priscila Moreira da Silva	
Ana Márcia Macêdo Ladeira Carvalho	
Iara Fontes Demuner	
Maria Tereza Angeletti Nunes	
Mathias Teixeira Marçal	
Lorhan Lima Leal	
Amanda Ladeira Carvalho	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403052	
CAPÍTULO 3	26
A IMPORTÂNCIA DA FORMAÇÃO DO CORREDOR ECOLÓGICO NO CAMINHO DE CORA CORALINA	
Celia Maria Machado Ambrozio	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403053	
CAPÍTULO 4	37
AVALIAÇÃO SIMPLIFICADA POR MEIO DE RETROANÁLISE PARCIAL PARA BARRAGEM DE PEQUENO PORTE	
Fernando Alves Cantini Cardozo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403054	
CAPÍTULO 5	47
COMPARATIVO DE ESTAMPABILIDADE ENTRE UM AÇO MICROLIGADO E UM AÇO CARBONO-MANGANÊS	
Daniel Augusto Ferro	
Fernando Generoso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403055	
CAPÍTULO 6	62
CONCEITOS E APLICAÇÕES METROLÓGICAS DO ESCANEAMENTO ÓPTICO 3D	
Douglas Mamoru Yamanaka	
Manuel António Pires Castanho	
Olga Satomi Yoshida	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403056	

CAPÍTULO 7 75

DINÂMICA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NO PROCESSO DE AUTODEPURAÇÃO EM FUNÇÃO DA VULNERABILIDADE CLIMÁTICA


Beatriz Rodrigues Bagnolin Muniz
Claudia Guimarães Camargo Campos
Gilmar Conte

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403057>

CAPÍTULO 8 91

ELIMINAÇÃO DO GENE RASSF9 NA LINHAGEM DE MELANOMA B16F0 ATRAVÉS DE CRISPR/CAS9


Julia Souza e Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403058>

CAPÍTULO 9 107

ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO VAZAMENTO DA USINA TERMOELÉTRICA RIO MADEIRA NOS POÇOS DO BAIRRO NACIONAL - PORTO VELHO/RO


Melissa Cíndel Alves da Silva
Ana Cristina Santos Strava Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0002403059>

CAPÍTULO 10 124

ESTUDO DO DESGASTE DE FRESAS DE AÇO RÁPIDO NITRETADAS E COM TRATAMENTO DUPLEX NA USINAGEM DO AÇO SAE 1020


Marcus Vinicius da Silva Mendes
Marcos Guilherme Carvalho Bráulio Barbosa
Patrick Abreu de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.00024030510>

CAPÍTULO 11 134

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA ESTRUTURA E MICRODUREZA DA LIGA AL-1%NI


Alicia Regina Zanon Barbosa
Yan Christian Silva de Araújo
Luane Luiza Pereira Marques
Eric Elian Lima Espíndola
Emerson Rodrigues Prazeres
Amanda Lucena de Medeiros
Deibson Silva da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.00024030511>

CAPÍTULO 12 143

SISTEMA DE CURA PARA PEÇAS FABRICADAS COM FIBRA DE CARBONO RESINADAS

Vinicius Kazuhiko Quitakava Tanigawa
Antonio Luis de Campos Mariani

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.00024030512>

CAPÍTULO 13..... 148**STUDY ON MECHANICAL PROPERTY OF THE HYBRID COMPOSITES FROM NATURAL FIBRES BY NUMERICAL AND EXPERIMENTAL METHOD**

G Garcia del Pino

A Bezazi

H Boumediri

CAC Méndez

AC Kieling


JCM Neto

AR Torres

MD dos Santos

SD Garcia

TH Panzera

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.00024030513>**CAPÍTULO 14..... 155****VISÃO ROBÓTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: EFICIÊNCIA, PRECISÃO E PRODUTIVIDADE COM SEGURANÇA APRIMORADA**

Márcio Mendonça

Fabio Rodrigo Milanez

Francisco de Assis Scannavino Junior

Marcio Jacometti

Iago Maran Machado

Henrique Franciz Ximenes de Andrade Bilbao

Henrique Cavalieri Agonilha

Rodrigo Rodrigues Sumar

Marcos Banheti Rabello Vallim

Wesley Candido da Silva

Emerson Ravazzi Pires da Silva


Gustavo Henrique Bazan

Gabriel Henrique Oliveira Uliam


André Luiz Salvat Moscato

João Maurício Hypólito

Wagner Fontes Godoy

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.00024030514>**CAPÍTULO 15..... 167****AVALIAÇÃO DE BARREIRA ACÚSTICA: UM ESTUDO DE CASO EM MARINGÁ**

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.00024030515>**SOBRE A ORGANIZADORA 178****ÍNDICE REMISSIVO 179**

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA INTERFACE ENTRE GEOTÊXTEIS E SOLOS RESIDUAIS TROPICAIS POR MEIO DE ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO CONVENCIONAIS

Data de aceite: 02/05/2024

Marcela Giacometti de Avelar

RESUMO: Esta pesquisa teve como finalidade examinar a dinâmica entre solos tropicais compactados e a integração de materiais geossintéticos. Para a realização do estudo, selecionaram-se amostras de solos provenientes de perfis de gnaiss e anfíbolitos, destacando-se na microrregião de Viçosa, na Zona da Mata de Minas Gerais. Estes foram categorizados, seguindo a classificação MCT, como solo VS, de natureza não laterítica arenosa (NA'), e solo BR, de caráter laterítico argiloso (LG'). No desenvolvimento dos conjuntos solo-reforço, utilizaram-se dois tipos de geotêxteis tecidos biaxiais de polipropileno (T55 e T25), além de um geotêxtil não tecido agulhado de poliéster (NT10). A abordagem metodológica englobou ensaios de cisalhamento direto, aplicados em amostras compactadas sob as energias definidas pelos Proctor Normal e Modificado, tanto nas configurações sem inclusões geossintéticas (para referência) quanto nas configurações que incluíam os geotêxteis. Foi dada especial atenção aos parâmetros de resistência ao cisalhamento

das interfaces, considerando-se a rigidez dos geossintéticos, a tipologia dos solos e o nível de energia de compactação. Os resultados mais notáveis indicaram que: i) os ângulos de atrito nas interfaces (δ) foram tipicamente inferiores aos dos solos compactados isoladamente (ϕ); ii) a presença de geotêxteis aumentou a ductilidade dos conjuntos solo-reforço; iii) o desempenho do reforço esteve vinculado à sua rigidez à tração; iv) a resistência ao cisalhamento das interfaces foi levemente reduzida nos solos arenosos.

PALAVRAS-CHAVE: Geotêxteis, Solos tropicais, cisalhamento de interface, resistência ao cisalhamento, compactação

ABSTRACT: This research aimed to examine the dynamics between compacted tropical soils and the integration of geosynthetic materials. For the study, soil samples from gneiss and amphibolite profiles were selected, standing out in the microregion of Viçosa, in the Zona da Mata of Minas Gerais. These were categorized, following the MCT classification, as VS soil, of non-lateritic sandy nature (NA'), and BR soil, of lateritic clayey character (LG'). In developing the soil-reinforcement sets, two types of biaxial woven polypropylene

geotextiles (T55 and T25), as well as a needle-punched non-woven polyester geotextile (NT10), were used. The methodological approach included direct shear tests, applied to compacted samples under the energies defined by the Standard and Modified Proctor, both in configurations without geosynthetic inclusions (for reference) and in configurations that included the geotextiles. Special attention was given to the shear strength parameters of the interfaces, considering the stiffness of the geosynthetics, the typology of the soils, and the level of compaction energy. The most notable results indicated that: i) the interface friction angles (δ) were typically lower than those of the compacted soils alone (ϕ); ii) the presence of geotextiles increased the ductility of the soil-reinforcement sets; iii) the performance of the reinforcement was linked to its tensile stiffness; iv) the shear strength of the interfaces was slightly reduced in sandy soils.

KEYWORDS: Geotextiles,, Tropical soils, Interface shear, Shear strength, Compaction

INTRODUÇÃO

A implementação de geossintéticos para o reforço de solos representa uma prática amplamente aceita na engenharia geotécnica, conforme evidenciado por VIANA e PALMEIRA (2009). Essa técnica tem sido aplicada em uma diversidade de projetos geotécnicos, incluindo, mas não limitado a, muros de arrimo (PORTELINHA et al., 2013), estruturas de proteção costeira (HORNSEY et al., 2011), aterros compactados (ARIYARATHNE et al., 2013), estabilização de taludes (HUANG, 2013), melhoramento de fundações em solos pouco resistentes (BIWAS et al., 2013), aterros sanitários e locais para depósito de resíduos (SANTOS et al., 2014), reforço de colunas granulares (HOSSEINPOUR et al., 2015) e em infraestrutura rodoviária (ASHA; MADHAVI, 2010).

O princípio do reforço baseia-se na sinergia entre as propriedades mecânicas do solo, que apresenta boa resistência à compressão e ao cisalhamento, e a capacidade dos geossintéticos de suportar eficazmente as tensões de tração. Esta integração visa aprimorar a capacidade de carga, reduzir a susceptibilidade à deformação e elevar a estabilidade geral do terreno (BUENO et al., 2005).

O comportamento mecânico de uma estrutura de solo reforçado depende essencialmente das características dos materiais envolvidos e da interação entre eles. Nos solos residuais tropicais, dadas suas particularidades de formação geológica, propriedades tais como granulometria, morfologia e composição químico-mineralógica das partículas, além da densidade compactada e grau de saturação, podem ser aspectos de maior ou menor grau de influência na resistência ao cisalhamento de interfaces solo-reforço (AVELAR, 2020).

Os geotêxteis são, dentro da grande família dos geossintéticos, os materiais com maior campo de atuação, possuindo uma vasta gama de aplicações em toda a engenharia civil, não somente na geotécnica, como também em outras áreas, como ambiental, hidráulica e de pavimentação (BENJAMIM et al., 2007; KOERNER, 2012; VERTEMATTI,

2015). Como reforço em obras de terra, a popularidade dos geotêxteis decorre da sua menor rigidez quando comparados a outros materiais usados como reforço, tornando-os compatíveis com vários tipos de solos em termos de deformabilidade, do aumento da resistência ao cisalhamento, da maior ductilidade proporcionada ao sistema solo-reforço e da sua maior capacidade de drenagem tanto através do plano quanto ao longo do mesmo (GRAY; OHASHI, 1983; TATSUOKA; YAMAUCHI, 1986; HAERI et al., 2000; ELIAS et al., 2001; PALMEIRA, 2009; TUNA; ALTUN, 2012).

Neste contexto, o capítulo tem como objetivo principal caracterizar os mecanismos de interação solo-reforço geossintético considerando-se as particularidades granulométricas de solos tropicais compactados e as propriedades dos geossintéticos de reforço. Para isso, foi realizado um amplo trabalho experimental de investigação da interação entre solos de comportamentos geotécnicos distintos e geotêxteis tecidos e não tecido, por meio de ensaios de cisalhamento direto, em um equipamento convencional (pequeno porte).

METODOLOGIA

Solos empregados

Os solos considerados neste estudo fazem parte de perfis desenvolvidos de gnaiss e anfibólitos, correspondendo a duas ocorrências de maior relevância na microrregião de Viçosa, município de Minas Gerais, sendo identificados como solo VS e solo BR.

A amostra do solo VS foi coletada no horizonte C de um talude localizado dentro do campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa (UFV), nas proximidades da Vila Secundino, com coordenadas geográficas de Latitude 20°45'47.82" S e Longitude 42°51'29.76" O (Figura 1). Trata-se de um solo residual jovem (saprolítico), de coloração acinzentada, sendo classificado pedologicamente como Argissolo Câmbico e texturalmente como areia fina siltosa com um pouco de argila [NBR 6502 (ABNT, 1995)]. Nos sistemas tradicionais de classificações rodoviárias, o solo VS se enquadrou nos grupos A-4 (4), de acordo com o *Transportation Research Board - TRB* [M 145 - 91 (AASHTO, 2008)], e ML, conforme o Sistema Unificado de Classificação dos Solos - SUCS [D 2487 - 11 (ASTM, 2011a)]. De acordo com a metodologia MCT [CLA 259 (DNER, 1996), ME 258 (DNER, 1994a) e ME 256 (DNER, 1994b)], foi identificado como um solo não laterítico arenoso (NA').



Figura 1 - Localização do talude selecionado para a coleta de amostras do solo VS

Fonte: Google Earth, 2020

A amostra do solo BR foi extraída do horizonte B de um talude de corte localizado à margem da Rodovia BR 120 (km 640), com coordenadas geográficas de Latitude $20^{\circ}47'31.74''$ S e Longitude $42^{\circ}50'17.96''$ W (Figura 2). Trata-se de um solo classificado pedologicamente como um Latossolo VermelhoAmarelo – LV (REIS; AZEVEDO, 1998, 1999; AZEVEDO, 1999; REIS, 2004). De acordo com os sistemas classificatórios da NBR 6502 (ABNT, 1995), TRB (AASHTO, 2008) e SUCS (ASTM, 2011a), o solo BR foi identificado como um silte argilo-arenoso, pertencente aos grupos A-7-5 (20) e MH, respectivamente. Na classificação MCT, por sua vez, enquadrou-se no grupo dos solos de comportamento Laterítico Argiloso (LG'), conforme as recomendações das normas CLA 259 (DNER, 1996), com leituras complementares aos métodos de ensaio ME 258 (DNER, 1994a) e ME 256 (DNER, 1994b).

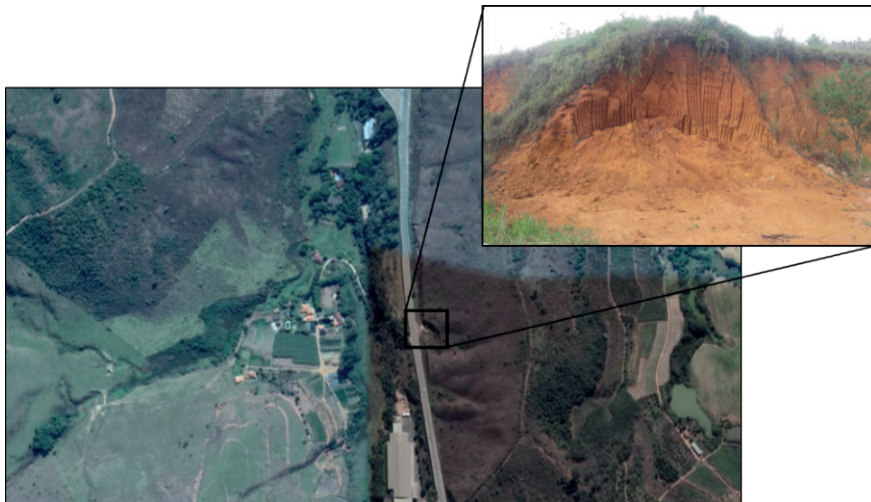


Figura 2 - Localização do talude selecionado para a coleta de amostras do solo BR

Fonte: Google Earth, 2020

Geossintéticos

Para a avaliação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento das interfaces solos-geossintéticos foram utilizados dois geotêxteis tecidos biaxiais constituídos de laminetes de polipropileno (Figura 3), sendo referenciados neste estudo por meio das siglas T55 e T25, e um geotêxtil não tecido agulhado (Figura 3c) de poliéster, representado pela sigla NT10. As principais propriedades desses materiais são apresentadas na Tabela 1.



(a) Geotêxtil tecido (T55)

(b) Geotêxtil tecido (T25)

(c) Geotêxtil não tecido agulhado (NT10)

Figura 3 - Geotêxteis empregados na pesquisa (aumento 10x)

Fonte: A autora.

Propriedades		T55	T25	NT10
Espessura nominal (e), mm*				
0,93			0,66	1,99
Massa por unidade de área, g/m ² *		244	117	210
Resistência à tração nominal, kN/m**	D. longitudinal	55	25	10
	D. transversal	55	25	9
Deformação na resistência nominal, %**	D. longitudinal	≤ 15	≤ 15	> 50
	D. transversal	≤ 15	≤ 15	> 50
Abertura aparente dos poros, O ₉₀ , mm**		0,20	0,25	0,13

* Ensaios realizados no Laboratório de Geossintéticos da Escola de Engenharia de São Carlos/ EESC-USP;

**Dados fornecidos pelos fabricantes.

Tabela 1. Propriedades dos geotêxteis empregados na pesquisa

Fonte: A autora.

Ensaio de cisalhamento direto de interface

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em um equipamento com capacidade de 500kgf e sensibilidade de 0,001mm. Todo o procedimento de ensaio para os solos puros (sem geotêxteis) e das interfaces solos-geotêxteis foi conduzido de acordo com a norma D3080 (ASTM, 2011b).

Com o intuito de obter as amostras a serem ensaiadas, os solos foram compactados nas energias correspondentes ao Proctor Normal e Modificado (ABNT, 2016) no cilindro grande (molde CBR), com teores de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo determinados no ensaio de compactação. Subsequentemente, os corpos de prova (CPs) foram moldados em um anel de 100 mm x 100 mm x 20 mm, a partir dos cilindros compactados, como ilustra a Figura 4.

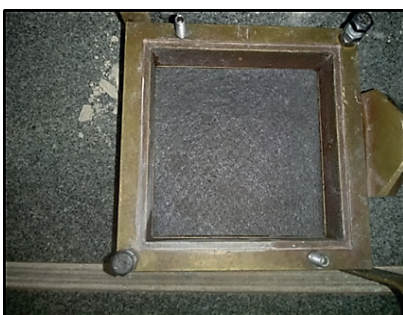


Figura 4 - Moldagem do corpo de prova para o ensaio de cisalhamento direto.

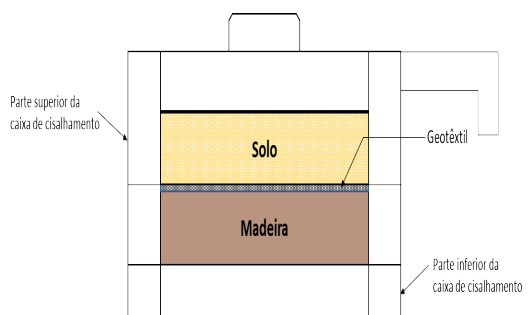
Fonte: A autora

Para os solos puros (sem geotêxteis), a montagem da caixa de cisalhamento e a execução do ensaio seguiram os procedimentos padrões. Na análise do cisalhamento de interfaces, o material geossintético foi cortado aproximadamente nas dimensões da caixa de cisalhamento e instalado sobre um bloco de madeira. Nas laterais da face do bloco, espalhou-se uma resina acrílica à base de cianoacrilato, de secagem rápida, cuidando-se para que o geotêxtil fosse fixado apenas nas extremidades, com intuito de minimizar quaisquer efeitos do adesivo na resistência ao cisalhamento do sistema e seguindo as recomendações do trabalho de Tupa (1994).

Na sequência, inseriu-se o conjunto (bloco + geotêxtil) na metade inferior da caixa do aparato, de modo que o geotêxtil ficasse no limite do plano de cisalhamento (Figura 5a). Após a colocação do conjunto, a parte superior do equipamento foi preenchida com o CP de solo compactado (Figura 5b).



(a)



(b)

Figura 5 - Preparação das interfaces de solos e geotêxteis empregados na pesquisa: (a) inserção do bloco de madeira com o geotêxtil fixado; (b) esquema ilustrativo da montagem da caixa de cisalhamento direto.

Fonte: A autora.

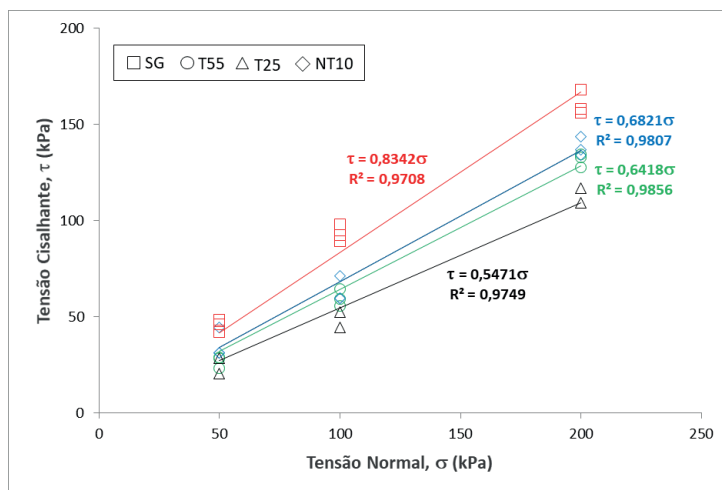
Os procedimentos foram realizados em condições drenadas, com consolidação no período mínimo de 30 minutos, dependendo da tensão normal aplicada e dos tempos necessários à estabilização dos deslocamentos verticais. As tensões normais utilizadas foram de 50, 100 e 200kPa, sendo realizadas no mínimo duas repetições de ensaio para cada uma delas. O deslocamento horizontal máximo medido foi de 19mm (deslocamento máximo do equipamento). Antes do início do carregamento, o sistema foi inundado com tempos de duração distintos para cada tipo de solo, a fim de se garantir que os valores de adesão e ângulo de atrito fossem tomados em termos de tensões efetivas. A velocidade de cisalhamento foi de 0,75mm/min.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

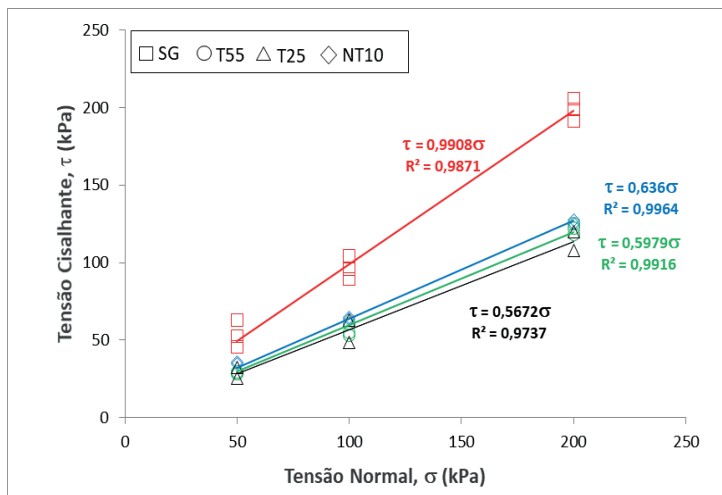
Parâmetros de resistência das interfaces solos-geotêxteis

Na Figura 6 são apresentadas as respectivas envoltórias de ruptura correspondentes ao solo VS e às interfaces entre o solo VS e os geotêxteis não tecido (NT10) e tecidos (T55 e T25), para as energias do Proctor Normal e Modificado empregadas na compactação do solo.

A Tabela 2 apresenta os respectivos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo VS [coesão (c), ângulo de atrito (f)] e das interfaces solo VS-geotêxtil [adesão (a), ângulo de atrito (d)].



(a)



(b)

Figura 6 - Envoltórias de ruptura das interfaces solo BR-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.

Energia normal					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R ²
Solo VS	40	-	0	-	0,9708
Solo VS x T55	-	33	-	0	0,9856
Solo VS x T25	-	29	-	0	0,9749
Solo VS x NT10	-	34	-	0	0,9807
Energia Modificada					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R ²
Solo VS	45	-	0	-	0,9871
Solo VS x T55	-	31	-	0	0,9916
Solo VS x T25	-	30	-	0	0,9737
Solo VS x NT10	-	32	-	0	0,9964

Tabela 2. Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo VS e interfaces solo VS-geotêxteis: energia do Proctor Normal e Modificado.

Fonte: A autora.

Observa-se que os ângulos de atrito do Solo VS (energias Normal e Modificada) foram maiores que os ângulos de atrito das interfaces Solo VS-geotêxteis, sendo que os melhores resultados foram obtidos para as interfaces compostas pelo geotêxtil não tecido (NT10), quando comparadas às demais.

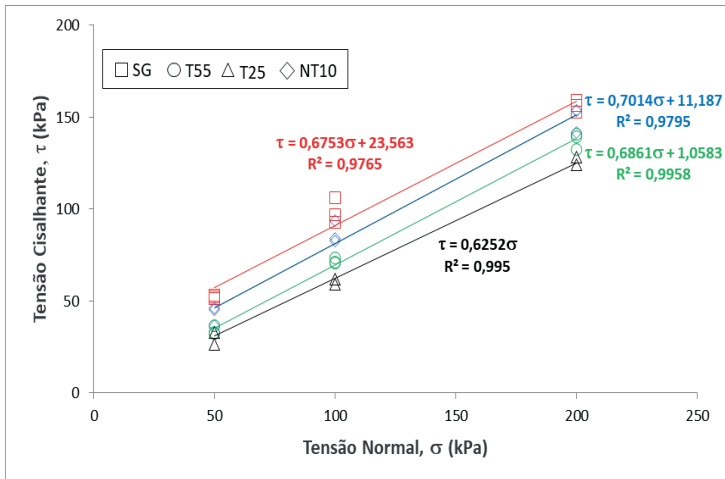
Palmeira (1987) e Tupa (1994), com base em uma extensa coletânea de dados de diversas pesquisas na área, destacaram que, em grande parte dos casos em que se têm sistemas do tipo solos arenosos-geotêxteis tecidos/não tecidos, os resultados dos ângulos de atrito de interfaces apontam para as relações $0,75\phi < \delta < \phi$ (PALMEIRA, 1987) e $\delta \geq 0,8\phi$ (TUPA, 1994). Nota-se então que, com exceção da interface Solo VS - T25, todas as amostras compactadas na energia Normal seguiram estas relações, ao passo que, nas interfaces cujas amostras do solo foram compactadas na energia Modificada, o mesmo não ocorreu.

Na Figura 7 são apresentadas as respectivas envoltórias de ruptura correspondentes ao solo BR e às interfaces entre o solo BR e os geotêxteis não tecido (NT10) e tecidos (T55 e T25), para as energias do Proctor Normal e Modificado empregadas na compactação do solo.

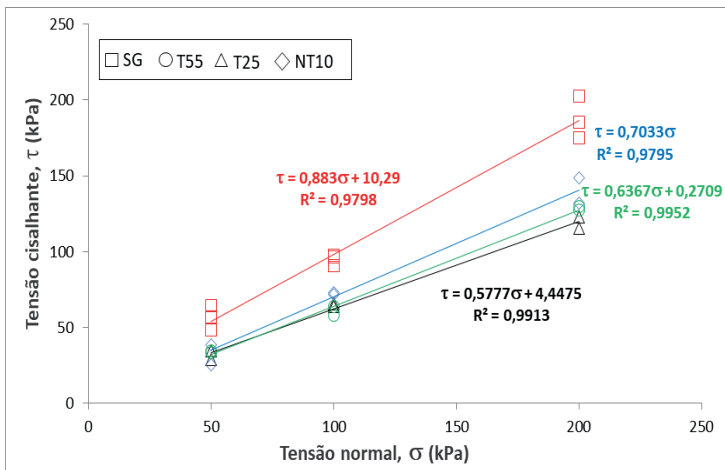
A Tabela 3 apresenta os respectivos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo BR [coesão (c), ângulo de atrito (f)] e das interfaces solo BR-geotêxtil [adesão (a), ângulo de atrito (d)].

Nas interfaces com o Solo BR, com as amostras compactadas na energia Normal, os ângulos de atrito foram ligeiramente maiores para as interfaces Solo BR-T55 e Solo BR-NT10, com uma certa adesão ao geotêxtil. As interfaces desse solo compactadas na energia Modificada exibiram ângulos de atrito menores que a do solo puro e reduzidos valores de adesão, sendo a interface com a inclusão do geotêxtil não tecido (NT10) aquela que apresentou os melhores resultados em relação às demais interfaces

Para os sistemas constituídos de solos coesivos, tal como o solo BR, e geotêxteis tecidos/não tecidos, a literatura descreve que, para as interfaces ensaiadas sob condições drenadas, na maioria dos casos, os ângulos de atrito das interfaces seguem a relação $\delta \geq 2/3\phi$ (TUPA, 1994). Sendo assim, todos os ângulos de atrito das interfaces nas amostras do solo BR, compactadas nas energias do Proctor Normal e Modificado, e os geotêxteis empregados neste estudo se apresentaram coerentes com esta relação.



(a)



(b)

Figura 7 -Envoltórias de ruptura das interfaces solo BR-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.

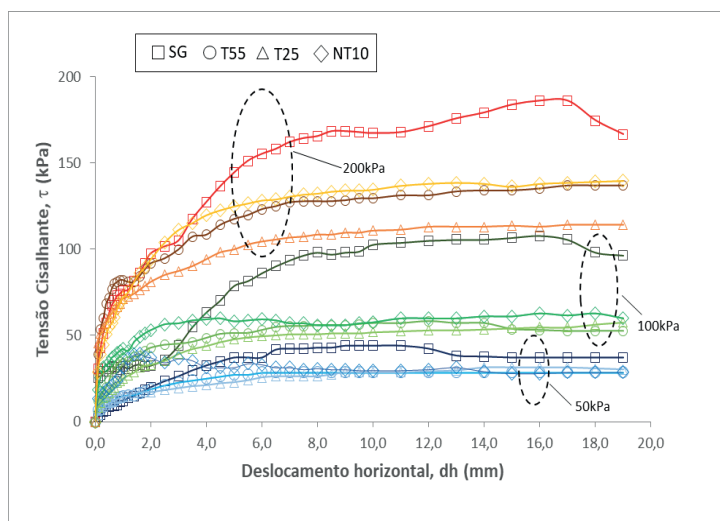
Energia normal					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R ²
Solo BR	34	-	24	-	0,9765
Solo BR x T55	-	34	-	1,06	0,9958
Solo BR x T25	-	32	-	0	0,995
Solo BR x NT10	-	35	-	11,19	0,9795
Energia Modificada					
Interfaces	ϕ (°)	δ (°)	c (kPa)	a (kPa)	R ²
Solo BR	41	-	10,29	-	0,9798
Solo BR x T55	-	32	-	0,27	0,9952
Solo BR x T25	-	30	-	4,45	0,9913
Solo BR x NT10	-	35	-	0	0,9795

Tabela 3 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo BR e interfaces solo BR-geotêxteis: energia do Proctor Normal e Modificado.

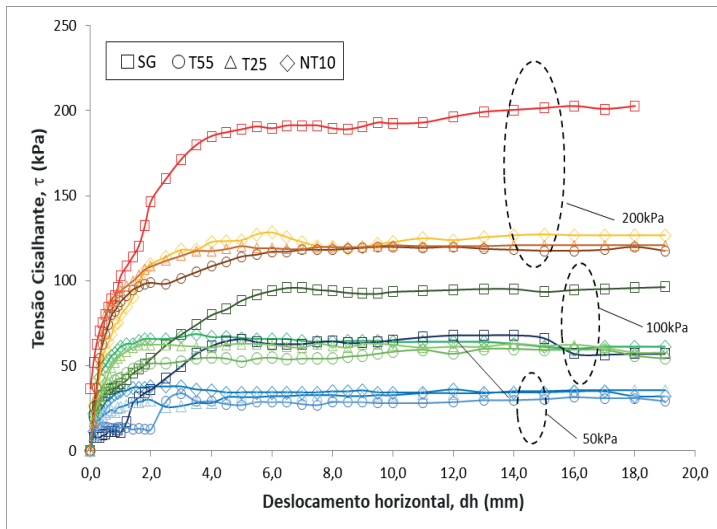
Fonte: A autora.

Curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal

Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas, para fins ilustrativos, curvas representativas da relação tensão cisalhante (t) *versus* deslocamento horizontal (dh) derivadas de um ensaio completo de cisalhamento direto de interfaces solos-geotêxteis para cada tipo de solo e energia de compactação aplicada.

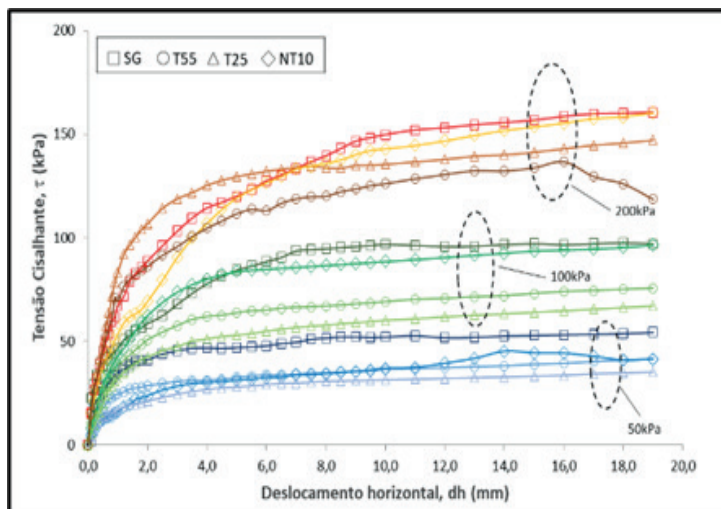


(a)

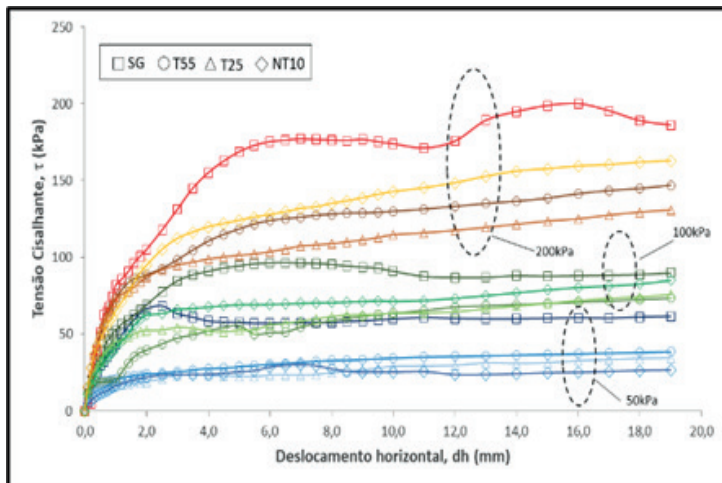


(b) Figura 8 - Curvas tensão cisalhante versus deslocamento horizontal das interfaces Solo VS-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.



(a)



(b)

Figura 9 - Curvas tensão cisalhante *versus* deslocamento horizontal das interfaces Solo BR-geotêxteis: (a) energia normal; (b) energia modificada.

Fonte: A autora.

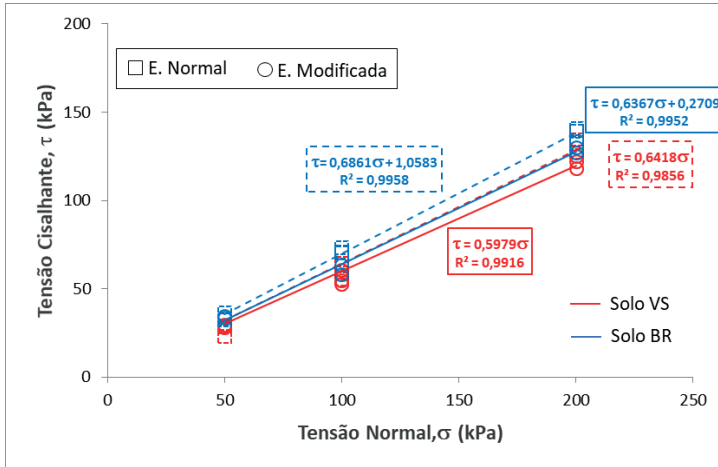
As curvas tensão cisalhante-deslocamento horizontal ilustradas mostram que ocorre uma mudança sensível da rigidez dos solos com as inclusões geossintéticas, conferindo aos mesmos a característica de maior ductilidade. Observa-se também nessas curvas que as interfaces solos-geotêxtil não tecido (NT10) apresentaram tensões cisalhantes máximas e deslocamentos horizontais de ruptura superiores às interfaces solos-geotêxteis tecidos (T55 e T25). Nota-se que, independentemente do tipo de solo empregado e das energias de compactação aplicadas nas amostras do solo, os sistemas com a inclusão não tecida apresentaram uma tendência a deslocamentos horizontais de ruptura similares ou superiores aos dos solos e das interfaces solos-geotêxteis tecidos.

Identifica-se também que, em alguns casos, quanto maior a tensão normal do ensaio, maior é o deslocamento horizontal para a tensão de cisalhamento máxima das interfaces solos-reforços, sendo, contudo, sempre maiores nas interfaces com geotêxtil não tecido. A partir desses resultados, entende-se que a magnitude dos deslocamentos horizontais de ruptura apresenta uma relação direta com a tensão normal aplicada e com a rigidez à tração dos geotêxteis.

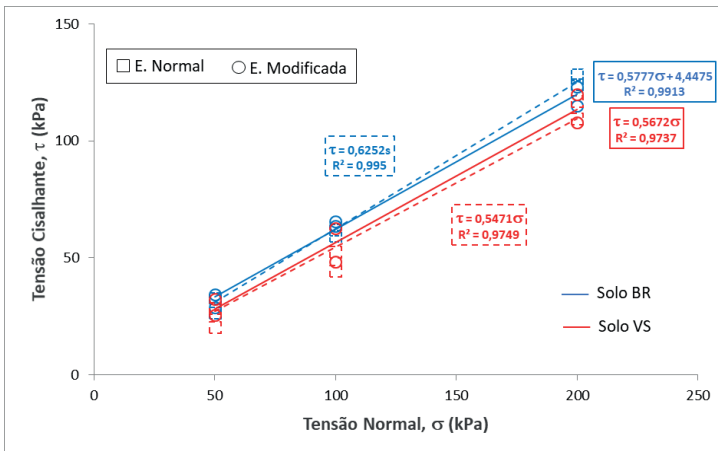
Na prática, a ação do confinamento tende a restringir a movimentação das fibras têxteis, evitando o alinhamento das mesmas na direção da aplicação do esforço, sendo que esta limitação é tanto maior quanto mais rígido é o elemento de reforço. De outra forma, a influência da rigidez do reforço se manifesta na magnitude dos deslocamentos horizontais de ruptura, de maneira que, quanto mais rígido é o reforço, menor é o deslocamento que ele precisa sofrer para atingir a tensão de cisalhamento máxima na interface (KABIR, 1984; ADIB et al., 1990; GOMES, 1993; ROWE; HO, 1996; JEWELL; WROTH, 1997; MSOUTI et al., 1997; LIMA JUNIOR, 2000).

Efeito do Tipo de Solo

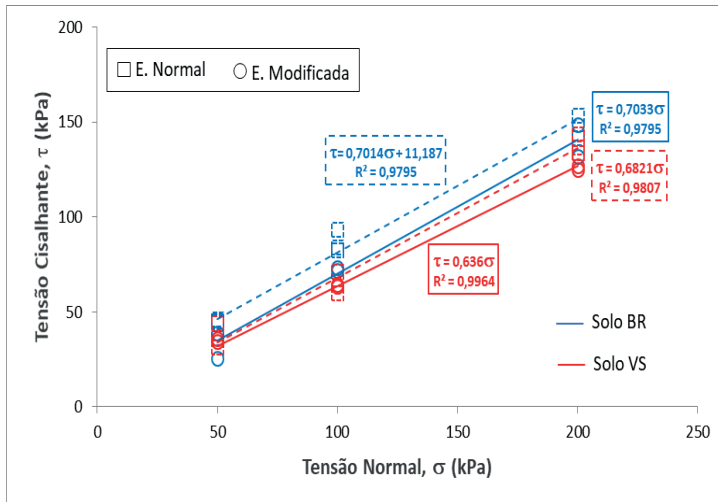
Com o objetivo de verificar, comparativamente, o comportamento mecânico dos solos investigados reforçados por cada um dos geossintéticos empregados nesta pesquisa, apresentam-se, na Figura 10, as respectivas envoltórias de ruptura das interfaces.



(a)



(b)



(c)

Figura 10 - Envolvórias de ruptura das interfaces solos – geotêxteis em função do tipo de solo: (a) interfaces solos – T55; (b) interfaces solos – T25; (c) interfaces solos – NT10.

Fonte: A autora.

Embora ocorra um consenso na literatura de que solos predominantemente arenosos, tal como o solo VS, conduzem a um acréscimo de resistência na interface (COSTA LOPES, 2000), os resultados mostrados não corroboram esta afirmação. De fato, os ângulos de atrito do solo VS puro foram maiores do que os do solo BR puro (Tabelas 3 a 5), no entanto, com a inclusão dos geotêxteis, as resistências ao cisalhamento de interface são ligeiramente menores para o solo VS comparativamente àquelas do solo BR.

Em comparação com as amostras não reforçadas, observa-se que houve uma redução de cerca de 28%, na energia Normal, e de 40%, na energia Modificada, nos ângulos de atrito das interfaces solo VS-T25, ao passo que, para a interface Solo VS-T55, esses decréscimos foram em torno de 18% e 31%, e, para a interface Solo VS-NT10, foram de aproximadamente 14% e 27%, nas respectivas energias de compactação. Logo, é possível inferir que a influência do tamanho das partículas do solo VS é tanto maior quanto mais lisas são as superfícies dos geotêxteis.

Nas interfaces compostas pelo solo BR, compactado na energia do Proctor Normal, tem-se a manutenção dos ângulos de atrito para as interfaces solo-geotêxteis e uma redução nos interceptos adesivos. Por outro lado, nas amostras compactadas na energia do Proctor Modificado, houve uma diminuição deste parâmetro em ordem crescente nas interfaces solo BR-NT10 (15%), solo BR – T55 (22%) e solo BR – T25 (28%), indicando, assim como nas interfaces com o solo VS, a maior sensibilidade dos geotêxteis tecidos à granulometria do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto desse trabalho, que se debruçou sobre a análise da interação entre solos compactados e geotêxteis utilizados como material de reforço, várias conclusões significativas emergiram, enriquecendo o entendimento acerca do comportamento de tais sistemas sob esforços de cisalhamento. Primeiramente, observou-se que os ângulos de atrito nas interfaces entre o solo e o geotêxtil tendem a ser inferiores aos ângulos de atrito dos solos puros compactados.

Além disso, a pesquisa demonstrou que a incorporação de geotêxteis nos sistemas de solo-reforço conduz a um aumento na ductilidade desses sistemas. Isso é evidenciado pelos maiores deslocamentos horizontais registrados no ponto de ruptura para as interfaces que combinam solo e geotêxteis, em comparação aos solos puros. Tal característica indica que os sistemas reforçados são capazes de suportar maiores deformações antes da falha, um atributo vantajoso para muitas aplicações de engenharia.

A análise também revelou que a eficácia do reforço geotêxtil está fortemente atrelada à sua rigidez à tração. Sistemas reforçados com materiais mais rígidos exigiram deslocamentos de interface menores para mobilizar as tensões de cisalhamento necessárias à ruptura. Esta consideração sublinha a importância da escolha cuidadosa do material de reforço, considerando as necessidades específicas de rigidez de cada projeto.

Por último, quando se comparam os efeitos da inclusão de geotêxteis em solos arenosos *versus* solos argilosos, observa-se que a resistência ao cisalhamento de interface nos solos arenosos se apresenta levemente reduzida em comparação com os solos argilosos. Esse resultado sugere que o tipo de solo desempenha um papel fundamental no desempenho do sistema reforçado, com suas propriedades físicas e mecânicas influenciando diretamente a interação com o material de reforço.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus Nova Venécia* pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ADIB, M.; MITCHELL, J.K.; CHRISTOPHER, B. (1990) Finite element modelling of reinforced soil walls and embankments. Design and Performance of Earth retaining structures. **Geotechnical Special Publication**, ASCE, v.25, p.409-423.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. (2008). **M 145 - 91**: Standard Specification for Classification of Soil sand Soil- Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. AASHTO, Washington, D.C., 9p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2011a). **D 2487 - 11**: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). West Conshohocken, PA, ASTM International, 11p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. (2011b). **D3080 / D3080M-11**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. West Conshohocken, PA, ASTM International, 7p.

ARIYARATHNE, P.; LIYANAPATHIRANA, D.S.; LEO, C.J. (2013). Effect of geosynthetic creep on reinforced pile-supported embankment systems. **Geosynthetics International**. v.20. n.6. London, England.

ASHA, M.N.; MADHAVI, L.G. (2010) Modified CBR Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Aggregate Systems. In: Indian Geotechnical Conference, Mumbai, Índia, 2010. **Proceedings...Mumbai: GEOrendz**, p.1-4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1995). **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016). **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT,10p.

AVELAR, M.G. (2020). **Abordagem experimental da interação solo tropical – reforço geossintético sob a perspectiva de aplicação em obras de terra**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

AZEVEDO, M.A.A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa – MG**. (1999). Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BENJAMIM, C.V.S.; BUENO, B.S.; ZORNBERG, J.G. (2007). Field monitoring evaluation of geotextilereinforced soli-retaining walls. **Geosynthetics International**, v.14. n.2. p.100-118.

BIWAS, A. KRISHNA, A.M.; DASH, S.K. (2013). Influence of subgrade strength on the performance of geocell-reinforced foundation systems. **Geosynthetics International**. v.20. n.6. London, England.

BUENO, B. S.; BENJAMIM, C.V. S.; ZORNBERG, J. G. (2005). Field Performance of a Full-Scale Retaining Wall Reinforced with Non-Woven Geotextiles. In: **ASCE Geofrontiers**.

COSTA LOPES, C. (2000). Estudo da interação solo geossintético através de ensaios de corte em plano inclinado. Dissertação de Mestrado, FEUP, 194p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1996). **CLA ME 259**: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura. Rio de Janeiro: DNER.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994a). **ME 258**: Solos – compactados com equipamentos miniatura-determinação da pedra de massa por imersão. Rio de Janeiro: DNER.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1994b). **ME 256**: Solos – compactados com equipamentos miniatura. Rio de Janeiro: DNER.

ELIAS, V.; CHRISTOPHER, B.R.; BERG, R.R. (2001). **Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines**. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. n. FHWA-NHI-00- 043. 394p.

GOMES, R.C. (1993). **Interação Solo-Reforço e Mecanismo de Ruptura em Solos Reforçados com Geotêxteis**. 1993. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GRAY, D.H.; OHASHI, H. (1983). Mechanics of fibers reinforced in sand. **Journal of Geotechnical Engineering**, v. 109, n. 3, p. 335-353.

HAERI, S.H.; NOORZAD, R.; OSKOOROCHI, A.M. (2000). Effect of geotextile reinforced on the mechanical behavior of sand. **Geotextiles and Geomembranes**.v.18. p.385-402.

HORNSEY, W.P.; CARLEY, J.T.; GOGHLAN, I.R.; COX, R.J. (2011). Geotextile sand container shoreline protection systems: Design and application. **Geotextiles and Geomembranes**, Elsevier, n.12.p.255-273.

HOSSEINPOUR, I.; ALMEIDA, M.S.S.; RICCIO, M. (2015). Full- scale load test and finite-element analysis of soft ground improved by geotextile-encased granular columns. **Geosynthetics International**. v.22. n.6. London, England.

HUANG, C.C. (2013). Vertical acceleration response of horizontally excited reinforced walls. **Geosynthetics International**. v.20. n.1. London, England.

JEWELL, R.A.; WHOTH, C.P. (1987). Direct shear tests on reinforced sand. **Geotechnique**. v.37. n. 1.p. 53-68.

KABIR, N. (1984). **In-isolation and in-soil behavior of geotextiles**. 1984.Tese (Doutorado), Université de Strathclyde.

KOERNER, R.M. (2012). **Designing with Geosynthetics**. 6. ed. Drexel: Xlibris, v. 1.

LIMA JUNIOR, N.R. (2000). **Estudo da interação entre solo e geossintético em obras de proteção ambiental com uso do equipamento de Plano Inclinado**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

MSOUTI, M.F.; BLIVET, J.C.; LEVACHER, D. (1997). **Comportement au flUAGE des géotextiles en renforcement mécanique**. Études et recherches des laboratoires des Ponts et Chaussées, GT n. 63.

PALMEIRA, E. M. (2009). Soil-geosynthetic interaction: modelling and analysis. **Geotextiles and Geomembranes**, Elsevier, v. 2.7 n.5, p.368- 390.

PALMEIRA, E.M. (1987). **The Study of Soil Reinforcement Interaction by Means of LargeScale Laboratory Test**. 1987. P.HD.(Thesis), University Oxford.

PORTELINHA, F.H.M.; BUENO, B.S.; ZORNBERG, J.G. (2013). Performace of nowoven geotextilereinforced walls under wetting conditions: laboratory and field investigations. **Geosynthetics International**. v.20. n.2. London, England.

- REIS, R.M. (2004). **Comportamento tensão deformação de dois horizontes de um solo residual gnaíse**. 2004. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil- EESC/USP. São Paulo, SP.
- REIS, R.M.; AZEVEDO, R. F. (1998). Características de deformabilidade e resistência de um solo residual de Gnaíse da Região Metropolitana da cidade de Viçosa. **Anais do XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e Engenharia Geotécnica**. Brasília, DF. v.1.p. 213 -220.
- REIS, R.M.; AZEVEDO, R. F. (1999). Anisotropy Study of residual soil based on cubical triaxial test results. **In. Pan American Conference**. Foz do Iguaçu.
- ROWE, R.K.; HO, S.K. (1996). Effect of wall geometry on the behavior of reinforced soil walls. **Geotextiles and Geomembranes**, Barking Essex, v.14, p.521-541.
- SANTOS, E.C.G.; PALMEIRA, E. M., BATHURT, R, J. (2014). Performance of two geosynthetic reinforced walls with recycled construction waste backfill and constructed on collapsible ground. **Geosynthetics International**. v.21. n.4. London, England.
- TATSUOKA, F.; YAMAUCHI, H.A. (1986). A reinforcing method for steep clay slopes using a nonwoven geotextile. **Geotextiles and Geomembranes**. v. 4. n. 3-4. p. 241 – 268.
- TUNA, S.C.; ALTUN, S. (2012). **Mechanical behaviour of sand-geotextile interface**. Scientica Iranica Transact. A; Civil Eng. v. 19. p. 1044 - 1051.
- TUPA, N. (1994). **Estudo da Aderência e Interação Solo- Geossintético**. 1994. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- VERTEMATTI, J.C. (2015). Aplicações em Reforço de Solos. In: _____. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2ª. Ed. São Paulo: Edgard Bluncher, cap. 4, p. 84 – 93.
- VIANA, H.N.L.; PALMEIRA, E. M. (2009). Influence of Geogrid Geometrical and Mechanical Properties on the Performance of Reinforced Veneers. **Soils & Rocks**, v. 32, p. 1-18.

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA FÍSICO-MECÂNICA DO PAPEL DE EMBALAGEM TRATADA COM ADITIVOS

Data de submissão: 19/04/2024

Data de aceite: 02/05/2024

Priscila Moreira da Silva

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Viçosa/MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6539340833785033>

Ana Márcia Macêdo Ladeira Carvalho

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Viçosa/MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6017392658993288>

Iara Fontes Demuner

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Viçosa/MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2289377556669234>

Maria Tereza Angeletti Nunes

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Viçosa/MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4778161222291545>

Mathias Teixeira Marçal

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Viçosa/MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3719871937365225>

Lorhan Lima Leal

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Viçosa/MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4926459922928324>

Amanda Ladeira Carvalho

Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Viçosa/MG, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7125848865604165>

RESUMO: A procura por novas tecnologias que maximizem as propriedades de resistência do papel, observando a posição limitante da viabilidade econômica do processo, tem se tornado cada vez mais recorrente. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da aplicação dos biopolímeros tanino catiônico e aniônico, celulose microfibrilada e carboximetilcelulose, com finalidade de incrementar as propriedades físico-mecânicas na polpa celulósica para produção de embalagem *kraftliner*. As incorporações dos aditivos na polpa foram realizadas com três níveis de dosagem sendo: que foram comparados com a testemunha. Foram realizados os testes de resistência ao esmagamento do anel (RCT) e compressão do papelão ondulado (CMT). Os resultados foram positivos em relação ao controle, havendo incremento nos valores obtidos para cada parâmetro avaliado, comprovando que houve adesão do biopolímero à matriz da fibra. A incorporação dos taninos foi melhor observada na propriedade de resistência ao esmagamento do anel. Diante do acréscimo observado na propriedade físico-mecânica da polpa avaliada com adição do biopolímero, conclui-se que há um grande potencial de utilização do tanino como aditivo para papéis de embalagem.

PALAVRAS-CHAVE: Biopolímeros, tanino, testes físico-mecânicos.

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL RESISTANCE OF PACKAGING PAPER TREATED WITH ADDITIVES

ABSTRACT: The search for new technologies that maximize the strength properties of the paper, observing the limiting position of the economic viability of the process, has become increasingly recurrent. The present work aims to evaluate the impact of the application of the biopolymers cationic and anionic tannin, microfibrillated cellulose and carboxymethyl cellulose, in order to increase the physical-mechanical properties of cellulosic pulp for the production of kraftliner packaging. The incorporations of the additives in the pulp were carried out with three levels of dosage being: which were compared with the control. Tests of resistance to ring crushing (RCT) and compression of corrugated cardboard (CMT) were performed. The results were positive in relation to the control, with an increase in the values obtained for each parameter evaluated, proving that there was adhesion of the biopolymer to the fiber matrix. The incorporation of tannins was better observed in the property of resistance to ring crushing. In view of the increase observed in the physical-mechanical property of the pulp evaluated with the addition of the biopolymer, it is concluded that there is a great potential for the use of tannin as an additive for packaging papers.

KEYWORDS: Biopolymers, tannin, physical-mechanical tests.

INTRODUÇÃO

Entre os processos químicos, o mais empregado na produção de polpa celulósica é a polpação kraft que visa a remoção da lignina e a individualização das fibras (Demuner, 2017), sendo a polpa celulósica amplamente utilizada para produção de diversos papéis, como embalagens (*sackraft e kraftliner*), *tissue* e impressão e escrita. Impulsionado pelo comércio online durante a pandemia do COVID-19 e pelo consumo de alimentos, a produção de embalagens cresceu 0,5% no ano de 2020 (Abre, 2022). Sendo assim as indústrias do setor de embalagens tem investido em pesquisas para melhoria das propriedades físico-mecânicas desse tipo de papel.

Uma alternativa bastante atrativa é aplicação de aditivos para melhorias nas propriedades físico-mecânicas do papel produzido. Os aditivos mais usuais encontrados em literatura são as nanoceluloses (CNF/CMF) que possuem boas propriedades mecânicas e ópticas (Damásio, 2015) e a carboximetilcelulose (CMC) que age como agente de ligação e eleva as propriedades físicas do papel (Strand *et al.*, 2017). Em relação a utilização do tanino como aditivo, poucos estudos foram realizados. No entanto, ele é considerado um produto inovador, renovável, sustentável, menor custo quando comparado com os usuais e com bom potencial de utilização como aditivos em polpas de celulose (Missio *et al.*, 2018). Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da aplicação de diferentes aditivos a fim de maximizar as propriedades de resistência do papel de embalagem kraftliner.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

A amostra de polpa marrom (Capa) foi fornecida por uma empresa do setor de embalagens de papel. Foram utilizados quatro aditivos comercializados: a celulose microfibrilada (CMF), carboximetilcelulose (CMC), tanino catiônico (TC) e tanino aniônico (TA). Para os biopolímeros de caráter aniônico (TA, CMF e CMC) foram também adicionados agentes de retenção (coagulante).

Métodos

Aditivação dos biopolímeros e agitação

Antes da incorporação a polpa foi hidratada por 24 horas por meio de três níveis de dosagem: 0, 3, 6 e 9 Kg/ton. Para a CMF e CMC foram adicionado também uma carga de coagulante catiônico (1 Kg/tas) polydadmec para melhor otimização do processo. Para o tanino aniônico foi adicionado o hexametilenotetramina com a mesma carga. Para todos os tratamentos a consistência de aplicação foi de 3,5% e o tempo de agitação foi de 5 minutos.

Formação de folhas

A confecção das folhas laboratoriais seguiu à metodologia estabelecida pela TAPPI 205 om-81 e foram produzidas 20 folhas com gramatura de 120g/m².

Análises físico-mecânicas

Os procedimentos analíticos para os testes físico-mecânicos foram: Resistência ao esmagamento do anel (RCT) (TAPPI 822 om-93), Resistência à compressão do papelão ondulado (CMT) (TAPPI 809 om-99).

Análise estatística

O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4 x 4 x 4 (4 polímeros, 4 concentrações e 4 repetições), utilizando do software R e o pacote ExpDes.pt. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%. Foram realizadas análises de regressão em função das concentrações testadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência ao esmagamento do anel (Ring Crush Test) – RCT

Os resultados de RCT encontrados estão apresentados na Tabela 1.

Tratamentos	Resistência ao esmagamento do anel (RCT)			
	Biopolímeros			
	Tanino catiônico	Tanino aniônico	CMF	CMC
0	1,11	1,11	1,11	1,11
3	1,49	1,20	1,00	1,40
6	1,01	1,10	1,21	1,40
9	1,21	1,20	1,20	1,70

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($p>0,05$).

Tabela 1: Efeito dos biopolímeros e dosagens na resistência ao esmagamento do anel

Houve diferença significativa para o RCT. O tratamento com 3Kg/t de biopolímeros elevou o RCT em 25,5% (tanino catiônico), 20,7% (CMC) e 7,5% (tanino aniônico). Na carga 6 Kg/t o incremento foi com o uso da CMC (1,4 KN/m) e com 9 Kg/t todos os quatro biopolímeros foram maiores que o controle. No trabalho de pesquisa realizado por Silva (2015), ao estudar diferentes aditivos, constatou que o máximo valor alcançado em RCT foi de 1,88 KN/m com uso de 5% de CMF em polpa não branqueada de pinus.

Resistência à compressão do papelão ondulado (Corrugated Medium Test) – CMT

Na Tabela 2 estão representados os valores encontrados para CMT.

Tratamentos	Resistência à compressão do papelão ondulado (CMT)			
	Biopolímeros			
	Tanino catiônico	Tanino aniônico	CMF	CMC
0	72,21	72,21	72,21	72,21
3	74,21	70,61	103,50	100,20
6	66,23	72,10	129,33	84,01
9	74,94	71,21	113,30	81,30

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($p>0,05$).

Tabela 2: Efeito dos biopolímeros e dosagens no índice de resistência à compressão do papelão ondulado (CMT)

De acordo com a análise estatística, os efeitos foram significativos. Nesta propriedade a CMF foi a que obteve maiores valores de CMT nas três dosagens aplicadas. O pouco incremento em propriedade apresentado com o uso dos taninos pode ser explicado pois a presença dele entre as fibras de celulose dificultou a condição ideal para ligações de hidrogênio intermoleculares [5]. Segundo [6], o aumento nesta propriedade pode ser relacionado com a melhor formação da rede de fibra, devido a presença de mais ligações interfibrilares causadas pela aplicação de estruturas menores.

CONCLUSÕES

De forma geral, foram encontrados incrementos nas propriedades físico-mecânicas do papel produzido com os biopolímeros em pelo menos uma das cargas aplicadas. Os taninos mostraram que tem potencial desenvolvimento para agregar em resistência e valor aos papéis de embalagens principalmente na propriedade de resistência ao esmagamento do anel.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Celulose e Papel, a SIF e a CAPES pelo financiamento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem – Apresentação 2020. Disponível em: <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2020-2/> Acesso: Agosto de 2022.

Damasio, R. **Caracterização E Aplicações De Celuloses Nanofibrilada (CNF) e Nanocristalina (CNC)**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 102p., 2015.

Demuner, I.F. **Produção e caracterização de lignocelulose nanofibrilada (LCNF) e celulose nanofibrilada (CNF) e aplicação de LCNF**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

Missio, A. L., Mattos, B. D., Ferreira, D. D. F., Magalhães, W. L., Bertuol, D. A., Gatto, D. A., ... & Tondi, G. **Nanocellulose-tannin films: From trees to sustainable active packaging**. Journal of Cleaner Production, v. 184, p. 143–151, maio 2018.

Silva, J. C. **Biorefinery of lignocellulosic materials: novel products, methods and applications of forest and agricultural feedstocks**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 96p., 2015.

Strand, A., Sundberg, A., Retulainen, E., Salminen, K., Oksanen, A., Kouko, J., ... & Rojas, O. **The effect of chemical additives on the strength, stiffness and elongation potential of paper**. Nordic Pulp & Paper Research Journal, v. 32, n. 3, p. 324– 335, 1 ago. 2017.

A IMPORTÂNCIA DA FORMAÇÃO DO CORREDOR ECOLÓGICO NO CAMINHO DE CORA CORALINA

Data de aceite: 02/05/2024

Celia Maria Machado Ambrozio

Engenheira agrônoma, mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural da Universidade de Brasília (UnB) e especialista em Gestão e Tecnologia Ambiental pelo Programa de Educação Continuada da Universidade de São Paulo (USP)
Brasília, DF

RESUMO: O artigo apresenta discussões sobre a temática da conservação ambiental, em escala regional, por meio da formação de corredores ecológicos entre áreas protegidas (preservação permanente e de reserva legal) em terras privadas e unidades de conservação ambiental no bioma Cerrado. A pesquisa utilizou como estudo de caso a política pública Programa Conecta – Rede Nacional de Trilhas de Longo Curso Caminho de Goyazes, no percurso Caminho de Cora Coralina. A metodologia da pesquisa, do tipo quali-quantitativa, envolveu técnicas de pesquisa exploratória em campo, revisão bibliográfica e elaboração de mapas, visando analisar a situação de uso e cobertura do solo e apontar estratégia de formação de

corredor ecológico entre o Parque Estadual dos Pirineus e o Parque Estadual do Jaraguá, em Goiás. Os resultados da pesquisa demonstram que a iniciativa de conectividade de paisagens no Caminho de Cora Coralina, interligando diversos atores sociais, paisagens e seus elementos naturais e culturais, por meio da união de esforços e de forma colaborativa, entre o estado e a sociedade civil, representa significativa estratégia de conservação ambiental visando à proteção dos recursos naturais do bioma Cerrado, além de ser importante ferramenta para promover a conscientização ambiental e a melhoria da qualidade de vida da população onde incide.

PALAVRAS-CHAVE: Caminho de Cora Coralina, Corredor Ecológico, Serviço Ecosistêmico de provisão.

ABSTRACT: The article presents discussions on the theme of environmental conservation, on a regional scale, through the analysis of condition for the formation of ecological corridors between protected areas (permanent preservation and legal reserve) in private lands, aiming to protect the ecosystem services of water production provided by the Cerrado biome. The research used as a case study the public policy

Programa Conecta – National Network of Long Course Trails Caminho de Cora Coralina. The research methodology, of the qualitative-quantitative type, involved exploratory field research techniques, bibliographic review and elaboration of maps, aiming to analyze the situation of use and land cover and to point out a strategy for the formation of an ecological corridor in the Environmental Protection Area of Serra dos Pirineus, in Goiás. The research results show that the landscape connectivity initiative on the Caminho de Cora Coralina, linking different social actors, landscapes and their natural and cultural elements, through joint efforts and in a collaborative way, between the state and civil society, represents a significant environmental conservation strategy aimed at protecting the natural resources of the Cerrado biome, in addition to being an important tool to promote environmental awareness and improve the quality of life of the population where it occurs.

KEYWORDS: Cora Coralina Path, Ecological Corridor, Ecosystem Service provision.

INTRODUÇÃO

Este artigo tem por objetivo apresentar discussões referentes à temática da conservação ambiental em escala regional, considerando a importância da formação de corredores ecológicos para a conexão de paisagens rurais, que interligam unidades de conservação ambiental e os fragmentos de remanescentes de vegetação nativa em áreas de preservação permanente e reserva legal em propriedades rurais, áreas protegidas em paisagens rurais definidas pelo Código Florestal Brasileiro. Os corredores ecológicos visam à proteção dos serviços ecossistêmicos prestado pelos biomas e seus ecossistemas, com ênfase aos serviços de provisão, que oferecem bens e produtos ambientais, como a água para abastecimento humano, alimentos e recursos medicinais, e os serviços de regulação, relativos à manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos voltados à conservação da biodiversidade e de seus processos ecológicos, regulação do clima, qualidade do ar, manutenção dos ciclos hidrológicos, minimização de enchentes e secas e controle dos processos erosivos.

O Programa Nacional de Conectividade de Paisagens (Conecta), coordenado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), foi criado, em 2017, pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), com o objetivo de promover a integração de políticas públicas que propiciem a conectividade entre as áreas naturais protegidas e os seus interstícios, visando reduzir os efeitos da mudança de clima sobre a biodiversidade, bem como assegurar a sustentabilidade dos processos produtivos relacionados às questões afetas a água, florestas, aspectos socioambientais, econômicos e culturais (BRASIL, 2018a).

O Programa Conecta foi instituído pela Portaria MMA nº 75, de 26 de março de 2018, que contempla os eixos temáticos de conservação ambiental, recuperação ambiental, gestão territorial e produção sustentável, portanto é um importante instrumento que vincula a temática ambiental à agenda do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2018a). No

mesmo ano, instituiu-se a Rede Nacional de Trilhas de Longo Percurso e Conectividade – Rede Trilhas I (RNTLC) (BRASIL, 2018b), por meio da Portaria Conjunta MMA/MTur/ICMBio nº 407, de 19 de outubro de 2018, com o objetivo de promover instrumentos de conservação da biodiversidade, de conectividade de paisagens e de sensibilização da sociedade sobre a importância da conexão de paisagens naturais e ecossistemas.

Para minimizar os impactos advindos da ocupação e da redução das áreas protegidas do bioma Cerrado no meio rural, devido às expressivas alterações de seus ecossistemas com a crescente pressão pela expansão da fronteira agrícola brasileira,¹ a RNTLC, inserida no Programa Conecta, pode ser considerada uma proposta inovadora e complementar de política pública de conservação ambiental no cenário atual de degradação dos ecossistemas brasileiros, por meio da construção de redes envolvendo proprietários rurais, empreendedores de turismo, voluntários e governo. O percurso selecionado para esta pesquisa refere-se ao trecho Caminho de Cora Coralina, na área de abrangência da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra dos Pireneus. Essa unidade de conservação (UC) ambiental apresenta, entre seus objetivos, a proteção da região serrana e do entorno do Parque Estadual dos Pireneus (PEP), dos remanescentes de Cerrado, dos recursos hídricos, bem como a melhoria da qualidade de vida das populações residentes (GOIÁS, 2021a).

O trajeto envolve a passagem por inúmeras propriedades rurais entremeadas por unidades de conservação que incidem na região do Leste Goiano, com nítida distinção e forte contraste na formação das paisagens e na conservação do bioma Cerrado ao longo do Caminho. Em torno de um terço do percurso encontra-se inserido em paisagens preservadas e entremeadas por pastagens no interior da APA da Serra dos Pireneus, e os dois terços restantes, entre os municípios de Jaraguá e de Goiás, em região de avanço da fronteira agrícola, onde predominam as áreas com produção agropecuária intensiva, características do agronegócio.

O artigo faz referência à política pública ambiental Cadastro Ambiental Rural (CAR), instituída pelo novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, voltada para a regularização ambiental em terras privadas, e a sua interface para a formação de corredor ecológico entre unidades de conservação de uso integral. Tem, como estudo de caso, a APA da Serra dos Pireneus, situada no estado de Goiás e na área de abrangência da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (Ride).

¹ O estudo das áreas de fronteira é importante para melhor compreensão de situações históricas, considerando que a dinâmica de ocupação do território brasileiro ocorreu pela abertura, pela ocupação e pela estabilização de sucessivas fronteiras. A esse respeito, ver Drummond (2007, p. 9).

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DA PESQUISA: O CAMINHO DE CORA CORALINA

O Caminho de Cora Coralina, com extensão de 302 km, passa por cidades históricas, municípios, povoados e unidades de conservação situadas na região do Leste Goiano, tendo seu percurso idealizado sobre a rota utilizada pelos bandeirantes em busca do ouro, bem como com base em diversas fontes documentais históricas de relatos de viagem realizadas no período colonial pelo Planalto Central (CAMINHO DE CORA CORALINA, 2019).

O trajeto RNTLC CCC consiste em 13 trechos de percurso e trilhas no meio rural, que conectam municípios e unidades de conservação, cruzando oito municípios, as cidades históricas de Corumbá de Goiás, Pirenópolis, São Francisco de Goiás, Jaraguá e Goiás, além dos municípios de Cocalzinho de Goiás, Itaguari e Itaberaí, bem como oito povoados, Caxambu, Radiolândia, Vila Aparecida, Alvelândia, Palestina, São Benedito, Calciolândia e Ferreiro, com passagem por inúmeras propriedades rurais, que permeiam unidades de conservação ambiental.

De acordo com a Portaria Conjunta MMA/MTur/ICMBio nº 500, de 15 de setembro de 2020, que alterou a Portaria Conjunta nº 407/2018, trilha consiste em

caminho estabelecido a ser percorrido pelos usuários a pé ou por outros meios não motorizados, cujas características a seguir devem permitir seu uso:

- a) a trilha deve ser parte integrante de uma rede de trilhas local, regional e/ou nacional e atender requisitos de planejamento, sinalização e manutenção; e
- b) a trilha deverá estar localizada em sua maior parte em ambiente natural, preferencialmente em caminhos pré-existent, e deve ter relevância para a conectividade de paisagens, recuperação de ecossistemas ou biomas degradados, recreação em contato com a natureza, ecoturismo ou turismo de aventura, por seu valor ambiental, social, cultural ou histórico. (BRASIL, 2020b).

Este artigo selecionou como objeto de estudo o território rural ao longo do Caminho de Cora Coralina, entre o trecho que margeia as cidades de Cocalzinho de Goiás, Corumbá de Goiás e Pirenópolis, na área de abrangência da APA da Serra do Pireneus, e o trecho que interliga as unidades de conservação estadual, Parque Estadual dos Pireneus, em Pirenópolis, e o Parque Estadual da Serra do Jaraguá, em Jaraguá, considerando a grande relevância ambiental, histórica e cultural dessas localidades, tanto em nível regional como nacional e internacional.

O percurso e as trilhas do Caminho de Cora Coralina permeiam importantes e relevantes unidades de conservação ambiental protegidas por lei para a preservação da biodiversidade do bioma Cerrado, entre elas, Parque Estadual dos Pireneus, (PEP), Monumento Natural Municipal Cidade de Pedras e 14 reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs) (Projeto Mosaico da Serra dos Pireneus), inseridas no município de

Pirenópolis, a APA da Serra dos Pireneus, o Parque Estadual da Serra de Jaraguá (PESJ), no município de Jaraguá, a APA da Serra Dourada e o Parque Municipal da Estrada Imperial situado no município de Goiás.

A APA da Serra dos Pireneus, com área de 22.880 hectares, é uma unidade de conservação ambiental estadual, criada pelo Decreto Estadual nº 5.174, de 17 de fevereiro de 2000, com o objetivo de proteger a região serrana e o entorno do Parque Estadual dos Pireneus, proteger os remanescentes de cerrado, proteger os recursos hídricos, melhorar a qualidade de vida das populações residentes por meio de orientação e disciplinamento das atividades econômicas locais, disciplinar o turismo ecológico e fomentar a educação ambiental e preservar as culturas e as tradições locais. (GOIÁS, 2000).

A área de abrangência da APA (figura 1) envolve a área do PEP, com 2.837 hectares, unidade criada pela Lei nº 10.321, de 20 de novembro de 1987, alterada pela Lei nº 13.121, de 16 de junho de 1997, “destina-se a preservar a flora, fauna e os mananciais ali existentes, protegendo sítios naturais de excepcional beleza e assegurando condições de bem-estar público” (GOIÁS, 1987, 2021b).

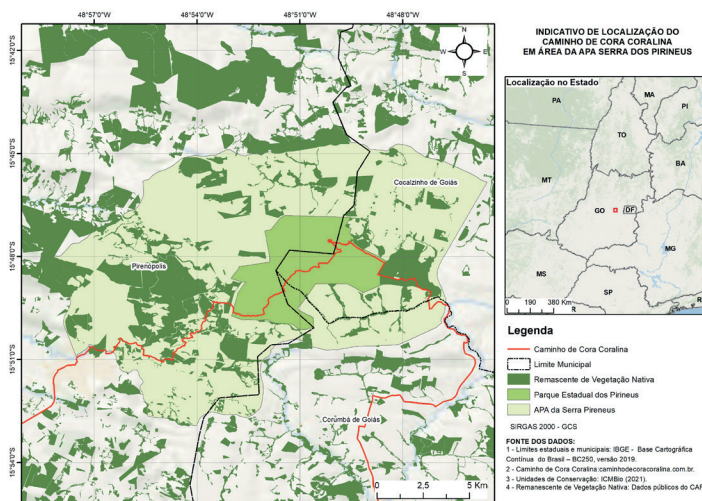


Figura 1 – Localização da APA Serra dos Pireneus e do Parque Estadual dos Pireneus

Na área de abrangência do PEP (figura 2), situa-se o pico dos Pireneus, com 1.380 metros de altitude, o segundo maciço mais alto do estado de Goiás, local do divisor de duas importantes bacias hidrográficas, a bacia Tocantins-Araguaia e a bacia do rio Paraná. Contém vários córregos que nascem do alto da serra dos Pireneus, formando o rio das Almas e o rio Corumbá, os quais apresentam grande importância ambiental por abastecerem as comunidades que residem na região (GOIÁS, 2021b).

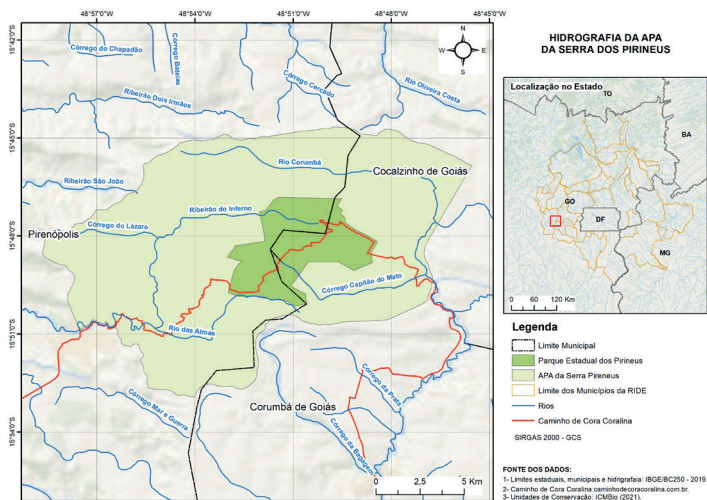


Figura 2 – Hidrografia da APA Serra dos Pireneus, situada na área de abrangência da Ride nos municípios de Pirenópolis, Corumbá de Goiás e Cocalzinho de Goiás.

Referente às iniciativas de ampliação das áreas protegidas no interior da APA da Serra dos Pireneus, o incentivo ao reconhecimento de RPPNs, por meio da lei de criação da APA, propiciou o lançamento do Projeto Mosaico de Proteção da Serra dos Pireneus, que permitiu a oficialização de 14 RPPNs, até o momento, por meio da parceria estabelecida entre o Instituto Cerrados, a Associação dos Proprietários e Moradores do Córrego Barriguda e o Projeto Reservas Privadas do Cerrado. A iniciativa visa promover a conservação dos recursos naturais por meio da criação, da expansão e da gestão eficaz das RPPNs no bioma Cerrado, no município de Pirenópolis (INSTITUTO CERRADOS, 2021).

Tambosi *et al.* (2015) ressaltam que, para atender o atual cenário de mudanças climáticas, altas oscilações temporais de pluviosidade e aumento na demanda por recursos hídricos, é fundamental aumentar o potencial das paisagens rurais e das florestas nativas situadas em propriedades rurais de prover recursos hídricos. Os autores também afirmam que, para reverter o quadro atual de degradação ambiental devido às mudanças no novo Código Florestal, que provocaram uma redução de 58% no passivo ambiental, sendo 22 milhões de hectares para adequação de reservas legais (RL) e oito milhões de hectares para adequação de áreas de preservação permanente (APP), “será necessário o estabelecimento de novas políticas públicas que valorizem o capital natural e incentivem a restauração de áreas degradadas” (Tambosi *et al.*, 2015).

Shiki *et al.* (2015) explicam que a degradação da biodiversidade e da capacidade de produção de água, serviços ecossistêmicos provenientes de áreas reflorestadas, continuam sendo deteriorados nas propriedades privadas, apesar de protegidas pelo Código Florestal, e que os instrumentos coercivos de comando e controle não têm sido eficientes para o cumprimento da função social e ambiental da propriedade privada.

ANÁLISE DO CORREDOR ECOLÓGICO PIRENEUS-JARAGUÁ

O levantamento de imagens georreferenciadas visando à elaboração de mapas para os sete trechos iniciais do percurso no Caminho de Cora Coralina, que totalizam a extensão de 165,30 km, em torno de 50 % do trajeto do caminho, em faixa de 100 metros situada entre o Parque Estadual dos Pireneus (PEP), na cidade de Corumbá de Goiás e o Parque Estadual da Serra do Jaraguá (PESJ), na cidade de Jaraguá, teve por objetivo analisar as condições para estimular a conservação ambiental e a formação de corredor ecológico entre áreas protegidas (APP, RL, RPPNs e UCs) inseridas no interior da APA Serra dos Pireneus e seu entorno.

A seguir, apresenta-se tabela resumo do uso e cobertura do solo sobre a faixa de 100 metros de largura que incide nos sete trechos iniciais do CCC, obtido a partir da elaboração dos Mapas de Uso e Cobertura do Solo – Caminho de Cora Coralina, com base nos dados da *Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil* do MapBiomas (2021).

Área municipal	Trecho 1 (%)	Trecho 2 (%)	Trecho 3 (%)	Trecho 4 (%)	Trecho 5 (%)	Trecho 6 (%)	Trecho 7 (%)
Campo alagado	0,9	3,5	0,7	0,3	0,2	-	-
Silvicultura	3	-	-	0,3	-	-	-
Mosaico de agricultura e pastagem	19,5	20,9	8,2	18,7	16,9	13,5	11
Outras lavouras temporárias	1,9	-	-	-	-	0,2	0,2
Soja	0,5	-	-	1,2	0,2	2	-
Pastagem	40,6	26,1	9,2	43,8	65,6	66,7	65,3
Formação savânica	15,5	14,9	38,4	6,6	2,4	0,3	9,9
Formação florestal	5,3	2,5	14,8	18,7	9,6	9,7	8,7
Formação campestre	7,5	31,4	20,7	-	-	-	-
Área urbanizada	2,1	-	7,4	9	0,8	5,5	4,4
Área não vegetada	5,3	0,5	0,6	1,2	4,3	2,1	0,3

Tabela 1 – Uso e cobertura do solo nos sete trechos iniciais do Caminho de Cora Coralina, com base nos dados da *Coleção 6 da Série Anual de Mapas de uso e Cobertura da Terra do Brasil* – MapBiomas (2021)

De acordo com Primack e Rodrigues (2001), a categoria de APA permite o uso tradicional não destrutivo do ambiente pela população local, com destaque para as áreas de relevância em função de suas características naturais e culturais, o que se aplica para a área em análise, que incide em parte na APA Serra do Pireneus. Apesar de protegida por lei, a APA Serra do Pireneus apresenta problemas ambientais decorrentes da fragmentação de remanescentes de vegetação natural em áreas protegidas (APP e RL), devido ao avanço

contínuo do uso e da ocupação do solo por pastagem e agricultura, ocasionando a perda de biodiversidade, o comprometimento das funções ecológicas e da capacidade de produção de água, entre outros serviços ecossistêmicos prestados pelo bioma Cerrado.

Os trechos analisados e situados fora dos limites da APA, desprovidos de legislação protetora para o disciplinamento do uso do solo, apresentam características diferenciadas quanto a cobertura do solo, com maior intensificação do uso por agricultura e pastagem. Portanto com maior incidência de problemas decorrentes da degradação ambiental, conforme apontam Terborgh e Schaik (2002): “as principais forças destrutivas da natureza são a caça ilegal, a exploração madeireira, a agricultura, o pastoreio, as rodovias, a mineração, os incêndios, entre outros fatores”.

Na análise dos dados apresentados tabela 1, é possível observar que nos trechos que incidem fora dos limites da APA, ocorre um crescimento acentuado na ocupação por pastagem. No trecho 1 (Corumbá de Goiás-Salto do Corumbá), apresentam-se 40,6 % de áreas com pastagens, atingindo o máximo de 66,7% no trecho 6 (Radiolândia-São Francisco de Goiás), e nos trechos 5 a 7 (Fazenda Caxambu-PESJ), pode-se observar alta ocupação por pastagem, acima de 65%, e, ao mesmo tempo, apresentam acentuada redução das formações savânicas e florestais do bioma Cerrado, abaixo de 10%. Observa-se ainda, a intensa redução das formações vegetais do bioma Cerrado (savânica, florestal e campestre) nas áreas com uso intensivo do solo por atividades agropecuárias, com exceção para a região situada no entorno da Serra de Caxambu, no trecho 4 (Pirenópolis-Fazenda Caxambu), a qual apresenta a maior incidência de formação florestal, com 18,7.

Os dados demonstram ainda uma redução significativa nas áreas ocupadas por pastagem no interior das unidades de conservação APA Serra dos Pireneus e PEP, com destaque para os trechos 2 (Salto do Corumbá-PEP) e para o trecho 3 (PEP-Pirenópolis), com percentuais variando entre 26,1 % no trecho 2 e 9,2 % no trecho 3. Portanto é possível identificar os benefícios advindos da criação de unidades de conservação no meio rural para a conservação ambiental, com presença de expressiva cobertura vegetal representada pelas diversas formações do bioma Cerrado no interior e entorno das áreas protegidas pelos parques, situadas em região serrana e nas proximidades das áreas de formação do Mosaico de Proteção da Serra dos Pireneus.

Os maiores índices de ocupação por formação savânica ocorrem no trecho 3 (PEP-Pirenópolis), com 38,4%, caracterizando a formação vegetal predominante nas regiões protegidas pelo parque e pelo Mosaico de Proteção da Serra dos Pireneus, formado por 14 RPPNs. Em seguida, estão os índices de ocupação pela formação campestre, com maior índice de ocupação no trecho 2 (Salto do Corumbá-PEP), com 31,4%.

CONCLUSÃO

As iniciativas desenvolvidas pela união de esforços e de recursos, de forma colaborativa em diversos níveis, nacional e local, a exemplo da RNTLC Caminho de Cora Coralina, interligando diversos atores sociais, paisagens e seus elementos naturais e culturais, representam uma importante estratégia de conservação ambiental e de formação de corredor ecológico entre unidades de conservação ambiental que incidem na APA da Serra dos Pirineus.

Os resultados da pesquisa demonstraram a importância de iniciativas de conservação da natureza para a proteção e a regeneração de áreas protegidas, devido à reduzida representação dessas áreas por intensa fragmentação, com grande ameaça à biodiversidade do ambiente natural, em especial, dos ecossistemas pertencentes ao bioma Cerrado, em função da crescente pressão pela expansão da fronteira agrícola brasileira.

Cabe destacar importante iniciativa da sociedade civil de formação do Mosaico de Proteção da Serra dos Pirineus, que totaliza a área de 88,62 hectares, integrados e conectados as áreas do PEP com 2.833,26 hectares, visando a conservação ambiental dos relevantes serviços ecossistêmicos prestados pelo bioma Cerrado, entre eles, a produção de água,

Os resultados confirmam ainda a importância da criação de unidade de conservação ambiental estaduais e privadas para a proteção dos remanescentes do bioma Cerrado, como parques, APAs e RPPNs, por favorecer a conservação da biodiversidade (flora e fauna), do solo e dos recursos hídricos que nela incidem. Considerando, ainda, os relevantes serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas conservadas e protegidas por lei no bioma Cerrado para assegurar a melhoria da qualidade de vida das populações que nela residem e para o desenvolvimento rural sustentável.

Assim, é essencial investir em mais esforços para a conexão de paisagens rurais por meio da formação de corredores ecológicos entre unidades de conservação no bioma Cerrado, por representarem excelente estratégia para a conservação e restauração ambiental em nível regional, em consonância com a preservação dos seus ecossistemas, de sua rica biodiversidade. Desse modo, favorecem-se os processos produtivos, a regulação do clima, a qualidade do ar, a manutenção dos ciclos hidrológicos, a minimização de enchentes e secas e o controle dos processos erosivos, o que contribui para o pleno desenvolvimento rural.

REFERÊNCIAS

AMBROZIO, Celia Maria Machado. Conservação do cerrado entre cultura e história no Caminho de Cora Coralina - Goiás. 2022. 222 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) — Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

BRASIL. (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Presidência da República, Brasília – DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 9 abr. 2021.

BRASIL. (2018a). Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional de Conectividade de Paisagens - Conecta – Portaria MMA nº 75, de 26 de março de 2018. MMA/SBio, Brasília– DF, 79 p. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/Programa%20Conecta.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

BRASIL. (2018b). Ministério do Meio Ambiente. Ministério do Turismo. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Portaria Conjunta nº 407, de 19 de outubro de 2018. Institui a Rede Nacional de Trilhas de Longo Percorso e Conectividade – Rede Trilhas e dá outras providências. MMA/MTur/ICMBio, Brasília – DF. Disponível em: http://www.in.gov.br/web/guest/materia/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/47099695/do1-2018-10-25-portaria-conjunta-n-407-de-19-de-outubro-de-2018-47099425. Acesso em: 10 abr. 2021.

BRASIL. (2020b). Ministério do Meio Ambiente. Ministério do Turismo. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Portaria Conjunta nº 500, de 15 de setembro de 2020. Define os critérios previstos no art. 3º da Portaria Conjunta nº 407, de 19 de outubro de 2018 [...]. MMA/MTur/ICMBio, Brasília – DF. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-conjunta-n-500-de-15-de-setembro-de-2020-277904739>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CAMINHO DE CORA CORALINA. (2019). O caminho. Caminho de Cora Coralina, [S. l.]. Disponível em: <https://caminhodecoracoralina.com.br/história>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CEPF; IEB; LAPIG-UFG. (2019). Plataforma de Conhecimento do Cerrado. CEPF, IEB, LapiG-UFG, Goiânia – GO. Disponível em: <https://cepf.lapig.iesa.ufg.br>. Acesso em: 10 nov. 2021.

DRUMMOND, J. A. (2007). “Áreas de fronteira, recursos naturais e dinâmicas sociais: breve reflexão conceitual e analítica”. *Maquinações* 1, pp. 6 – 9.

GOIÁS. (1987). Lei nº 10.321, de 20 de novembro de 1987. Dispõe sobre a criação do Parque Estadual dos Pireneus e dá outras providências. Governo do Estado de Goiás, Goiânia – GO. Disponível em: https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/85280/lei-10321. Acesso em: 9 abr. 2021.

GOIÁS. (2000). Decreto nº 5.174, de 17 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental dos Pireneus e dá outras providências. Governo do Estado de Goiás, Goiânia –GO. Disponível em: https://legisla.casacivil.go.gov.br/pesquisa_legislacao/61745/decreto-5174. Acesso em: 9 abr. 2021.

GOIÁS. (2021a). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Área de Proteção Ambiental dos Pireneus** (APA Pireneus). Semad, Goiânia – GO. Disponível em: <https://www.meioambiente.go.gov.br/aceso-a-informacao/118-meio-ambiente/unidades-de-conserva%C3%A7%C3%A3o/1099-area-de-protacao-ambiental-dos-pireneus-apa-pireneus.html>. Acesso em: 9 abr. 2021.

GOIÁS. (2021b). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parque Estadual da Serra dos Pirineus (PEP). Semad, Goiânia – GO. Disponível em: <https://www.meioambiente.go.gov.br/component/content/article/118-meio-ambiente/unidades-de-conserva%C3%A7%C3%A3o/1111-parque-estadual-dos-pirineus-pep.html?Itemid=101>. Acesso em: 9 abr. 2021.

INSTITUTO CERRADOS. (2021). Projeto Mosaico de Proteção da Serra dos Pirineus. Instituto Cerrados, Brasília – DF. Disponível em: <https://www.cerrados.org/reservas>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MAPBIOMAS. (2021). Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. MapBiomas, [S. l.]. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 26 jul. 2021.

PRIMACK, R.; RODRIGUES, E. (2001). *Biologia da conservação*. Planta, Londrina – PR, pp. 69 – 133.

SHIKI, S.; SHIKI, S. F. N.; ROSADO, P. L. (2015). “Políticas de pagamento por serviços ambientais no Brasil: avanços, limites e desafios”, in *Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil*. Org. por Grisa, C. e Schneider, S., Ed. UFRGS, Porto Alegre – RS, pp. 281 – 307.

TAMBOSI, Leandro Reverberi et al (2015). “Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal”. *Estudos Avançados* 29(84). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142015000200010>. Acesso em: 20 set. 2021.

TERBORGH, J.; SCHAIK, C. (2002). “Por que o mundo necessita de parques?”, in *Tornando os parques eficientes: estratégias para a conservação da natureza nos trópicos*. Org. por Terborgh, J. et al., Ed. da UFPR, Fundação O Boticário, Curitiba – PR, pp. 25 – 36.

AValiação SIMPLIFICADA POR MEIO DE RETROANÁLISE PARCIAL PARA BARRAGEM DE PEQUENO PORTE

Data de aceite: 02/05/2024

Fernando Alves Cantini Cardozo

INTRODUÇÃO

RESUMO: O presente trabalho visa a apresentar a avaliação simplificada e respectiva metodologia aplicada sobre uma barragem para irrigação de pequeno porte. Trata-se de uma das barragens do sistema de irrigação do Projeto de Assentamento Estadual Renascer, em Canguçu/RS. A estrutura em questão é representativa da problemática em torno das barragens de pequeno porte, onde intervenções devem ser realizadas, mas são limitadas devido à falta de recursos e conhecimento disponíveis. Assim, partindo de uma premissa de intervenção generalizada nos taludes de montante do barramento, este trabalho buscou redefinir as necessidades de intervenção na barragem, utilizando-se de avaliação simplificada de modelos geotécnicos, com parâmetros inferidos por bibliografia e retroanálise parcial.

PALAVRAS-CHAVE: Barragem; Avaliação Geotécnica; Avaliação Preliminar; Obras de Terra.

Barragens de terra incluem-se entre as principais obras de engenharia, tendo, entre outras, a função de reservação de água, fundamental para diversas atividades, entre elas a irrigação e a dessedentação animal. Dada sua importância, barragens de terra são numerosas em regiões de vocação agrícola e, principalmente, voltadas a culturas que requerem grandes volumes de água para irrigação, caso do Rio Grande do Sul. Espelho da realidade nacional, o estado gaúcho carece de diagnóstico quanto às barragens presentes em seu território, sobretudo as de terra e as de pequeno porte. Nelas, o estado de conservação, as necessidades de intervenção e a estabilidade dos barramentos são, em grande parte, desconhecidos. Devido ao histórico de rupturas e perdas associadas a barragens, a legislação brasileira intensificou a exigência de inspeções, cadastros e regularizações das barragens no território nacional. Exemplo disso são

as Resoluções ANM nº 13/2019, ANEEL 696/2015, ANA 742/2011 e CNRH 143/2012, que preconizam as inspeções regulares de segurança e classificações semiquantitativas para categoria de risco e estado de conservação. Ocorre que, na prática, existe grande variedade de barragens com diferentes geometrias, históricos construtivos e estado de conservação.

Observando a necessidade e a realidade de recursos, por vezes escassos para barragens de menor porte, este trabalho apresenta um exemplo de metodologia e uma sequência de trabalho adotados para a avaliação de estabilidade de uma barragem típica de irrigação, com estimativa simplificada de parâmetros por retroanálise, no intuito de subsidiar a tomada de decisão. Considerando a necessidade de avaliações expeditas compatíveis com os riscos e necessidades de intervenção e direcionamento de recursos, objetivou-se, neste trabalho, a avaliação dos taludes de montante da barragem em estudo, devido a esse ser o setor em debate quanto à necessidade prioritária de intervenção, dados os processos erosivos e movimentações de massa identificados visualmente e por topografia.

ESTUDO DE CASO

O objeto deste estudo é a avaliação da Barragem B2 (Figura 1), coordenadas 31°0'17.85"S 52°36'31.91"O (WGS84), pertencente ao conjunto de cinco barragens de reservação d'água do Projeto de Assentamento Estadual (PE) Renascer, pertencente ao Governo do Rio Grande do Sul. Motivam este trabalho a necessidade de o poder público estadual desenvolver avaliações sobre as barragens d'água de sua propriedade e o direcionamento de esforços para recuperação dela e de outras em igual estado de conservação.

A barragem localiza-se no Município de Canguçu, distante 280 km da capital Porto Alegre. Segundo Priebbernow (2019), embora o assentamento apresente relevante multiculturalidade, encontra-se intrinsecamente ligado à cultura do arroz, fortemente dependente da disponibilidade d'água.



Figura 1 - Localização e situação da Barragem B2 do Assentamento Renascer

A barragem está inserida em um contexto geomorfológico de relevo levemente ondulado e de solos mal drenados. Ocorre na região de rochas sedimentares da formação Rosário do Sul e formações graníticas (identificadas *in situ*), conforme Figura 2, que se relacionam à ocorrência de solos tipicamente arenosos e pouco coesos. Observa-se que o barramento B2 foi executado com material de empréstimo local, sendo classificado como solo residual arenoso (particularmente) pouco coeso, o que se observa, visualmente, em vários pontos pelo barramento a jusante e montante e por erosões profundas nas cercanias.

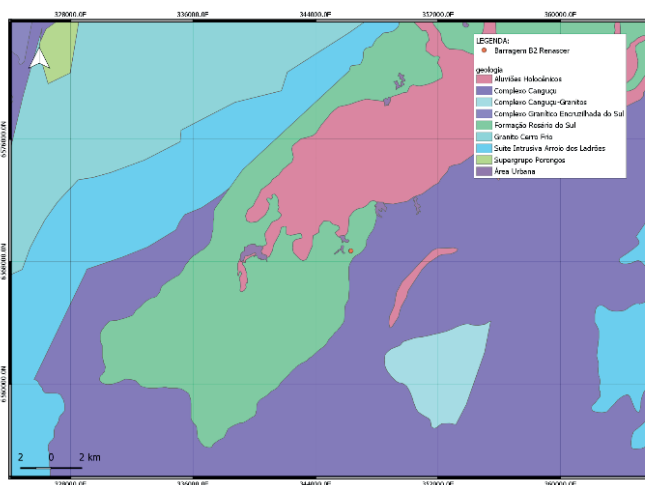


Figura 2 - Localização e situação da Barragem B2 do Assentamento Renascer

A Figura 3 apresenta solo de área de empréstimo, coordenadas 31°0'6.77"S 52°37'1.08"O (WGS84), lindeira à barragem, com solo residual de granito. Destaca-se que, embora se trate de solo residual, esse apresenta coesão baixa, observada, visualmente, na área de empréstimo e nas feições erodidas da barragem.



Figura 3 - Solo residual local

Embora o conjunto de barragens do PE Renascer (especificamente a Barragem B2) apresente barramentos de no máximo 7 metros de altura, inclinações inferiores a 45° e reservas inferiores a 1,2 milhões de m³ (conforme Sistema de Outorga de Rio Grande do Sul) e, conforme Decreto Estadual nº 52.931/2016, não necessite de Plano de Segurança e seja dispensado de Outorga, trata-se de um recurso importante à comunidade local, e seu adequado funcionamento representa segurança hídrica local e possibilidade de desenvolvimento para a comunidade assistida.

Como esforço para fomento e qualificação da população assentada no PE Renascer, a Divisão de Implantação e Qualificação de Assentamentos (DIQA) da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR) mobilizou recursos e quadro técnico para avaliação preliminar e definição das intervenções prioritárias na barragem em questão, com o objetivo de elaboração de Anteprojeto de Engenharia e posteriormente contratação de serviços de movimentação de terra e de recuperação de elementos da barragem. Nesse contexto, avaliou-se a real prioridade de intervenção nos taludes de montante do barramento, uma vez que eles foram, em um primeiro momento, elencados com base em inspeção visual, como alvos da intervenção.

METODOLOGIA

Considerando a necessidade de definição das intervenções a serem executadas e tendo como alvo a hipótese de reestruturação dos taludes de montante, utilizou-se o fluxo de ações expostas na Figura 4 para avaliação da premissa.

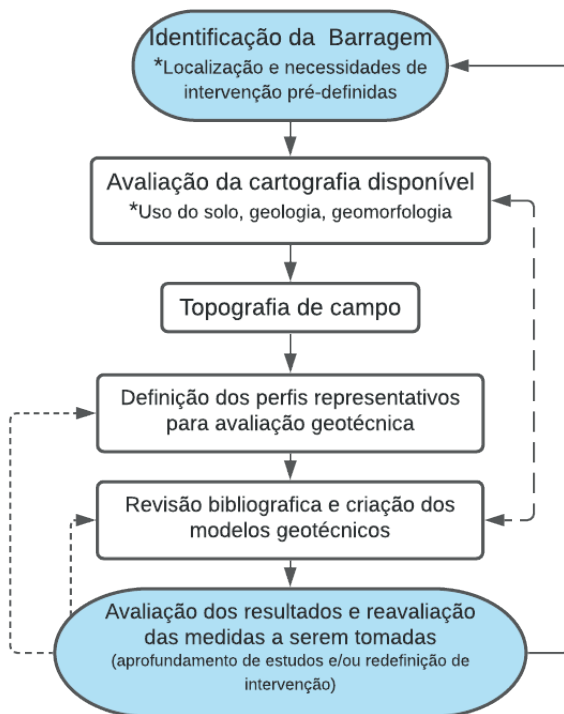


Figura 4 – Metodologia adotada para a avaliação preliminar da Barragem B2

Observando que a avaliação dos modelos geotécnicos tem caráter preliminar, comparativo e de respaldar a prioridade de intervenção, optou-se pela inferência de parâmetros geotécnicos conforme valores de referência para o material (considerando litologia única) e uma retroanálise por comparação dos perfis.

Referente à utilização de retroanálise para inferência de parâmetros geotécnicos, Meier e Tabalipa (2018) e Gomes (2003) apresentam exemplos de aplicações para taludes e comentam como a técnica é de valia para determinação de parâmetros, tornando-se mais interessante do que ensaios de campo ou laboratório, quando esses são em número limitado, como no caso em estudo. Conforme Gomes (2003), de posse de perfis em que são estimáveis as geometrias de ruptura e estimáveis as condições de saturação, variando-se valores de (ϕ') e (c') até o Fator de Segurança unitário $(F.S. = 1)$, é possível estimar o conjunto de (ϕ') e (c') que satisfaz razoavelmente a situação local.

Para determinação dos perfis internos da barragem, foi utilizada planialtimetria tradicional, executada com GPS Geodésico. A partir da planialtimetria, foram extraídos os perfis de maior representatividade para análise de estabilidade e avaliação da necessidade de intervenção nos taludes de montante. Referente aos perfis de jusante, eles foram fixados em 45°, considerando que o foco da presente avaliação são os taludes de montante, e o levantamento planialtimétrico não cobriu os taludes de jusante.

Considerados inicialmente valores típicos de parâmetros físicos para solos arenosos de (c') de 5 kPa como coesão aparente, (ϕ') de 27° e (γ) de 20 kN/m³, esses valores foram validados conforme comparação entre os Fatores de Segurança obtidos para os perfis da porção LESTE e de OESTE, sendo que os perfis 4 e 5 representam a geometria original (com maior inclinação), a qual, vide os perfis 1, 2 e 3 já solapados, estimava-se apresentarem baixo Fator de Segurança.

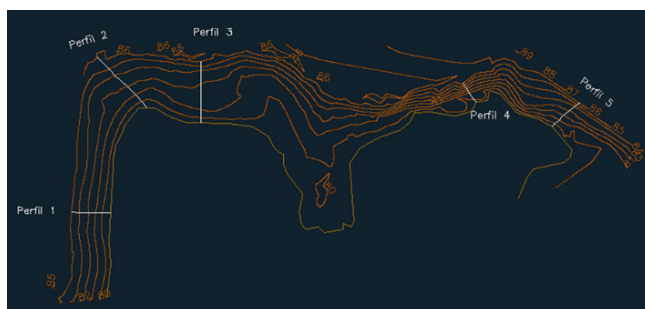


Figura 5 – Perfis de montante avaliados da Barragem B2

Para as análises, utilizou-se o software Slide 6 - versão de teste, estruturando modelos geotécnicos que evitassem efeitos de borda. Para a análise de estabilidade, definiu-se a subdivisão das superfícies de ruptura em 25 lamelas e busca automatizada para superfícies críticas. Para modelagem de linhas de fluxo (percolação d'água), utilizou-se o módulo de Elementos Finitos, discretizando o modelo em 1500 elementos triangulares. Como critério de ruptura, utilizou-se o critério de Mohr-Columb. Para as análises, optou-se por simplificação pelo modelo de Bishop Simplificado, uma vez que se objetiva a comparação dos perfis e a avaliação da necessidade de intervenção nos taludes e/ou aprofundamento de estudos

Foram consideradas duas situações de análise:

- I. Nível d'água (NA) baixo, correspondente à barragem esvaziada. O nível d'água fora marcado pela topografia e corresponde à linha d'água após abertura das comportas para alimentação dos canais de irrigação.
- II. Nível d'água (NA) alto, correspondente à barragem em nível máximo. O nível d'água corresponde à posição de 50 cm abaixo da crista, *hold up* observado, e correspondente aos níveis do sistema vertedor.

RESULTADOS

As Figuras 6 a 10 apresentam os resultados dos modelos geotécnicos dos perfis analisados. São apresentadas as distribuições de poropressões, a linha piezométrica (por Método dos Elementos Finitos), a superfície crítica de ruptura e o Fator de Segurança por Bishop Simplificado.

Os perfis 4 e 5, por apresentarem Fator de Segurança próximos do limite de estabilidade e, sobretudo, devido à posição da superfície crítica, permitem inferir que os valores adotados são adequados para a finalidade de comparação entre os perfis.

Perfil 1

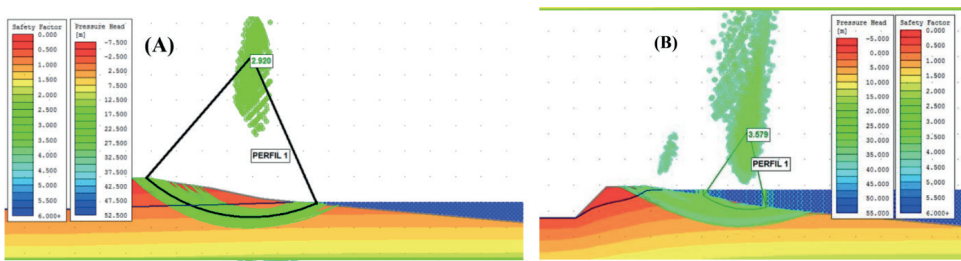


Figura 6 – Modelos geotécnicos do perfil 1, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 2

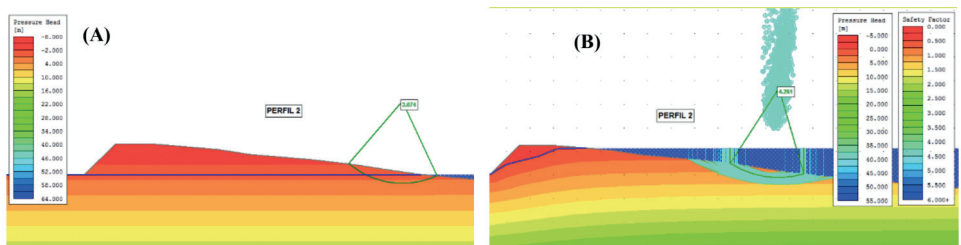


Figura 7 – Modelos geotécnicos do perfil 2, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 3

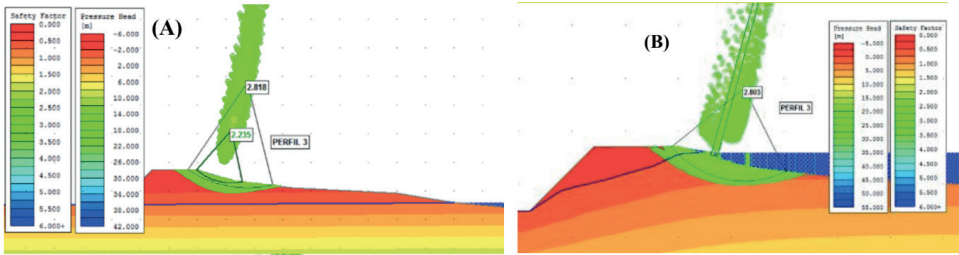


Figura 8 – Modelos geotécnicos do perfil 3, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 4

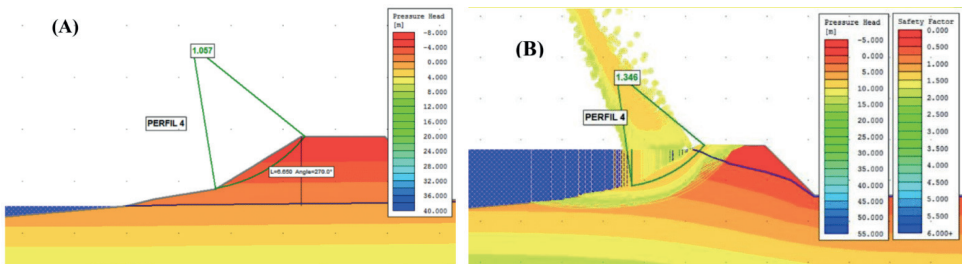


Figura 9 – Modelos geotécnicos do perfil 4, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Perfil 5

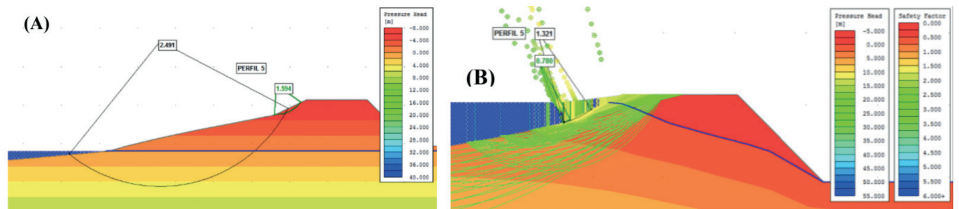


Figura 10 – Modelos geotécnicos do perfil 5, com superfície de ruptura crítica (linha verde) e respectivo Fator de Segurança – Método de Bishop Simplificado – (A) N.A. baixo e (B) N.A. alto

Na Tabela 1, são apresentados os Fatores de Segurança calculados para cada perfil nas duas situações avaliadas.

	Fator de Segurança		
	N. A. baixo	N.A. alto	%
Perfil 1	2,920	3,579	23%
Perfil 2	3,074	4,251	38%
Perfil 3	2,335	2,803	20%
Perfil 4	1,057	1,346	27%
Perfil 5	1,594	1,321	-17%

Tabela 1 – Resumo dos resultados para os 5 perfis avaliados

DISCUSSÃO

Considerando os resultados das análises de equilíbrio-limite, vê-se que os taludes de montante da Barragem Renascer B2 apresentam estabilidade justamente nas porções consideradas solapadas e com ocorrência de processos erosivos, bem como apresentam maiores Fatores de Segurança na configuração cheia. Quando na configuração de barragem cheia - nível d'água a 50 cm da crista do barramento -, tem-se a percolação d'água no maciço e conseqüente fluxo em direção à jusante e geração de gradiente hidráulico e respectiva força resistiva para os taludes de montante. Essas inferências, baseadas na interpretação da situação de campo e dos modelos geotécnicos, é contraditória à intenção original de reconstituição total do perfil original dos taludes de montante das porções erodidas e solapadas. Entretanto, as hipóteses de rebaixamento rápido do reservatório e conseqüente reversão do fluxo d'água representam situação de risco aparente, sobretudo aos taludes de maior inclinação.

CONCLUSÕES

Os resultados dos modelos geotécnicos dos perfis de montante avaliados são conclusivos quanto à estabilidade e ao baixo risco, associados aos perfis de montante da porção OESTE. Embora seja intuitivo que perfis de maior abatimento apresentem maiores Fatores de Segurança, se observados os indicativos de inspeção qualitativa (observação de feições e indicativos de erosão e solapamento), deveriam ser esses os perfis alvos de intervenção e reconfiguração aos perfis originais, que apresentam menores Fatores de Segurança. Esse fato levou à intenção original de reconfiguração total dos taludes de montante, contestada pela avaliação feita.

Referente à metodologia utilizada, embora não seja prática difundida, o cálculo de fatores de segurança utilizando parâmetros geotécnicos inferidos mostrou-se de grande valia para o direcionamento de esforços e recursos, a exemplo do caso em questão, o qual corroborou para o direcionamento dos recursos (limitados) para o melhoramento de outras estruturas da Barragem B2: sistema vertedor, sistema de comporta e pontos locais do talude de montante e à jusante, em vez de investimento apenas nos taludes de montante.

Embora as práticas de engenharia de barragens e geotecnia sempre recomendem (de forma correta) ensaios de campo e laboratório, e, sabendo que esses, quando bem utilizados, otimizam o custo de projetos e embasam decisões assertivas, em situações como a em questão, o uso de modelos geotécnicos com parâmetros inferidos (em primeiro momento) é de grande valia. Modelos geotécnicos conceituais, associados a inspeções de campo, podem direcionar esforços e otimizar o uso de recursos, podendo, inclusive, direcionarem para áreas de maior interesse a ensaios de campo e laboratório. Cabe observar que a legislação para estruturas desse porte não é taxativa quanto à avaliação geotécnica, sendo práticas comuns as inspeções visuais e as avaliações qualitativas, ainda normalmente realizadas por profissionais alheios às práticas de engenharia geotécnica. Vide o exemplo em estudo, no qual modelos simples corroboraram para a grande economia de recursos.

No caso da Barragem Renascer B2, a avaliação dos modelos e a inspeção de campo reposicionaram a prioridade de intervenção e o uso de recursos, passando a ser prioridade a intervenção no sistema vertedor e descarregador de fundo, assim melhorando o controle do nível d'água e impedindo eventuais esvaziamentos rápidos, devido ao estado de conservação do descarregador de fundo. Ao mesmo tempo, optou-se por locar recursos nas outras barragens do PE Renascer.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Divisão de Qualificação de Assentamentos da Secretaria Estadual de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Rio Grande do Sul.

REFERÊNCIAS

Gomes, C. L. R. (2003) *Retroanálise em Estabilidade de Taludes em Solo: Metodologia para Obtenção de Parâmetros de Resistência ao Cisalhamento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 146 p.

Meier, A. L., & Tabalipa, L. K. (2019). Avaliação de uma Metodologia de Retroanálise para Obtenção de Parâmetros Médios de Resistência dos Solos em Taludes. In: *Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia*. ABFE. São Paulo. SP.

Priebbernow, H. M. (2019). *Um olhar “poliocular” sobre a agricultura familiar camponesa: a multifuncionalidade da agricultura no Assentamento Renascer–Canguçu/RS*. Universidade Federal de Pelotas, Instituto de Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 203 p.

COMPARATIVO DE ESTAMPABILIDADE ENTRE UM AÇO MICROLIGADO E UM AÇO CARBONO-MANGANÊS

Data de aceite: 02/05/2024

Daniel Augusto Ferro

Engenheiro Mecânico pelo Instituto Mauá de Tecnologia, Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Engenheiro de Assistência Técnica e Desenvolvimento de Produto da Waelzholz Brasmetal

Fernando Generoso

Engenheiro Metalurgista pela Universidade Federal de Ouro Preto, Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense, Especialista de Desenvolvimento de Produtos da Arcelor Mittal Tubarão

RESUMO: Visando atender uma demanda de maior capacidade de conformação mantendo elevados níveis de resistência mecânica almeja-se, neste estudo, realizar um comparativo entre composição química, microestrutura, propriedades mecânicas e estampabilidade de um aço Carbono-Manganês e um aço de alta resistência e baixa liga (ARBL) com limite de escoamento mínimo de 350 MPa, uma vez que inúmeras peças fabricadas com essa classe de aço apresentam elevado repuxo inclusive com expansão de furo, como é o caso da peça

objeto deste estudo. Mediante ajustes de composição química e tratamento termomecânico para melhor estabilidade de propriedades mecânicas e espessura, foi possível obter boa conformabilidade do aço microligado, cujas propriedades mecânicas encontradas foram (limite de resistência 472 MPa, limite de escoamento 404 MPa, alongamento base 50 de 35% e expoente de encruamento n de 0,16) e microestrutura com tamanho de grão 5, inclusões não metálicas globulizadas tipo D nível 1 e série fina além de carbonetos esferoidizados uniformemente distribuídos na matriz ferrítica ao passo que o aço Carbono-Manganês com limite de resistência e escoamento similares apresentou resultados comparativamente piores em relação a conformabilidade (limite de resistência 508 MPa, limite de escoamento 398 MPa, alongamento base 50 de 32% e expoente de encruamento n de 0,12), microestrutura com tamanho de grão 9, inclusões não metálicas alongadas tipo C nível 1 série fina e fração de perlita lamelar que, morfológicamente, não é a microestrutura mais indicada para processos de conformação. Face ao exposto, o desenvolvimento do trabalho possibilitou elevar a conformabilidade

do aço facilitando a estampagem da peça estudada e sem a presença de trincas, mesmo em trechos de elevada conformação/expansão de furo conforme foi possível observar nas fotos comparativas das peças estampadas com o aço Carbono-Manganês e o Microligado projetado para melhor conformabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Aços Estruturais; Aços Carbono-Manganês; Aços Microligados (ARBL); Estampabilidade; Expansão de Furo.

ABSTRACT: Aiming to reach higher stampability and maintaining high levels of mechanical properties, the intention of this paper is to make a comparison of stampability between Carbon-Manganese (C-Mn) and High Strength Low Alloyed (HSLA) steels with yield strength above 350 MPa, since many parts manufactured with this steel grade normally have high deformation mainly on hole expansion areas, as it is the case of the part studied. Through the use of chemical composition adjustments and thermomechanical treatment for better stability of mechanical properties and thickness variation it was possible to reach good stampability of microalloyed steel (HSLA) whose mechanical properties achieved were (Strength limit of 472 MPa, Yield limit of 404 MPa, Elongation on 50mm basis of 35% and Hardening Exponent of 0,16) and microstructure with grain size 5, thin series and globalized non metallic inclusions level 1 type D plus spheroidized carbides randomly spread on a ferritic basis in comparison to the Carbon-Manganese steel with similar mechanical properties that presented worse stampability results (Strength limit of 508 MPa, Yield limit of 398 MPa, Elongation on 50mm basis of 32% and Hardening Exponent of 0,12), microstructure with grain size 9, thin series and elongated non metallic inclusions level 1 type C and fraction of lamellar pearlite which morphology is not recommended to be deformed during stamping process. Having said that, the development of this article increased the steel stampability where it was possible to manufacture parts without any cracks even in hole expansion areas as it could be seen in the comparative photos taken from the parts manufactured with Carbon-Manganese and High Strength Low Alloy steels.

KEYWORDS: Carbon-Manganese Steels; High Strength Low Alloy Steels (HSLA); Stampability; Hole Expansion.

INTRODUÇÃO

Com uma demanda cada vez maior por aços planos de elevada propriedade mecânica e boa estampabilidade, além de uma maior estabilidade dimensional da peça estampada, são necessários estudos e desenvolvimentos dos aços estruturais aliando esforços tanto no que tange o processo siderúrgico quanto o processo metalúrgico de forma a atender os requisitos de conformabilidade da peça com mínima variação possível na espessura e propriedades mecânicas destes aços, possibilitando em muitos casos a redução de espessura e peso das peças submetidas a esforços durante seu uso sem comprometer a segurança da aplicação final, além de redução de custo devido à redução de peso na peça estampada.

Uma forte motivação para a redução no peso das peças automotivas é a inerente redução do consumo de combustível com a diminuição do peso do carro como um todo.

Outra demanda necessária para o setor é a homogeneidade de propriedades mecânicas e espessura ao longo das bobinas e lotes fornecidos, uma vez que esse requisito permite uma melhor estabilidade do processo de conformação e do dimensional das peças com o mínimo de ajustes no ferramental usado na estampagem das mesmas.

Além das características técnicas demandadas pelo mercado, um custo competitivo no processo de produção do aço bem como de transformação do mesmo em peças com o mínimo de variação dimensional possível é primordial, dada a elevada exigência por qualidade e custo do mercado a que se destina as peças estampadas.

OBJETIVO

O trabalho tem o objetivo de relatar o processo de desenvolvimento de um aço plano microligado com valores especificados de limite de resistência de 450 a 570 MPa, limite de escoamento de 350 a 450 MPa, alongamento na base 5 de 25% mínimo e dimensões de 2,5mm de espessura por 245mm de largura aplicado em uma peça usada no sistema de travamento da porta de veículos automotores. Este aço foi classificado como LNE355 conforme norma NBR 6656:2016, porém com propriedades mecânicas ligeiramente diferenciadas se comparado com a norma pública pois a produção era originalmente feita com aço Carbono-Manganês.

O projeto foi desenvolvido entre os grupos Arcelor Mittal e Waelzholz Brasmetal responsáveis pela produção e transformação do aço microligado sendo fornecido em bobinas laminadas a quente com processo de ajuste de espessura via laminação a frio para posterior transformação em peças através de estampagem com posterior revestimento de zinco com cromato como passivador, participaram do projeto de melhoria outros dois players da cadeia automotiva, um deles responsável pela conformação e revestimento da peça e outro pela montagem da mesma no sistema de travamento da porta.

PEÇA OBJETO DO ESTUDO

De forma a exemplificar o produto e as condições de acabamento em trechos de expansão de furo e sobretudo mantendo a confidencialidade das cotas de desenho para o qual este desenvolvimento foi direcionado, segue abaixo uma foto da peça, que é usada no sistema de travamento da porta do veículo automotivo. Atenção especial deve ser dada a condição de acabamento na região de expansão de furo.

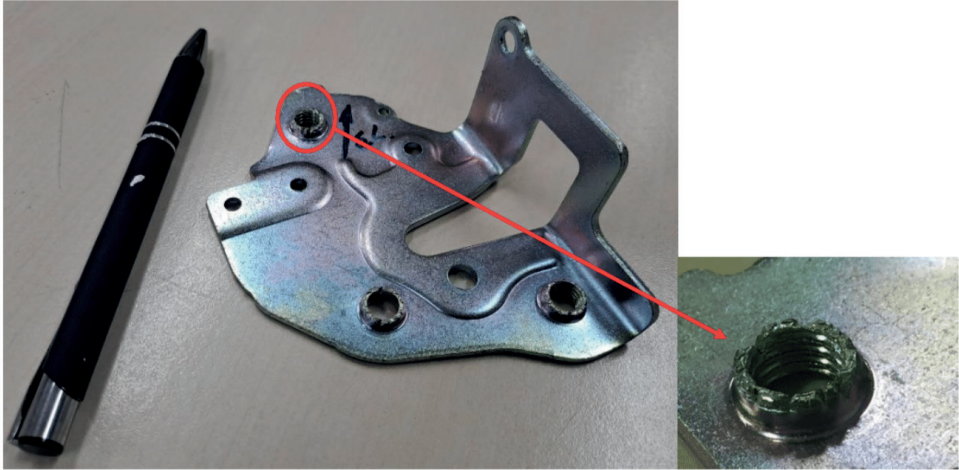


Figura 1: Foto da peça objeto do estudo com destaque as trincas presentes na região de expansão de furo.

Principal problema que ocorre durante a estampagem da peça em estudo é a presença de trincas em região de expansão de furo, inclusive comprometendo a fixação do parafuso usado durante montagem da peça no sistema de travamento da porta do veículo.

Tal anomalia também reduz a vida útil da broca usada para a usinagem da rosca, uma vez que a broca é integrada ao ferramental de estampagem onde a condição do repuxo influencia diretamente nos esforços da broca gerando quebra e desgaste prematuro com consequentes paradas da prensa para a troca da broca gerando maior tempo de setup durante processo de estampagem.

CORRELAÇÃO ENTRE EXPANSÃO DE FUROS, MICROESTRUTURA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

De acordo com Takahashi⁽¹⁾ as propriedades mecânicas desejadas são determinadas pela combinação da microestrutura dos aços.

O endurecimento por precipitação é amplamente usado para diversos tipos de aço de alta resistência sendo introduzidos precipitados finos que podem elevar a resistência mecânica dos aços em 200 a 300 MPa além de contribuir para a expansão de furo, uma vez que, durante o reaquecimento da placa antes da laminação a quente, os elementos microligantes são facilmente dissolvidos na matriz austenítica.

Os principais elementos de liga usados no endurecimento dos aços por precipitação são Nb, Ti, Mo e V.

Ainda de acordo com Takahashi⁽¹⁾ diversos fatores influenciam na capacidade de expansão de furos em chapas de aço, entre eles a diferença de dureza entre as fases, número de fases duras, conteúdo de C, inclusões alongadas, textura cristalina, valor

de índice de Lankford “Rmédio” e de expoente de encruamento “n”. Quanto maior a uniformidade da microestrutura, maior serão as propriedades de expansibilidade de furos no material.

É importante a redução de inclusões alongadas ao mínimo, adicionalmente também é necessário a redução de segregações e impurezas, uma vez que estas características interferem na expansibilidade de furos por estarem relacionados com pontos de nucleação de trincas durante processo de conformação.

CARACTERÍSTICAS DA LIGA LNE355 CONFORME NORMA NBR 6656:2016⁽²⁾

As composições químicas especificadas em norma para as diferentes grades de material microligado são dadas pela tabela abaixo com destaque a grade de aço objeto deste estudo:

Grau	C máx.	Mn máx.	Si máx.	P máx.	S máx.	Al mín.	Nb máx.	V máx.	Ti máx.	Mo máx.	B máx.
LNE200 ^a	0,12	0,60	0,35	0,025	0,025	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE230 ^a	0,12	0,80	0,35	0,025	0,025	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE260 ^a	0,16	1,00	0,35	0,025	0,025	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE280 ^a	0,16	1,00	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE315 ^a	0,12	1,10	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE355^b	0,12	1,10	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE380 ^b	0,12	1,20	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE400 ^b	0,15	1,40	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE420 ^b	0,12	1,60	0,35	0,025	0,015	0,015	0,09	0,12	0,15	-	-
LNE460 ^b	0,12	1,60	0,35	0,025	0,015	0,015	0,09	0,12	0,15	-	-
LNE500 ^b	0,12	1,70	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE550 ^b	0,12	1,90	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	-	-
LNE600 ^{b c}	0,15	1,90	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	0,50	0,005
LNE650 ^{b c}	0,16	2,00	0,35	0,025	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	0,50	0,005
LNE700 ^{b d}	0,18	2,10	0,55	0,030	0,015	0,015	0,12	0,12	0,20	0,50	0,005

^a Para os graus LNE200, LNE230, LNE260, LNE280 e LNE315, o somatório dos teores de Nb, Ti e V deve ser no máximo de 0,20.

^b Para os graus LNE355, LNE380, LNE400, LNE420, LNE460, LNE500, LNE550, LNE600, LNE650 e LNE700, o somatório dos teores de Nb, Ti e V deve ser no mínimo de 0,010 e no máximo de 0,22.

^c Para os graus LNE600 e o LNE650, o teor de Cr deve ser máximo 0,50 %.

^d Para o grau LNE700, o teor de Cr deve ser no máximo 0,60 %.

Tabela 1: Composição química para diferentes grades de material microligado conforme norma NBR 6656:2016. Material objeto de estudo foi classificado com grau LNE355 com propriedades mecânicas diferenciadas.

As propriedades mecânicas especificadas em norma para as diferentes grades de material microligado são dadas pela tabela abaixo com destaque a grade de aço objeto deste estudo, salientando que as faixas de especificação de limites de resistência/escoamento e alongamento são ligeiramente diferentes da norma por se tratar de uma adequação a especificação, uma vez que o aço originalmente especificado é o aço Carbono-Manganês com propriedades mecânicas já mencionadas no item 2.

Grau	Limite de escoamento	Limite de resistência	Alongamento ($L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$) mínimo	Calço de dobramento a 180° em função da espessura nominal "e"
	MPa	MPa	%	mm
LNE200	200 a 330	280 a 410	35	Zero
LNE230	230 a 360	330 a 460	30	
LNE260	260 a 390	370 a 500	30	
LNE280	280 a 420	380 a 520	28	
LNE315	315 a 455	390 a 530	25	
LNE355	355 a 510	430 a 570	24	
LNE380	380 a 530	460 a 600	23	
LNE400	400 a 530	520 a 650	23	
LNE420	420 a 540	520 a 650	22	e ≤ 10,00 – Zero e > 10,00 – 0,5 e
LNE460	460 a 580	540 a 680	18	e ≤ 10,00 – 0,5 e e > 10,00 – 1,0 e
LNE500	500 a 620	560 a 700	18	
LNE550	550 a 670	600 a 760	15	1,5 e
LNE600	600 a 720	650 a 800	14	2,0 e
LNE650	650 a 790	690 a 850	12	
LNE700	700 a 850	750 a 950	12	2,0 e

Tabela 2: Propriedades mecânicas no sentido transversal ao sentido de laminação para diferentes grades de material microligado conforme norma NBR 6656:2016. Material objeto de estudo foi classificado com o grau LNE355 com propriedades mecânicas diferenciadas.

MATERIAIS

Para o estudo realizado foram utilizados dois materiais distintos, um deles um aço Carbono Manganês (liga 1) e outro um aço Microligado com processo para estampabilidade melhorada (liga 2). Composição química, propriedades mecânicas, níveis de inclusões e microestrutura de ambas as ligas são informadas abaixo:

Liga	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	V (%)	Ti (%)	Nb (%)
1 (C-Mn)	0,155	0,76	0,0216	0,0193	0,0116	0,0321	0,0006	0,0001	0,0030
2 (Microligado)	0,060	0,55	0,0130	0,0200	0,0069	0,0400	0,0010	0,0010	0,0249

Tabela 3: Composição química das ligas 1 – Aço Carbono-Manganês e 2 – Aço microligado (LNE355 com propriedades diferenciadas).

Liga	LR (MPa)	LE (MPa)	AI L05 (%)	Expoente de encruamento “n”
1 (C-Mn)	508	398	32	0,12
2 (Microligado)	472	404	35	0,16
Especificado	450 a 570	350 a 450	25 mín.	---

Tabela 4: Propriedades mecânicas das ligas 1 – Aço Carbono-Manganês e 2 – Aço microligado (LNE355 com propriedades diferenciadas).



Figura 2: Foto da microestrutura da liga 1 (C-Mn) com aumento de 100x sem ataque representando nível de inclusões C1F conforme classificação da norma ASTM(3).



Figura 3: Foto da microestrutura da liga 2 (Microligado) com aumento de 100x sem ataque representando nível de inclusões D1F conforme classificação da ASTM(3).



Figura 4: Foto da microestrutura da liga 1 (C-Mn) com aumento de 500x e ataque nital 3% (estrutura composta por ferrita + perlita fina). Tamanho de grão 9 conforme norma ASTM⁽⁴⁾



Figura 5: Foto da microestrutura da liga 2 (Microligado) com aumento de 500x e ataque nital 3% (estrutura composta por ferrita + carbonetos esferoidizados). Tamanho de grão 5 conforme norma ASTM(4)

PROCESSO SIDERÚRGICO

A elevação das propriedades mecânicas da liga 1 (C-Mn) se dá principalmente pela adição dos elementos químicos Carbono e Manganês sendo o Carbono agente formador da cementita (fase dura presente na perlita) além do endurecimento provocado por solução sólida juntamente com o Manganês e refino de grão.

O processo siderúrgico aplicado a liga 2 (Microligado) visou o aumento das propriedades mecânicas tanto por solução sólida através principalmente da adição dos elementos químicos Nióbio, Carbono e Manganês quanto por precipitação de carbonetos através do controle via processo termomecânico de forma a minimizar e distribuir uniformemente os precipitados que atuam como barreiras para a movimentação dos contornos de grão e discordâncias maximizando a estampabilidade da liga.

PROCESSO DE RELAMINAÇÃO

O material em estudo referente a liga 2 (Microligado) foi adquirido pelo grupo Waelzholz Brasmetal no estado laminado à quente com uma espessura de 2,60 +/-0,2mm e laminado visando atender uma faixa de espessura de 2,5 +/- 0,12mm.

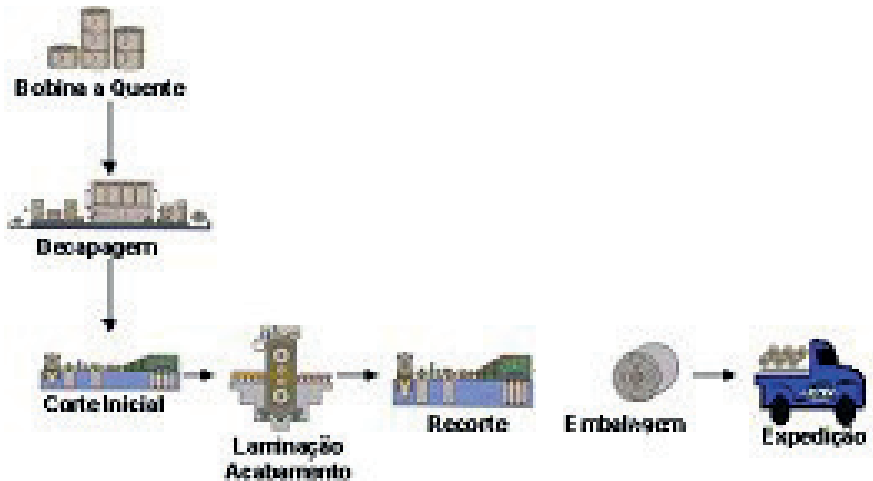


Figura 6: Fluxo de processo de laminação a frio utilizado para o material em estudo.

O processo de laminação a frio aplicado visou a redução na variação de espessura na bobina sem elevar significativamente as propriedades mecânicas do material laminado. Este processo foi aplicado com o intuito de minimizar a variação de rebarbas no furo que será conformado posteriormente, uma vez que o nível de rebarbas está diretamente relacionado com a espessura, propriedades mecânicas, microestrutura e folga entre matriz/punção na etapa de corte.

A figura abaixo mostra a variação de espessura do material ao longo rolo laminado a frio, excluindo-se os trechos de ponta de rolo sujeitos a maior variação de espessura, é possível observar uma variação total entre 2,45 e 2,49mm.

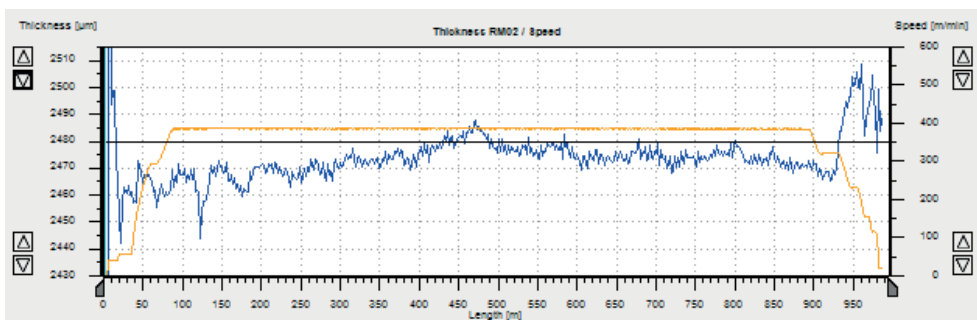


Figura 7: Gráfico de espessura coletado após processo de laminação a frio.

PROCESSO DE ESTAMPAGEM

O processo de estampagem empregado consiste na formação da peça através de uma prensa progressiva com usinagem da rosca integrada a ferramenta de estampagem.

Visando proteger o know-how da empresa que transforma o aço em peça não serão abertas informações no que tange o processo de conformação, desenho da peça tão pouco número de estágios de conformação.

MÉTODO

Composição química

A composição química foi realizada em Espectrofotômetro de Emissão Óptica conforme mostra a figura abaixo:



Figura 8: Espectrômetro de Emissão Óptica Spectrolab.

Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas foram obtidas conforme norma NBR 6673:1981⁽⁶⁾. Foi retirado um corpo de prova de tração perpendicular ao sentido de laminação para cada amostra analisada.

Os ensaios foram realizados em máquina de tração Zwick modelo Z250 equipada com garras hidráulicas e extensômetro.



Figura 9: Máquina de Tração Zwick Z250.

Microscopia Óptica (MO)

Análise de microestrutura foi realizada em uma amostra de cada liga. As amostras foram devidamente polidas e atacadas com reagente nital 3% para visualização da microestrutura, conforme ilustra a figura abaixo.

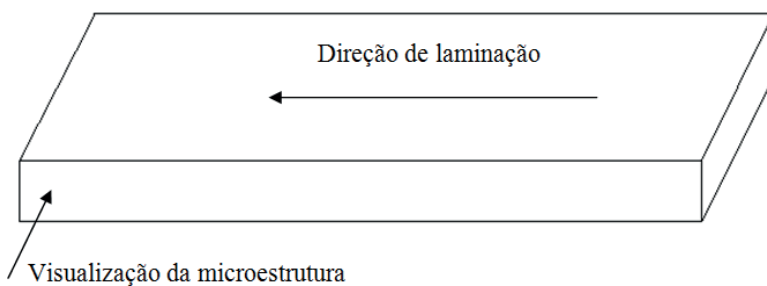


Figura 10: Ilustração da amostragem para avaliação da microestrutura.

A verificação da microestrutura foi feita com uso de microscópio do fabricante Leica conforme figura abaixo:



Figura 11: Microscópio Leica modelo DM2700M

RESULTADOS DOS TESTES DE CONFORMAÇÃO

A figura abaixo mostra um comparativo entre os testes de conformação das ligas 1 (C-Mn) e 2 (Microligado) para as mesmas configurações de prensa e ferramenta de estampagem.



Figura 12: Condição do repuxo da liga 1 (C-Mn) foto à esquerda e liga 2 (Microligado) foto à direita.

DISCUSSÃO

Propriedades mecânicas

Comparando os resultados das propriedades mecânicas nas ligas 1 (C-Mn) e 2 (Microligado) foi possível notar uma melhor condição para conformação na liga 2, apesar de valores de limite de escoamento ligeiramente maiores se comparado com a liga 1, 404 MPa e 398 MPa respectivamente. A melhor conformabilidade da liga 2 se explica principalmente com base nos valores de alongamento e expoente de encruamento da liga 2 (35% e 0,16 respectivamente), sensivelmente melhores em relação a liga 1 (32% e 0,12 respectivamente).

Tais resultados explicam a melhor conformabilidade da liga 2 (Microligado) comparativamente a liga 1 (C-Mn).

Microestrutura

Possível observar que a liga 2 (Microligado) apresenta nível de inclusões D1F (inclusão de óxido globular nível 1 série fina conforme quadro comparativo da norma ASTM⁽³⁾) e microestrutura composta por ferrita + carbonetos esferoidizados uniformemente distribuídos na matriz ferrítica com tamanho de grão 5 conforme norma ASTM⁽⁴⁾.

Já a liga 1 apresenta nível de inclusões C1F (inclusão de silicato alongada nível 1 série fina conforme quadro comparativo da norma ASTM⁽³⁾) e microestrutura composta por ferrita + perlita fina uniformemente distribuída com tamanho de grão 9 conforme norma ASTM⁽⁴⁾.

Realizando um comparativo tanto do nível de inclusões quanto da microestrutura das ligas, é possível confirmar a melhor conformabilidade da liga 2 (Microligado), uma vez que as inclusões globulizadas e estrutura com precipitados esferoidizados distribuídos uniformemente na matriz geram uma menor área de interface entre precipitados de elevada dureza (carbonetos e inclusões) e a matriz ferrítica de maior ductilidade, auxiliando a conformação e evitando a nucleação e conseqüente propagação de trincas. Ao passo que, na liga 1 (C-Mn), a presença de perlita e inclusões alongadas geram uma maior área de interface entre os precipitados duros e frágeis (placas de cementita presentes na perlita e inclusões alongadas) e a matriz ferrítica nucleando e propagando prematuramente as trincas durante processo de expansão de furo.

Processo de estampagem

Para a estampagem das ligas 1 (C-Mn) e 2 (Microligado) foi usada a mesma ferramenta com os mesmos ajustes de folgas entre matriz/punção, velocidade de conformação, sistema de lubrificação, pressão do martelo e prensa chapas sendo as diferenças encontradas nos testes de conformação das ligas 1 (C-Mn) e 2 (Microligado) exclusivamente relacionadas as características de estampabilidade de cada liga conformada.

CONCLUSÕES

Através dos testes conduzidos foi possível concluir que a liga 2 (Microligado) apresentou maior estampabilidade se comparada a liga 1 (C-Mn). Isso ocorre principalmente devido a um maior valor do expoente de encruamento “n” da liga 2 se comparada com a liga 1 (0,16 e 0,12 respectivamente), além de uma microestrutura mais favorável para conformação presente na liga 2 (inclusões globulares com carbonetos esferoidizados e tamanho de grão 5), em comparação com a liga 1 (inclusões alongadas com presença de perlita e tamanho de grão 9).

O processo de laminação a frio aplicado diminuiu a variação de espessura do material laminado a quente contribuindo para um melhor controle do nível de rebarbas nos furos expandidos ao longo da estampagem das peças, fator de extrema relevância para o sucesso do projeto, uma vez que o nível de rebarbas nos furos que posteriormente serão conformados tem influência significativa no avanço das trincas durante processo de expansão do furo.

A melhora na conformação das peças com o uso da liga 2 é nítida quando comparadas as fotos das peças estampadas com o material C-Mn e Microligado presentes na figura 12. Salientando que foram usados os mesmos parâmetros de conformação conforme descrito no item 9.3.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas Arcelor Mittal e Waelzholz Brasmetal, por terem cedido os equipamentos e mão de obra que tornaram possíveis o desenvolvimento e conclusão do projeto realizado.

Agradecimento especial aos Srs. Thomas Frank e Maurício Bomfim por incentivarem o desenvolvimento e difusão do trabalho desenvolvido.

REFERENCES

1. TAKAHASHI, M. Sheet Steel Technology for the Last 100 Years : Progress in Sheet Steels in Hand with the Automotive Industry. v. 55, n. 1, p. 79–88, 2015.
2. NBR 6656:2016 - Bobinas e chapas laminadas a quente de aço acalmado com características especiais de propriedades mecânicas, conformabilidade e soldabilidade – Requisitos. p. 2-3.
3. ASTM E-45:2018 – Standard test methods for determining the inclusion content of steel, p. 7-8
4. ASTM E-112:2010 – Standard test methods for determining average grain size, p. 1-27
5. NBR 6673:1981 – Produtos planos de aço – determinação das propriedades mecânicas a tração, p. 1-22.

CONCEITOS E APLICAÇÕES METROLÓGICAS DO ESCANEAMENTO ÓPTICO 3D

Data de aceite: 02/05/2024

Douglas Mamoru Yamanaka

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo S.A.
São Paulo - SP

Manuel António Pires Castanho

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo S.A.
São Paulo - SP

Olga Satomi Yoshida

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo S.A
São Paulo - SP

RESUMO: O presente texto apresenta um pouco do estado da arte e aspectos técnicos e metrológicos de escaneadores ópticos 3D (também comumente chamados de digitalizadores). Digitalizadores ópticos criam nuvens de pontos a partir dos dados da superfície de um objeto, que são utilizados para construir modelos tridimensionais digitais. Tem se tornando um equipamento essencial para análise dimensional, engenharia reversa, avaliação de superfícies de forma livre, controle de qualidade, prototipagem, etc. São apresentados alguns princípios físicos dos tipos de escaneadores ópticos, e aspectos

importantes na calibração de um sistema de escaneamento óptico 3D. Comentários acerca de textura superficial e cor são tecidos, assim como são apresentadas as dificuldades inerentes ao escaneamento de superfícies reflexivas e objetos translúcidos. Ao final, exemplos de escaneamentos com aplicações metrológicas são apresentados.

PALAVRAS-CHAVE: escaneamento 3D; digitalizadores ópticos 3D; metrologia.

CONCEPTS AND METROLOGICAL APPLICATIONS OF 3D OPTICAL SCANNING

ABSTRACT: This text presents some of the state of the art and technical and metrological aspects of 3D optical scanners (commonly called digitizers). Optical scanners create point clouds from an object's surface data, which are used to build digital three-dimensional models. It has become essential equipment for dimensional analysis, reverse engineering, free-form surface evaluation, quality control, prototyping, etc. Some physical principles of the types of optical scanners are presented, as well as important aspects in the calibration of a 3D optical scanning system. Comments on surface texture and color are made, as

are the difficulties inherent in scanning reflective surfaces and translucent objects. Finally, examples of scans with metrological applications are presented.

KEYWORDS: 3D scanning; 3D optical scanners; metrology.

INTRODUÇÃO

Os digitalizadores ópticos 3D (figura 1) tornaram-se uma das grandes novidades do setor industrial com crescente aplicação especialmente nesta última década.

Do ponto de vista metrológico, a tecnologia de medição em 3D apresentou diversas evoluções ao longo do tempo que representaram soluções substanciais para o desenvolvimento da indústria: em meados do século passado (~1960) com o surgimento das primeiras máquinas de medição por coordenadas, em fins do século passado (~1990), com a introdução no mercado dos braços articulados de medição, no começo deste século (~2005), através da incorporação de técnica tomográfica no sistema pórtico de uma máquina de medição por coordenadas, e por fim, com a popularização dos digitalizadores ópticos 3D, por volta de 2010.

O aumento no uso destes digitalizadores deve-se a diversos fatores relevantes, em particular quando da comparação com sistemas metrológicos equivalentes. Com massiva aplicação na área industrial (HALEEM *et al.*, 2022), tornou-se também amplamente utilizado em diversos outros setores, tais como nas áreas médica e odontológica, em museus (esculturas, relíquias culturais, objetos arqueológicos), em aplicações forenses, etc (JAVAID *et al.*, 2021).



Figura 1: Digitalizadores ópticos

Fonte: elaborado pelos autores

Particularmente no setor industrial, na atualidade o digitalizador óptico tem duas aplicações amplamente difundidas. A primeira seria na digitalização e obtenção de nuvem de pontos da superfície de um artefato para fins de engenharia reversa. Um exemplo

recorrente é a da manufatura aditiva, que tem se amparado dos recursos que a digitalização oferece em termos de obtenção de dados de superfícies geométricas. A segunda consiste na utilização do equipamento no escaneamento de um artefato para fins metrológicos, ou seja, para medição dimensional e análise dos resultados para inspeção e controle de qualidade.

Apesar de ainda não oferecer equivalentes níveis de acurácia, o digitalizador óptico vem substituindo as tradicionais máquinas de medição por coordenadas cartesianas uma vez que realiza aquisição de dados de um volume no formato de nuvem de pontos de forma extremamente rápida, apresenta portabilidade, podendo ser armazenado em um *case*, ou seja, é extremamente prático no transporte para realização de atividades em campo ou em instalações industriais, além de ser relativamente fácil quando da medição de superfícies de forma livre (DURY, 2016).

Neste contexto, o presente texto traz um pouco do estado da arte de digitalizadores ópticos 3D. Escaneamentos com algumas aplicações metrológicas são apresentados, assim como outros tópicos (calibração, textura, superfícies reflexivas, etc.) relevantes e intrínsecos a esta tecnologia também são apresentados e discutidos.

TECNOLOGIAS DE ESCANEAMENTO

Fotogrametria

Na fotogrametria diversas fotografias são tiradas de diferentes ângulos de um artefato, e através da detecção dos pixels correspondentes à mesma informação bidimensional das várias fotos, determina-se a forma e a localização dos pontos e reconstrói-se o objeto tridimensionalmente, estabelecendo a exata posição dos pontos na superfície.

Triangulação a laser

Três elementos são fundamentais nesta tecnologia: o laser emissor, o ponto incidente na superfície, originário do laser emissor e uma câmera. Esta técnica é chamada de triangulação porque estes três elementos formam um triângulo. A princípio, a luz incide sobre o objeto, e a luz refletida é direcionada para uma câmera CCD, que localiza a posição da luz incidente na superfície. O laser aparece em diferentes posições do campo de visão da câmera, de acordo com a distância com que a luz atinge a superfície. A distância entre a câmera e o laser emissor é conhecida, sendo o comprimento de um lado do triângulo. O ângulo da posição do laser emissor também é conhecido. O ângulo da posição da câmera é determinado pela localização do ponto do laser no campo de visão da câmera. Estas três informações determinam a forma e o tamanho do triângulo, fornecendo a localização do ponto do laser no triângulo (adaptado de EBRAHIM, 2015).

Luz estruturada

Digitalizadores ópticos 3D de luz estruturada projetam uma série de padrões lineares ou contínuos de luz ou laser sobre o objeto. Uma câmera analisa as deformações de cada padrão de linha no objeto e o cálculo da distância entre o digitalizador 3D e a superfície do objeto utiliza uma técnica semelhante à triangulação para calcular a distância de cada ponto da linha. Com os valores das distâncias reconstrói-se o objeto do artefato em 3D (adaptado de EBRAHIM, 2015).

Existem ainda outras tecnologias de escaneamento, tais como *time-of-flight*, *phase shift*, ou mesmo híbridas, que são combinações de outras tecnologias de escaneamento 3D.

CALIBRAÇÃO DE DIGITALIZADORES ÓPTICOS

A calibração de digitalizadores é descrita nas normas VDI/VDE 2634-2 (VDI 2012) e VDI/VDE 2634-3 (VDI 2008), que estabelecem diretrizes para os testes de aceitação e reverificação do desempenho de um sistema de medição óptico 3D, baseados no escaneamento de superfície. O padrão de verificação sugerido (figura 2) tem o formato de halteres (tecnicamente conhecido na indústria como *ballbar*, ou barra de esferas, em tradução livre), cujos diâmetros e erros de forma das esferas esquerda e direita, a distância entre centros das esferas e o comprimento total do artefato constituem os parâmetros metrológicos importantes de análise.

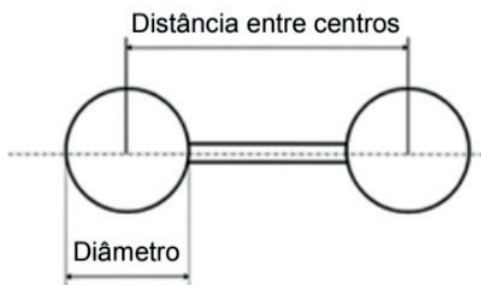


Figura 2: Padrão para calibração de digitalizadores

Fonte: adaptado de VDI/VDE 2634-2 (2012)

Abaixo, seguem as fórmulas para o cálculo dos parâmetros:

Erro de forma (PF):

$$PF = R_{max} - R_{min}$$

onde R_{max} = Desvio máximo de forma, e

R_{min} = Desvio mínimo de forma.

Erro na calibração do diâmetro (PS):

$$PS = D_a - D_r$$

onde D_a = Diâmetro medido com o digitalizador, e

D_r = Diâmetro de referência.

Erro na calibração da distância entre centro das esferas (SD):

$$SD = I_a - I_r$$

onde I_a = Distância medida entre centros das esferas com o digitalizador, e

I_r = Distância de referência entre centros das esferas.

TEXTURA E COR

Um recurso interessante incorporado ao sistema de aquisição de dados dos digitalizadores ópticos é a possibilidade de se obter a textura e a cor da superfície escaneada, ou seja, o resultado do escaneamento pode apresentar somente a geometria do artefato de interesse ou a geometria com a textura e a cor natural do objeto. Abaixo (figura 3), é apresentado um exemplo do escaneamento de uma peça prismática, sendo que à esquerda é apresentada a foto do prisma de aço, ao centro o escaneamento resultante, somente com a geometria da peça e à direita o mesmo escaneamento apresentado anteriormente ao centro, com adição de textura e cor.

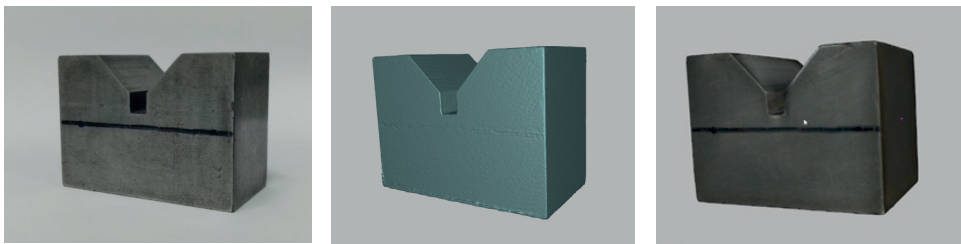


Figura 3: Prisma (esquerda), escaneamento (centro) e com textura e cor (direita)

Fonte: elaborado pelos autores

SUPERFÍCIES REFLEXIVAS E OBJETOS TRANSLÚCIDOS

Ainda no tópico sobre superfície, porém tratando-se de um panorama totalmente distinto, um expediente comum no escaneamento de artefatos com superfícies reflexivas é o emprego de revestimento antirreflexo a fim de se diminuir o brilho ou até mesmo de se eliminar o reflexo da luz incidente sobre a peça.

Um exemplo de aplicação de revestimento antirreflexo é apresentado na figura 4. Trata-se de um padrão de contornos, fabricado de aço com superfície reflexiva. Na figura à direita é apresentado o escaneamento realizado neste artefato com a aplicação de tal revestimento.

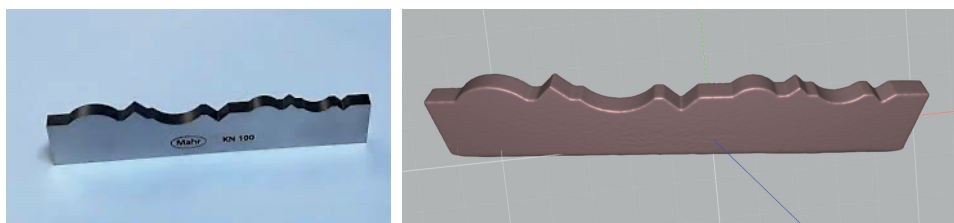


Figura 4: Padrão de contornos (esquerda) e digitalização (direita)

Fonte: elaborado pelos autores

Em um trabalho recente, após investigar revestimentos antirreflexo de diferentes fabricantes, Mendřický concluiu que a adição de tais revestimentos produz variações significativas (da ordem de alguns poucos micrometros até alguns centésimos de micrometros) em sistemas ópticos de medição, depois de mensurar a variação incremental das medidas dimensionais em função dos revestimentos analisados. Complementa reiterando que o uso de agentes de foscagem tem influência significativa na acurácia do digitalizador (MENDŘICKÝ, 2018).

Um exemplo de material translúcido, um padrão de circularidade fabricado de cristal é apresentado na figura 5, e também foi escaneado com aplicação do mesmo revestimento utilizado anteriormente.

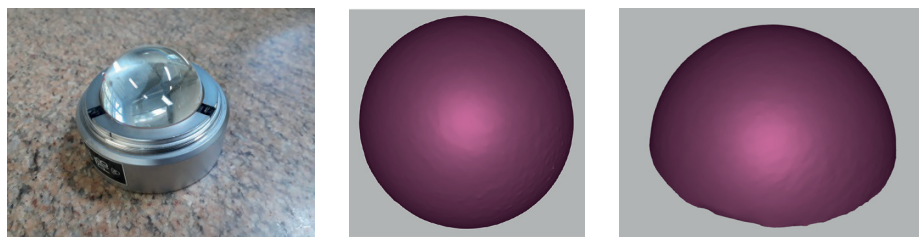


Figura 5: Padrão de circularidade (esquerda) e respectivas digitalizações (figuras à direita)

Fonte: elaborado pelos autores

APLICAÇÕES

São apresentados 4 (quatro) exemplos de escaneamentos realizados com o digitalizador óptico modelo Space Spider, que consiste de um sistema de luz estruturada com três câmeras para captura do padrão da luz projetada, além de uma câmera RGB para captura da textura superficial, com resolução de 0,1 mm e acurácia de 0,05 mm. Com taxa de reconstrução 3D de 7,5 quadros por segundo, possui velocidade de aquisição de dados de 1 milhão de pontos por segundo (ARTEC 3D, 2023).

Artefato 1

No primeiro exemplo foi escaneado um artefato com forma cilíndrica com diâmetro de 8 mm, cuja região de interesse foi a extremidade com formato semiesférico. A figura 6 apresenta as respectivas fotos do artefato cilíndrico e da imagem do escaneamento realizado.

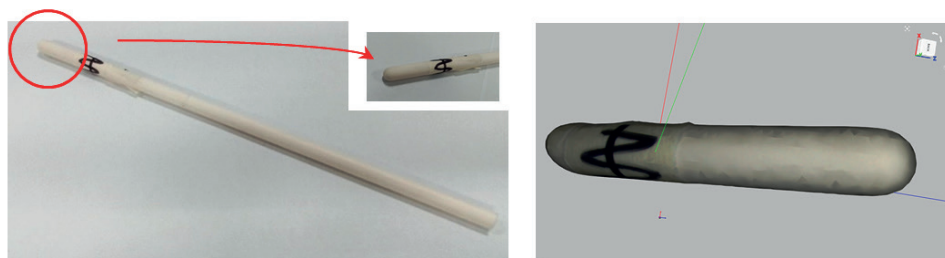


Figura 6: Artefato (esquerda) e digitalização (direita)

Fonte: elaborado pelos autores

Foi escaneada somente a extremidade de interesse, do lado da marcação indicada na foto da figura 6 à esquerda, razão pela qual o comprimento total do escaneamento apresentado na figura 6 à direita aparentar ser menor em relação ao comprimento total da peça escaneada.

Para avaliação metrológica foram construídas diversas circunferências a partir da extremidade (figura 7), com passos (distância entre circunferências, considerando-se o eixo do cilindro) iguais a 0,25 mm. A partir destas circunferências, informações a respeito do diâmetro numa determinada distância em relação à extremidade, assim como a determinação do erro de circularidade para cada circunferência podem ser obtidos.

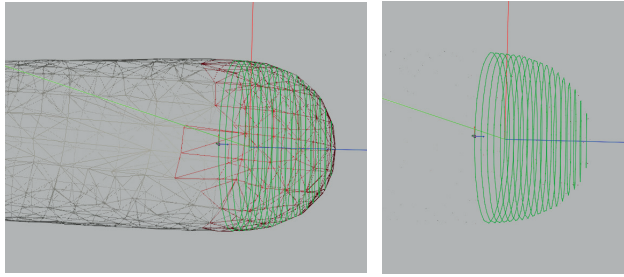


Figura 7: Região analisada (esquerda) e circunferências com passos de 0,25 mm (direita)

Fonte: elaborado pelos autores

Artefato 2

No segundo exemplo o artefato se consistiu também de formato cilíndrico com diâmetro externo de 19 mm e comprimento de 23 mm, porém com um furo passante no eixo do cilindro. A figura 8 apresenta a foto deste artefato e a imagem do escaneamento realizado.

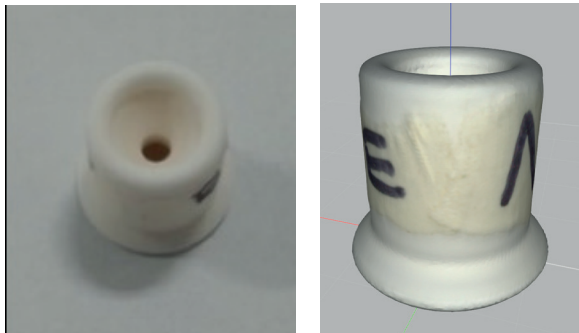


Figura 8: Artefato (esquerda) e digitalização (direita)

Fonte: elaborado pelos autores

Na imagem deste escaneamento é possível detectar uma falha intrínseca existente ao uso deste tipo de equipamento (figura 9). Por vezes, quando o diâmetro de um furo a ser escaneado possui um diâmetro em que a luz não consegue alcançar a superfície a ser digitalizada e coletar informações para a reconstrução da imagem, o escaneamento da superfície final torna-se incompleta, apresentando falhas no modelo final. Nestas situações, a fim de se obter uma digitalização com malha fechada, o *software* de reconstrução corrige os defeitos superficiais por meio de inteligência artificial. Na figura, é possível de se visualizar o diâmetro reconstruído, porém a imperfeição na cilíndricidade do furo é evidente e pronunciado, quando comparado com o artefato. Para fins metrológicos, evidentemente

quaisquer informações extraídas deste furo cilíndrico na região artificialmente reconstruída apresentarão altíssimo grau de incerteza, sendo desta forma recomendado, se possível, o uso de outro equipamento para o mapeamento de furos com diâmetros em que a luz do digitalizador não consegue incidir de maneira satisfatória.

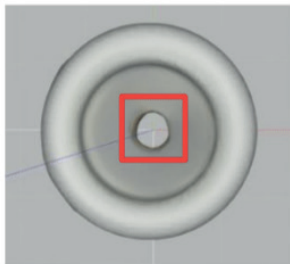


Figura 9: Região da falha no escaneamento (no destaque em vermelho)

Fonte: elaborado pelos autores

Assim como no exemplo anterior, foram construídas diversas circunferências a partir da extremidade (figura 10), com passos iguais a 0,25 mm e também com passos iguais a 0,1 mm, porém em um comprimento amostral igual a 75 mm.

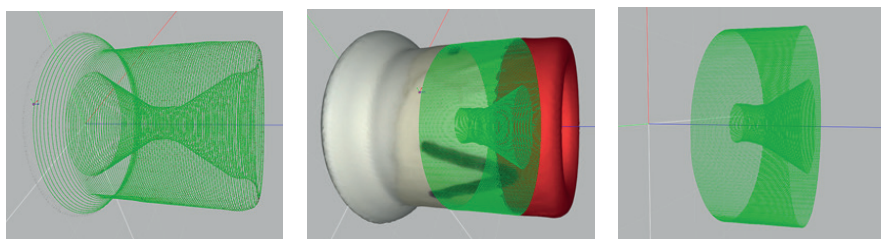


Figura 10: Circunferências com passos de 0,25 mm (esquerda) e de 0,1 mm em um comprimento de 75 mm (centro e direita)

Fonte: elaborado pelos autores

Um expediente existente no *software* de tratamento de dados é o recurso que simula efeitos de raios-x na amostra, interessante para fins de inspeção visual em sólidos de revolução. A figura 11 apresenta dois exemplos deste mecanismo de análise de imagens.

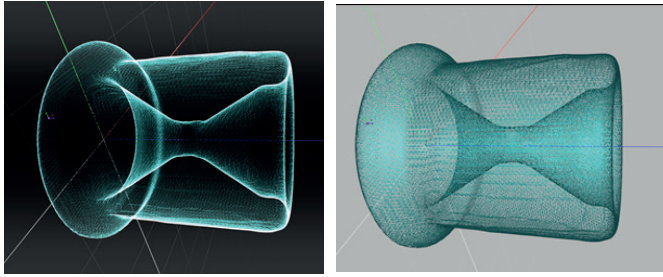


Figura 11: Duas imagens que simulam efeitos de raios-x

Fonte: elaborado pelos autores

Artefato 3

O artefato analisado consistiu numa maquete arquitetônica, com dimensões aproximadas de (523 x 195 x 128) mm. A figura 12 apresenta a respectiva foto deste artefato e as imagens do escaneamento realizado. À esquerda é apresentado o artefato e ao meio é apresentado o escaneamento.

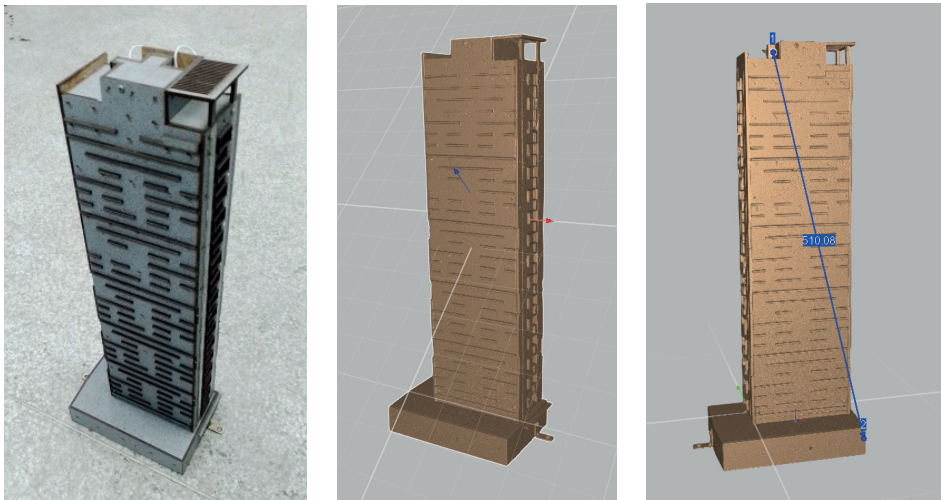


Figura 12: Maquete (esquerda), digitalização (centro) e medição dimensional (direita)

Fonte: adaptado de Yamanaka (2023)

Na terceira figura é apresentada na linha azul uma medição linear entre planos opostos. Valores dos resultados com respectivas incertezas são apresentados em YAMANAKA *et al.*, 2023.

Artefato 4

Um recurso para análise de geometrias em 3D que apresenta resultados interessantes para inspeções rápidas e bastante detalhadas consiste na junção de dados escaneados com o desenho gerador do artefato manufaturado. Conhecido como *best-fit* (melhor ajuste, em tradução livre), trata-se de ajuste matemático entre dados de medição em relação ao modelo CAD, utilizando-se de estratégias diversas para determinação da condição ótima de alinhamento (pelo sistema de coordenadas, por entidades geométricas). Na figura 13 temos um exemplo do modelo CAD de uma peça (primeira figura à esquerda) que foi usinada (segunda figura) e digitalizada (terceira figura).

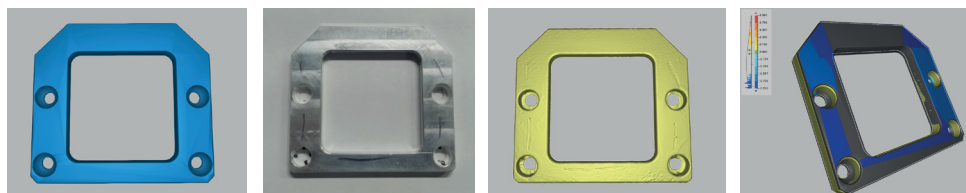


Figura 13: Da esquerda para a direita: desenho CAD, peça fabricada, escaneamento e *best-fit*

Fonte: elaborado pelos autores

Na quarta figura é apresentado o *best-fit* entre o modelo CAD e a nuvem de pontos do escaneamento realizado. A legenda em cores no canto superior esquerdo indica a falta ou excesso de material, sendo que cores quentes representam excesso de material e cores frias representam falta de material. Neste exemplo, a cor azul predominante indica falta de material em relação ao desenho gerador.

CONCLUSÃO

Escaneamentos ópticos para fins diversos tais como engenharia reversa e *best-fit* representam uma nova tendência para o começo deste século, especialmente em se tratando de metrologia para o controle dimensional. Vantagens e desvantagens podem ser apontadas neste último quesito. Com relação a vantagens, podemos apontar em primeiro lugar a questão do tempo, pois a aquisição dos pontos independe de preparação, criação de sistema de coordenadas, programação da movimentação de sensor, etc., inerentes ao processo de utilização de uma máquina de medição por coordenadas. O simples posicionamento do digitalizador (respeitando-se a distância de trabalho recomendada pelo fabricante) já possibilita a instantânea coleta de pontos da superfície a ser escaneada. Outro ponto positivo é a aquisição de um grande volume de pontos da superfície e a distribuição e representatividade dos mesmos após o processamento. Comparativamente, o

escaneamento de uma peça em sua totalidade, considerando-se todas as suas geometrias e detalhamentos inclusive internos, só é possível com o recurso da metrotomografia. Qualquer outro método, tal como por máquina de medição por coordenadas por contato com escaneamento contínuo, máquina de medição por coordenadas óptica ou por braço de medição por contato, não teremos obtido uma nuvem de pontos tão completa quanto teríamos no escaneamento óptico. Além disso, toda tecnologia para análise em 2D e 3D (*best-fit*, GD&T, técnicas estatísticas, ajustes matemáticos, etc.) desenvolvida ao longo do tempo foram incorporadas aos processos metrológicos pós-processamento do escaneamento, e justificam e robustecem a utilização do digitalizador óptico para fins laboratoriais, para pesquisa e em ambientes industriais.

No entanto, existem desvantagens que são intrínsecas a este equipamento. A principal reside no fato de não conseguir adentrar em furos, dependendo do diâmetro e da profundidade do mesmo. Outro ponto negativo é a resolução de escaneamento, uma vez que os melhores escaneadores do mercado tem resolução de alguns poucos micrometros, enquanto que máquinas de medição por coordenadas (tátil e óptico) tem resolução de décimo de micrometros. No entanto, nesta questão verificamos o crescente avanço das pesquisas relacionadas ao escaneamento óptico e incorporação de novas tecnologias ópticas e de processamento de imagens nos sistemas de aquisição de dados pelos fabricantes, e a tendência mais provável será o escaneador ao menos igualar-se à resolução das tradicionais máquinas de medição por coordenadas. Ainda, comparando-se a metrotomografia com o escaneador óptico, pelo fato de o escaneador obter somente dados superficiais, não é possível visualizar-se o interior de uma peça, técnicas de análises tais como detecção de defeitos internos (trincas, descontinuidades, etc.), e análise de porosidade, não são atividades possíveis de se realizar com um escaneamento óptico, ficando-se restritas tais técnicas à metrotomografia. Para finalizar, um grande volume de dados também não é uma condição favorável operacionalmente do ponto de vista de pós-processamento, pois os *softwares* de tratamento de dados demandam uma quantidade considerável de memória, exigindo máquinas robustas para trabalho em conjunto com o escaneador.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) no âmbito do Projeto Fapesp (Processo Fapesp: 2017/50343-2): “Plano de Desenvolvimento Institucional na Área de Transformação Digital – Manufatura Avançada e Cidades Inteligentes e Sustentáveis - PDip”.

REFERÊNCIAS

ARTEC 3D. **Specification of 3D Scanners**. <https://www.artec3d.com> , junho 2023.

DURY, M.R.; Woodward, S.; Brown, S.B.; McCarthy, M.B. **Characterising 3D optical scanner measurement performance for precision engineering**. In: Proceedings of the 31st Annual Meeting of the American Society for Precision Engineering, Portland, OR, USA, 23 October 2016.

EBRAHIM, M. A.-B. **3D Laser Scanners' Techniques Overview**. International Journal of Science Research., vol. 4, Issue 10, 2015.

HALEEM A., Javaid, M., Singh, R. P., Rab, S., Suman, R., Kumar, L., Khan, I. H. **Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview**. International Journal of Cognitive Computing in Engineering, 3, 161-171, 2022.

JAVOID, M.; Haleem, A.; Singh, R. P. & Suman, R. **Industrial perspectives of 3D scanning: Features, roles and it's analytical applications**. Sensors International, 2: 100114, 2021.

MENDŘICKÝ, R. **Impact of Applied Anti-Reflective Material on Accuracy of Optical 3D Digitisation**. Materials Science Forum, 919, 335–344, 2018.

THE ASSOCIATION OF GERMAN ENGINEERS. **VDI/VDE 2634-2: Optical 3-D measuring systems - Optical systems based on area scanning**. Beuth Verlag, 2012. 16p.

THE ASSOCIATION OF GERMAN ENGINEERS. **VDI/VDE 2634-3: Optical 3-D measuring systems – Multiple view systems based on area scanning**. Beuth Verlag, 2008, 20p.

YAMANAKA, D. M., Paula, D. N. R., Castanho, M. A. P., Chaves & W. O., Yoshida, O. S. **Avaliação qualitativa de estratégias de medição 3D de uma maquete arquitetônica por meio de escaneamento óptico**. In: VII CIMMEC – Congresso Internacional de Metrologia Mecânica, Itaipava, RJ, BRASIL, 2023.

DINÂMICA DO OXIGÊNIO DISSOLVIDO NO PROCESSO DE AUTODEPURAÇÃO EM FUNÇÃO DA VULNERABILIDADE CLIMÁTICA

Data de submissão: 01/04/2024

Data de aceite: 02/05/2024

Beatriz Rodrigues Bagnolin Muniz

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – Santa Catarina
<https://lattes.cnpq.br/6958587155131105>

Claudia Guimarães Camargo Campos

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/5534448411954586>

Gilmar Conte

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/9645389949660484>

RESUMO: O oxigênio presente na água é de grande importância para a manutenção do equilíbrio hídrico, tendo em vista que é um suprimento para que os microrganismos restabeleçam as condições iniciais após uma perturbação causada pela contaminação oriunda dos lançamentos de efluentes. O oxigênio dissolvido é proveniente da atividade fotossintética, realizada por plantas e algas, e através da interface água-ar. A concentração de oxigênio dissolvido está diretamente relacionada à temperatura da água, concentração de sal e pressão atmosférica. A temperatura é um elemento que tem grande interferência

no fornecimento de oxigênio dissolvido, na atividade fotossintética e na interface água-ar. Portanto, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão de literatura visando descrever o comportamento do oxigênio quanto às suas fontes de produção e consumo, além de destacar sua relevância no processo de autodepuração. Através desta revisão foi possível evidenciar que o oxigênio dissolvido é um elemento fundamental para a manutenção da qualidade da água, considerando sua representatividade ao longo do processo de autodepuração. Além disso, foi possível verificar que é de grande importância considerar as influências sazonais e as condições climáticas das regiões onde são submetidos os estudos de autodepuração, considerando a interferência de elementos e fatores meteorológicos na concentração do elemento no meio aquático.

PALAVRAS-CHAVE: autodepuração; elementos meteorológicos; fatores meteorológicos.

DYNAMICS OF DISSOLVED OXYGEN IN THE SELF-CLEANING PROCESS DUE TO CLIMATE VULNERABILITY

ABSTRACT: The oxygen present in the water is of great importance for the maintenance of water balance, considering that it is a supply for microorganisms to reestablish the initial conditions after a disturbance caused by contamination from effluent discharges. Dissolved oxygen comes from photosynthetic activity, carried out by plants and algae, and through the water-air interface. Dissolved oxygen concentration is directly related to water temperature, salt concentration and atmospheric pressure. Temperature is an element that has a great interference in the means of supplying dissolved oxygen, photosynthetic activity and water-air interface. Therefore, the purpose of this article is to carry out a literature review aimed at describing the behavior of oxygen in terms of its sources of production and consumption, in addition to highlighting its relevance in the self-debugging process. Through this review, it was possible to show that dissolved oxygen is a fundamental element for the maintenance of water quality, considering its representativeness throughout the self-purification process. In addition, it was possible to verify that it is of great importance to consider the seasonal influences and climatic conditions of the regions where self-purification studies are submitted, considering the interference of elements and meteorological factors in the concentration of the element in the aquatic environment.

KEYWORDS: self-debugging; meteorological elements; meteorological factors.

INTRODUÇÃO

Os corpos hídricos além de serem utilizados como recurso para o atendimento das necessidades humanas, também atuam como meio de descarte de efluentes. Consequentemente, com o crescimento contínuo das populações urbanas, distúrbios antropogênicos das águas superficiais estão causando modificações prejudiciais nos ecossistemas aquáticos (CHEN et al., 2019).

A escassez de água com boa qualidade surge como um dos grandes e importantes problemas que a humanidade precisa enfrentar neste início do século 21. Esta escassez é agravada nas bacias hidrográficas com maiores índices de urbanização, pelo rápido crescimento da demanda de água e pela poluição dos cursos de água advinda do lançamento de águas residuárias sem nenhum tipo de tratamento (SALLA et al., 2013).

Em águas poluídas normalmente tem-se o predomínio de componente orgânico (CHEN et al., 2020). Consequentemente, o estudo dos efeitos da descarga de despejos orgânicos num corpo d'água constitui um problema importante no campo do controle da poluição das águas (DERISIO, 2017). As chamadas "fontes difusas" de matéria orgânica podem também contribuir para o agravamento das condições de poluição das águas naturais e ocorrem principalmente devido ao efeito de lavagem da superfície do solo pelas águas pluviais (PIVELI, 2010).

A adição de matéria orgânica nos cursos d'água consome oxigênio dos mesmos, através da oxidação química e principalmente da bioquímica, via respiração dos microorganismos, depurando assim a matéria orgânica (VALENTE; PADINHA; SILVA, 1997).

Portanto, o oxigênio, assim como na superfície terrestre, é um elemento fundamental nos ecossistemas aquáticos. Pois, é possível que um corpo receptor possa se reestabelecer após ter sofrido um desequilíbrio causado por lançamento de compostos poluentes, fazendo com que se mantenha a qualidade hídrica adequada para o mantimento da biodiversidade aquática.

Logo, a revisão bibliográfica possui a finalidade de descrever a dinâmica do oxigênio dissolvido, contemplando seus meios de produção e consumo, a fim de evidenciar sua relevância no processo de autodepuração e suas vulnerabilidades climáticas.

CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

As concentrações de oxigênio dissolvido, assim como as dos demais elementos constituintes do meio aquático, variam em função dos processos de advecção, difusão e conversão. O processo de advecção corresponde ao transporte do elemento constituinte sem modificar suas características. A difusão consiste na dispersão das partículas do constituinte por meio da movimentação da água podendo ocorrer de duas formas: difusão molecular proveniente do movimento aleatório Browniano das moléculas de água e difusão turbulenta devido a agitação da água originada por barreiras físicas. Por fim, os processos de conversão são ocasionados pela dinâmica dos fatores biológicos, físicos e químicos (VON SPERLING, 2014).

Logo, a concentração de oxigênio dissolvido na água é resultante da interação de diversos processos que tendem a aumentar ou diminuir a mesma (JANZEN, 2008).

FONTES DE OXIGÊNIO

Fotossíntese

Segundo Bergamaschi e Bergonci (2017), a fotossíntese é o processo através do qual as plantas utilizam a radiação como fonte de energia para a produção de Trifosfato de Adenosina (ATP) e do poder redutor fosfato de dinucleotídeo de adenina e nicotinamida (NADPH). Mais especificamente, a energia luminosa impulsiona a síntese de carboidratos e a liberação de oxigênio a partir de dióxido de carbono e água (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A fotossíntese pode ser compartimentada em duas fases: uma que depende diretamente da luz – fase fotoquímica e outra que não depende – fase química (MOREIRA, 2013). Durante a etapa fotoquímica da fotossíntese, a energia luminosa absorvida pelos pigmentos fotossintéticos é convertida em ATP e NADPH (poder redutor) (KERBAUY, 2013). Na fase química, reações de fixação de carbono, a energia do ATP é usada para ligar covalentemente o dióxido de carbono a uma molécula orgânica e o poder redutor do NADPH é então usado para reduzir os novos átomos de carbono fixados a um açúcar simples (EVERT; EICHHORN, 2014). Sendo que a energia armazenada nessas moléculas

pode ser utilizada mais tarde para prover processos celulares na planta e servir como fonte de energia para todas as formas de vida (TAIZ; ZEIGER, 2013). Apesar de se denominar também fase escura, não é totalmente independente da luz, uma vez que para a enzima responsável pela fixação do CO₂, a ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (RuBisCo), requer luz para ser reduzida e estar no seu estado ativo (MOREIRA, 2013).

Os fatores ambientais limitantes à fotossíntese são: concentração de CO₂, nível de luminosidade e temperatura (KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; SILVA, 2015). O que contribui normalmente para a seguinte relação: quanto maior a concentração de CO₂ maior é o crescimento da taxa fotossintética das plantas (LIU et al., 2018). Tratando-se de temperatura, o intervalo mais viável de temperatura para quase todas as plantas é de 10 a 35°C (TKEMALADZE; MAKHASHVILI, 2016). Ressalta-se que a magnitude de trocas de CO₂ entre a água e a atmosfera é de natureza difusiva, sendo que a pressão parcial e a temperatura do ar são fatores considerados primordiais no fluxo desse gás (PIERINI; THOMAZ, 2004). Por fim, as faixas de absorção de luz, realizada pelos cloroplastos, estão entre 640–660 nm para luz vermelha e 430–450 nm para a luz azul-violeta (DONG et al., 2019).

Reaeração atmosférica

A transferência de gases através da interface ar-água constitui uma importante etapa dos ciclos biogeoquímicos de numerosas substâncias, ao governar a sua transição entre o estado dissolvido na água e o estado gasoso na atmosfera (JANZEN; SCHULZ; LAMON, 2008). A transferência de gases é um fenômeno físico, através do qual moléculas de gases são intercambiadas entre os meios líquido e o gasoso pela sua interface (água e ar), ocorre por meio de dois mecanismos: difusão molecular e difusão turbulenta (VON SPERLING, 2014).

A difusão molecular é originada pelo gradiente de concentração, o que faz com que ocorra o movimento molecular de uma região de alta concentração para uma região baixa concentração (MORTARI et al., 2010). Os níveis de concentração do oxigênio dissolvido podem aumentar devido à turbulência na água, o que gera maior troca de oxigênio do ar e da água (NOZAKI et al., 2014). Logo, a difusão turbulenta é mais eficaz, devido a formação de interfaces que aumentam o contato da água com a atmosfera (PEDRON; MENDES, 2005).

No geral, em condições normais, a água é caracterizada por ser um ambiente muito carente em oxigênio, devido à baixa solubilidade (CUNHA; FERREIRA, 2019). Sendo que as variáveis como a temperatura da água e a pressão atmosférica influem diretamente na quantidade de oxigênio dissolvido. Quanto maior a pressão atmosférica, maior a dissolução (PELLACANI, 2005), e conforme Derisio (2017), quanto maior a temperatura da água menor é a retenção de gases.

Segundo Fiorucci e Benedetti Filho (2015), no controle da solubilidade do O₂ na água a temperatura é um fator muito importante. Considerando que a temperatura do ar diminui com o aumento da altitude, há uma relação direta entre ambas, pois como a solubilidade dos gases em água diminui com a elevação da temperatura, a quantidade de oxigênio que se dissolve a 0 °C (14,2 mg/L) é mais do que o dobro da que se dissolve a 35 °C (7,0 mg/L).

Segundo Von Sperling (2014), a variação da temperatura na água pode ser de origem natural, por meio da transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo). Ainda de acordo com o autor, as elevações de temperatura aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas (na faixa usual de temperatura), diminuem a solubilidade dos gases, como o oxigênio dissolvido e aumentam a taxa de transferência de gases (o que pode gerar mau cheiro, no caso da liberação de gases com odores desagradáveis).

Um rio em condições naturais apresenta normalmente de 8 a 10 mg/L, podendo variar conforme a temperatura do ar e pressão atmosférica (NOZAKI et al., 2014).

FATORES DE CONSUMO DE OXIGÊNIO

O consumo de oxigênio no meio aquático ocorre através da oxidação da matéria orgânica, nitrificação e a demanda bentônica.

Oxidação da matéria orgânica

A oxidação é o processo em que ocorre a remoção de elétrons de uma substância, elevando o seu estado de oxidação, sendo que em águas naturais o agente oxidante mais importante é o oxigênio dissolvido (BAIRD; CANN, 2011). Ou seja, a oxidação é uma forma de transformar poluentes em compostos menos indesejáveis ao meio ambiente (ANDRADE, 2010). Sendo que, a oxidação da matéria orgânica, de origem biológica, corresponde ao principal fator de consumo de oxigênio (GALDINO; TROMBINI, 2018).

A matéria orgânica presente nos ecossistemas aquáticos é proveniente de fonte alóctone e autóctone (BHATTACHARYA; OSBURN, 2020). A matéria orgânica alóctone, que é de origem externa do ambiente aquático, é composta principalmente por folhas oriundas da vegetação próxima aos corpos de água, enquanto a matéria orgânica autóctone é oriunda no próprio ecossistema, onde se destacam as macrófitas aquáticas (GIMENES; CUNHA- SANTINO; BIANCHINI JUNIOR, 2010).

Nitrificação

A nitrificação corresponde em um processo de grande importância no fornecimento, no ciclo biogeoquímico, de amônia e oxigênio e pode servir para mediar esses níveis em sistemas aquáticos (PAUER; AUER, 2009).

Conseqüentemente, os organismos oxidantes de amônia exercem uma função fundamental na purificação da água e na ciclagem de nitrogênio. Porém, a variação de espécies e quantidade desses organismos são determinadas por fatores como temperatura, concentração de oxigênio dissolvido e matéria orgânica (SIMS et al., 2012).

Nas águas, o nitrogênio está presente sob quatro formas: nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrito e nitrato (ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016). A nitrificação é um processo aeróbio realizado por bactérias autotróficas, em que a amônia (NH_3) é oxidada para nitrito (NO_2^-), por meio de bactérias oxidantes de amônia (BOA), e então o nitrito é oxidado para nitrato (NO_3^-), por meio de bactérias oxidantes de nitrito (BON) (BUENO et al., 2019).

O consumo de oxigênio por estas reações é denominado demanda nitrogenada ou demanda de segundo estágio, por ocorrer numa fase posterior a das reações de oxidação da matéria orgânica carbonácea. Isso ocorre porque as bactérias nitrificantes, autotróficas, possuem uma taxa de crescimento menor que as bactérias heterotróficas (VON SPERLING, 2014).

Devido ao consumo de oxigênio por nitrificação, um sistema fluvial pode sofrer de depleção de oxigênio, o que pode afetar negativamente os organismos aquáticos (LE; FETTIG; MEON, 2019).

Demanda bentônica

A matéria orgânica decantada também pode consumir oxigênio dissolvido, e nesse caso, essa demanda é denominada demanda bentônica ou demanda de oxigênio pelo sedimento (ANDRADE, 2010).

Porém, esse consumo de oxigênio no sedimento não depende exclusivamente da concentração de oxigênio na água, pois acaba sendo influenciado pelas características químicas do material orgânico e das substâncias redutoras (MCCARTHY et al., 2013).

As comunidades microbianas bentônicas possuem elevada heterogeneidade, principalmente no perfil transversal do curso da água, com a atividade microbiana mais intensa na camada próxima da interface água-sedimento (JOURABCHI et al., 2008).

Os macroinvertebrados bentônicos são considerados relevantes componentes de ecossistemas aquáticos, pois desempenham importantes papéis na cadeia alimentar, produtividade, ciclagem de nutrientes e decomposição de matéria desses ambientes, tanto no sedimento quanto associados a macrófitas aquáticas (SILVA, 2016).

O sedimento divide-se em duas camadas, superior e inferior, a camada superior realiza a estabilização aerobiamente; enquanto na camada inferior, por não possuir contato com o oxigênio da massa líquida, a estabilização ocorre de forma anaeróbica (VON SPERLING, 2014).

PROCESSO DE AUTODEPURAÇÃO

A autodepuração consiste em um fenômeno de sucessão ecológica que resulta no restabelecimento do equilíbrio no meio aquático através de mecanismos essencialmente naturais de âmbito físico, químico e bacteriológico, essencialmente naturais (SARDINHA et al., 2008).

No corpo d'água, que recebe um lançamento de esgoto, ocorre o fenômeno do desequilíbrio ecológico, que é o aumento do número de indivíduos de uma única espécie, com consequente desaparecimento de outras espécies (ANDRADE, 2010).

Conseqüentemente, alterações na comunidade biótica, diminuição da diversidade, comprimento reduzido da cadeia alimentar, aumento da prevalência de doenças e redução da população, podem ser utilizadas como um diagnóstico de um ecossistema aquático (GIANESELLA et al., 1999).

O processo de autodepuração se desenvolve ao longo do tempo e da direção longitudinal do rio e grande parte das reações que ocorrem lentamente caracterizando-se normalmente como ordem zero ou de primeira ordem. A redução da matéria orgânica, assim como a inserção de oxigênio por reaeração, são caracterizadas conforme a cinética de primeira ordem, ou seja, a taxa de reação é proporcional à concentração do reagente (VON SPERLING, 2014), pois quanto maior a quantidade de partículas maior é número de choques (PIVELI; KATO, 2006). Uma vez que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é consumida, os valores de oxigênio dissolvido tendem a diminuir, pois a matéria orgânica presente no curso d'água vai sendo biologicamente degradada até que o oxigênio dissolvido seja retomado ao seu valor inicial (GUEDES; TERAN; GUEDES, 2019).

Segundo Braga (2005), ao longo do tempo e considerando o perfil longitudinal, existem estágios de sucessões ecológicas associadas a zonas fisicamente identificáveis nos rios, definidas como zonas de autodepuração (Figura 1).

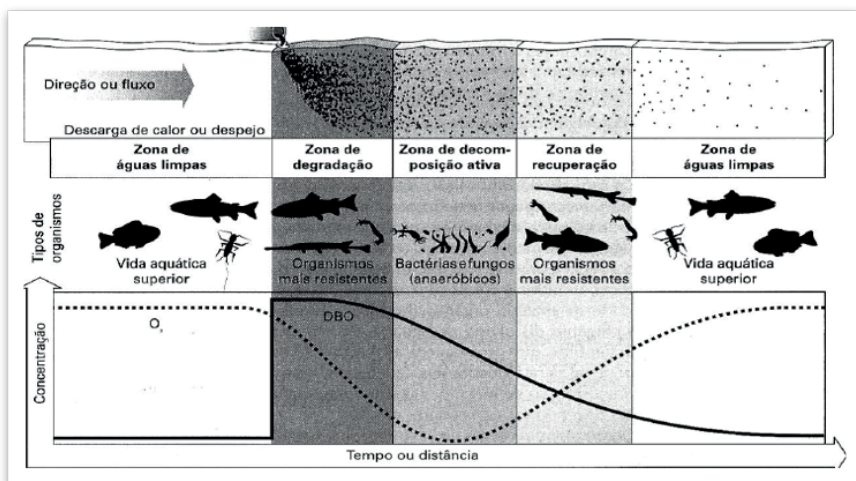


Figura 1 – Estágios de sucessões ecológicas divididas em zonas fisicamente identificáveis nos rios.

Fonte: Braga et al. (2005).

A zona de degradação é caracterizada como a fase inicial de perturbação do ecossistema causada por lançamento de efluente possuindo alta concentração de matéria orgânica (COSTA; TEIXEIRA, 2010).

A zona de decomposição ativa corresponde ao início da retomada do equilíbrio hídrico através da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, logo, os reflexos no corpo d'água atingem o máximo e conseqüentemente a qualidade da água encontra-se em seu estado mais deteriorado (VON SPERLING, 2014). Isso ocorre devido a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que corresponde a quantidade de oxigênio dissolvido necessária para os microrganismos aeróbicos, presentes em um corpo de água, quebrar os componentes orgânicos disponíveis em água a uma determinada temperatura durante um determinado período (AHMED; SHAH, 2017).

A zona de recuperação tem início após a fase onde se inicia a etapa de restabelecimento do equilíbrio anterior à poluição, com presença de vida aquática superior (ANDRADE, 2010).

A zona de águas limpas corresponde a reorganização, ou seja, as concentrações de matéria orgânica, oxigênio dissolvido e microrganismos retornam as condições iniciais anteriores à perturbação (SARDINHA et al., 2008).

Percebe-se que a concentração de oxigênio dissolvido, principal elemento condicionante do processo de autodepuração em um corpo hídrico, encontra-se diretamente relacionada com o equilíbrio entre os processos de produção e consumo de oxigênio, sendo os mesmos dependentes de muitos fatores, como temperatura da água, salinidade, depleção de oxigênio, fontes de oxigênio e outros parâmetros de qualidade da água (AHMED, 2017).

Com base na descrição das diferentes zonas do processo de autodepuração, dentre os fatores de interferência, destaca-se a importância da temperatura nos ecossistemas aquáticos, pois afeta a solubilidade do oxigênio juntamente com a taxa de atividades metabólicas nos organismos, que correspondem aos mecanismos essenciais ao longo do processo de autodepuração (CHATANGA et al., 2019).

Andrade (2014), desenvolveu um estudo da capacidade de autodepuração do rio Vieira, localizado na cidade de Monte Carlos no Estado de Minas Gerais, georreferenciada no ponto-sede latitude 16°43'41"S, longitude 43°51'54"W e altitude de 638 metros acima do nível do mar e o clima característico da região é tropical.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos com as análises físico-químicas do rio Vieira próximo a nascente.

Parâmetro	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
OD do rio (mg/L)	7,61	7	6,94	6,8	7,08
Temperatura do rio (°C)	23	23	23	23	24
Vazão (m³/s)	0,2505	0,2417	0,2153	0,2683	0,301875

Tabela 1 – Dados do trecho mais preservado.

Fonte: Andrade (2014).

Conforme o INMET (2021), a cidade de Monte Carlos tem um clima tropical sendo que no inverno a pluviosidade é muito menor do que no verão e a temperatura média do ar do município é de 22,7 °C (Figura 2).

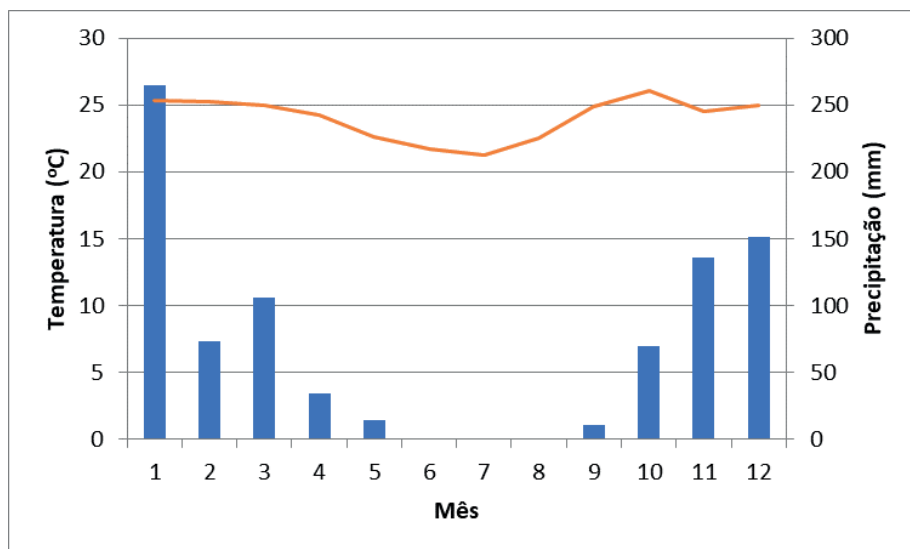


Figura 2 – Temperatura do ar e precipitação média mensal/Clima em Montes Claros.

Fonte: Adaptado INMET (2021).

Através da Figura 2, nota-se que a temperatura apresenta baixa amplitude anual, pouca variação entre os diferentes meses, porém a precipitação possui uma grande amplitude, sendo o período de maio a setembro os de menores volumes.

Sobrepondo as análises físico-química do rio Viera, Tabela 1, com os resultados meteorológico do município de Montes Claros, Figura 2, observa-se que as concentrações de oxigênio dissolvido registradas possuem um comportamento constante, semelhante a temperatura do ar, e diferentemente da precipitação, comprovando a maior influência da temperatura média do ar.

Por meio do estudo da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Desquite em Otacílio Costa Santa Catarina, desenvolvido por Berlanda (2017), foi possível observar o

comportamento do oxigênio dissolvido em uma região de clima caracterizado por subtropical úmido. O município de Otacílio Costa está localizado na região serrana do Estado de Santa Catarina, georreferenciada no ponto sede a uma latitude de 27° 28' 59''S, longitude de 50°07' 19''W e altitude de 884 metros, com uma área de 924,2 Km².

A Tabela 2, confere aos valores registrados da concentração de oxigênio dissolvido e temperatura da água no rio Desquite conforme a estação, inverno, outono, primavera e verão, no período de desenvolvimento do trabalho.

Parâmetro	Inverno	Outono	Primavera	Verão
OD do rio (mg/L)	6,2	5,6	1,5	2,5
Temperatura do rio (°C)	14	17	18	21

Tabela 2 – Dados do trecho mais preservado.

Fonte: Adaptado Berlanda (2021).

O clima da região é subtropical úmido, predominante em Santa Catarina, sendo que ao contrário da maior parte do território brasileiro, possui as quatro estações bem definidas com chuvas distribuídas durante todo ano, Figura 3.

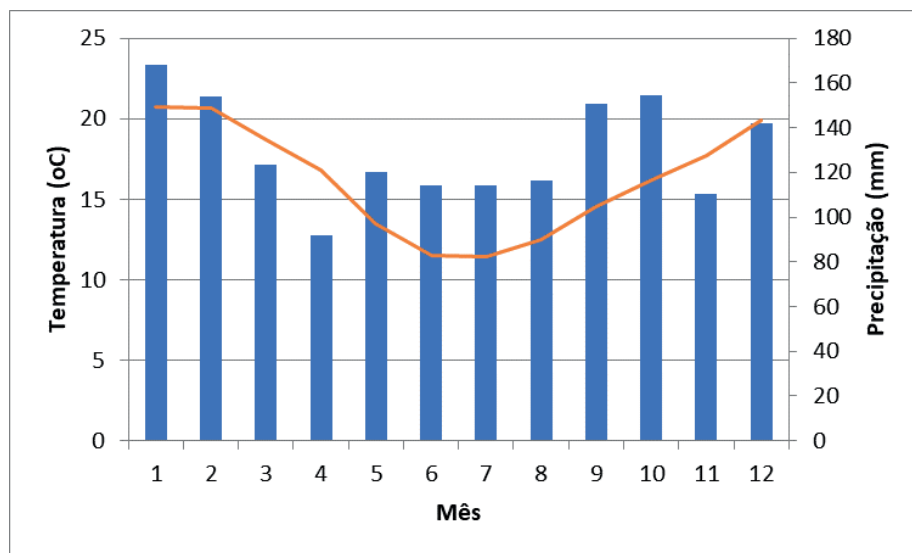


Figura 3 – Temperatura do ar e precipitação média mensal/Clima região de Lages.

Fonte: Adaptado INMET (2021).

Observa-se que as concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas na bacia hidrográfica do rio Desquite foram registradas durante o inverno período que compreende as menores temperaturas do ar e conseqüentemente da água na região.

Outro fator que deve ser ressaltado é o comportamento do oxigênio dissolvido ao longo do rio Desquite, pois apesar de maiores contribuições de efluentes que vão se intensificando ao longo do curso do rio, devido a distribuição de ocupação territorial ao longo da bacia, a maioria dos valores registrados se mantem praticamente com o mesmo comportamento dos pontos iniciais, que correspondem a trechos com um ambiente mais preservado. É perceptível o comportamento do oxigênio dissolvido nos trechos onde se iniciam maiores contribuições de despejos de efluentes domésticos, industriais, entre outros, é dependente das características dos mesmos, porém analisando a dinâmica desses trechos com os trechos iniciais, percebe-se que o comportamento do oxigênio dissolvido está sendo mais diretamente afetado pela temperatura média do ar/água.

Analisando a dinâmica do oxigênio dissolvido em pontos mais próximos da nascente entre os dois rios, observa-se concentrações inferiores para o rio Desquite quando comparado com o rio Vieira. Essa diferença pode ser em função das diferentes características físico químicas existentes entre os dois rios, porém um fator externo que pode estar influenciado o processo de retenção de oxigênio no meio aquático seria a pressão atmosférica, em função da diferença de altitude entre os rios Vieira e Desquite, 638 e 884 metros, respectivamente.

Além de se conhecer as características climáticas da região, deve-se considerar possíveis tendências de alteração na dinâmica de recuperação do meio hídrico em virtude de possíveis mudanças climáticas, as quais referem-se essencialmente a mudanças de longo prazo nas variáveis climáticas, seja a mudança nas condições climáticas médias ou na distribuição de eventos climáticos em torno da normal (WU et al., 2020).

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357/05, os limites de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para água doce classe 2 e 3 podem ser superiores aos valores estabelecidos, em casos em que se comprove, através de estudo de autodepuração, que o corpo receptor possui capacidade de manter as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido que são 5 mg/L e 4 mg/L para classe 2 e 3, respectivamente (BRASIL, 2005).

Para cada uma das classes a legislação estabelece um valor fixo como parâmetro, ou seja, não são consideradas possíveis alterações no valor mensurado em função das variações sazonais e regionais. Mas como a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos pode ser considerada como um critério para o estabelecimento dos padrões de descarga (TIAN; WANG; SHANG, 2011), além de considerar o efeito do enriquecimento orgânico e de nutrientes, ou seja, o aumento da quantidade e concentração de efluentes no meio hídrico, o efeito potencial da mudança climática global deve ser levado em consideração ao analisar as tendências da dinâmica da concentração do oxigênio dissolvido (VILLATE et al., 2013). Tendo em vista que a qualidade da água poder ser alterada até mesmo em função da sazonalidade (GOMES et al., 2018).

Logo, a avaliação da qualidade dos corpos hídricos é de grande relevância e deve ser testada de acordo com as características peculiares de cada região, com a finalidade de sugerir ações adequadas para preservação da diversidade biológica (NOZAKI et al., 2014). Pois a qualidade da água é geralmente degradada por efluentes provenientes de estações de tratamento ou em muitos casos inatura de diversas origens, quantidades e composição que excede a capacidade de autodepuração do corpo hídrico (FARHADIAN et al., 2019).

CONCLUSÃO

Através da revisão da literatura foi possível constatar que no desenvolvimento de estudos de autodepuração é de grande importância monitorar a dinâmica do oxigênio dissolvido em função dos elementos e fatores meteorológicos da região de estudo, considerando a grande influência na manutenção das concentrações.

Ressalta-se que é imprescindível a elaboração de estudos com a finalidade de identificar e quantificar quais variáveis se demonstram como principais precursoras para o desenvolvimento do processo de autodepuração, e como as mesmas atuam em diferentes regiões, principalmente em regiões de clima subtropical, por exemplo, as quais possuem as estações bem definidas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), por meio da concessão da bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

AHMED, A. A. M. **Prediction of dissolved oxygen in Surma River by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs)**. Journal Of King Saud University - Engineering Sciences, v. 29, n. 2, p.151-158, abr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2014.05.001>

AHMED, A. A. M; SHAH, S. M. A. **Application of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to estimate the biochemical oxygen demand (BOD) of Surma River**. Journal Of King Saud University - Engineering Sciences, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 237-243, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2015.02.001>.

ANDRADE, E. B. **Estudo da autodepuração do rio vieira através da modelagem matemática**. 2018. Monografia (Especialização) - Curso de Lattus Sensus em Recursos Hídricos e Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros. 2014.

ANDRADE, L. N. D. **Autodepuração dos corpos d'água**. Revista da Biologia, Vitória, 30 dez. 2010. <http://dx.doi.org/10.7594/revbio.05.04>

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima**. 1. ed. Guaíba: Agrolivros, 2017.

BERLANDA, A. et al. **Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Desquite, Santa Catarina**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 1, p. 45-51. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220180094>

BHATTACHARYA, R.; OSBURN, C. L. **Spatial patterns in dissolved organic matter composition controlled by watershed characteristics in a coastal river network: The Neuse River Basin, USA**. Water Research, v. 169, p. 115248-115258, fev. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2014.05.001>

BRAGA, B. et al. **Introdução a engenharia ambiental: o desavio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. National Council for the Environment - CONAMA. 2005. CONAMA Resolution n. 357, of March 17, 2005. Official Gazette of the Union, Brasília.

BUENO, R. D. F. et al. **Remoção simultânea de material orgânico, nitrogênio e fósforo em um reator em bateladas sequenciais com biofilme de leito móvel operado pelo processo anaeróbio-anóxico-óxico**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 24, n. 4, p.1-2, ago. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522019125711>

CHATANGA, P. et al. **Situational analysis of physico-chemical, biochemical and microbiological quality of water along Mohokare River, Lesotho**. Egyptian Journal Of Aquatic Research, [S.L.], v. 45, n. 1, p. 45-51, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejar.2018.12.002>

CHEN, H. et al. **Kernel functions embedded in support vector machine learning models for rapid water pollution assessment via near-infrared spectroscopy**. Science Of The Total Environment, v. 714, p.136765-136772, abr. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136765>

CHEN, S. et al. **Local habitat heterogeneity determines the differences in benthic diatom metacommunities between different urban river types**. Science Of The Total Environment, v. 669, p.711-720, jun. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.030>

COSTA, D. J. L.; TEIXEIRA, D. **Aplicação de modelo de autodepuração para avaliação da qualidade da água do ribeirão do ouro, Araraquara-SP**. Revista Brasileira Multidisciplinar, Araraquara, v. 13, n. 1, p.49-62, 15 jul. 2010. <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2010.v13i1.125>

CUNHA, C. D. L. D. N.; FERREIRA, A. P. **Análise crítica por comparação entre modelos de qualidade de água aplicados em rios poluídos: contribuições à saúde, água e saneamento**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p.473-480, jun. 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019112332>

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle da poluição ambiental**. 5. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

DONG, R. et al. **Recent developments in luminescent nanoparticles for plant imaging and photosynthesis**. Journal Of Rare Earths, v. 37, n. 9, p.903-915, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jre.2019.04.001>

EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Raven: biologia vegetal**. 8a. ed., Grupo Gen - Guanabara Koogan, 2014.

FARHADIAN, M. et al. **Minimal adverse impact of discharging polluted effluents to rivers with selective locations**. *Sustainable Cities And Society*, v. 46, p.101394-101400, abr. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.022>

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. **A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos**. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 1, n. 22, p.1- 6, abr. 2015. <http://qnesc.sbgq.org.br/online/qnesc22/a02.pdf>

GALDINO, N. S.; TROMBINI, R. B. **Análise físico-química da água do córrego Japira, localizado na cidade de Apucarana-Pr**. *Terra e Cultura*, Londrina, v. 27, n. 53, p.67-76, jul. 2018. <http://periodicos.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/333/249>

GANESSELLA, S. M. F. et al. **Assessment of plankton community and environmental conditions in São Sebastião Channel prior to the construction of a produced water outfall**. *Brazilian Journal Of Oceanography*, São Paulo, v. 47, n. 1, p.29-46, 1999. <https://doi.org/10.1590/S1413-77391999000100003>

GIMENES, K. Z.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JUNIOR, I. **Decomposição de matéria orgânica alóctone e autóctone em ecossistemas aquáticos**. *Oecologia Australis*, v. 14, n. 04, p.1036-1073, dez. 2010. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2010.1404.13>

GOMES, S. H. R. et al. **Modelagem sazonal da qualidade da água do Rio dos Sinos/RS utilizando o modelo QUAL-UFMG**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, p.275-285, mar. 2018. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018169332>

GUEDES, D. M.; TERAN, F. J. C.; GUEDES, P. G. D. S. A. **Avaliação da Influência do Coeficiente de Desoxigenação no Modelo de Autodepuração Utilizando Efluentes de Laticínio**. *Revista Internacional de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p.32-46, dez. 2019. <https://doi.org/10.12957/ric.2019.42731>

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 1 fev. 2024.

JANZEN, J. G.; SCHULZ, H. E.; LAMON, A. W. **Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 278-283, set. 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000300006>

JOURABCHI, P. et al. **Quantitative interpretation of pore water O₂ and pH distributions in deep-sea sediments**. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, v. 72, n. 5, p.1350-1364, mar. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.12.012>

KERBAUY, G. B. *Fisiologia vegetal*. São Paulo: Guanabara Koogan, 2013.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M. D. **Aspectos Fisiológicos e Ambientais da Fotossíntese**. *Revista Virtual de Química*, São Paulo, v. 7, n. 1, p.56-73, fev. 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150004>

LE, T. T. H.; FETTIG, J.; MEON, G. **Kinetics and simulation of nitrification at various pH values of a polluted river in the tropics**. *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 19, n. 1, p.54-65, jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.06.006>

- LIU, G. et al. **Is elevated CO₂ in space harmful to growth and development? A case study of Chufa (Cyperus esculentus L.) in Lunar Palace-1.** Acta Astronautica, v. 146, p.282- 288, mai. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.03.002>
- MCCARTHY, M. J. et al. **Oxygen consumption in the water column and sediments of the northern Gulf of Mexico hypoxic zone.** Estuarine, Coastal And Shelf Science, v. 123, p.46-53, mai. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.02.019>
- MOREIRA, C. **Fotossíntese.** Ciência Elementar, Lisboa, v. 1, n. 1, p.1-6, dez. 2013. <http://doi.org/10.24927/rce2013.005>
- MORTARI, D. A. et al. **Interpretação do mecanismo de difusão no processo gás-sólido da reação de dessulfurização.** Química Nova, São Paulo, v. 33, n. 9, p.1887-1891, set. 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422010000900013>
- NOZAKI, C. T. et al. **Comportamento temporal de oxigênio dissolvido e ph nos rios e córregos urbanos.** Atas de Saúde Ambiental (asa), São Paulo, v. 2, n. 1, p.30-44, abr. 2014. <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/ASA/article/view/309>
- PAUER, J. J.; AUER, M. T. **Formulation and testing of a novel river nitrification model.** Ecological Modelling, v. 220, n. 6, p.857-866, mar. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.12.014>
- PEDRON, I. T.; MENDES, R. D. S. **Difusão anômala e equações generalizadas de difusão.** Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 27, n. 2, p.251-258, jun. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000200011>
- PELLACANI, C. R. **Poluição das águas doces superficiais e responsabilidade civil.** Curitiba: Juruá, 2005.
- PIERINI, S. A.; THOMAZ, S. M. **Adaptações de plantas submersas à absorção do carbono inorgânico.** Review Paper, Maringá, v. 3, n. 18, p.629-641, 18 fev. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000300020>
- PIVELLI, R. P. **Curso: Qualidade das águas e poluição.** São Paulo: 2010.
- PIVELI, RP; KATO, MT (2006). **Qualidade das águas e poluição: Aspectos físico químicos.** São Paulo: Abes
- SALLA, M. R. et al. **Estudo da autodepuração do rio Jordão, localizado na bacia hidrográfica do rio Dourados.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p.1-2, jun. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522013000200002>
- SARDINHA, D. D. S. et al. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do meio, Leme (SP).** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p.329-338, set. 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000300013>
- SILVA, J. A. D. et al. **Influência dos processos antropogênicos na qualidade da água e na estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos no córrego Pedra Branca, Alfenas (MG).** Ciência Et Praxis, Alfenas, v. 9, n. 17, p.31-36, 2016. <http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/view/687/496>

SIMS, A. et al. **Temporal and spatial distributions of ammonia-oxidizing archaea and bacteria and their ratio as an indicator of oligotrophic conditions in natural wetlands.** Water Research, v. 46, n. 13, p.4121-4129, set. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.007>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TIAN, S.; WANG, Z.; SHANG, H. **Study on the Self-purification of Juma River.** Procedia Environmental Sciences, v. 11, p.1328-1333, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.199>

TKEMALADZE, G.; MAKHASHVILI, K. A. **Climate changes and photosynthesis.** Annals Of Agrarian Science, v. 14, n. 2, p.119-126, jun. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.05.012>

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP.** Eclética Química, São Paulo, v. 22, n. 1, p.49-66, fev. 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-46701997000100005>

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2014.

VILLATE, F. et al. **Dissolved oxygen in the rehabilitation phase of an estuary: Influence of sewage pollution abatement and hydro-climatic factors.** Marine Pollution Bulletin, v. 70, n. 1-2, p.234-246, mai. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.010>

WU, X. et al. **Impact of climate change on dysentery: Scientific evidences, uncertainty, modeling and projections.** Science Of The Total Environment, v. 714, p.136702-136716, abr. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136702>

ZOPPAS, F. M.; BERNARDES, A. M.; MENEGUZZI, Á. **Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p.29-42, mar. 2016 <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41520201600100134682>

ELIMINAÇÃO DO GENE RASSF9 NA LINHAGEM DE MELANOMA B16F0 ATRAVÉS DE CRISPR/CAS9

Data de aceite: 02/05/2024

Julia Souza e Costa

papel de RASSF9 em vias bioquímicas intracelulares e outros aspectos da biologia tumoral.

RESUMO: O melanoma é o câncer originado pela transformação de melanócitos, sendo o mais letal entre os cânceres de pele. Pode ser dividido em quatro grupos dependendo da mutação presente, sendo mais incidentes alterações nas proteínas B-Raf e Ras. A proteína Ras está associada a diferentes cascatas de sinalização, regulando processos como proliferação, diferenciação, morfologia, apoptose. Os principais efetores de Ras na morte celular são membros da família RASSF (*Ras-association Family*). RASSF9 foi implicado na diferenciação dos queratinócitos e na homeostase dermal e, interessantemente, sua expressão pode ser induzida por exposição solar. Para estudar o papel de RASSF9 em melanomas, iremos eliminar a expressão deste gene na linhagem murina B16F0, através do sistema CRISPR/Cas9. Após seleção de linhagem estável transfectante (B16F0.R9KO), iremos avaliar o impacto da nossa manipulação no crescimento tumoral *in vitro* e *in vivo*, bem como na resistência a quimioterápicos. Finalmente, esta linhagem servirá como ferramenta para novos estudos sobre o

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Durante o período de maio a novembro de 2022, focamos em cultivar as células B16F0, selecionar a concentração ideal do antibiótico, transformar bactérias competentes, amplificar plasmídeos, transfectar HEK293T, produzir o Lentivírus e transduzir a linhagem com lentivírus LentiCRISPRv2 carregando a sequência validada de sgRNA para RASSF9. Sem experiência prévia em laboratório, os primeiros meses foram fundamentais para conhecer e aprimorar técnicas laboratoriais.

Nos meses seguintes, realizamos a extração e trabalhamos o uso de ácidos nucleicos, extração de RNA, síntese de cDNA, reação de qPCR, eletroforese em gel de agarose, marcação de proteínas específicas, obtenção de extrato proteico, eletroforese de proteínas em gel de Poliacrilamida (SDS Page), Western blot, ensaio de crescimento e ensaios de resistência a quimioterápico.

METODOLOGIA

Linhagem celular

Células da linhagem de melanoma murino B16F0 foram cultivadas em meio RPMI 10% e renais de embrião humano HEK293T. A primeira foi crescida em meio RPMI 10%, enquanto as HEK293T, em DMEM 10%.

Meio de Cultura

Cultivamos as células em meios RPMI-1640 (Thermo Fisher), suplementado com 10% de soro bovino fetal (Thermo Fisher), 1% de L-Glutamina (Thermo Fisher) e 1% dos antibióticos penicilina e estreptomicina (Thermo Fisher); DMEM (Thermo Fisher), suplementado com 10% de soro bovino fetal (Thermo Fisher), 2mM de L-Glutamina (Thermo Fisher) e 100 µg/ml dos antibióticos penicilina e estreptomicina (Thermo Fisher); SOB (2% Bacto-tryptone, 0,5% yeast-extract, 10mM NaCl, 2,5mM KCl, 10mM MgCl₂, 10mM Mg₂SO₄, H₂O mili-Q qsp 600mL, ajustando o pH para 7,0); SOB ágar (100mL do SOB após ajustar pH e adiciona-se 1,5g de Bacto Agar); Luria-Bertani ([LB] Kasvi); LB ágar (Kasvi).

Preparação de bactérias supercompetentes DH5a

Efetuamos a produção de bactérias supercompetentes DH5a com o método Inoue. Plaqueamos as bactérias em meio SOB ágar previamente preparados e incubamos overnight à 37°C para ocorrer crescimento. No dia seguinte, selecionamos uma colônia isolada e transferimos para um Erlenmeyer contendo 10ml de meio SOB estéril (pré-inóculo), incubando o frasco sob agitação, overnight (37°C, 300rpm). A bactéria deve crescer com uma densidade óptica de 400-600nm, para isso, aguardamos 18 horas e inserimos 3ml dessa solução em um Erlenmeyer estéril contendo 50 ml de meio SOB (inóculo) e incubamos por 1 hora sob agitação (150rpm). Medimos a absorbância em espectrofotômetro e quando foi atingido o valor da OD 600, os 50ml do inóculo foram transferidos para um tubo falcon, incubados 10 minutos em gelo e centrifugados (3200g por 15 minutos à 4°C). Ressuspendemos o pellet com 20ml de buffer ITB estéril e incubamos no gelo por 10 minutos, repetindo a centrifugação e ressuspendendo o pellet delicadamente com 4ml de buffer ITB. Adicionamos 280ul de DMSO e incubamos em tubo falcon no gelo por 10 minutos. Homogeneizadas as bactérias, dispensamo-las em alíquotas de 100ul em tubos eppendorf e as submergimos rapidamente em recipiente contendo nitrogênio líquido para promover o congelamento rápido.

Amplificação dos plasmídeos LentiCRISPRv2

Utilizamos as bactérias preparadas para amplificação dos plasmídeos LentiCRISPRv2 vetor vazio contendo os genes de resistência à ampicilina, para a seleção das bactérias, e à puromicina, para selecionar as células de mamíferos, como também, o plasmídeo lentiRASSF9, contendo as sequências descritas anteriormente, e ainda o gene responsável pela codificação da proteína Cas9, fusionada ao epítipo Flag. Para isso, transformamos as bactérias Sbl3 pelo método choque térmico. Adicionamos os plasmídeos as bactérias e incubamos no gelo por 30 minutos, depois 2 minutos a 42°C, e por fim, repetimos os 2 minutos no gelo. Acrescentamos 1 mL de meio LB ao tubo que foi submetido a agitação por uma hora (37°C). Passado esse período, inoculamos as bactérias transformadas em placa de petri contendo meio LB-ágar 1,5% com 100µg/ml de ampicilina e incubamos a 37°C por 18 horas. Plaqueamos as bactérias em meio líquido para a extração de DNA plasmidial.

Produção das partículas lentivirais

Partículas lentivirais derivadas do vetor vazio e do vetor contendo sgRNA RASSF9 foram produzidas em células 293T. Para a produção dos lentivírus, as células HEK 293T foram mantidas previamente em meio de cultura DMEM 10% por alguns dias antes do início do protocolo. No dia anterior à transfecção, foram plaqueadas 2×10^5 células HEK293T por poço em uma placa de 6 poços. Após cerca de 24 horas, confirmou-se a confluência de cerca de 80% para a realização da transfecção. Na transfecção, incubamos 1 ml de uma solução contendo 5µg do vetor vazio (LentiCRISPR.v2) ou clonado com o sgRNA de RASSF9 (LentiCRISPR.sgRNA.R9), 3.5µg do plasmídeo de empacotamento helper (pCMV-VSV-G), 2.5µg do plasmídeo do envelope (psPAX-2), 22,5 µl de Polyethylenimine 1mg/mL (PEI) e completou-se com DMEM sem soro para ajustar o volume para 1 mL. Como controle da transfecção, as células HEK 293T não receberam o plasmídeo LentiCRISPR.v2. No dia seguinte, trocou-se cuidadosamente o meio de cultura, para coletar o sobrenadante viral 24h após essa troca.

Transdução de células B16F0 com sobrenadante viral

Para realizar a etapa de transdução, utilizamos duas placas de 6-wells, sendo que uma dessas placas foi usada como controle. Foram plaqueadas 2×10^5 células B16F0 em cada um desses 12 poços com 2ml de RPMI10%. No dia seguinte, retiramos 1500µl de meio de cada poço e incubamos 1000µl dos sobrenadantes coletados (uma placa para a solução com LentiCRISPR.v2 vetor vazio e a outra para a solução com o LentiRASSF9) na presença de Polybrene (5µg/ml - Sigma-Aldrich), a 37°C, 5% CO². Passadas 48 horas, foi adicionado Puromicina (Invitrogen) para seleção das células transfectadas. Durante 7 dias seguintes, as células foram mantidas na presença de puromicina e repicadas sempre que necessário.

Extração e Uso de Ácidos Nucleicos

Extração de RNA

Lavamos com PBS 1X as linhagens celulares B16F0, B16F0.EV e B16F0.R9KO, desaderimos com tripsina, coletamos e centrifugamos por 5 minutos a 500 x g. Ressuspendemos o pellet formado em meio de cultivo, contamos as células e separamos 1×10^6 células. Centrifugamos a 500 x g e ressuspendemos o pellet em 500 μ L de TRIzol™ reagent (ThermoFisher). Congelamos essa solução em freezer -80°C.

Para realizar a extração, descongelamos em gelo as amostras congeladas e adicionamos 100 μ L de clorofórmio. Homogeneizamos as amostras e mantivemos a temperatura ambiente por 3 minutos. Decorrido esse tempo, centrifugamos as amostras a 12.000 x g a 4°C por 15 minutos.

Nessa etapa, obtivemos 3 fases, sendo que a fase superior é a que está presente o RNA. Coletamos a fase superior e adicionamos 250 μ L de isopropanol. Vortexeamos as amostras e mantivemos em temperatura ambiente por 15 minutos. Em seguida, centrifugamos a 12.000 x g por 15 minutos, a 4°C. Descartamos o sobrenadante, adicionamos ao pellet 500 μ L de etanol gelado 75% e centrifugamos a 7500 x g por 5 minutos a 4°C. Repetimos a etapa com etanol mais duas vezes, removemos o excesso de etanol e aguardamos a evaporação completa do etanol. Adicionamos 20 μ L de H₂O DNase free/RNase free nas amostras e incubamos a 60°C por 10 minutos. Passados os 10 minutos, colocamos rapidamente as amostras em gelo e quantificadas no Nanodrop 2000 (ThermoFisher).

Síntese de cDNA

Utilizamos o RNA extraído para a síntese do cDNA seguindo os passos do tópico 3.7.1. Utilizamos a enzima ImProm-II™ Rever Transcripase (Promega) seguindo as recomendações do fabricante. Na solução de volume total de 10 μ L, adicionamos 2 μ g de RNA e 0,5 μ g de oligo(dT) 12-18 (ThermoFisher). Incubamos as amostras a 70°C por 5 minutos e em seguida por mais 5 minutos em gelo. Adicionamos a essa solução o volume para 1X do *ImProm-II reaction buffer*, 3mM de MgCl₂ 0.5mM de cada dNTP e 1 μ L da enzima ImProm-II™ Reverse Transcriptase. Incubamos por 1 hora a 42°C a solução de volume final 20 μ L e seguimos com a inativação da enzima por incubação a 70°C por 15 minutos. Estocamos o produto a -20°C até ser utilizado na qPCR.

Reação de qPCR

Aplicamos a reação de qPCR para determinar o nível de expressão dos genes RASSF9 e b-actina. Para a mistura de reação, adicionamos 5 μ l de SYBR Green PCR Master Mix (ThermoFisher), 100 ng de cDNA e a concentração padronizada de cada par de

primer. Ajustamos o volume com H₂O DNase free/RNase free para 10 µL. Na amplificação, usamos os valores do *threshold cycle* (CT) de cada amostra, adquiridos na fase exponencial da reação para os cálculos 2- $\Delta\Delta C_t$. Regularizamos os valores pelo *housekeeping* β -actina.

Eletroforese em Gel de Agarose

Para realizar a eletroforese em gel de agarose (1% e 2%) conforme descrito por Sambrook e Russel (J. SAMBROOK, D.W. RUSSEL, 2001), dissolvemos a agarose em TAE e submergimos o gel no mesmo tampão. Em seguida, uma diferença de potencial (70V a 100V) foi aplicada sob amperagem constante. Coramos as moléculas com brometo de etídeo 0,5 µL por 20 minutos e visualizamos em transiluminador com luz UV (260 nm).

Marcação de proteínas específicas

Obtenção de extrato proteico

Lavamos 10⁶ unidades celulares utilizando solução salina tamponada (PBS) 1X, por duas vezes, com centrifugação de 5 minutos a 5000 x g. Em sequência, adicionamos ao material coletado um tampão de amostra para proteínas 1X e submetemos a uma incubação de 5 minutos a 95°C. O produto foi conservado em temperatura de -20°C até o momento de sua manipulação.

Eletroforese de proteínas em gel de Poliacrilamida (SDS Page)

Inserimos as amostras, acompanhadas do marcador de massa molecular de proteína *BenchMarck Ladder* (Invitrogen) em um gel de poliacrilamida desnaturante contendo soluções e concentrações adequadas. Então, posteriormente submetemos os géis à técnica de *Western blotting*.

Western blot

Para analisarmos a expressão de proteínas específicas utilizando anticorpos, transferimos as proteínas para uma membrana de nitrocelulose (Amersham HybondTM-C, GE Healthcare) após a realização de eletroforese em gel de poliacrilamida. Realizamos a transferência utilizando um tampão específico em sistema SemiDry (BioRad), com 30 V por 30 minutos.

Coramos a membrana com Ponceau S 0,1% em 1% de ácido acético depois de realizarmos a transferência. Realizamos o bloqueio utilizando leite integral 5% em PBS 0,1% Tween 20, com agitação constante por 1 hora à temperatura ambiente. Adicionamos o anticorpo primário e incubamos à temperatura ambiente com agitação leve. Os anticorpos utilizados nesse processo foram RASSF9 *Polyclonal Antibody* (Invitrogen) 1:500 e β -actin (8H10D10) *mouse* mAb #3700 (Cell Signaling Technology) 1:1000, nas diluições informadas. Após a incubação, a membrana foi lavada três vezes com PBS/0,1% Tween 20, e em

seguida, foi realizada a incubação com o anticorpo secundário α -IgG de camundongo (1:1000) e de coelho (1:1000) conjugados com HRP, ambos diluídos em solução de leite 5% em PBS 0,1% Tween 20 por 1 hora, com agitação constante. Realizamos lavagens após a incubação com o anticorpo secundário e a revelação foi realizada com ECL caseiro utilizando o equipamento ImageQuant™ LAS 4000 (GE Healthcare Life Sciences).

Ensaio de Crescimento

Para avaliação da capacidade proliferativa da linhagem nocaute obtida, uma curva de crescimento será realizada, plaqueando-se 1×10^4 células por poço de placas de 6 poços. Após 24, 48, 72, 96, 120 e 144 horas, as células serão isoladas, coradas com azul de tripan 0,2% e contadas com auxílio do contador automático Countess II (Thermo Fisher).

Ensaio de resistência a quimioterápicos

Para avaliar o efeito da ausência de RASSF9 nas células B16F0 na resistência à apoptose, células B16F0 e B16F0.R9KO serão incubadas com diferentes concentrações de estaurosporina e a indução de apoptose avaliada pela marcação com $2\mu\text{g/ml}$ de Anexina V conjugada com Alexa Fluor 647 e 50nM de Sytox Green (Thermo Fisher), utilizando-se a técnica de citometria de fluxo (BD FACSCanto™ II). Os dados serão analisados utilizando o software FlowJo v10.

RESULTADOS

Cultivo celular

Sendo a técnica mais fundamental empregada em nosso projeto, meu treinamento se iniciou com a prática do cultivo de células. Células B16-F0 foram descongeladas, crescidas e congeladas até que me tornasse proficiente. Na Figura 2, estão representados diferentes estágios do processo, desde o momento que foram tripsinizadas (Figura 2A), até atingirem confluência em diferentes aumentos (Figura 2B-D)

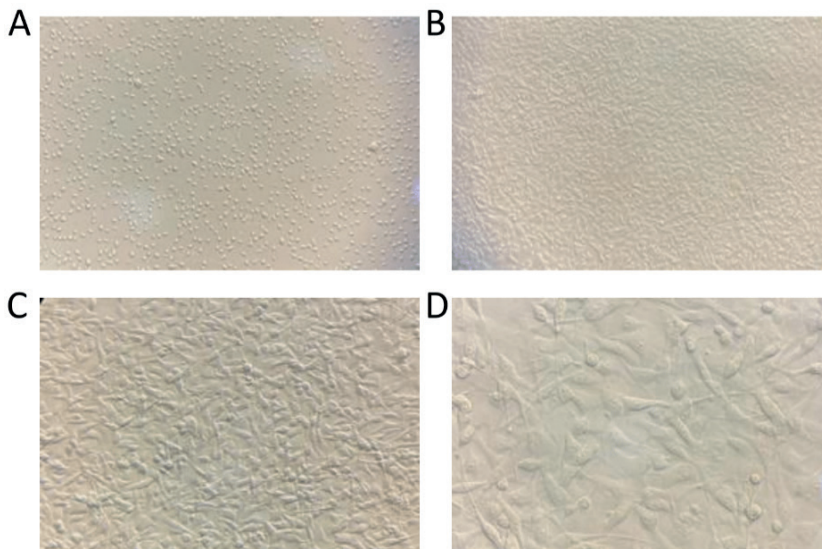


Figura 2. Imagem representativa de culturas do plaqueamento de 1×10^5 células B16F0 em meio RPMI10% FCS. **A**, 1×10^5 células/ml B16F0 imediatamente após serem tripsinizadas em aumento 0,5x. **B**, 5×10^6 células/ml B16F0 quatro dias após serem tripsinizadas em aumento 0,5x. **C**, 5×10^6 células/ml B16F0 quatro dias após serem tripsinizadas em aumento 10x. **D**, 5×10^6 células/ml B16F0 quatro dias após serem tripsinizadas em aumento 20x.

Estabelecimento da concentração de Puomicina para a seleção das células transduzidas

Antes de iniciarmos a transdução das células B16-F0, estabelecemos a concentração ideal de puomicina a ser utilizada na seleção das células transduzidas. Para isso, 1×10^5 células foram plaqueadas em placas de 6 poços e após 24h, diferentes concentrações do antibiótico (0,6-1,4 μ g/ml) foram adicionadas aos respectivos poços. Além das concentrações testadas (**Figura 3. A-E**), as B16F0 foram plaqueadas no mesmo dia, porém sem a presença de antibiótico para utilizar como controle (**Figura 3.F**). Foi escolhida a concentração 1,2 μ g/ml de puomicina por ter sido a concentração em que 90%-95% das células morreram em 3 dias a 5 dias.

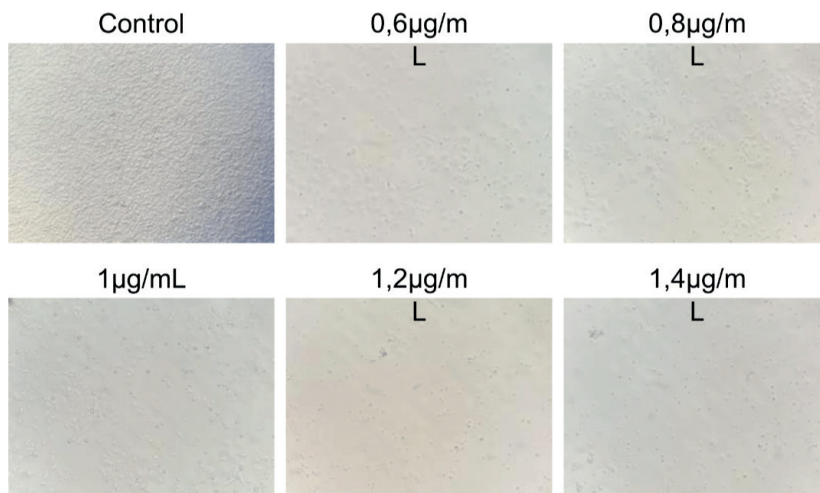


Figura 3. Otimização da concentração de puomicina. Imagem representativa do tratamento de células B16-F0 tratadas com diferentes concentrações de puomicina para a seleção de células transduzidas.

Transfecção das células HEK293T

Para realizar a transfecção das células HEK293T, $1,5 \times 10^6$ células foram plaqueadas em duas placas de 10cm. As concentrações dos plasmídeos foram medidas utilizando um nanodrop 2000, e em seguida as quantidades necessárias de cada plasmídeo foram misturadas com PEI que formassem o complexo. Gotejamos lentamente o conteúdo sobre as células HEK293T e incubamos à 37°C. Após 24h, o meio de cultura foi substituído e após mais 24 horas, o sobrenadante contendo o conteúdo viral foi coletado (**Figura 4**).



Figura 4. Imagem representativa de culturas de células HEK293T transfectadas em aumento 10x.

Transdução das células B16-F0

Para a obtenção das células contendo o vetor vazio (B16F0.EV) e as células nocaute para RASSF9 (B16-F0.R9KO), os respectivos sobrenadantes virais obtidos na etapa de transfecção foram adicionados às células B16-F0. Após 24 horas, as células foram tratadas com o antibiótico de seleção, puomicina ($1,2\mu\text{g}/\text{mL}$), por duas semanas. As células resistentes foram crescidas, congeladas e então seguiu-se para a caracterização das mesmas (**Figura 5**).

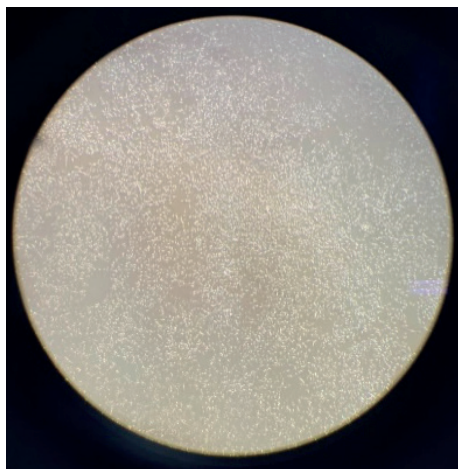


Figura 5. Imagem representativa das células B16-F0 lentivazão em concentração $1,2\mu\text{g}/\text{ml}$ de puomicina 6 dias após a transdução.

Níveis de expressão do gene RASSF9 por qPCR

Para a caracterização das linhagens B16-F0, vetor e nocaute, inicialmente os níveis de expressão de RASSF9 foram medidos à nível de RNA por qPCR (**Figura 6**). Esperávamos obter um nível de expressão maior na linhagem B16F0, similar ao nível das B16F0.EV (vetor) e reduzido nas B16F0.R9KO. No entanto, o resultado não ocorreu conforme planejado, possivelmente por troca das amostras já que muitas amostras foram preparadas ao mesmo tempo. Devido a incoerência de resultados, repetimos os experimentos para confirmar os resultados encontrados nas linhagens B16F0, B16F0.Vec, B16F0.R9KO, Tm5, Tm5.Vec e Tm5.R9KO (**Figura 7**). Esperávamos que a expressão das B16F0 fosse similar a expressão da B16F0.Vec mas elas continuaram expressando menos. Iremos repetir os experimentos para confirmar os resultados.

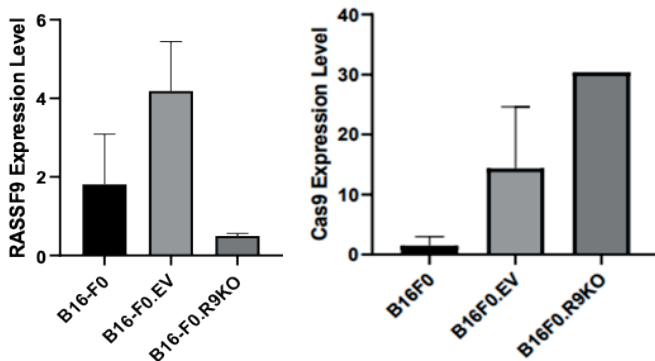


Figura 6. Expressão de RASSF9 nas de melanoma murino B16-F0. Avaliação da expressão relativa de RASSF9 a nível de mRNA por qPCR nas linhagens B16F0, B16F0.EV e B16F0.R9KO.

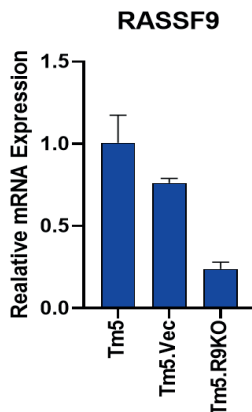


Figura 7. Expressão de RASSF9 em linhagem de melanoma murino Tm5. Avaliação da expressão relativa de RASSF9 a nível de mRNA por qPCR nas linhagens Tm5, Tm5.Vec e Tm5.R9KO.

Avaliação da depleção de RASSF9 por Western Blot

Seguindo com a caracterização das células B16-F0 e Tm5, realizamos avaliação proteica de RASSF9 e Cas9. Em ambas as linhagens, a expressão do Cas9 foi significativamente elevada tanto nas células vetor quanto nas células nocaute para RASSF9 (**Figura 8 e 9**). No entanto, nas células originais, a expressão do Cas9 foi inexistente. Em relação à expressão de RASSF9, notamos uma redução nas células Tm5, embora não tenha sido completamente eliminada. Isso pode indicar a presença de uma população homogênea. Clones dessas células foram gerados e estão em processo de caracterização. Quanto às células B16-F0, não detectamos qualquer sinal para RASSF9. Portanto, será necessário repetir o Western Blot para finalizar a caracterização dessas células.

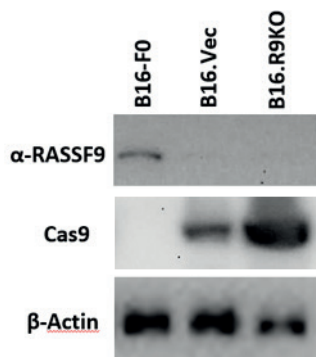


Figura 8. Avaliação da depleção de RASSF9 nas células B16-F0 por Western Blot

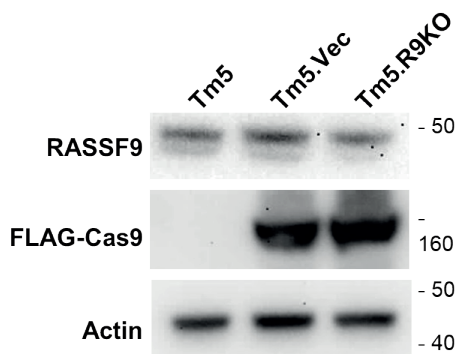


Figura 9. Avaliação da depleção de RASSF9 nas células TM5 por Western Blot

Ensaio de Crescimento das linhagens em estudo

A capacidade proliferativa das linhagens celulares B16F0, B16F0.Vector e B16F0.R9KO, 1×10^4 células foram plaqueadas em placas de 6 poços e contadas após 24, 48, 72, 96, 120 e 144 horas utilizando azul de tripan 0,2% e o contador automático Countess II (Thermo Fisher). Os resultados demonstraram diferenças no crescimento celular entre as células B16-F0 no dia 6 (**Figura 10**).

A linhagem B16F0 registrou um total de 146,3 células, enquanto a linhagem B16F0.Vector apresentou 157,3 células (**Figura 11**). Por outro lado, a linhagem B16F0.R9KO exibiu uma redução no número de células, 76,97 células contadas. Esses resultados indicam que as células nocaute para RASSF9, apresentam redução na capacidade proliferativa.

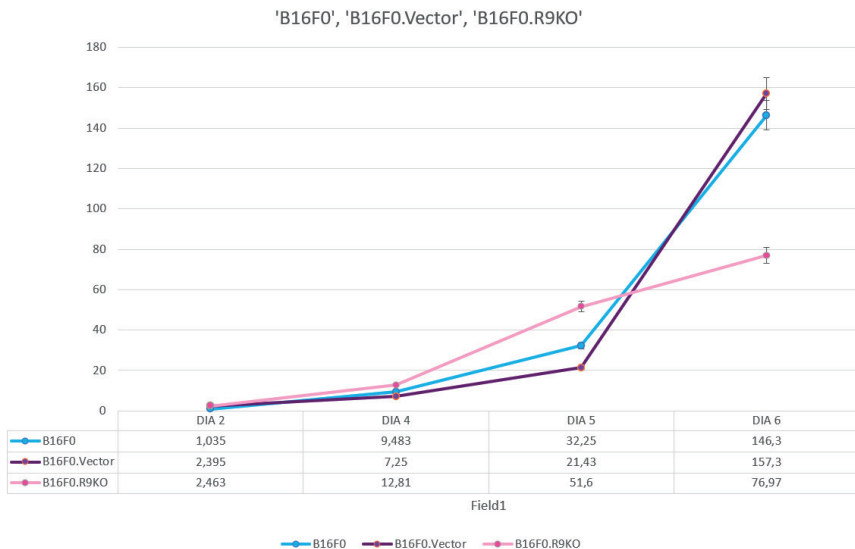


Figura 10. Curva de crescimento das Linhagens B16F0, B16F0.Vector e B16F0.R9KO

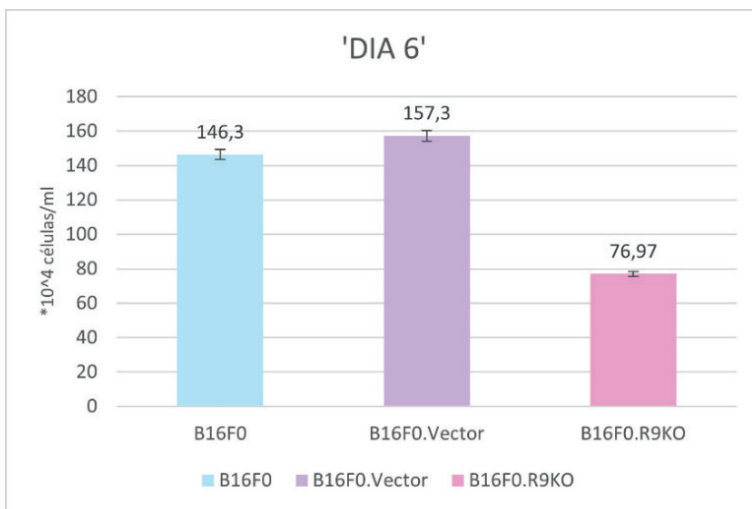


Figura 11. Crescimento das Linhagens B16F0, B16F0.Vector e B16F0.R9KO no Dia 6

Ensaio de Resistência a Morte com Estaurosporina

A capacidade de resistência a morte celular foi avaliada pela porcentagem de células positivas para Anexina-V, que se liga à fosfatidilserina que são expostas no início do processo de apoptose e Sytox Green, um marcador fluorescente de ácido nucleico que não atravessa as membranas celulares de células viáveis, mas marca facilmente o material genético das células em processo de morte celular.

Assim, as células B16-F0 e Tm5 tratadas com 1 μ M de estaurosporina por 24 horas e em seguida marcadas com Anexina-V e Sytox Green (**Figura 12**). Os resultados mostram uma possível resistência ao tratamento com estaurosporina nas células Tm5.R9KO. Essas células apresentaram uma maior viabilidade celular em comparação com as células originais e as células vetor. Por outro lado, nas células B16-F0, observamos diferença entre os grupos tratados. Para confirmar esses resultados, serão necessários mais testes com outras drogas, bem como a finalização da caracterização das células nocaute para RASSF9.

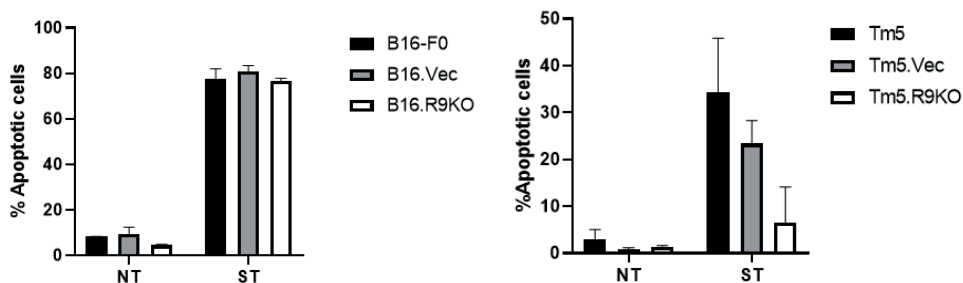


Figura 12. Indução de apoptose por estaurosporina. Gráfico representativo de células B16-F0 e Tm5 após tratamento com estaurosporina (1 μ M).

CONCLUSÃO

Embora a caracterização completa das células B16-F0 e Tm5 não tenha sido alcançada, nossos resultados preliminares sugerem uma diminuição nos níveis de RASSF9. Esta diminuição, embora não seja total, parece ter impactado a taxa de proliferação celular. No entanto, curiosamente, essa redução nos níveis de RASSF9 não parece influenciar a resistência das células à morte induzida por estaurosporina. É importante ressaltar que esses resultados ainda são preliminares e não conclusivos. Portanto, serão necessários mais experimentos para confirmar essas observações e elucidar completamente o papel de RASSF9 na proliferação e sobrevivência celular.

REFERÊNCIAS

AKBANI, R. et al. Genomic Classification of Cutaneous Melanoma. *Cell*, v. 161, n. 7, p. 1681–1696, 2015.

ALBERTS, B. et al. *Molecular Biology of the Cell* 6e. [s.l.: s.n.]. v. 6, 2014

ASCIERTO, P. A. et al. The role of BRAF V600 mutation in melanoma. *Journal of translational medicine*, v. 10, p. 85, 2012.

AZOURY, S. C.; LANGE, J. R. *Epidemiology, Risk Factors, Prevention, and Early Detection of Melanoma* Surgical Clinics of North America, 2014.

BALCH, C. M. et al. Final version of 2009 AJCC melanoma staging and classification. **Journal of Clinical Oncology**, 2009.

BITRA, A. et al. RASSF proteins as modulators of Mst1 kinase activity. **Scientific Reports**, v. 7, n. February, p. 1–11, 2017.

BULMAN, A.; NEAGU, M.; CONSTANTIN, C. Immunomics in Skin Cancer - Improvement in Diagnosis, Prognosis and Therapy Monitoring. **Current Proteomics**, 2013.

CHEN, L.; JOHNSON, R. C.; MILGRAM, S. L. P-CIP1, a novel protein that interacts with the cytosolic domain of peptidylglycine α -amidating monooxygenase, is associated with endosomes. **Journal of Biological Chemistry**, v. 273, n. 50, p. 33524–33532, 1998.

CHUMMUN, S.; MCLEAN, N. R. **The management of malignant skin cancers Surgery (United Kingdom)**, 2017.

COX, A. D.; DER, C. J. Ras history. **Small GTPases**, v. 1, n. 1, p. 2–27, 2010.

Dhanaraman T, Singh S, Killoran RC, et al. RASSF effectors couple diverse RAS subfamily GTPases to the Hippo pathway. **Sci Signal**, 2020

GALLUZZI, L. et al. Molecular mechanisms of cisplatin resistance. **Oncogene**, v. 31, n. 15, p. 1869–1883, 2012.

GOLDSTEIN, B. G.; GOLDSTEIN, A. O. **Diagnosis and management of malignant melanoma American Family Physician**, 2001.

GUY, J. B. et al. Evaluation of the cell invasion and migration process: A comparison of the video microscope-based scratch wound assay and the boyden chamber assay. *Journal of Visualized Experiments*, v. 2017, n. 129, p. 56337, 2017.

HAURI, S. et al. Interaction proteome of human Hippo signaling: Modular control of the co-activator YAP1. **Molecular Systems Biology**, v. 9, n. 1, p. 1–16, 2013.

HENNIG, A. et al. Ras activation revisited: Role of GEF and GAP systems. **Biological Chemistry**, v. 396, n. 8, p. 831–848, 2015.

HUTCHINSON, F.; CANCER, S.; ALLIANCE, C. Treatment of Metastatic Melanoma : An Overview - Cancer Network Treatment of Metastatic Melanoma : An Overview Treatment of Metastatic Melanoma : An Overview - Cancer Network. **Network**, v. 23, n. 6, p. 1–7, 2010.

IGLESIAS GÃ3MEZ, J. C.; MOSQUERA ORGUEIRA, A. An Integrative Analysis of Meningioma Tumors Reveals the Determinant Genes and Pathways of Malignant Transformation. **Frontiers in Oncology**, v. 4, n. June, p. 1–12, 2014.

JIANG, C. et al. Application of CRISPR/Cas9 gene editing technique in the study of cancer treatment *Clinical Genetics*. **Blackwell Publishing Ltd**, 2020.

KITA, R.; FRASER, H. B. Local Adaptation of Sun-Exposure-Dependent Gene Expression Regulation in Human Skin. **PLoS Genetics**, v. 12, n. 10, p. 1–18, 2016.

- LEE, C. M. et al. A novel role of RASSF9 in maintaining epidermal homeostasis. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, 2011.
- LEE, SH., Meng, X., Flatten, K. *et al.* Phosphatidylserine exposure during apoptosis reflects bidirectional trafficking between plasma membrane and cytoplasm. **Cell Death Differ** **20**, 64–76, 2013.
- LI, B. et al. MicroRNA-1254 exerts oncogenic effects by directly targeting RASSF9 in human breast cancer. **International Journal of Oncology**, v. 53, n. 5, p. 2145–2156, 2018.
- LI, W.; MELTON, D. W. Cisplatin regulates the MAPK kinase pathway to induce increased expression of DNA repair gene ERCC1 and increase melanoma chemoresistance. **Oncogene**, v. 31, n. 19, p. 2412–2422, 2012.
- MANUSCRIPT, A. NIH Public Access. v. 11, n. 11, p. 761–774, 2013.
- MERLINO, G. et al. The state of melanoma: challenges and opportunities. **Pigment Cell and Melanoma Research**, v. 29, n. 4, p. 404–416, 2016.
- MILLER, R. P. et al. **Mechanisms of cisplatin nephrotoxicity Toxins**, 2010.
- RAN, F. A. et al. Genome engineering using the CRISPR-Cas9 system. **Nature Protocols**, v. 8, n. 11, p. 2281–2308, 2013.
- RIEDL, A. et al. Comparison of cancer cells in 2D vs 3D culture reveals differences in AKT–mTOR–S6K signaling and drug responses. **Journal of Cell Science**, v. 130, n. 1, p. 203–218, 2017.
- SÁNCHEZ-SANZ, G. et al. MST2-RASSF protein-protein interactions through SARAH domains. **Briefings in Bioinformatics**, v. 17, n. 4, p. 593–602, 2016.
- SÁNCHEZ-TOMÉ, E. et al. Genome-wide linkage analysis and tumoral characterization reveal heterogeneity in familial colorectal cancer type X. **Journal of Gastroenterology**, v. 50, n. 6, p. 657–666, 2015.
- SCHADENDORF, D. et al. Melanoma. **Nature Reviews Disease Primers**, n. April, p. 15003, 2015.
- SCHADENDORF, D.; KOCHS, C.; LIVINGSTONE, E. Handbook of 96 Cutaneous Melanoma. p. 13–28, 2013.
- SHALEM, O. et al. Genome-Scale CRISPR-Cas9 Knockout Screening in Human Cells. **Science**, v. 343, n. 6166, p. 84–87, 2014.
- SHERWOOD, V. et al. RASSF7 Is a Member of a New Family of RAS Association Domain – containing Proteins and Is Required for Completing Mitosis. v. 19, n. April, p. 1772–1782, 2008.
- Shi H, Ju Q, Mao Y, et al. TAK1 Phosphorylates RASSF9 and Inhibits Esophageal Squamous Tumor Cell Proliferation by Targeting the RAS/MEK/ERK Axis. **Adv Sci (Weinh)**. 2021
- SIEGEL, R. L.; MILLER, K. D.; JEMAL, A. Cancer statistics, 2017. **CA: A Cancer Journal for Clinicians**, v. 67, n. 1, p. 7–30, 2017.

TSAO, H. et al. Early detection of melanoma: Reviewing the ABCDEs American Academy of Dermatology Ad Hoc Task Force for the ABCDEs of Melanoma. **Journal of the American Academy of Dermatology**, v. 72, n. 4, p. 717–723, 2015.

VAVVAS, D. et al. Identification of Nore1 as a potential Ras effector. **Journal of Biological Chemistry**, v. 273, n. 10, p. 5439–5442, 1998.

VORA, N. Melanoma and BRAF. v. 600, p. 6–9, 2014.

Yuan, J., Ju, Q., Zhu, J. *et al.* RASSF9 promotes NSCLC cell proliferation by activating the MEK/ERK axis. *Cell Death Discov.* **7**, 199 (2021).

ZHENG, X. et al. The coiled-coil domain of oncogene RASSF 7 inhibits hippo signaling and promotes non-small cell lung cancer. v. 8, n. 45, p. 78734– 78748, 2017.

ZHANG, P. et al. ASPP1 / 2-PP1 complexes are required for chromosome segregation and kinetochore-microtubule attachments. v. 6, n. 39, [s.d.].

ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO VAZAMENTO DA USINA TERMOELÉTRICA RIO MADEIRA NOS POÇOS DO BAIRRO NACIONAL - PORTO VELHO/RO

Data de aceite: 02/05/2024

Melissa Cíndel Alves da Silva

Engenheira Civil, Pós graduada em Avaliações e Perícias de Engenharia pelo INBEC (2023)

Ana Cristina Santos Strava Correa

Engenheira Civil, Doutora em Geotecnia pela Universidade de Brasília (2001)

RESUMO: Pouco se fala a respeito das constantes ocorrências de contaminações das águas subterrâneas por parte das indústrias e usinas, fato este que mascara a realidade das famílias e do meio ambiente por elas atingidas. O presente artigo tem como objetivo estudar a contaminação por vazamento de derivados de petróleo proveniente das instalações da usina termelétrica Rio Madeira localizada no município de Porto Velho/RO, através de coletas de amostras de água dos poços residenciais tipo “amazonas” e da realização de ensaios laboratoriais que permitam a identificação da presença de tais derivados bem como a realização da análise qualitativa das águas coletadas destinadas ao consumo humano. Através do estudo foi possível identificar baixa concentração de derivados de petróleo,

porém com valores fora das faixas limites para o consumo humano preconizadas pela CONAMA N° 357 de 17 de Março de 2005. Essa constatação, levou o presente estudo a propor alternativas para o abastecimento da população residente e a realização do estudo de biorremediação para a correção do problema de contaminação de solo.

PALAVRAS-CHAVE: Águas subterrâneas, contaminação, derivados de petróleo, usina termelétrica.

STUDY OF INTERFERENCE IN SOIL LEAKAGE OF THE THERMOELECTRIC STATION OF RIO MADEIRA IN THE WELLS OF THE NATIONAL NEIGHBORHOOD - PORTO VELHO/RO

ABSTRACT: So Little is said about the continuous occurrences of contamination of groundwater by industries and companies, a fact that hides the reality of families and the environment affected by them. This article aims to study the contamination of oil leakage derivatives from the Rio Madeira thermoelectric installations located in the municipal of Porto Velho/RO, through the collection of water samples from the

Amazonian residential wells and the performance laboratory tests that allow the identification of the presence of oil derivatives as well as the qualitative analysis of the collected water destined for human consumption. Through this identification, it became possible to identify a low concentration of petroleum derivatives but with values outside the limits for human consumption recommended by CONAMA N°. 357 of March 17, 2005. This identification took the present study to propose drillings of artesian wells such as migrating measure to solve the problem of low quality of water for the human consumption and to carry out a bioremediation study to correct the problem of soil contamination.

KEYWORDS: Groundwater, contamination, petroleum products, thermoelectric power plant

INTRODUÇÃO

A água é o mais importante meio de subsistência para os seres vivos, sendo direito de todos a sua utilização para o suprimento de necessidades básicas no que tange o direito à vida preconizado no artigo 5º da Constituição Federal de 1988. Todavia os órgãos competentes de cada estado ou região têm a função de gerir de forma responsável a distribuição e manutenção dos meios utilizados para o fornecimento da água potável à população. Muito embora os canais de abastecimentos mais utilizados sejam realizados na modalidade superficial, ou seja, através da captação em rios, lagos e represas, há também a captação de águas subterrâneas, através de poços artesianos ou semi-artesianos, que são fontes de utilização de menos custo e necessárias para algumas localidades, visando facilitar a vida dos moradores.

Conforme Silva (apud. Oliveira & Loureiro,1998):

“A água subterrânea tem se tornado uma fonte alternativa de abastecimento de água para o consumo humano. Isso é devido tanto a escassez quanto a poluição das águas superficiais, tornando os custos de tratamento, em níveis de potabilidade, cada vez mais elevados. Em geral, as águas subterrâneas são potáveis e dispensam tratamento prévio, pois os processos de filtração e depuração do subsolo promovem a purificação da água durante a sua percolação no meio, tornando-se uma fonte potencial de água de boa qualidade e baixo custo, podendo sua exploração ser realizada em áreas rurais e urbanas.”

Desta forma, se faz necessário a preservação das águas subterrâneas, pois uma vez contaminadas o custo será maior e por vezes inviável aos setores responsáveis.

Uma área contaminada é definida como local, terreno ou instalação onde há legítima condição de poluição ou contaminação causada pela presença quantidades ou concentrações de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, disfarçados, concentrados, armazenados ou infiltrados de forma acidental, natural ou até mesmo propositadamente, resíduos estes que encontram-se em condições que possam ocasionar danos à saúde humana e ao meio ambiente.

Milani, (2008) define que a existência de uma contaminação pode ocasionar problemas nas seguintes áreas:

“A existência de uma área contaminada pode gerar problemas como danos à saúde humana, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, restrições ao uso do solo e danos ao patrimônio público e privado, com a desvalorização das propriedades, além de inúmeros danos ao meio ambiente.”

Em um local contaminado há uma grande possibilidade dos poluentes concentrarem-se em diversos meios físicos causando grandes prejuízos ao meio ambiente, como nas águas superficiais, no solo, e até mesmo no ar que respiramos. Conforme a CETESB (2013), os poluentes ou contaminantes possuem a capacidade de transporte por diferentes meios, como por exemplo o solo, o ar, as águas subterrâneas e superficiais de forma a modificar as características naturais de qualidade do ambiente trazendo impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores.

É importante ressaltar que os componentes da água, sua concentração e outros parâmetros influenciam diretamente o tipo de tratamento a ser realizado, no caso de mananciais ou poços, os mesmos estão sujeitos às condições locais quanto à geologia, clima e atividades humanas. Dessa forma, o processo de tratamento e análise da água deve ser ajustado de acordo com o seu uso, posto que a principal preocupação com a qualidade da água está diretamente voltada para consumo humano. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a área de contaminação por hidrocarbonetos que afeta a qualidade de vida dos moradores locais, de forma a classificar o nível de contaminação da água dos poços tipo amazonas nas residências numa região limitada do bairro Nacional do município de Porto Velho.

METODOLOGIA

Localização e Área de Estudo

A área do presente estudo é eminentemente urbana e está localizada no município de Porto Velho - Rondônia, no bairro Nacional. Neste ponto estão localizadas instalações da concessionária de distribuição de energia elétrica do estado, ENERGISA, local este onde ocorre a contaminação (Figura 1). Vale ressaltar que a contaminação ocorreu anteriormente à administração da ENERGISA.

O bairro Nacional é classificado segundo o plano diretor do município como uma ZPI2 (Zona de projeção de Igarapés), com uma grande densidade populacional, já o local de onde se deriva a contaminação é classificado como uma ZP (Zona de Portuária). É imprescindível ressaltar a importância de uma boa qualidade das águas subterrâneas locais devido a inexistência de abastecimento de água pelo município em diversos pontos do bairro. Sendo assim os moradores suprem suas necessidades básicas através da captação de águas por poços amazonas, que se encontram contaminados.



Figura 01. Usina Termelétrica Rio Madeira no bairro Nacional.

Fonte: Google Maps, (2021).

Caracterização Física, Geológica, Geomorfológica e do Solo

A área no entorno imediato é a mais afetada pois recebe toda contaminação, a partir disso, a propagação dos contaminantes dependerá dos veículos e mídias existentes no meio físico. Para o início do estudo foi necessário determinar as características locais, levando em consideração os aspectos físicos, geológicos e geomorfológicos, visto que tais aspectos influenciam diretamente na forma como o fluido poluidor se comporta no solo até que alcance as águas subterrâneas. A coleta das informações supracitadas serviu como fator crucial na determinação dos pontos de coleta de amostras.

O Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS juntamente com a base de dados de poços do Estado de Rondônia proporcionaram informações que permitiram estruturar um plano de ação para levantar dados de qualidade de água dos poços abastecidos pelo lençol freático contaminados pelo vazamento, disponibilizando informações como análises químicas, informações hidrogeológicas, geológicas e o perfil construtivo local, conforme demonstrado na Figura 2.

Feição Geomorfológica:				
Descrição:				
Formação Geológica:				
Profundidade Inicial (m):		Profundidade Final (m):		Tipo de Formação:
0.00		48.00		Grupo Ji-paraná
Dados Litológicos:				
De (m):		Até (m):		Litologia:
0		11.5		Argila arenosa
11.5		43		Areia conglomerática
43		48		Siltite
Descrição Litológica:				
Argila arenosa amarela				
Areia conglomerática				
Siltite cinza amarelado				
Aquifero no Ponto				
Topo (m):				9.00
Base (m):				48.00
Captação:				Simultânea
Condição:				Semi-Confinado
Penetração:				Total
Nível da Água:				
Data:				08/03/1988
Nível da Água (m):				6.3
Nível Medido Bombeando (S/N)?				S
Vazão (m³/h):				34.5

Figura 02. Relatório de características geomorfológicas do bairro Nacional.

Fonte: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS

Determinação dos Pontos de Coleta

O Sistema de abastecimento água de Porto Velho beneficia 65% da população, o município tem hoje 539.354 Habitantes (IBGE/2020), e a alternativa usada pelos moradores é a utilização das águas subterrâneas, sendo estas coletadas em poços amazônicos e poços tubulares.

A fim de encontrar traços da contaminação no lençol freático utilizado para o abastecimento populacional, foi realizada uma triangulação de forma a captar 3 extremidades estratégicas no entorno do vazamento, visando determinar os pontos de maior contaminação e possibilitar o estudo do comportamento do fluido poluidor. Foram realizadas 6 coletas de amostras, sendo 5 (cinco) em poços amazonas e 1 (uma) em um córrego próximo às propriedades afetadas, tais coletas foram realizadas no mês de Maio/2021, período este enquadrado no inverno amazônico. A avaliação prévia da contaminação pelo fluido poluidor foi baseada nas características hidrogeológicas e geofísicas do solo local.

A Figura 3 apresenta a localização dos pontos de coleta, assim denominados:

AS-1 - Água Superficial do ponto de coleta 1

AP-1- Água de Poço do ponto de coleta 1

AP-2 - Água de Poço do ponto de coleta 2

AP-3 - Água de Poço do ponto de coleta 3

AP-4 - Água de Poço do ponto de coleta 4

AP-5 - Água de Poço do ponto de coleta 5

Vale ressaltar que a coleta de pontos próximos se dá pela diferença geomorfológica local, a exemplo disto temos os pontos de coleta AP-04 e AP-02, o ponto de coleta AP-02 está localizado em um local de maior altitude, tornando-se portanto a montante do ponto AP-04, tal escolha foi realizada visando identificar a possível percolação do fluido poluidor para localizações mais altas. A mesma linha de raciocínio foi adotada para os pontos AP-01 e AP-05, sendo considerado o ponto AP-01 a montante e o ponto AP-05 a jusante da contaminação.



Figura 03. Usina Termelétrica Rio Madeira no bairro Nacional.

Fonte: Google Maps, (2021).

Análise Laboratorial dos Materiais Coletados

As análises físico-químicas e microbiológicas das amostras coletadas foram realizadas no laboratório da FARO aplicando os procedimentos e normas vigentes para cada parâmetro a ser determinado. Seguindo padrões de qualidade da água para consumo humano e outras áreas (como entretenimento e indústria) preconizados pelas normas vigentes, já as análises de óleos e graxas foram realizadas no laboratório LAPEF - Laboratório Análise de Água, Efluentes, Solo e Derivados de Petróleo localizado no município de Porto Velho.

Foram coletados dados de campo como: Data e hora da coleta, ocorrência de chuva, coordenadas geográficas, natureza do poço (Amazônico ou tubular), nível estático da água, nome do proprietário e endereço da localidade. Dentre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos, destacam-se: pH, condutividade elétrica, cor, turbidez, e coliformes fecais e totais. Para as análises de detecção de óleos e graxas foram realizados os ensaios de teor de BTEX e índice de hidrocarbonetos (TPH).

Para a coleta das amostras em campo foram utilizadas garrafas de plástico esterilizadas (1L), que foram lançadas até o nível estático do poço com o auxílio de uma linha de nylon de forma a mergulhar a mesma permitindo que a água adentrasse ao recipiente, desta forma foram coletadas 1 litro de amostra de água de cada ponto estudado e transferida para os frascos de coleta disponibilizados pelo laboratório. Para verificação dos parâmetros fora do padrão serão observados os limites adotados pela resolução

CONAMA: Das Águas Doces, Seção I – Art. 4º, Classe I – RESOLUÇÃO CONAMA No 396, de 03 de Abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Questionário de Pesquisa Populacional

Como ferramenta de pesquisa utilizou-se um questionário com perguntas abertas aos moradores das residências selecionadas para o estudo de seus poços, visando a coleta de dados informativos referente à atual condição de tais moradores locais com relação aos prejuízos decorrentes da contaminação. Para isso, foram realizadas as seguintes perguntas:

1. Há quanto tempo residem no local?
2. Os moradores da residência têm conhecimento sobre o vazamento de óleo?
3. Notou-se a presença de cheiro, cor ou sabor na água?
4. Existe histórico de alagamentos na região?
5. Qual a forma de abastecimento de água da residência? CAERD, poço tipo amazonas, poço artesiano, outros...
6. Existem históricos de doenças infecciosas? (Vômitos, náuseas, diarreias, etc...)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme o Ministério da Saúde Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, os critérios de potabilidade são um conjunto de valores utilizados como parâmetros para a determinação da qualidade da água de abastecimento para o consumo humano. O trabalho atual é de cunho investigativo determinando a potabilidade das amostras de água analisadas e os poluentes derivados de petróleo ou coliformes nelas existentes, posto que os parâmetros analisados são suficientes para a determinação de tal qualidade e dos riscos ao plantio local e à saúde humana. Não foram analisadas as presenças de produtos químicos inorgânicos nas amostras de água devido os mesmos não serem pertinentes ao estudo.

Parâmetros físico-químicos

Através dos ensaios realizados no laboratório da FARO, foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 1) a respeito dos parâmetros físico-químicos, sendo eles: pH, condutividade elétrica, cor e turbidez.

PARÂMETROS	UNID	AP-1	AP-2	AP-3	AP-4	AP-5	AS-1	CONAMA N° 396/2008
pH	-	6,17	6,12	6,6	5,54	5,36	5,75	6,0 - 9,0
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	$\mu\text{s/cm}$	75	113	125	29	112	72	-
COR	ppm	2,5	< 3	< 3	5	< 3	3	15
TURBIDEZ	NTU	357	0,02	0,02	249	0,02	187	100

Tabela 01. Resultados dos parâmetros físico-químicos.

Fonte: Autora (2021)

pH (Potencial Hidrogeniônico)

O pH é um parâmetro muito importante, pois indica a acidez ou alcalinidade das soluções. Por meio dele pode-se ter noção da qualidade de dejetos industriais lançados na água, conforme leciona SANTOS, 2013 (apud. Macedo, 2000).

Os parâmetros adotados para o pH de água podem variar de 0 a 14 identificando a acidez, a neutralidade ou a alcalinidade de uma solução aquosa, sendo considerado um pH <7,0 para soluções aquosas ácidas, pH = 7,0 para soluções neutras e pH >7,0 para soluções alcalinas. A partir disto, fica definido como parâmetro para consumo humano uma faixa de pH entre 6 a 9 conforme preconizado pela CONAMA N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005*

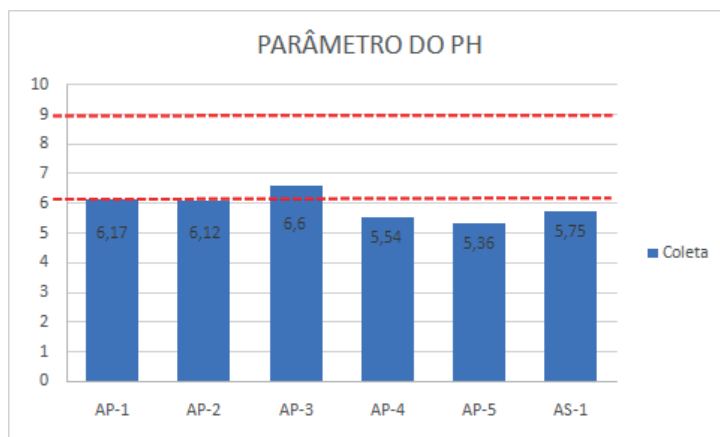


Figura 04. Faixas de limites do pH conforme previsto pela Conama e os respectivos resultados obtidos

Fonte: Autora (2021)

Quanto ao pH das amostras coletadas, os resultados obtidos indicam que as amostras AP-04, AP-05 E AS-01 estão fora da faixa do pH indicado na legislação vigente conforme demonstrado na figura 4, apresentando-se na faixa ácida abaixo de 6,0. Já as demais

amostras analisadas estão em conformidade com a faixa de pH indicada na legislação vigente, sendo estas as amostras AP-01, AP-02 E AP-03, onde as mesmas obtiveram pH entre 6,0 e 9,0. Todavia obteve-se uma média de pH 5,92 entre as amostras analisadas, coerente com o pH das águas subterrâneas da região de Porto Velho (CPRM, 2011)

Ainda que praticamente todas as etapas de tratamento de água dependam do pH obtido, como nos processos de neutralização, desinfecção, precipitação, dentre outros, o mesmo não possui caráter determinante para classificá-la uma água como potável ou não, devido o mesmo não apresentar danos à saúde humana a curto prazo.

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade de um ambiente aquoso conduzir corrente elétrica e está inteiramente ligada ao teor de sais dissolvidos no mesmo sob a forma de íons. Ainda que não seja possível a detecção dos sais dissolvidos por meio deste parâmetro, o mesmo é um indicador de presença de fontes poluidoras na água. A condutividade elétrica não representa riscos à saúde humana, porém é através deste parâmetro que se torna possível determinar a concentração de sólidos totais dissolvidos, onde estes podem apresentar riscos à saúde, uma vez que em excesso, além de tornar a água desagradável ao paladar, possibilita também a formação de cálculos renais devido o acúmulo de sais na corrente sanguínea.

Quanto à condutividade elétrica resultante das amostras coletadas, não existe referência normativa a ser adotada para este parâmetro. Diante disso, subentende-se que quanto menor a condutividade elétrica, maior a possibilidade de presença de matérias orgânicas (óleos, graxas, álcool, fenóis), devido as mesmas não conduzirem corrente elétrica, e quanto maior a condutividade elétrica maior será a presença de sais na amostra.

Verifica-se que a amostra AP-04 apresentou a menor condutividade elétrica (29 $\mu\text{S/cm}$), caracterizando a amostra com a maior possibilidade de presença de matérias orgânicas quando comparado às demais, uma vez que tais matérias orgânicas não possuem capacidade de condução elétrica, sendo considerados isolantes. Já as amostras, AP-02, AP-03 E AP-05 obtiveram os maiores resultados de condutividade elétrica, ultrapassando a faixa de 100 $\mu\text{S/cm}$, representando as amostras com maior concentração de sais e consequentemente menor presença de matéria orgânica. Entre as amostras obteve-se uma média de 87,66 $\mu\text{S/cm}$.

Cor

A cor é um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição da água analisada, que visa indicar a presença de substâncias dissolvidas na água. De acordo com a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, o valor máximo permissível de cor na água distribuída é de 15,0 U.C. Diante disto, todas as amostras de água analisadas encontram-se dentro da faixa indicada pela legislação vigente, indicando uma presença aceitável de matéria orgânica ou metais conforme a figura 5 apresentada abaixo.

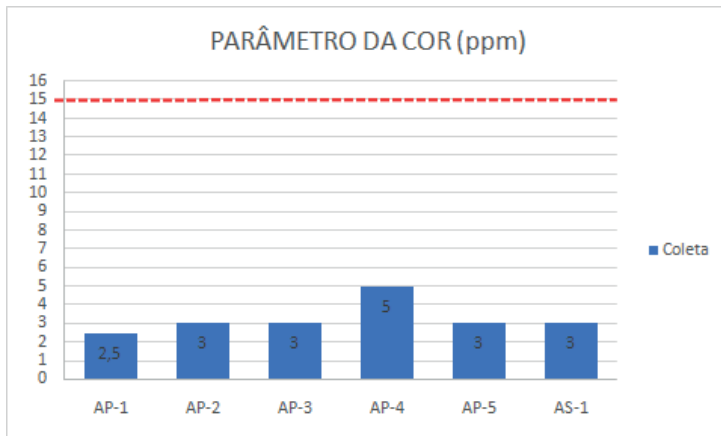


Figura 05. Faixa de limites do parâmetro cor conforme previsto pela conama e os respectivos resultados obtidos.

Fonte: Autora (2021)

Turbidez

A turbidez possui uma ampla importância quanto ao monitoramento ambiental, funcionando como um indicador de poluição. Segundo a Portaria nº 2.914/011, o valor máximo permitido para a turbidez de água potável é de 5,0 NTU. Quanto maior a intensidade da luz espalhada menor será a turbidez da amostra analisada.

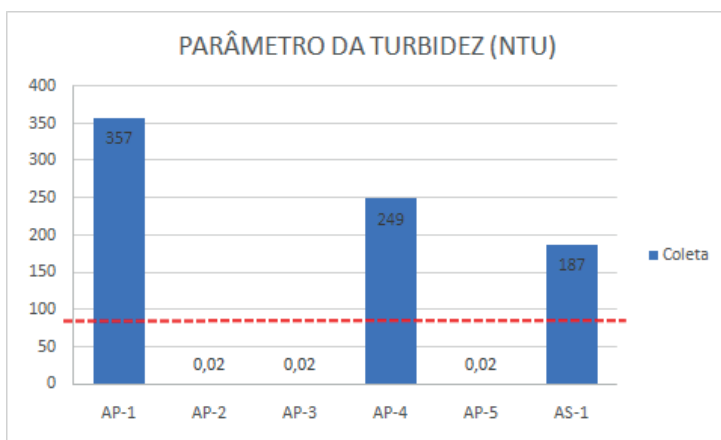


Figura 06. Faixa de limites do parâmetro cor conforme previsto pela conama e os respectivos resultados obtidos

Fonte: Autora (2021)

No que se refere aos resultados obtidos nas análises é possível verificar que as amostras AP-01, AP-04 e AS-01 obtiveram valores acima do permitido por norma, isso indica que nessas amostras há a possibilidade de uma maior presença de matérias sólidas em

suspensão na água, bem como argilas, siltes, e também a presença de matérias orgânicas, foco este do presente estudo. Já as amostras AP-02, AP-03 e AP-05 encontram-se com resultados dentro da faixa limite preconizada pela CONAMA, conforme demonstrado na tabela.

Ensaio Microbiológicos

PARÂMETROS	UNID	AP-1	AP-2	AP-3	AP-4	AP-5	AS-1	CONAMA n° 357/2005
COLIFORMES FECAIS ou E. Coli	UFC / 100 ml	480 0	800	640	720	0	1216 0	1000
COLIFORMES TOTAIS	UFC / 100 ml	680 0	1200	1600	2480	240	1280 0	-

Tabela 02. Resultados das análises microbiológicas.

Fonte: Autora (2021)

Os coliformes totais são os mais importantes indicadores da poluição em águas, onde tais micro-organismos são detectados rapidamente por técnicas que consistem na adição de substratos enzimáticos para a detecção de β -D-galactosidase, que indica a presença de coliformes totais, e de β -Dglucoronidase, que indica a presença de E. coli. (Silva et al., 2013).

Os coliformes totais são considerados microorganismos ambientais, e indicam que a água possa estar em contato com algum tipo de matéria orgânica, o que pode ocorrer devido à permeabilidade das paredes dos poços de coleta que são revestidas, em sua grande maioria, por alvenaria convencional sem a presença de reboco, ou tratamento de impermeabilização nas mesmas. Embora seja considerado um indicador de poluição da água, seu uso para a avaliação de contaminação fecal é muito limitado. Isso se deve ao fato de que também existem bactérias de origem não fecal neste grupo SILVA, (apud. BARBOSA; 11 LAGE; BADARÓ, 2009; DA SILVA et al., 2013).

A *Escherichia coli* é um microorganismo encontrado em fezes humanas e de animais, presentes comumente em solo com contaminação fecal, água e esgoto. A presença de E. coli nas amostras sugere que esta água é imprópria para o consumo humano, já que esta bactéria é uma importante causa de gastroenterites SILVA, (apud. ALVES et al., 2008; SIQUEIRA et al., 2010; DA SILVA et al., 2013).

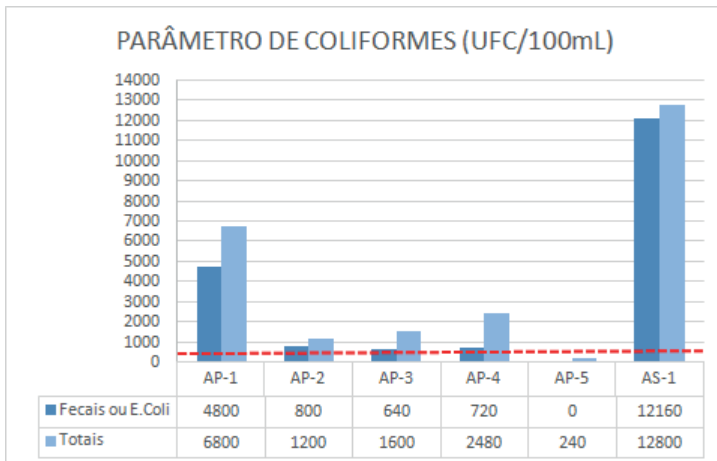


Figura 07. Gráfico dos resultados das análises microbiológicas

Fonte: Autora (2021)

Do total de 6 amostras coletadas, todas apresentaram uma grande carga de bactérias heterotróficas exceto a amostra AP-05, onde não houve detecção de coliformes fecais ou *E. Coli*, todavia, em todas as amostras, detectou-se a contaminação por coliformes totais. A Portaria nº 2.914/2011 estabelece o padrão microbiológico da água para o consumo humano e determina a ausência de positividade de coliformes totais e *Escherichia coli* por 100 mL de amostras de água analisada. Sendo assim, no que se refere às análises microbiológicas, a água destes poços não pode ser considerada potável, de acordo com a Portaria Nº 15 2914, de dezembro de 2011 (MS), uma vez que foram detectados altos valores de coliformes fecais e totais em todas as amostras analisadas ultrapassando os valores dispostos pela legislação vigente, conforme supracitado.

Teor BTEX

PARÂMETROS	UNID	AP-1	AP-2	AP-3	AP-4	AP-5	AS-1	CONAMA nº 396/2008
Benzeno	mg/L	0,091	< 0,001	< 0,001	0,071	< 0,001	< 0,001	0,005
Tolueno	mg/L	0,042	< 0,001	< 0,001	0,012	< 0,001	< 0,001	0,17
Etilbenxeno	mg/L	0,021	< 0,001	< 0,001	0,061	< 0,001	< 0,001	0,2
Xileno Total	mg/L	0,03	< 0,002	< 0,002	0,068	< 0,002	< 0,002	0,3

Tabela 03. Resultados das análises de BTEX.

Fonte: Autora (2021)

Como pode ser observado, as amostras de água analisadas apresentaram valores inferiores ao limite máximo de enquadramento da resolução CONAMA N°396, de abril de 2008. Entretanto em todas as amostras foram detectadas concentração de compostos BTEX. Tais resultados levam ao entendimento de que a situação quanto a contaminação das águas não é preocupante, no quesito analítico, porém é possível identificar de forma visual uma grande presença de óleos ou graxas na superfície da água nos locais de coleta, conforme mostra a figura 8, esta presença de óleos ou graxas superficiais impedem a entrada de luz e oxigênio da água, podendo ocasionar a morte de espécies aquáticas posto que seu desenvolvimento e sobrevivência dependem da luz solar. A correta fiscalização por parte governo federal e das agências estaduais responsáveis e o monitoramento contínuo da poluição são de extremamente importância para garantir a integridade do meio ambiente local, uma vez que houve a confirmação da contaminação em estudo por parte do Ministério Público no ano de 2020.



Figura 08. Detecção visual da presença de óleo ou graxas na superfície das amostras coletadas

Fonte: Autora (2021)

TPH Total

PARÂMETROS	UNID	AP-1	AP-2	AP-3	AP-4	AP-5	AS-1	CONAMA N° 357/2005
fenantreno	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	SVR / µg/L
Benzo(a) antraceno	µg/L	0,002	< 0,005	< 0,005	0,001	< 0,005	< 0,005	0,05
Benzeno(a) pireno	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05
Indeno (1,2,3-cd)pireno	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05
Estireno	µg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,02
Dibenzo(a) pireno	µg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	SVR / µg/L
Nastaleno	µg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	SVR / µg/L
Dibenzo(a,h) antraceno	µg/L	0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,05

Tabela 04. Resultados das análises do índice de hidrocarbonetos.

Fonte: Autora (2021)

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Essas substâncias geralmente são hidrocarbonetos e a presença dos mesmos diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo dessa forma, a transferência do oxigênio da atmosfera para a água.

Quanto ao índice de hidrocarbonetos, houve detecção em todas as amostras e os resultados indicaram baixas concentrações de forma que todas as amostras analisadas encontram-se dentro do limite permitido pela CONAMA, isto mostra que assim como os resultados obtidos nas análises de BTEX a situação quanto a contaminação das águas por hidrocarbonetos não é preocupante, no quesito analítico, no entanto torna-se necessário observar a ocorrência de doenças infecciosas e problemas neurológico nas famílias afetadas pela contaminação devido a detecção de hidrocarbonetos ainda que enquadrados dentro das faixas limites preconizado pela CONAMA.

Questionário

Através do questionário foi possível tomar ciência por parte dos moradores a respeito do histórico da contaminação, desde como a mesma ocorreu e a forma como afeta em suas vidas. Foram levantados questionamentos a respeito da ciência dos moradores quanto a poluição, a incidência de alagamentos na região, presença de cheiro ou gosto na água, qual o tipo de abastecimento de água utilizado pela residência e a possibilidade da existência de um histórico de doenças infecciosas (vômitos, náuseas, diarreias, etc...).

Em sua grande maioria as respostas foram similares. Em todas as residências os moradores haviam conhecimento sobre a contaminação e apenas um morador não acusou a presença de cheiro ou gosto similar ao de combustível na água dos poços, além disso, os moradores informaram um grande histórico de doenças infecciosas nas famílias afetadas após a contaminação, os peixes que viviam em igarapés próximos a área afetada morreram e o plantio local tornou-se deficiente trazendo grandes prejuízos a área local, devido a mesma ser considerada uma área chacareira com forte incidência de plantio para o sustento das famílias locais. Com relação ao abastecimento de água pela concessionária local, o mesmo é inexistente, onde de acordo com os moradores foram realizadas as instalações iniciais para o abastecimento de água, porém não foi feita a ligação para as residências.

Sugestões para Mitigação do problema dos residentes

O levantamento das condições da qualidade da água dos poços, mostra a impossibilidade do consumo seguro das mesmas. Dessa forma o presente trabalho avaliou as seguintes propostas de mitigação:

- I. Perfuração de poços artesianos - Por meio de uma pesquisa local com moradores da região que já possuíam poços artesianos em suas propriedades e com a confirmação da veracidade das informações por empresas especializadas em perfuração de poços artesianos do município, verificou-se que a profundidade média de alcance de água, $\pm 50\text{m}$ de profundidade de forma a captar águas que se enquadrem dentro dos parâmetros previstos para o consumo humano conforme a CONAMA N° 357 de 17 de Março de 2005, é em média de . Diante disto, realizou-se cotações em empresas municipais especializadas em perfuração de poços artesianos e o custo médio para perfuração por unidade habitacional para a profundidade e área de estudo desejada varia entre R\$14.000,00 (Quatorze mil reais) à R\$ 16.000,00 (Dezesseis mil reais).
- II. Interligação da rede de distribuição da concessionária, existente no bairro, uma vez que ja possuem instalações de distribuição de água executadas pela concessionária local (CAERD) porém inacabadas. Existe ainda um reservatório instalado no bairro com capacidade de 3,5 milhões de litros. As obras para a distribuição de água à população local foram paralisadas no ano de 2018 e serão retomadas no ano de 2021.
- III. Remediação do solo para futuras: após o estancamento do vazamento e remoção da fonte de contaminação, sugere-se proceder à recuperação do solo contaminado por meio da biorremediação. De modo geral, a biorremediação baseia-se na degradação bioquímica dos contaminantes por meio da atividade de microorganismos presentes ou adicionados no local de contaminação (Bernoth et al., 2000). Conforme Andrade (2010) os solos possuem, naturalmente, inúmeros microorganismos com capacidades metabólicas variadas podendo tornar-se capazes de degradar eficientemente diferentes contaminantes, como o petróleo e seus derivados. Contudo, em alguns casos, a contaminação de solos por estas substâncias tem se tornado

uma problemática mundial, principalmente, devido à dificuldade de reabilitar a área contaminada. Deve-se levar em conta o alto custo para a realização de tal estudo e implantação do mesmo, visto que o período mínimo para a obtenção de resultados positivos válidos podem levar anos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto à forma de abastecimento de água domiciliar, dos cinco poços monitorados, os poços amazônicos são a única forma de abastecimento de água em 100% das residências utilizadas para o estudo, não havendo abastecimento de água da rede pública. Vale ressaltar que para o suprimento das necessidades dos moradores, a empresa responsável pela propagação da poluição tem fornecido temporariamente água potável de suas instalações para os moradores locais através de uma instalação provisória. O estado da edificação, o saneamento e a localização do poço são fatores importantes diretamente relacionados à saúde dos consumidores finais da água, principalmente para as crianças que são mais suscetíveis às doenças transmitidas pela água.

A análise dos dados quanto ao BTEX, não apresentaram valores que ultrapassem os limites de potabilidade impostos pela CONAMA nº 396, sendo as piores situações de contaminação encontradas nas amostras AP-01 e AP-04 e as situações mais favoráveis foram encontradas nas amostras AP-02, AP-03, AP-05 e AS-01, tais diferenças de valores em localidades próximas dá-se pela geologia local, visto que as amostras AP-02,03,05 e AS-01 encontram-se em pontos de maiores altitudes, dificultando a percolação do fluido poluidor uma vez que o mesmo está desfavorável à gravidade.

Ainda que não detectados valores acima do limite previsto para as análises de teor de BTEX e índice de hidrocarbonetos, foco este do presente estudo, e além da possível detecção visual da presença de óleos e graxas na lâmina superficial das águas coletadas, através dos demais parâmetros analisados, foi possível concluir que existem várias fontes com potencial poluidor que permitem caracterizar a água dos poços estudados como imprópria para consumo. Em uma visão macro de todos os parâmetros estudados, determina-se portando os pontos de coleta AS-01, AP-01 e AP-04 como os mais críticos nos quesitos microbiológicos, físico- químicos e pela presença de derivados de petróleo.

Para tanto, a partir dos resultados obtidos é possível realizar o estudo a longo prazo a respeito da viabilidade da utilização de processos de biorremediação no local, visando a correção natural do solo. Contudo, havendo a necessidade de uma rápida intervenção, adota-se como proposta de solução a perfuração de poços artesianos para as famílias afetadas, obtendo-se um custo médio de R\$14.000,00 a R\$16.000,00 reais. Além disso, os poços tipo amazonas devem ser desativados e aterrados, impossibilitando a utilização de águas impróprias para o consumo humano.

REFERÊNCIAS

- SILVA, R. L. B., et al., (2002). Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil, abr. 2002.
- MILANI, A. S. Tecnologias para Remediação de Solos e Águas Subterrâneas. 2008. 117f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Maria/RS, Brasil, 2008.
- CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- IBGE (2014). Cidades, In Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/porto-velho/panorama>. Acessado em 19/04/2021
- PORTARIA N° 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011, Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- CPRM, Serviço Geológico do Brasil (2021). SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acessado em: 10/03/2021
- CONAMA n° 396, de 03 de Abril de 2008, Das Águas Doces, Seção I – Art. 4º, Classe I – Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.
- CETESB (2013). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. O que são áreas contaminadas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/o-que-sao-areas-contaminadas/>. Acessado em: 05/03/2021.
- SANTOS, R. S., et al., (2013). Saúde e Qualidade da Água: Análises Microbiológicas e Físico- químicas em Águas Subterrâneas. Revista Contexto e saúde vol.13 n°24/25. Dez 2013
- SILVA, R. A., et al. Análise Microbiológica da Água de Poços Residenciais em Carmo do Rio Verde-GO. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/17027/1/Ravila%20Silva%20e%20Betania%20Barbosa%20%20%20%20C3%81nalise%20Microbiologica%20da%20%20%20C3%81gua%20de%20Po%20%20C3%A7os%20Residenciais%20em%20Carmo%20do%20Rio%20Verde-GO.pdf>. Acessado em: 25/05/2021
- ANDRADE, J. A., et al., (2010) Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados

ESTUDO DO DESGASTE DE FRESAS DE AÇO RÁPIDO NITRETADAS E COM TRATAMENTO DUPLEX NA USINAGEM DO AÇO SAE 1020

Data de aceite: 02/05/2024

Marcus Vinicius da Silva Mendes

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
<https://lattes.cnpq.br/5152057768402635>

Marcos Guilherme Carvalho Braulio Barbosa

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5456010883385583>

Patrick Abreu de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Piauí, Avenida Universitária, Teresina, Piauí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3985729900983345>

RESUMO: Ferramentas de corte mais duráveis têm grande contribuição na economia e rapidez dos processos de usinagem, visto a menor parada da produção para troca de ferramentas, maiores velocidades de corte e uma menor quantidade de ferramentas. Vários métodos de melhoria de ferramentas vêm sendo estudados e desenvolvidos, dentre eles tem grande destaque a nitretação a plasma em aços rápidos. Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de fresas de topo de aço rápido nitretadas em diferentes condições de temperatura e com tratamento duplex com deposição de TiN na usinagem do aço SAE 1020. Para o estudo do desempenho das ferramentas, utilizou-se microscopia para captura de imagens de desgaste em todas as etapas de usinagem e medição da corrente elétrica requisitada pelo Centro de Usinagem. Para o estudo da superfície usinada, utilizou-se metalografia e ensaio de microdureza. Os ensaios de usinagem foram feitos fixando os parâmetros $v_c = 20$ m/min e $a_p = 0,5$ mm. Notou-se que o mecanismo de abrasão influenciou fortemente no desgaste das ferramentas. A fresa nitretada a 450 °C foi a que apresentou melhor comportamento em relação às fresas nitretadas a 350 °C e

400 °C, sendo uma das que obteve menores valores de corrente elétrica e maior número de passes, maior remoção de material. A fresa com tratamento duplex não teve comportamento satisfatório em comparação com as nitretadas. Verificou-se maiores valores de microdureza nas regiões encruadas da superfície usinada em relação ao centro da peça.

PALAVRAS-CHAVE: Usinagem, Fresamento, Nitretação, Aço Rápido, Desgaste.

STUDY OF WEAR OF NITRIDED HIGH-SPEED STEEL MILLING CUTTER WITH DUPLEX TREATMENT IN MACHINING SAE 1020 STEEL

ABSTRACT: Durable cutting tools make a significant contribution to the economy and speed of machining processes, reducing production downtime for tool changes, allowing higher cutting speeds, and requiring fewer tools. Various methods for improving tools have been studied and developed, with plasma nitriding of high-speed steels being particularly notable. This study aimed to analyze the performance of nitrided high-speed steel end mills under different temperature conditions and with duplex treatment involving TiN deposition in the machining of SAE 1020 steel. Microscopy was used to capture wear images at all machining stages, and the electrical current required by the machining center was measured to evaluate tool performance. Metallography and microhardness testing were employed to study the machined surface. Machining tests were conducted with fixed parameters $v_c = 20$ m/min and $a_p = 0.5$ mm. It was observed that abrasion strongly influenced tool wear. The end mill nitrided at 450°C exhibited the best performance compared to those nitrided at 350°C and 400°C, showing lower electrical current values and a higher number of passes, indicating greater material removal. However, the end mill with duplex treatment did not show satisfactory performance compared to the nitrided ones. Higher microhardness values were found in the work-hardened regions of the machined surface compared to the center of the workpiece.

KEYWORDS: Machining, Milling, Nitriding, High-Speed Steel, Wear.

INTRODUÇÃO

O fresamento é um processo mecânico destinado à obtenção de quaisquer superfícies através da remoção de material por ferramentas rotativas, geralmente multicortantes, cujos dentes removem uma pequena quantidade de material em cada revolução (Ferraresi, 1977).

Os avanços, em grande parte, não ultrapassam o valor de 0,25 mm/dente. Mesmo os avanços sendo considerados leves, as taxas de remoção de material são altas devido à quantidade de dentes que a fresa possui (Shaw, 2005 e Trent, 2000).

Entre os vários tipos de ferramentas de corte utilizadas no mercado, estão as fresas de aço rápido – HSS. O aço rápido é amplamente utilizado na usinagem devido as qualidades que apresenta, como a dureza a quente, que segundo Chiaverini (2008) essa é a propriedade mais importante dos aços rápidos, que garante trabalhos na faixa de 550 °C a 600 °C.

Na procura por maior durabilidade dessas ferramentas, surgem os tratamentos termoquímicos superficiais, que garantem uma maior dureza e maior resistência ao

desgaste, tendo como exemplo a nitretação a plasma. Também, aparecem nesse contexto os revestimentos, sendo um dos mais utilizados o nitreto de titânio TiN, que proporciona maior dureza, estabilidade térmica e resistência à abrasão (Bashir et al., 2017). Klocke (2011) também diz que as propriedades dos aços rápidos relacionadas ao desgaste podem ser aprimoradas com tratamentos de superfície, como a nitretação, que é o enriquecimento da camada superficial com nitrogênio.

Por meio de variações de parâmetros como pressão, composição do gás e temperatura, é possível produzir diferentes estruturas de camada nitretada (Tier, 1998). Ainda de acordo com Tier (1998), na nitretação de um aço, duas zonas podem surgir na superfície da peça: a camada de compostos (mais externa e composta por nitretos de ferro) e a zona de difusão, onde o nitrogênio se encontra como átomos intersticiais ou como nitretos de liga finamente precipitados, sendo a espessura da zona de difusão dependente da temperatura, tempo de tratamento e do conteúdo de elementos de liga do aço.

No campo de estudo da usinagem há a análise de tempo de vida de ferramentas de corte, que estabelece a produtividade de uma ferramenta até que ela atinja um desgaste estipulado como critério de fim de vida, ou até que ela sofra fraturas que a torne inutilizável. Esse desgaste pode aparecer em vários tipos.

Segundo Childs et al. (2000), o desgaste de cratera pode reduzir muito a vida útil da ferramenta de corte por ação de deformação plástica ou fratura. Ferraresi (1977) diz que a ruptura da ponta ou aresta cortante ocorre devido a grandes forças de usinagem em casos de material quebradiço, corte interrompido e parada instantânea do movimento de corte sem a retirada prévia da ferramenta de corte. O desgaste de flanco é caracterizado pela perda de material na superfície de folga da ferramenta de corte pelo atrito com a superfície usinada e o desgaste de entalhe aparece com a usinagem de materiais duros, sendo produto da abrasão, e se localiza nos dois extremos de contato entre a peça e superfície de folga (Barbosa, 2021).

Para melhor compreender o comportamento e vida das ferramentas de corte, faz-se necessário a medição dos seus desgastes. Para o desgaste de flanco, pode-se medir a largura do desgaste (VB_B) e largura máxima do desgaste ($VB_{Bmáx}$).

Este trabalho teve como objetivo comparar o desempenho de fresas de topo de aço rápido, na usinagem do aço SAE 1020, nitretadas em diferentes temperaturas e com tratamento duplex com deposição de TiN. Além disso, analisar as características da superfície da peça após a usinagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

As peças a serem usinadas foram blocos de aço SAE 1020 de dimensões 49 x 75 x 36 mm, um para cada ferramenta testada. Foram utilizadas quatro fresas de topo de aço rápido do tipo inteiriça, do tipo mostrada na Fig. 1, todas submetidas a tratamento termoquímico superficial de nitretação, sendo uma delas com tratamento duplex.

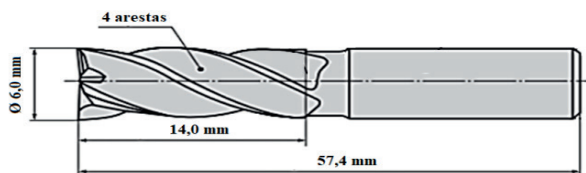


Figura 1 – Fresa de topo inteiriça. Adaptado de Mitsubishi Materials, 2022.

Os tratamentos foram realizados utilizando a proporção de 50% nitrogênio e 50% hidrogênio durante três horas. A pressão foi de cerca de 2 mbar nas nitreções e 0,6 mbar na deposição, esse último sendo realizado durante uma hora e meia. A máquina ferramenta utilizada nos ensaios foi um Centro de Usinagem Vertical ROMI modelo D600, de rotação máxima de 8000 rpm e motor principal de 20 CV. Os parâmetros de usinagem adotados nos ensaios são detalhados na Tab. 1.

v_c	f_z	a_p	a_e	v_f
20 m/min	0,05 mm/dente	0,5 mm	4 mm	220 mm/min

Tabela 1 – Parâmetros de corte

As condições de parada adotadas para as ferramentas foram de desgaste de flanco máximo de 0,60 mm ou fratura da ferramenta antes de atingir tal medida para desgaste de flanco.

Para monitorar o desgaste das fresas em cada etapa dos ensaios, utilizou-se um microscópio óptico digital de ampliação máxima de 1000x, que foi fixado em uma base construída no laboratório para ser acoplada na mesa da máquina ferramenta. Essa montagem possibilitou maior agilidade e fotos no mesmo padrão e posição para todas as ferramentas. A aproximação da fresa até o microscópio foi realizada por um subprograma dentro do programa de usinagem, no CNC.

Durante o período de corte, remoção de material, o valor RMS médio de corrente elétrica foi selecionado para comparação entre as diferentes condições de tratamento térmico da ferramenta. Para isso, foi utilizado um sistema com três sensores de efeito hall, modelo SCT – 013 – 000, de range 0 a 100 A; uma placa de aquisição de dados montada com resistores divisões de tensão, resistor de carga e capacitor de filtro, além de um microcontrolador Atmega 2569. Os valores RMS de corrente elétrica foram obtidos para cada dois passes de usinagem, equivalente a um ciclo do programa, que vai desde a aproximação da ferramenta na peça, usinagem de dois passes, recuo da ferramenta e posicionamento no microscópio para captura de imagens.

Para as imagens de metalografia das peças usinadas, utilizou-se um microscópio BEL Photonics MTM-1A. Os ensaios de microdureza foram realizados em um equipamento de teste de microdureza Vickers do modelo ISH-TDV1000A da marca INSIZE. Para cada ensaio de microdureza nas amostras do material usinado, foi utilizada uma carga de 100 gf durante 15 segundos.

Uma amostra de uma das peças usinadas foi cortada e preparada para imagens de metalografia e ensaio de microdureza. A superfície polida foi preparada perpendicular à superfície usinada para que fosse possível visualizar a camada superficial afetada pela usinagem, espessura do encruamento e comparativo dos grãos da superfície e núcleo da peça, além da microdureza dessas regiões.

Os resultados foram analisados em duas etapas: a primeira com resultados sobre o desgaste das ferramentas e a segunda com os associados às superfícies usinadas. Para melhor mencionar as ferramentas, adotou-se as nomenclaturas mostradas na Tab. 2.

Nomenclatura	Tratamento
HSS-350	Nitretação 350°C
HSS-400	Nitretação 400°C
HSS-400D	Duplex 400°C
HSS-450	Nitretação 450°C

Tabela 2 – Nomenclaturas das ferramentas

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desgaste

A fresa HSS-450 suportou 12 passes na peça até fraturar um dos dentes, atingindo o fim de vida. O número de passes não foi suficiente para iniciar desgaste de flanco considerável, como se vê nas Fig. 2(a) e 2(b). A ruptura do dente pode ser associada à dureza atingida pelo processo de nitretação a uma maior temperatura, visto que quanto maior a temperatura e tempo de nitretação, maior poderá ser a profundidade da camada endurecida. Com uma camada dura maior, a aresta de corte tende a perder a capacidade a absorção de choques, o que é desvantajoso para processo de fresamento, corte interrompido.

A ferramenta HSS-350 apresentou grandes lascamentos em todos os dentes após 12 passes na peça. Os lascamentos se deram na forma de camadas paralelas à superfície original, como pode se ver na Fig. 2(c) e 2(d), o que leva a crer que a camada endurecida pelo processo de nitretação foi arrancada, provavelmente próximo à zona de transição da camada endurecida.

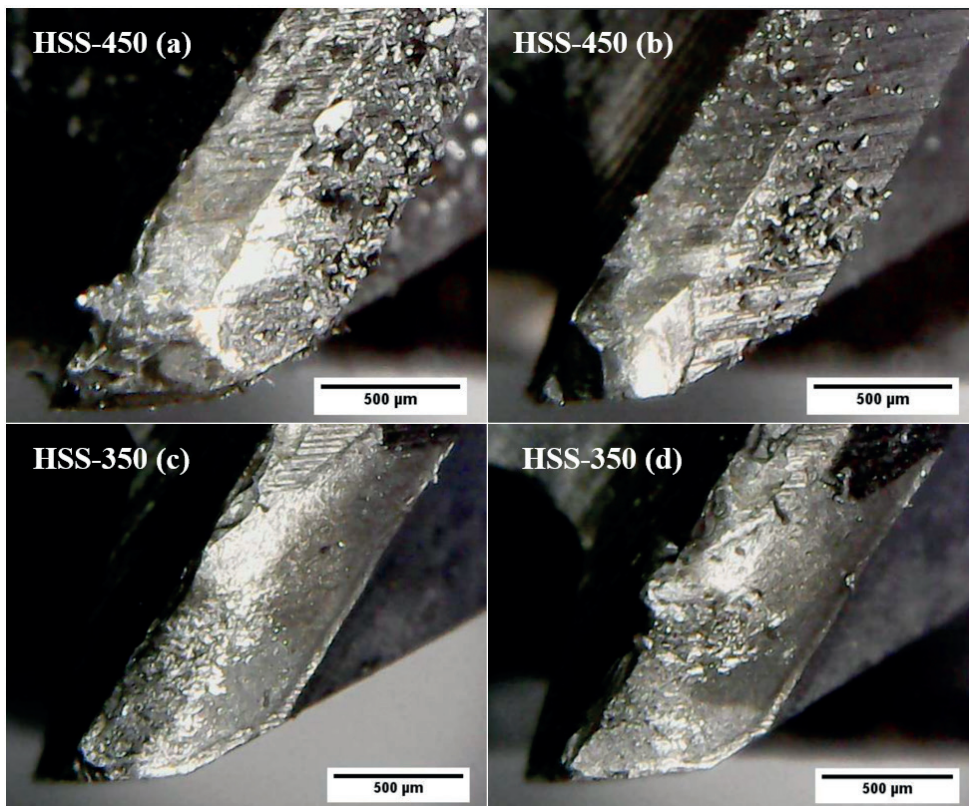


Figura 2 – Fresas HSS-450 e HSS-350 após ensaios

Na Figura 3(a) observa-se falhas na camada depositada antes dos ensaios da fresa HSS-400D. Ela atingiu o critério de parada rapidamente, com apenas 6 passes. Já nos dois primeiros passes a camada de nitretos foi removida, como pode ser visto na Fig. 3(b). Três dos dentes apresentaram fraturas em suas pontas. As crateras apresentaram uma característica rugosa, Fig. 3(c), o que pode estar associado a uma remoção de material pelo efeito da adesão, mecanismo que pode ter sido propiciado pela camada de deposição removida durante a abrasão do material da peça com a ferramenta e adesão de material pelo fluxo irregular de cavaco na superfície da fresa, característico de um processo de corte interrompido a baixa velocidade de corte.

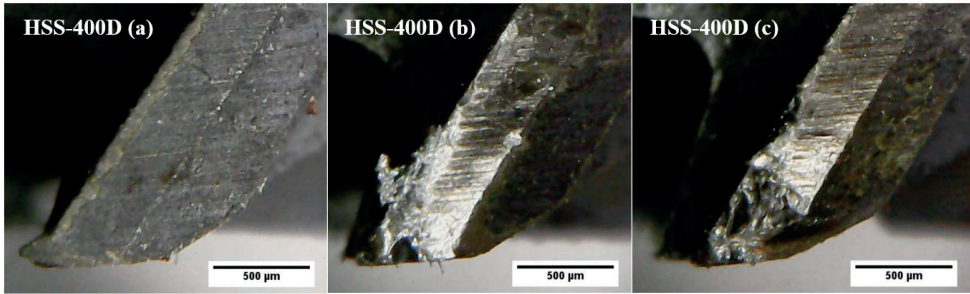


Figura 3 – Fresa HSS-400D. a) antes do ensaio b) camada TiN removida c) fratura acentuada

A fresa HSS-400 atingiu o critério de parada em 10 passes, sendo que até o oitavo ela não apresentou desgastes expressivos que a comprometessem, como se vê na Fig. 4(a). No décimo passe, ela sofreu rupturas similares às da fresa HSS-450, Fig. 4(b). Assim como a HSS-450, essa ferramenta teve um bom comportamento quanto a desgaste por abrasão até atingir o fim de vida. Em condições de corte mais brandas, como um menor avanço, essas duas ferramentas poderiam ter melhor comportamento e vida útil em relação às outras duas.

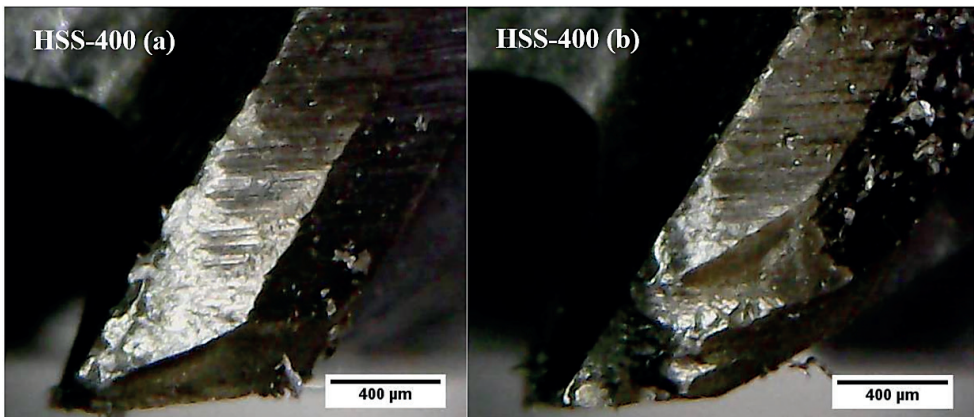


Figura 4 – Fresa HSS-400

As médias dos valores RMS de corrente elétrica medidos durante a remoção de material pelas fresas estão representados no Gráfico 1. Percebe-se que a fresa HSS-450 foi a que menos solicitou o motor da máquina-ferramenta e, levando em conta que seu desgaste foi o menos acentuado entre as demais fresas, é notável que ela apresentou um dos melhores comportamentos entre as ferramentas. Logo em seguida, tem-se que a fresa HSS-400 apresentou um dos menores valores, também associado ao seu menor desgaste.

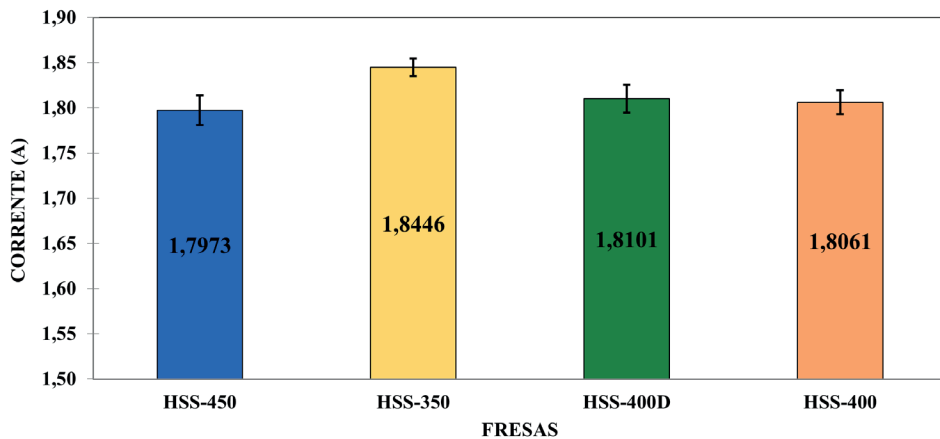


Gráfico 1 – Média das correntes solicitadas por cada fresa na remoção de material

Metalografia e microdureza da superfície usinada

A Figura 5 mostra a imagem obtida por metalografia em que é possível observar a microestrutura do aço, de baixo teor de carbono, além da diferença entre a superfície deformada pela usinagem e centro da amostra.

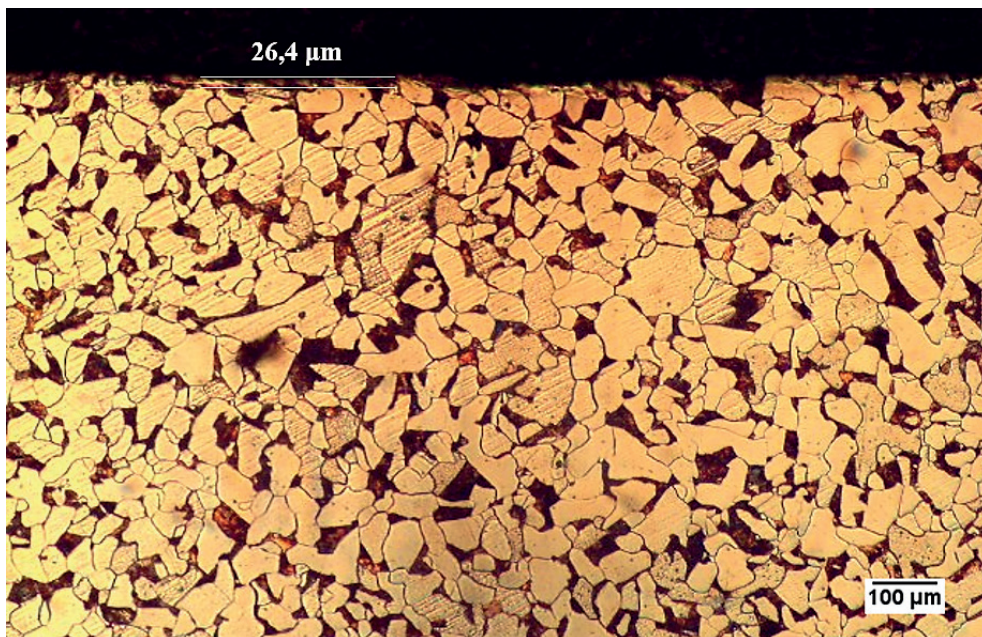


Figura 5 – Imagem metalográfica da peça usinada

A região próxima à superfície apresentou valor médio de microdureza ligeiramente superior ao do centro, como pode ser visto no Gráfico 2. Esse comportamento pode ser explicado pelo encruamento da superfície usinada, que é a área afetada pela usinagem e que sofre uma deformação plástica a ponto de ocorrer um aumento de dureza (Griffiths, 2001). Quanto maior a severidade das condições do processo, mais espessa será a camada encruada, pois o encruamento aumenta com o aumento da tensão associada à deformação do material (Guimarães, 2022).

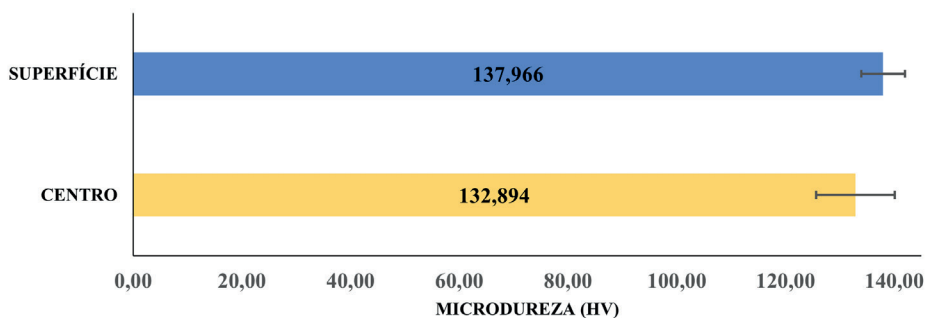


Gráfico 2 – Diferença de microdurezas entre superfície usinada e centro da peça

CONCLUSÃO

Para as mesmas condições de usinagem, a fresa HSS-450 foi a que apresentou melhor comportamento, visto que seu desgaste foi menos acentuado, não apresentando desgaste de flanco considerável e realizou a maior quantidade de passes e obteve menor valor médio de corrente elétrica requisitada pela máquina. A fresa HSS-350 apresentou desgaste prematuro com desgaste característico de crateras na superfície de folga e aresta de corte. Já a HSS-400D foi a que apresentou o pior comportamento entre as ferramentas, tendo a camada de nitretos em sua maior parte removida facilmente nos primeiros ensaios, atingindo o limite de vida com a menor quantidade de passes. A HSS-400, em comparação com a HSS-400D apresentou um melhor comportamento, sendo também uma das melhores fresas ensaiadas. Ela não apresentou desgastes consideráveis na aresta de corte até atingir o fim de vida por avaria dos dentes. Obteve um dos menores valores médios de corrente elétrica, depois da HSS-450.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Piauí (UFPI) e aos laboratórios de usinagem e de metalografia do curso de Engenharia Mecânica.

RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Barbosa, M. G. C. B. B. “Influência da preparação de aresta e do avanço na usinagem do aço VP20TS. 2021”. Tese de doutorado. UNICAMP, São Paulo, 2021.

Bashir, M. I., Shafiq, M., Naeem, M., Zaka-ul-Islam, M., Díaz-Guillén, J. C., Lopez-Badillo, C. M., & Zakoullah, M. (2017). “Enhanced surface properties of aluminum by PVD-TiN coating combined with cathodic cage plasma nitriding”. *Surface and Coatings Technology*, 327, 59-65.

Childs, Thomas HC, Katsuhiko Maekawa, and Toshiyuki Obikawa. *Metal machining: theory and applications*. Butterworth-Heinemann, 2000.

Ferraresi, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Blucher, 1977.

Griffiths, B. *Manufacturing Surface Technology: Surface Integrity and Functional Performance*. London: Penton Press, 2001.

Guimarães, M. C. R. “Avaliação dos parâmetros de fresamento na integridade superficial do Inconel 625 depositado por soldagem em aço ABNT 4340”. Tese de doutorado. UNICAMP, São Paulo, 2022.

Klocke, F. *Manufacturing Processes 1: Cutting*. RWTH ed. Berlin: Springer, 2011.

Manhães, W. S. “Caracterização metalográfica do aço ABNT/SAE 1020 submetido ao tratamento termoquímico da cementação sólida em caixa e ao tratamento térmico da têmpera”. Trabalho de Conclusão de Curso. IFES, Espírito Santo, 2018.

Shaw, M. C. *Metal Cutting Principals*. 2ª ed. Nova York: Oxford University Press, 2005.

Tier, M. A. D. “Avaliação da resistência ao desgaste do aço AISI M2 nitretado a plasma”. Tese de doutorado. UFRGS, Rio Grande do Sul, 1998.

Trent, E.M.; Wright, P.K., “Metal Cutting”. 4ª ed. Boston: Butterworth – Heinemann, 2000.

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL NA ESTRUTURA E MICRODUREZA DA LIGA AL-1%NI

Data de aceite: 02/05/2024

Alicia Regina Zanon Barbosa

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/2085252897942870>

Yan Christian Silva de Araújo

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia de Materiais
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/5136415587850242>

Luane Luiza Pereira Marques

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/9438927804105514>

Eric Elian Lima Espíndola

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1193834237116588>

Emerson Rodrigues Prazeres

Universidade Federal do Pará, Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/8918189837419936>

Amanda Lucena de Medeiros

Universidade Federal do Pará, Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais,
Belém – Pará
<http://lattes.cnpq.br/7734539626373520>

Deibson Silva da Costa

Universidade Federal do Pará Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia
Ananindeua – Pará
<http://lattes.cnpq.br/1521124351431087>

RESUMO: A busca por materiais que possuam propriedades adequadas para uma determinada aplicação e que tenha um baixo custo, estimula o desenvolvimento de pesquisas que possam melhorar essas propriedades específicas. Desse modo, o presente trabalho tem o objetivo de analisar a influência do tratamento térmico de envelhecimento artificial (200 °C e 350 °C) na macrografia e na microdureza da liga binária Al-1%Ni. Foi realizado a metalografia nas amostras a fim de possibilitar a análise macroestrutural, assim como, o ensaio mecânico de microdureza Vickers. Os resultados obtidos foram comparados, evidenciando mudanças macroscópicas,

com aumento da presença de grãos equiaxiais. Esta condição influenciou nos resultados da microdureza das amostras. As ligas tratadas termicamente a 200 e 300 °C apresentaram uma dureza de 61,91 e 62,04 HV, respectivamente, valores superiores à dureza da liga não tratada termicamente, que registrou 31,76 HV. Evidenciando, que o tratamento térmico modificou as estruturas das ligas, resultando em aumento de suas durezas.

PALAVRAS-CHAVE: Liga; Alumínio; Propriedades.

INFLUENCE OF ARTIFICIAL AGING HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MICROHARDNESS OF AL-1% NI ALLOY

ABSTRACT: The search for materials with suitable properties for a specific application and low cost stimulates the development of research aimed at improving these specific properties. Therefore, this work aims to analyze the influence of artificial aging heat treatment (200 °C and 350 °C) on the macrography and microhardness of the binary alloy Al-1%Ni. Metallography was performed on the samples to enable macrostructural analysis, as well as the Vickers microhardness test. The obtained results were compared, showing macroscopic changes with an increase in the presence of equiaxed grains. This condition influenced the microhardness results of the samples. The heat-treated alloys at 200 and 300 °C exhibited a hardness of 61,91 and 62,04 HV, respectively, which are higher than the hardness of the untreated alloy, which recorded 31,76 HV. This shows that the heat treatment modified the structures of the alloys, resulting in an increase in their hardness.

KEYWORDS: Alloy; Aluminum; Properties.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda por energia elétrica nos setores industriais e o crescimento dos centros urbanos, torna-se necessária a expansão da rede de transmissão e distribuição de energia. Para isso, são realizadas pesquisas que possam gerar um material com as propriedades adequadas para a produção dos cabos da rede elétrica a um custo aceitável. O Alumínio (Al) possui uma boa condutividade e um peso específico consideravelmente inferior em comparação com outros metais, a utilização de cabos de transmissão (Tx) e distribuição (Dx) de corrente elétrica resulta em uma redução de peso nas estruturas de suporte. Isso, por sua vez, contribui para a minimização dos custos das redes, requerendo investimentos menores e menos necessidade de manutenção (Abal, 2023), entretanto, o Al comercialmente puro possui uma baixa resistência mecânica.

Os elementos de liga são frequentemente utilizados para melhorar uma determinada propriedade do material, dependendo do seu teor na liga pode alterar sua estrutura e modificar suas propriedades, além dos elementos de liga o tratamento térmico auxilia na mudança ou aprimoramento das propriedades, principalmente nos materiais metálicos. As ligas de alumínio tratáveis podem ser por endurecimento por precipitação, também denominado de envelhecimento, e possui três etapas principais: solubilização, resfriamento

rápido e envelhecimento artificial, essas etapas têm a finalidade de induzir a formação de precipitados de uma segunda fase, os quais provocam distorções na rede cristalina. Essas distorções dificultam o movimento das discordâncias, resultando no aumento da resistência mecânica da liga após o processo de envelhecimento (Ashkenazi, 2019; Jadhav et al., 2017).

Portanto, o propósito deste estudo foi analisar as alterações na macroestrutura e nas propriedades mecânicas resultantes do tratamento de envelhecimento artificial, com o intuito de estabelecer uma relação entre a influência do tratamento térmico na estrutura e na microdureza da liga.

MATERIAIS E MÉTODOS

Fabricação da Liga

Inicialmente, foi efetuado um cálculo estequiométrico, utilizando a balança de precisão, para definir a quantidade em peso de 1% níquel (Ni) e 99% de alumínio (Al). Logo, os elementos foram inseridos no cadinho, revestido com alumina em suspensão para não contaminar o conteúdo, e levados ao forno, da marca GREFORTEC, ilustrado na Figura 1, a uma temperatura de 900 °C, para a fundição dos materiais.

Após a homogeneização, o metal líquido é vazado em um molde coquilha metálica em formato “U”, demonstrado na Figura 2. Com a liga já solidificada, foi retirada amostras de cada liga para os processos metalográficos e para o tratamento térmico.



Figura 1 - Forno utilizado para a função da liga.

Fonte: Próprio Autor, 2024.



Figura 2 - Molde Metálico para o vazamento do banho metálico.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Metalografia

A metalografia foi realizada visando a preparação dos corpos de prova para os ensaios. As amostras passaram pelo lixamento, utilizando lixas de granulometria crescente de 80 a 1500 mesh, após esse processo as amostras foram para o polimento com alumina líquida. Em seguida, foi efetuado o ataque químico por imersão de Keller para se obter a macrografia da amostra.

Macrografia

A macrografia envolve a observação da superfície plana das peças, com aumento de até 100x, após o ataque químico, permitindo assim a análise da macroestrutura. Esse procedimento possibilita a avaliação das condições macroestruturais durante a solidificação da liga.

Microdureza

O ensaio de microdureza foi produzido conforme as normas ASTM E384, utilizando o microdurômetro modelo HV-1000B, com uma indentação de 13 segundos com uma força de 100 gf (grama-força), demonstrado na Figura 3. Para analisar a microdureza dos três corpos de prova realizou-se 10 indentações aleatoriamente nas peças, obtendo assim resultados de todas as zonas das peças, foi posteriormente realizado a média dos resultados obtidos.



Figura 3 - Microdurômetro utilizado nas amostras.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Tratamento Térmico

O tratamento de envelhecimento artificial foi conduzido de acordo com a norma NBR 6835, a amostra foi tratada nas temperaturas de 200 °C e 350 °C com uma duração de 4 horas. O tratamento consiste na elevação de uma determinada temperatura em um determinado tempo, posteriormente, ocorreu um resfriamento brusco e um resfriamento controlado há uma temperatura de 100 °C menor do que a temperatura inicial, utilizando a estufa, da marca Neuoni, visualizado na Figura 4.



Figura 4 – Estufa utilizada para o tratamento térmico.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Macrografia

A morfologia das estruturas dos grãos das ligas estudadas, sem deformação, é apresentada na Figura 5. Observa-se que, a liga não tratada (Figura 5– a) apresenta uma predominância de grão colunares, enquanto que nas ligas tratadas (Figura 5 – b e c) exibe grãos predominantemente equiaxiais.

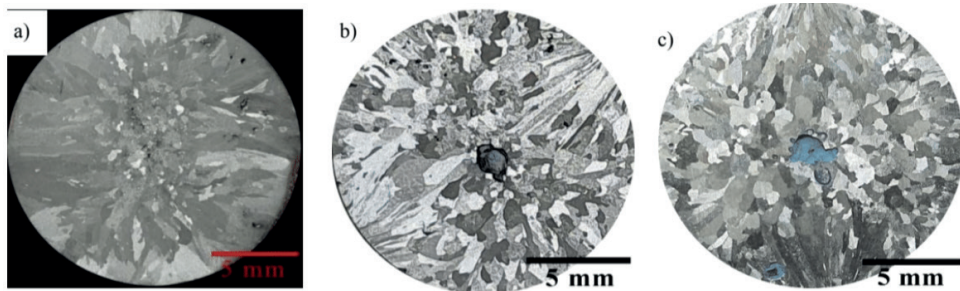


Figura 5 – a) Macrografia da liga não tratada termicamente; b) macrografia da liga tratada termicamente à 200 °C; c) Macrografia da liga tratada termicamente à 350 °C.

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Ao comparar as macroestruturas, ilustradas na Figura 5 – a), b) e (c), é evidente a diminuição dos grãos colunares e um aumento dos grãos equiaxiais quando submetidos ao tratamento térmico de envelhecimento artificial. Conforme Garcia (2007), os grãos alongados indicam uma alta velocidade de solidificação. Assim, é possível que a velocidade de solidificação nas peças tratadas tenha sido menor, resultando em grãos equiaxiais.

Além disso, a estrutura predominantemente colunar é comum em metais com teores de soluto mais diluídos. Assim, é possível supor que a estrutura não tratada apresente uma melhor diluição no alumínio. No entanto, com o tratamento térmico, houve uma mudança na estrutura com uma maior presença de grãos equiaxiais, o que pode ter sido causado por uma precipitação de intermetálicos (Ohno, 1988 *apud* Rodrigues, 2007).

Microdureza

Conforme Callister (2020), o tratamento térmico de precipitação resulta em um aumento na resistência e na dureza da liga, dependendo do tempo e da temperatura de precipitação do material. Portanto, é esperado que haja um aumento na dureza da liga Al - 1%Ni.

Os resultados da análise de microdureza das ligas estão disponibilizados na Tabela 1. É evidente que as ligas submetidas a tratamento térmico apresentaram um aumento na microdureza, sendo a liga tratada a 350 °C a mais destacada nesse aspecto.

Ligas	Microdureza (HV)	Desvio Padrão
Não tratada termicamente	31,76	1,20
Tratada termicamente à 200 °C	61,91	13,30
Tratada termicamente à 350 °C	62,04	4,32

Tabela 1 – Relação do tratamento térmico com a microdureza

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Observa-se um aumento na dureza das amostras com o tratamento de envelhecimento artificial, esse fato está relacionado com o aumento dos grãos equiaxiais. De acordo com Medrano-Prieto et al. (2020), a inclusão de Ni promove estabilidade térmica nos precipitados formados durante o tratamento de envelhecimento, auxiliando no aumento da microdureza.

Na Figura 8 é possível visualizar o diagrama completo da liga Al-Ni. Conforme observado por Canté (2009), o uso de ligas Al-Ni com baixos teores de Ni é pouco comum. Neste contexto específico, dentro da gama de composições hipoeutéticas, a microestrutura de solidificação é composta por uma matriz dendrítica de fase α , enriquecida em alumínio, acompanhada por uma mistura eutética na região interdendrítica, formada por fases α e o composto intermetálico trialuminetos de níquel.

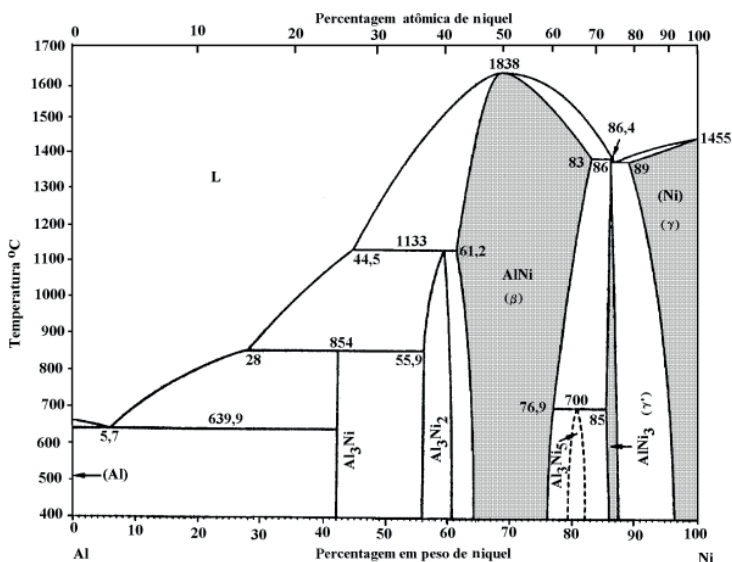


Figura 6 – Diagrama da liga binária Al-Ni

Fonte: Adaptado de ASM International Vol 9 (2004).

O fato de influenciar na microdureza é reforçado por França (2020), relata que essas partículas se comportam como uma matriz dúctil rica em alumínio e quanto menor a frequência dessa estrutura mais dura se distribuem mais eficiente será a resistência mecânica. Portanto, o aumento da dureza é plausível.

Para enfatizar fenômeno Souza (2013), informa que os materiais aumentam sua resistência mecânica pela formação de trialuminetos como o os quais são gerados após os tratamentos térmicos, ressaltando assim, a veracidade dos dados obtidos.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, foi possível inferir que o tratamento térmico de envelhecimento artificial provocou uma transformação na microestrutura da liga. Observou-se uma diminuição dos grãos colunares e um aumento dos grãos equiaxiais nas peças tratadas. Essa mudança pode ser explicada por uma menor velocidade de solidificação durante o processo de tratamento térmico.

A estrutura colunar predominante na liga não tratada indica um alto grau de diluição do soluto no alumínio. No entanto, o tratamento térmico pode ter levado à precipitação de intermetálicos, o que, por sua vez, resultou na formação de grãos equiaxiais.

Consequentemente, essa mudança na morfologia dos grãos contribuiu para um aumento da dureza e a possível precipitação do intermetálico, durante o tratamento térmico influenciou em um aumento mínimo de 51,3%. Portanto, a combinação da microestrutura com grãos equiaxiais, a estabilidade térmica dos precipitados e a formação de trialuminetos influenciou para um aumento da dureza, o que torna essa liga interessante para aplicações que exigem alta resistência mecânica.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial para o Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais - GPEMAT, a Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Ananindeua.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6835: Alumínio e suas ligas – Classificação das têmperas. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS E384-11 Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS (ASM INTERNATIONAL). Metallography and microstructures. v 9, American Society for Metals, ASM Handbook, 2004.

ASHKENAZI, Dana. How aluminum changed the world: A metallurgical revolution through technological and cultural perspectives. Technological Forecasting and Social Change, Telavive, v. 143, n. Março, p. 101–113, 2019.

ABAI - Associação Brasileira do Alumínio, 2023. Fundamentos e aplicações do alumínio.

ALMEIDA, D. S. de. Estudo de revestimentos cerâmicos sobre substrato metálico, obtidos por deposição física de vapores por feixe de elétrons para aplicação como barreira térmica. 2005. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

BATALU, D., GEORGETA, C., ANGEL, A., 2006. Critical analysis of Al-Ni phase diagrams. *Metallurgia International*, v. 11, n. 8, p. 36-45.

CALLISTER, W. D. Engenharia e ciência dos materiais: uma introdução. 9ª. ed., Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CANTÉ, M. V. Solidificação Transitória, Microestrutura e Propriedades de Ligas Al-Ni, 2009, 204f. Tese de Doutorado – UNICAMP, Campinas, 2009.

FRANÇA, Ricardo N. C., MIRANDA, G. O., GOMES, L. G.. Parâmetros térmicos, estrutura e propriedades mecânicas resultantes da solidificação horizontal das ligas de Alumínio com adição de 3 e 5% de Níquel. *Brazilian journal of Development*, Curitiba, v.6, n.12,p.96390-96402dec.2020.

GARCIA, A. Solidificação, Fundamentos e aplicações, 2 ed., Campinas, Unicamp, 2007, 399p.

JADHAV, S. et al. Influence of heat treatment on mechanical properties and microstructure of EN AW 6082 aluminum alloy. Em: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHANICAL AND AEROSPACE ENGINEERING (ICMAE), 2017, Prague, Czech Republic. Anais [...]. Prague, Czech Republic: IEEE, 2017. p. 184–187. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8038639/>.

MEDRANO-PRieto, H.M. et al. Effect of Ni additions and hot deformation on precipitation behavior and hardness in Al–Si–Mg aged alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, v.828, p.154429, 2020.

RODRIGUES, J. R. P. Efeito da Composição nos Parâmetros Térmicos e Estruturais de Liga Al-Mg solidificadas Unidirecionalmente, 2007. 187f. Tese de Doutorado – FEM/UNICAMP, Campinas, 2007.

SOUZA, P. H. L. Análise da influência de teores de Mg e Ni sobre as propriedades térmicas, mecânicas e elétricas de uma liga Al-Cu-Fe para transmissão e distribuição de energia elétrica. Belém:2013.112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – 79 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto de tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

SISTEMA DE CURA PARA PEÇAS FABRICADAS COM FIBRA DE CARBONO RESINADAS

Data de submissão: 29/03/2024

Data de aceite: 02/05/2024

Vinicius Kazuhiko Quitakava Tanigawa

Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo
São Paulo – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0002-6804-5577>

Antonio Luis de Campos Mariani

Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo
São Paulo – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3257771642039846>

RESUMO: Essa pesquisa apresenta um sistema inovador de aquecimento de peças fabricadas com fibra de carbono e resina, viabilizando sua cura. O sistema, em que a produção de calor é realizada por Efeito Joule, tem como meta estabelecer um controle preciso, eficiente e autônomo, utilizando relações entre os parâmetros elétricos e resultados térmicos.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra de carbono, cura, efeito Joule, controle e automação, eficiência.

CURE SYSTEM FOR CARBON FIBER-REINFORCED COMPOSITE COMPONENTS

ABSTRACT: This research introduces a novel system that heats parts made of carbon fiber and resin, facilitating their curing process. The system utilizes the Joule Effect to generate heat and aims to provide precise, efficient, and self-governing control by establishing correlations between electrical parameters and thermal outcomes.

KEYWORDS: Carbon fiber, curing, Joule effect, control and automation, efficiency.

INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia nos últimos anos, a chamada “Quarta Revolução Industrial” começou a ser disseminada e mais utilizada para descrever as grandes mudanças e impactos que estão acontecendo no mundo atual. Internet das Coisas (*IoT*), *blockchain*, *cloud*, inteligência artificial, *machine learning* e automação são algumas das tecnologias que fundamentam essa nova era industrial (MCKINSEY & COMPANY, 2022).

Junto com o desenvolvimento tecnológico, o mundo também avançou nos conceitos de desenvolvimento sustentável. Estabelecida em 2015 na Assembleia Geral das Nações Unidas, a Agenda 2030 é uma coleção de 17 metas globais para o desenvolvimento sustentável. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) têm como propósitos um equilíbrio entre o avanço tecnológico da humanidade e a natureza, preservando e expandindo-a (UNITED NATIONS, 2024).

OBJETIVOS

Com foco na Agenda de 2030 e na “Quarta Revolução Industrial”, esta pesquisa visa desenvolver um sistema inovador de aquecimento de peças fabricadas com fibra de carbono e resina, viabilizando sua cura. O sistema, em que a produção de calor é realizada por Efeito Joule, tem como meta estabelecer um controle preciso, eficiente e autônomo, utilizando relações entre os parâmetros elétricos e resultados térmicos.

MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, a peça de fibra de carbono resinada é submetida a uma tensão elétrica, e a passagem de corrente elétrica no carbono viabiliza energia térmica por meio do Efeito Joule. Como controlador central, utiliza-se um *Raspberry Pi 4*. Sensores de temperatura que operam com princípio de medição por infravermelho são instalados para monitorar a temperatura das peças de carbono em tempo real. O sistema de controle é responsável por ajustar a potência do aquecimento com base nos dados medidos pelos sensores, modificando a tensão e corrente elétrica conduzidas através da peça. Além disso, são implementados mecanismos de segurança para interromper o processo em caso de superaquecimento da peça ou sinais de princípio de incêndio, podendo ser identificados pelos sensores de temperatura ou por sensores de fumaça e implementa-se um software que permite o acompanhamento do processo de cura remotamente.

PROCEDIMENTOS

Ensaio foram realizados para a cura de uma peça de tubo de fibra de carbono com dimensões 1,30 m de comprimento, 0,75 mm de espessura da parede e 29 mm de diâmetro. A peça de fibra de carbono foi inserida em um tubo de PVC, que tem a função de ser a estrutura externa do forno, com volume interno de 0,07 m³ (Figura 2). Neste corpo de prova foi utilizada fonte de potência (Figura 1), o qual fornecia uma corrente elétrica de 4,97 A e tensão elétrica de 0,64 V, resultando na elevação da temperatura em 30°C, atingindo 55°C, em 8 minutos. Essa temperatura foi mantida durante 2 horas. A quantidade de calor gerada durante a cura da peça foi de 22902 J. Comparando-se com um caso de aquecimento dos fornos de compósitos convencionais, seria necessário um uso de energia de 57708 J.



Figura 1 – Fonte de potência
Fonte: Própria do autor.

RESULTADOS

Utilizando o forno de aquecimento por efeito Joule, a quantidade de calor gerada durante a cura da peça foi de 22902 J. Comparando-se com um caso de aquecimento dos fornos de compósitos convencionais, seria necessário um uso de energia de 57708 J (ÇENGEL; BOLES, 2014) (INCROPERA et al., 2011).

CONCLUSÕES

Dessa forma, nessa primeira fase da pesquisa, podemos concluir que o aquecimento por meio do Efeito Joule representa 40% do uso de energia necessária para manter a diferença de temperatura com o ambiente externo em 30°C, quando comparado ao aquecimento convencional por meio de resistores ou queima de combustíveis fósseis.



Figura 2 – Tubo de carbono experimental e forno de efeito Joule

Fonte: Própria do autor.

PRÓXIMAS ANÁLISES

Com os resultados promissores entre os dois tipos de fornos comparados, torna-se viável o desenvolvimento da pesquisa na implementação de um sistema de aquisição de dados e monitoramento remoto, utilizando o *Raspberry Pi 4*. Além disso, o software para controle e monitoramento remoto precisa ser desenvolvido.

REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Thermodynamics: An Engineering Approach**. 8ª. ed. [S. l.]: McGraw-Hill Education, 2014. 1024 p. ISBN 0073398179, 9780073398174.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.; LAVINE, Adrienne S.; BERGMAN, Theodore L. **Introduction to Heat Transfer**. 6. ed.: John Wiley & Sons, 2011. 960 p. ISBN 0470501960, 9780470501962.

MCKINSEY & COMPANY. **What are Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution, and 4IR?**. [S. l.]: McKinsey & Company, 17 ago. 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-are-industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution-and-4ir#/>. Acesso em: 11 jan. 2024.

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals**. [S. l.]: United Nations, 2024. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 22 fev. 2024.

STUDY ON MECHANICAL PROPERTY OF THE HYBRID COMPOSITES FROM NATURAL FIBRES BY NUMERICAL AND EXPERIMENTAL METHOD

Data de aceite: 02/05/2024

G Garcia del Pino

State University of Amazonas - Brazil
<https://orcid.org/0000-0003-0754-2390>

A Bezazi

Universty of Guelma - Algeria
<https://orcid.org/0000-0002-4461-6689>

H Boumediri

Universty of Guelma - Algeria
<https://orcid.org/0000-0002-9578-0948>

CAC Méndez

Universty of Santa Clara - Cuba
<https://orcid.org/0000-0002-9377-3234>

AC Kieling

State University of Amazonas - Brazil
<https://orcid.org/0000-0002-0552-954X>

JCM Neto

State University of Amazonas - Brazil
<https://orcid.org/0000-0003-1155-0027>

AR Torres

State University of Amazonas - Brazil
<https://orcid.org/0000-0001-5138-2932>

MD dos Santos

State University of Amazonas - Brazil
<https://orcid.org/0000-0002-4356-491X>

SD Garcia

State University of Amazonas - Brazil
<https://orcid.org/0000-0002-8316-0012>

TH Panzera

Federal University of São João del-Rei –
Brazil
<https://orcid.org/0000-0001-7091-456X>

ABSTRACT: The application of lignocellulosic fibers as reinforcements in composite materials has found increasing use in recent years, due to the attractive characteristics of natural fibers such as their low cost, high specific modulus, biodegradable, abundant and with many technical qualities. The hybridization of natural fibers can improve the physical, mechanical and thermal properties of composites. Natural fiber hybrid composites are very frequently used in the automotive industry. In this work, a computational and experimental analysis is carried out with the objective of comparing curauá fibers, jute and sisal fibers used in epoxy resin matrix composites for use in industry, determining the most appropriate hybridization effect by establishing the proportions and amounts of each fiber in a hybrid composite with

better mechanical properties. To carry out the research, the Finite Element Method was first used, performing several models with different amounts of fibers which were later validated with mechanical tests. The number of Finite Element models and specimens performed was determined through the design of experiments using the Taguchi Method. As a result of the work, a greater strength of the hybrid composites made with greater amount of curauá fiber (20%), jute (10%) and lesser of Sisal fiber (5%) was obtained, both in the results obtained by the Finite Element Method and in the mechanical tests.

KEYWORDS: hybrid composites, finite element method, natural fibres, mechanical testing

INTRODUCTION

The application of lignocellulosic fibres as reinforcements in composite materials has found increasing use in recent years to replace synthetic fibres such as glass, carbon and aramid fibres due to the characteristics of natural fibres such as their low cost, low density, high specific modulus, economic and environmental advantages, biodegradable, abundant and with many technical qualities [1-3]. Many researchers and various industries have invested in biocomposites for many applications using local natural fibres such as Agave (*Agave americana*), Sisal (*Agave sisalana* Perrine ex Engelm), coconut (*Cocos nucifera*), jute (*Corchorus capsularis*), flax (*Linum usitatissimum*), curaua (*Ananas Erectifolius*), etc. as substitutes for synthetic fibers 4-6]. It is known that the mechanical performance of a composite material is strongly depends on the nature, orientation of the fibres, the nature of the matrix and also on the quality of adhesion between the two components 5]. In order to improve the adhesion of the fibre and reduce the water absorption, the surface of the fibre can be modified by physical or chemical methods 7-8]. Due to this, in this work, fibers treated with 5% by weight sodium hydroxide solutions with an immersion time of 4 hours were used, according to previous research recommendations [8-9].

In this work was used Epoxy Resin as a matrix, which is a thermosetting system widely used in the industry due to their low cost and adaptability to be transformed into large composite structures [8]. A computational and experimental analysis is carried out with the objective of comparing curauá fibers, jute and sisal fibers used in epoxy resin matrix composites for use in industry, determining the most appropriate hybridization effect by establishing the proportions and amounts of each fiber in a hybrid composite with better mechanical properties. The number of Finite Element models and specimens performed was determined through the design of experiments using the Taguchi Method and the results were statistically validated, which results corresponded with other works done and published previously.

METHODOLOGY

The vegetable fibers used in this work were obtained in Santarem, in the State of Pará (Northern Brazil, Amazon region). The matrix of the composite material was the epoxy resin (bisphenol-epichlorhydrin) with a density of 1.16 g/cm³ and the epoxy hardener (3154, benzyl alcohol) with a density of 1.005 g/cm³ supplied by Redelease company in São Paulo, Brazil. First, the design of the experiment was carried out using the Taguchi Method and the MINITAB 18 software using an L25 matrix with 3 factors and 5 levels as can be seen in Table 1. Following the Taguchi Matrix, a study was carried out using the Finite Element Method (FEM) through Solidworks software code. The FEM has been used in different areas of Engineering, including the evaluation of composite materials with plant fibers [10-13]. The dimensions of the models for both the pure resin and the composite with fibers correspond with the dimensions of the standard for the tensile force D638–14 Type I, as can be seen in Figure 1a. [14-15]. The contact (bonded) between the fibers and the resin of the specimen was ensured to guarantee the transmission of loads, simulating a correct bonding between the fibers and the matrix. To simulate the tensile test on one of the specimen heads, on both flat faces, fixed-type restrictions were placed, and at the other end, a force of 1150 N was applied in the area corresponding to the faces of the head of the Test body as can be seen in figure 1b.

The experimental part began with the washing and processing of the fibers and then the chemical treatment was carried out with 5 wt% sodium hydroxide solutions and 4 hours of immersion time for all fibers. Before being used in composites, the fibers underwent a drying process, the final step being drying at 100 Co for 50 minutes to completely eliminate moisture. Composite plates were made in a mold as shown in figures 2a and 2b, which were cut in a laser cutting machine as shown in figures 2c and 2d with the “Dog Bone” format according to the standard for tensile tests [13]. Before performing the tensile tests, the specimens were placed in an oven at 60 Co for 2 hours and then for 24 hours at room temperature. The tensile tests were performed on an Instron model 5984 universal testing machine with a load cell of 150 kN and a speed of 5 mm/min, as can be seen in figure 2e. The results can be seen in table 2.

Type of fibre	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
A: Curauá Fibre weight fraction (wt.%)	0	5	10	15	20
B: Sisal Fibre weight fraction (wt.%)	0	5	10	15	20
C: Jute Fibre weight fraction (wt.%)	0	5	10	15	20

Table 1. L25 Taguchi with 5 levels 0 5 10 15 20

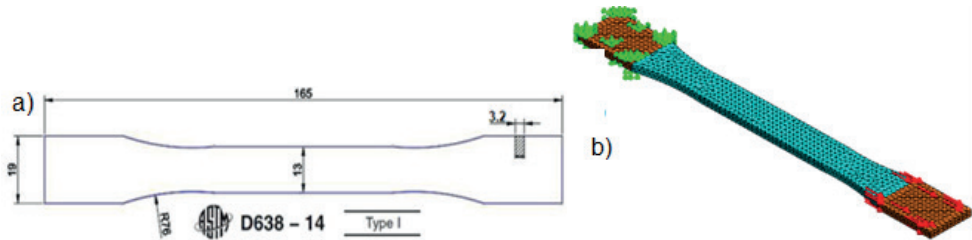


Fig. 1: Finite Element Model: a) Dimensions, b) Model with the mesh, loads and constraints.

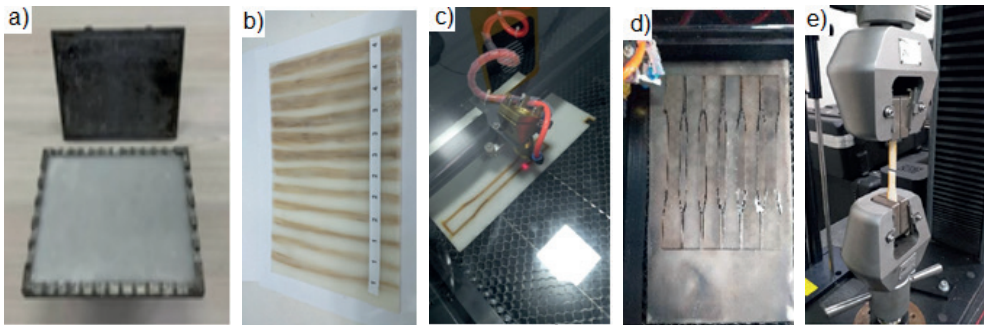


Fig. 2: Manufacture of specimens: a) and b) molded composite plate, c) and d) cutting of specimens in a laser machine, e) Tensile test

RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 2 shows the results obtained in all models analyzed by the Finite Element Method and the tensile tests for all specimens according to the Taguchi matrix. From the results of the tensile tests, it can be seen that when increasing the fiber content up to 35 %wt., increases the tensile stress, noting a greater increase with the increment of curauá fiber. Figure 3 shows several sections of specimens 1, 2, 14, 15, 24 and 25 modeled by FEM according to the Taguchi Matrix before processing (a) and after processing (b). The amount of fiber in each model corresponds to % by weight. It can be seen in figure 2b, that the Sisal and jute fibers are equally loaded (test body 2) and when introducing curauá fibers they absorb much more loads because they are more resistant (test body 15, figure 15b). The experimental data is transformed into a signal to noise ratio (S/N) to determine the optimal parameter configuration to maximise tensile properties. As Taguchi's analysis aims to maximise the tensile strength, the S/N ratio criterion chosen is the larger is better (LBT) [8]. For the analysis of the results, ANOVA for tensile strength was used and the regression equation (Equation 1) was determined. The standardized effect of the factors is examined by preparing a Pareto chart (Figure 4), which depicts the most influential factor in the response. The analysis suggests that the curauá fibre amount is the most effective factor, significantly contributing to the tensile strength.

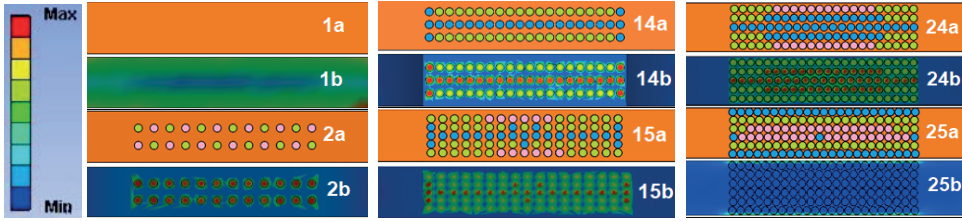


Fig. 3: Finite Element Model of 6 tests bodies

Regression Equation

Tensile Strength = (1)

$$35,70 + 9,18 A + 8,40 B + 4,01 C - 0,2046 A*A - 0,2023 B*B - 0,2594 C*C - 0,3977 A*B - 0,0389 A*C$$

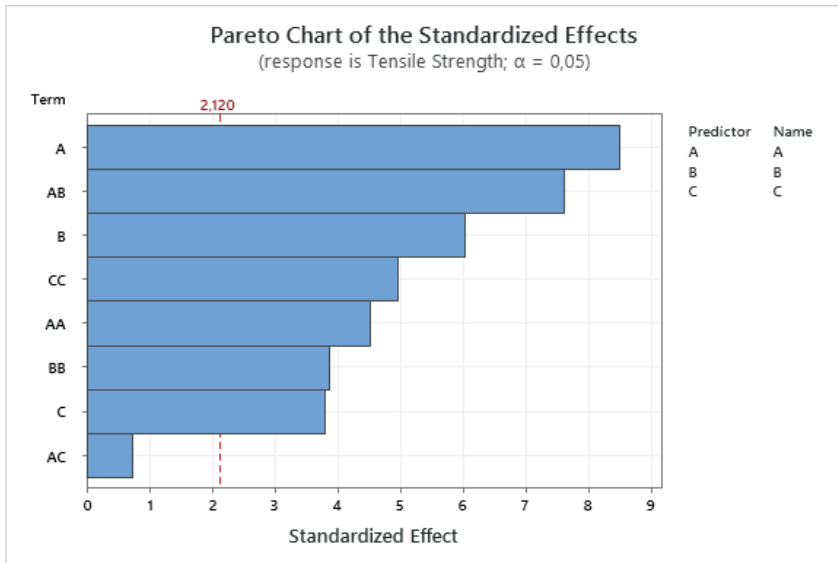


Fig. 4: Pareto chart of the standardized effects

Test Body	A (wt.%)	B (wt.%)	C (wt.%)	von Mises Stress (FEM) (MPa)	Elongation (FEM) (%)	Tensile strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
1	0	0	0	39.7	0.82	36±0.94	-
2	0	5	5	143.3	0.78	92±0.67	39,83
3	0	10	10	101.5	0.66	102±0.67	41,54
4	0	15	15	77.99	0.72	125 ±0.66	39,91
5	0	20	20	66.06	0.98	98±0.67	40,76
6	5	0	5	176.3	0.76	97±0.67	38,63
7	5	5	10	118.9	0.67	104±0.67	40,79
8	5	10	15	96.61	0.71	127 ±0.66	41,46
9	5	15	20	84.29	1.24	98±0.67	41,17
10	5	20	0	105.5	0.65	121 ±0.66	39,83
11	10	0	10	121.6	0.64	106±0.67	38,47
12	10	5	15	96.51	0.7	128 ±0.66	40,73
13	10	10	20	72.54	1.18	98±0.67	41,40
14	10	15	0	105.3	0.654	124 ±0.66	41,22
15	10	20	5	89.53	1.27	136±0.84	40,05
16	15	0	15	91.64	0.69	125 ±0.66	38,63
17	15	5	20	80.35	1.07	98±0.67	40,79
18	15	10	0	102.1	0.64	128 ±0.66	41,46
19	15	15	5	85.80	0.73	140±0.84	41,17
20	15	20	10	74.16	1.28	92±0.67	39,83
21	20	0	20	77.80	1.02	98±0.67	38,47
22	20	5	0	95.63	0.61	131 ±0.66	40,73
23	20	10	5	83.87	1.27	143±0.84	41,40
24	20	15	10	71.34	1.27	92±0.67	41,22
25	20	20	15	116.0	1.45	61±0.55	40,05

Table 2: Results obtained from the computational and experimental part

CONCLUSIONS

Through the results of the computational part of the work, it can be seen that when increasing the amount of fiber, the von Misses stresses and deformations decrease, which improves the tensile strength of the specimens, which is verified in the results of the tensile tests. In the experimental part, it was found that when increasing the amount of fibers, the tensile effort increased up to an amount of vegetable fiber equal to 35 %Wt, the greatest increase being when placing curauá fibers.

REFERENCES

1. K.L. Pickering et al. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites: Part A*, v.83, 2016, doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038.
2. H. Khelifa et al. Mechanical characterization of mortar reinforced by date palm mesh fibers: Experimental and statistical analysis. *Construction and Building Materials*, v.300, 2021. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124067.
3. M. Ramesh, K. Palanikumar, K.H. Reddy. Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, v. 79, 2017. doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.094.
4. A. Zanichelli et al. Contribution of date-palm fibres reinforcement to mortar fracture toughness. *Procedia Struct. Integrity*, v. 13, 2018. doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.089.
5. A. Bezazi et al. Alkali treatment effect on physicochemical and tensile properties of date palm rachis fibers. *Journal of Natural Fibers* 2020. doi.org/10.1080/15440478.2020.1848726.
6. G. Garcia del Pino et al. Hybrid polyester composites reinforced with curauá fibres and nanoclays, *Fibers and Polymers*. v 21, 2020. doi.org/10.1007/s12221-020-9506-7
7. X. Li, L.G. Tabil, S.C. Panigrahi. Chemical treatments of natural fibre for use in natural fibre-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 15, n.1, p. 25–33, 2007
8. G. Garcia del Pino et al. Optimal tensile properties of biocomposites made of treated Amazonian curauá fibres using Taguchi Method. *Materials Research*, v.24, 2021. doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0326
9. Garcia del Pino, G.; DIAZ, F. R. V.; RIVERA, J. L.; KIELING, A. C.; TORRES, A. R. Evaluation of composite materials with fiber of curauá pineapple (*Ananas Erectifolius*). *Review of Research*. v.4, n1, p.1-7, 2015.
10. PARASHAR, S.; CHAWLA, V. K. Evaluation of fiber volume fraction of kenaf-coir-epoxy based green composite by finite element analysis. *Materials Today: Proceedings*. V.50, 2021, doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.147
11. SILVA, J. L.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; PEREIRA, L. M. D. Lahr F. A. R. Numerical and experimental analyses of biocomposites reinforced with natural Fibres, *Int. J. Mater. Eng.* V.2, 2012. doi.org/10.5923/j.ijme.20120204.03.
12. RAJESH, M.; SRINAG, T.; PRASANTHI, P. P.; VENKATARAJOVENKATARA K. Finite element analysis of coir / Banana fiber reinforced composite material., *Int. J. Adv. Res. Mech. Eng. Technol. V* (4), 2016.
13. ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM D638-14: standard test method for tensile properties of plastics. West Conshohocken: ASTM International, 2014.
14. N. Kumar, R.S. Walia, S. Angra, Study of mechanical properties of pultruded jute-glass reinforced unsaturated polyester bio-composites with hybrid filler loading, *World J. Eng.* V1 2021, doi.org/10.1108/WJE-04-2020-0127..
15. - PR Oliveira, LJ da Silva, TH Panzera , GG del Pino and F Scarpa, Transverse fastening reinforcement of sandwich panels with upcycled bottle caps core, *Journal of Composite Materials* 0(0) 1–9, 2020, DOI: 10.1177/0021998320960522.

VISÃO ROBÓTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: EFICIÊNCIA, PRECISÃO E PRODUTIVIDADE COM SEGURANÇA APRIMORADA

Data de aceite: 02/05/2024

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Fabio Rodrigo Milanez

UniSENAI PR Campus Londrina
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE) – Cornélio
Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Marcio Jacometti

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento acadêmico das ciências
humanas e sociais aplicadas (DACHS)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8509336134084374>

Iago Maran Machado

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Mestrando - PPGEM-CP - Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PP/CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/4733940365047328>

Henrique Franciz Ximenes de Andrade Bilbao

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campo Mourão-PR
<https://www.linkedin.com/in/henrique-ximenes-14512b113/>

Henrique Cavalieri Agonilha

Graduando na Universidade Filadélfia
(Unifil)
Londrina - PR
<http://lattes.cnpq.br/9845468923141329>

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

Marcos Banheti Rabello Vallim

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/2326190172340055>

Wesley Candido da Silva

UniSENAI PR Campus Londrina
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/6740629293449940>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Gustavo Henrique Bazan

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/7076940949764767>

Gabriel Henrique Oliveira Uliam

Egresso Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/9917773125320806>

André Luiz Salvat Moscato

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/1744149363927228>

João Maurício Hypólito

Centro Paula Souza
Departamento Computação-FATEC
<http://lattes.cnpq.br/5499911577564060>

Wagner Fontes Godoy

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/7337482631688459>

RESUMO: A visão robótica na construção civil representa uma abordagem inovadora que visa melhorar a eficiência, precisão e produtividade dos processos construtivos, ao mesmo tempo em que aprimora a segurança dos trabalhadores. Por meio da utilização de tecnologias avançadas, como câmeras, sensores e algoritmos de processamento de imagem, os robôs são capazes de realizar tarefas complexas de forma autônoma e precisa. Isso não apenas acelera os projetos de construção, mas também reduz erros e riscos associados à intervenção humana. O resultado é um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente, onde a tecnologia desempenha um papel fundamental na transformação do setor da construção civil. Este artigo se encerra com uma conclusão das inferências obtidas e sugere futuros trabalhos

PALAVRAS-CHAVE: Visão Robótica, Construção Civil, Tecnologia na Segurança

ROBOTIC VISION IN CIVIL CONSTRUCTION: EFFICIENCY, PRECISION, AND PRODUCTIVITY WITH ENHANCED SAFETY

ABSTRACT: Robotic vision in civil construction represents an innovative approach aimed at improving the efficiency, precision, and productivity of construction processes while enhancing worker safety. By utilizing advanced technologies such as cameras, sensors, and image processing algorithms, robots are capable of autonomously and accurately performing complex tasks. This not only accelerates construction projects but also reduces errors and risks associated with human intervention. The result is a safer and more efficient working environment where technology plays a fundamental role in transforming the construction industry. This article concludes with a summary of the inferences obtained and suggests future work.

KEYWORDS: Robotic Vision; Civil Construction; Data Analysis, Enhanced Safety

INTRODUÇÃO

A integração da visão robótica na construção civil representa uma abordagem inovadora e transformadora, com o objetivo de aprimorar a eficiência, precisão e produtividade dos processos de construção, ao mesmo tempo em que eleva os padrões de segurança dos trabalhadores. Através da incorporação de tecnologias de ponta, como câmeras, sensores e algoritmos de processamento de imagem, os robôs demonstram a capacidade de executar tarefas complexas de forma autônoma e precisa. Essa abordagem não apenas acelera os projetos de construção, mas também reduz os erros e os riscos associados à intervenção humana, promovendo assim um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente. Conseqüentemente, essa mudança de paradigma destaca o papel fundamental da tecnologia na remodelação da indústria da construção civil, alinhando-a com as demandas e desafios do século XXI.

Visão robótica é uma área da robótica e da inteligência artificial que se concentra no desenvolvimento de sistemas que permitem aos robôs “ver” e interpretar o ambiente ao seu redor. A visão robótica envolve a utilização de câmeras e sensores para capturar imagens e informações visuais, e em seguida, processar essas informações para tomar decisões ou realizar tarefas específicas (SILVA, SANTOS e OLIVEVEIRA, 2023).

Existem várias aplicações para a visão robótica em diversos campos, incluindo:

Manufatura automatizada: Em linhas de produção, os sistemas de visão robótica são usados para inspecionar peças, orientar robôs em tarefas de montagem e garantir a qualidade dos produtos.

Navegação autônoma: Em robótica móvel, como carros autônomos e drones, a visão robótica é essencial para identificar obstáculos, reconhecer sinais de trânsito e mapear o ambiente.

Robótica de serviço: Robôs de serviço, como os usados em hospitais e hotéis, podem utilizar a visão robótica para interagir com pessoas, reconhecer rostos e objetos, e realizar tarefas como entrega de itens.

Agricultura de precisão: Em aplicações agrícolas, a visão robótica pode ser usada para monitorar o crescimento das plantas, detectar pragas e doenças, e otimizar a aplicação de pesticidas e fertilizantes, segundo Scaria, Aziz e Siddiqi (2019).

Medicina e saúde: Na área médica, a visão robótica é usada em cirurgias assistidas por robô, diagnóstico por imagem e monitoramento de pacientes Marie (2021).

Para alcançar essas aplicações, os sistemas de visão robótica dependem de algoritmos avançados de processamento de imagem e aprendizado de máquina para interpretar e extrair informações úteis das imagens capturadas. Isso inclui técnicas como reconhecimento de padrões, segmentação de imagens, detecção de objetos e reconhecimento facial.

À medida que a tecnologia continua a evoluir, a visão robótica desempenhará um papel cada vez mais importante na automação de uma ampla gama de tarefas e na criação de robôs mais capazes e autônomos.

De um modo geral somente o reconhecimento de capacetes, um dos principais, senão o principal E.P.I. (Equipamentos de Proteção Individual) na construção civil pode promover inúmeras vantagens como:

O reconhecimento de capacetes por visão computacional oferece diversas vantagens em comparação aos métodos tradicionais de monitoramento de segurança, como:

Maior eficiência e precisão

A visão computacional automatiza o processo de detecção e reconhecimento de capacetes, eliminando a necessidade de inspeção manual, que pode ser demorada, trabalhosa e propensa a erros humanos.

A tecnologia é capaz de analisar imagens em tempo real, permitindo a identificação instantânea de trabalhadores sem capacete, possibilitando uma resposta rápida e direcionada.

A precisão da detecção é significativamente alta, com sistemas modernos atingindo taxas de acerto acima de 95%, minimizando o risco de falsos positivos e negativos.

Melhoria da segurança no trabalho

A detecção e o alerta em tempo real de trabalhadores sem capacete permitem que medidas corretivas sejam tomadas instantaneamente, reduzindo o risco de acidentes e lesões.

A tecnologia contribui para a criação de um ambiente de trabalho mais seguro e consciente, promovendo a cultura de prevenção de acidentes.

O uso da visão computacional pode auxiliar na investigação de acidentes, fornecendo imagens e dados precisos sobre o evento.

Redução de custos

A automação do processo de monitoramento de *E.P.I* (Equipamento de Proteção Individual) por meio da visão computacional gera economia de tempo e recursos humanos.

A diminuição do número de acidentes de trabalho também contribui para a redução de custos com indenizações, tratamento médico e outros.

A tecnologia pode ser utilizada em diversos ambientes de trabalho, como canteiros de obras, fábricas, minas e outros locais com alto risco de acidentes.

Maior escalabilidade

A visão computacional é uma solução escalável que pode ser facilmente implementada em diferentes ambientes de trabalho, independentemente do tamanho ou da complexidade da operação.

O sistema pode ser adaptado às necessidades específicas de cada empresa, permitindo a personalização das regras de detecção e dos alertas.

A tecnologia é facilmente integrada a outros sistemas de segurança existentes, como sistemas de monitoramento por câmeras e sistemas de controle de acesso.

Flexibilidade e adaptabilidade

A visão computacional oferece flexibilidade para diferentes tipos de capacetes, incluindo capacetes de segurança industrial, capacetes de ciclismo, capacetes de motociclistas e outros.

O sistema pode ser ajustado para diferentes condições de iluminação e ambientes de trabalho, garantindo a precisão da detecção em qualquer situação.

A tecnologia é constantemente aprimorada com o desenvolvimento de novos algoritmos e técnicas de inteligência artificial, tornando-a cada vez mais eficiente e precisa.

Integração com outros sistemas

O reconhecimento de capacetes por visão computacional pode ser integrado a outros sistemas de segurança, como sistemas de controle de acesso, sistemas de monitoramento de câmeras e sistemas de gestão de *E.P.I.*

Essa integração permite a criação de um sistema de segurança completo e abrangente que garante a proteção dos trabalhadores em todos os momentos.

A integração com outros sistemas também facilita a análise de dados e a geração de relatórios sobre a segurança no trabalho.

Geração de dados e insights

A visão computacional gera dados valiosos sobre o uso de E.P.I pelos trabalhadores, como frequência de uso, tipos de capacetes utilizados e áreas de maior risco.

Esses dados podem ser utilizados para identificar áreas de melhoria na segurança no trabalho, direcionar ações de conscientização e treinamento, e avaliar a efetividade das medidas de segurança implementadas.

A geração de dados e *insights* também contribui para a tomada de decisões mais inteligentes e estratégicas em relação à segurança no trabalho.

Em resumo, o reconhecimento de capacetes por visão computacional é uma tecnologia inovadora oferece diversas vantagens para a segurança no trabalho, como maior eficiência e precisão, redução de custos, maior escalabilidade, flexibilidade e adaptabilidade, integração com outros sistemas e geração de dados e *insights*. A motivação desse trabalho está na possibilidade de redução de acidentes na indústria da construção civil que em 2020 **No Brasil:**

- **2020:**
 - **Total de acidentes:** 717.533
 - **Óbitos:** 1.770
 - **Taxa de mortalidade:** 2,47 por 100 mil trabalhadores
 - **Participação da construção civil:** 22% dos acidentes e 23% dos óbitos
 - **Fonte:** Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho (Ministério do Trabalho e Previdência)

- **2022:**
 - **Total de acidentes:** 577.470
 - **Óbitos:** 1.419
 - **Taxa de mortalidade:** 2,46 por 100 mil trabalhadores
 - **Participação da construção civil:** 19% dos acidentes e 20% dos óbitos
 - **Fonte:** Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho (Ministério do Trabalho e Previdência)

MATERIAIS E MÉTODOS

A tecnologia é uma ferramenta poderosa que pode auxiliar empresas na criação de um ambiente de trabalho mais seguro e consciente, promovendo a cultura de prevenção de acidentes e protegendo a saúde e o bem-estar dos trabalhadores.

Um exemplo correlato para reconhecimento facial foi utilizado recentemente na época da pandemia, neste caso

Reconhecimento Facial com Máscaras na Pandemia de COVID-19

O uso de máscaras durante a pandemia de COVID-19 representou um desafio para o reconhecimento facial, uma tecnologia que se baseia em características faciais para identificar pessoas. As máscaras cobrem parte do rosto, ocultando características importantes para o reconhecimento, como nariz e boca.

Impacto da Pandemia no Reconhecimento Facial:

Redução da Precisão: Estudos indicam que a precisão do reconhecimento facial pode cair drasticamente com o uso de máscaras, chegando a 50% de taxa de erro em alguns casos.

Desafios Tecnológicos: Desenvolver algoritmos que reconheçam rostos com máscaras é um desafio para os pesquisadores. Soluções como análise da área dos olhos e da textura da pele estão sendo exploradas.

Preocupações com Privacidade: A coleta e o armazenamento de dados biométricos, como imagens faciais, levantam preocupações com a privacidade e o potencial para uso indevido.

Tecnologias Multimodais: A integração do reconhecimento facial com outras tecnologias, como reconhecimento de íris ou voz, pode aumentar a segurança e a confiabilidade da identificação.

Sensores Térmicos: A medição da temperatura corporal pode ser utilizada como medida de triagem em conjunto com o reconhecimento facial.

Máscaras com Reconhecimento Facial: Empresas estão desenvolvendo máscaras que incluem aberturas para os olhos ou tecnologias que permitem a identificação mesmo com a máscara.

O reconhecimento facial com máscaras ainda está em desenvolvimento, e sua implementação exige atenção à segurança, à privacidade e à ética.

A escolha da tecnologia deve ser feita com base nas necessidades específicas de cada aplicação.

É importante buscar soluções que sejam confiáveis, seguras e que protejam a privacidade dos indivíduos.

Deep Learning Convolutacional (YOLO)

A *Deep Learning Convolutacional*, ou CNN (*Convolutional Neural Network*), é uma classe especial de redes neurais profundas projetadas especificamente para lidar com dados de alta dimensionalidade, como imagens. As CNNs têm sido extremamente bem-sucedidas em tarefas de visão computacional, incluindo reconhecimento de objetos, classificação de imagens, detecção de objetos e segmentação semântica. Ressalta-se que não é escopo desse artigo discorrer sobre maiores detalhes computacionais e matemáticos, e sim a aplicação delas.

A principal característica das CNNs é a aplicação de operações de convolução nas camadas de entrada da rede. Essas operações de convolução consistem em aplicar um conjunto de filtros ou kernels a uma janela deslizante sobre a imagem de entrada. Cada filtro captura padrões específicos da imagem, como bordas, texturas ou características mais complexas.

Aqui estão alguns conceitos-chave relacionados à CNN:

Camadas convolucionais: As camadas convolucionais aplicam operações de convolução aos dados de entrada. Cada camada possui vários filtros, e a saída de cada filtro é chamada de mapa de características.

Camadas de *pooling*: Após as camadas convolucionais, geralmente são aplicadas camadas de *pooling* para reduzir a dimensionalidade dos mapas de características, preservando as informações mais importantes. O *pooling* mais comum é o *max-pooling*, que extrai o valor máximo de uma região da imagem.

Camadas totalmente conectadas: Depois de várias camadas convolucionais e de *pooling*, os mapas de características resultantes são achatados e passados para camadas totalmente conectadas, que são semelhantes às camadas em redes neurais tradicionais.

Funções de ativação: As funções de ativação, como ReLU (*Rectified Linear Unit*), são aplicadas após as operações de convolução e *pooling* para introduzir não linearidades na rede, permitindo que ela aprenda relações mais complexas nos dados.

Aprendizado de características: Uma das vantagens das CNNs é sua capacidade de aprender características diretamente dos dados, sem a necessidade de extração manual de características. Isso é alcançado por meio do treinamento supervisionado, em que a rede é alimentada com pares de entrada-saída e ajusta seus pesos por meio do algoritmo de retropropagação.

***Transfer Learning*:** Devido ao alto custo computacional e de dados para treinar CNNs do zero, muitas vezes é empregado o *transfer learning*, onde uma CNN pré-treinada em um grande conjunto de dados é ajustada para uma tarefa específica com um conjunto de dados menor. Isso é especialmente útil quando os dados de treinamento são limitados.

As CNNs revolucionaram a área de visão computacional e têm sido amplamente adotadas em diversas aplicações, desde reconhecimento facial até diagnóstico médico,

passando por carros autônomos e muito mais. Sua capacidade de extrair e aprender características diretamente dos dados as torna extremamente poderosas em uma ampla gama de problemas de aprendizado de máquina.

Segundo Katyayani, Bhardwaj, e Poongodi, (2023). A definição da *deep learning* YOLO

“*You only live once*” (Você só vive uma vez): É um lema popular que incentiva as pessoas a viverem a vida ao máximo e aproveitarem todas as oportunidades. É semelhante à expressão latina “*carpe diem*” (aproveite o dia).

YOLO em visão computacional: YOLO também pode se referir a um algoritmo de ponta para detecção de objetos em tempo real. É conhecido por sua velocidade e precisão. Você pode encontrar mais informações sobre o algoritmo YOLO no site do autor Joseph Redmon: URL *yolo real time object detection*

SSD (Single Shot MultiBox Detector)

Similaridade: Arquitetura similar ao YOLO, utilizando uma única rede neural para realizar detecção e classificação de objetos em tempo real.

Diferenças:

Usa uma estrutura de regressão linear para prever bounding boxes e classificações.

Permite a detecção de múltiplos objetos em diferentes escalas (NING, ET AL 2017).

YOLOv5

Similaridade: Versão mais recente do YOLO, com melhor precisão e desempenho em comparação com as versões anteriores.

Diferenças:

Usa uma arquitetura de “*Bag of Freebies*” para melhorar a precisão e a robustez do modelo.

Permite a detecção de objetos em diferentes escalas e com diferentes graus de oclusão (KUAN, ET AL, 2022)

Observações: A escolha do algoritmo ideal depende de diversos fatores, como a precisão desejada, a velocidade de processamento e o tipo de objeto a ser detectado. É importante avaliar as diferentes opções e escolher a que melhor se adapta às suas necessidades. As referências acima são apenas alguns exemplos de algoritmos similares ao YOLO. Existem diversas outras opções disponíveis, que podem ser encontradas na literatura científica e em repositórios de código online

RESULTADOS

Alguns dos resultados encontrados na internet com aplicações para detecção de E.P.I.

Na Figura 1 mostra a detecção de capacetes de dois funcionários, detectando até a cor do E.P.I., o que normalmente difere funções na construção civil.

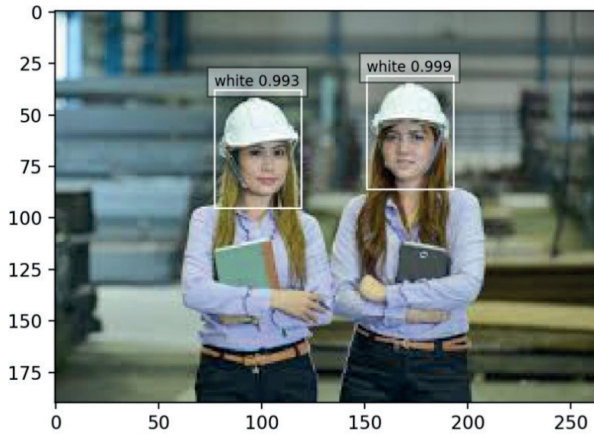


Figura 1 – Detecção de capacetes (cor branca)

Já a figura 2 mostra uma sequência de detecções, como, óculos, máscaras em ambientes agressivos a respiração. botas entre outros.

As imagens conferem uma alta precisão na detecção automática de diferentes E.P.Is, o que sugere um bom método a ser empregado, com as vantagens supracitadas

Já a figura 3, mostra a detecção de capacetes com operários em atividade.



Figura 3 – Detecção de diferentes E.P.Is

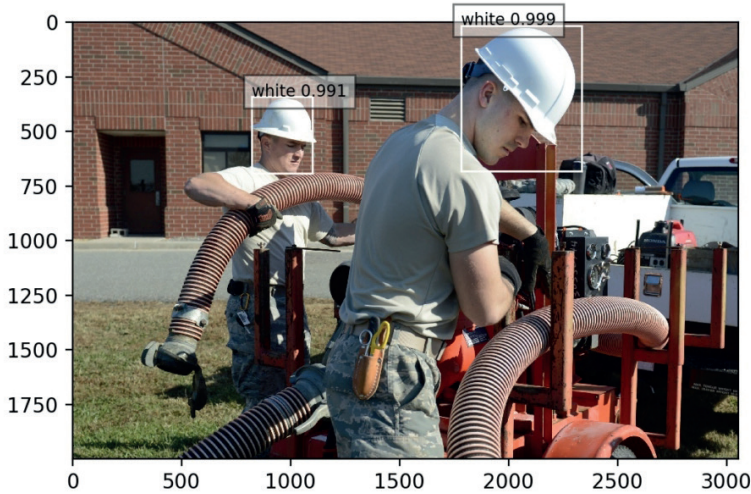


Figura 3 – Detecção de diferentes E.P.Is de forma dinâmica

Deste modo, as figuras mostram a viabilidade do uso do reconhecimento automático de E.P.Is

CONCLUSÃO

Os resultados públicos divulgados por diferentes empresas encontrados mostram que a proposta é promissora.

A detecção automática do uso de Equipamentos Individuais de Proteção (*E.P.Is*) na indústria da engenharia civil representa uma inovação crucial para promover a segurança dos trabalhadores. Os altos índices de acidentes nesse setor ressaltam a urgência de implementar medidas eficazes para mitigar riscos ocupacionais. A utilização de tecnologias de detecção automática de *E.P.Is* oferece uma abordagem proativa e preventiva, garantindo o cumprimento das normas de segurança e reduzindo a incidência de lesões e acidentes.

Para futuros trabalhos, é essencial aprimorar ainda mais essas tecnologias, buscando integrações mais sofisticadas com sistemas de monitoramento e gestão de segurança. Além disso, a realização de estudos que avaliem a eficácia e o impacto a longo prazo da detecção automática de *E.P.Is* no ambiente de trabalho pode fornecer insights valiosos para o desenvolvimento de políticas e práticas de segurança mais eficientes. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento nessa área são fundamentais para promover um ambiente de trabalho mais seguro e saudável para os profissionais da engenharia civil.

REFERÊNCIAS

- MARIE, D. Noelle et al. A 2021 **Review on Recent Advancements in Robotic assisted Minimally Invasive Surgery**: The Philippines Perspective. In: 2021 IEEE 13th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), 2021, Manila, Philippines. pp. 1-5. DOI: 10.1109/HNICEM54116.2021.9731947.
- Ministério do Trabalho e Previdência. Relatório Anual de Atividades. Brasília: Ministério do Trabalho e Previdência, 2023.
- NING, C. C., Zhou, H., Song, Y., & Tang, J. (2017). Inception Single Shot MultiBox Detector for object detection. In: **International Conference on Multimedia & Expo Workshops (ICMEW)**, 2017 IEEE, Hong Kong, China, pp. 549-554. DOI: 10.1109/ICMEW.2017.8026312.
- SILVA, J. C.; SANTOS, M. A.; OLIVEIRA, G. R. Visão Robótica: Uma Revisão Abrangente de Técnicas e Aplicações. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Robótica (SBR)**, São Paulo, SP, Brasil, 2023.
- SCARIA, B.; Aziz, N. A.; Siddiqi, M. A. M. "AI Based Robotic Systems for the quality control of Date Palm Fruits - A Review." In: **International Conference on Digitization (ICD)**, 2019, Sharjah, United Arab Emirates. pp. 227-231. DOI: 10.1109/ICD47981.2019.9105743.
- YU, X., Kuan, T. W., Zhang, Y., & Yan, T. (2022). YOLO v5 for SDSB Distant Tiny Object Detection. In: **Conferência Internacional sobre Tecnologia Laranja (ICOT)**, 10ª, 2022, Shanghai, China, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICOT56925.2022.10008164.
- KATYAYANI, K., Bhardwaj, B., & Poongodi, T. (2023). Deep Learning Approach for Multi-Object Detection Using Yolo Algorithm. In: **Conferência Internacional sobre Computação Contemporânea e Informática (IC3I)**, 6ª, 2023, Gautam Buddha Nagar, Índia, pp. 689-693. DOI: 10.1109/IC3I59117.2023.10398124.

AValiação DE BARREIRA ACÚSTICA: UM ESTUDO DE CASO EM MARINGÁ

Data de aceite: 02/05/2024

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

RESUMO: No meio urbano existem diversas fontes geradoras de ruído, sendo o gerado pelo tráfego de veículos de maior representatividade. Desta forma, o presente artigo tem como objetivo principal avaliar se uma barreira localizada no município de Maringá-PR, atua como uma barreira acústica, mitigando o ruído do entorno. Visto que trata-se de um local de recreação, descanso e merece sossego para seus usuários, deve ser desprovido de perturbação de ruídos. Como metodologia utilizou-se da pesquisa bibliográfica, seguida de visita em campo para coleta de dados como temperatura, nível de pressão sonora (NPS), por faixa de frequência, temperatura e umidade do ar. Utilizou-se do método Maekawa para estimar a atenuação calculada e realizar um comparativo com a atenuação medida. Com os resultados obtidos no ano de 2014 obteve-se uma participação significativa da barreira na atenuação do ruído gerado de fontes externas.

INTRODUÇÃO

A revolução industrial, juntamente com os avanços tecnológicos observados nas últimas décadas, foi responsável pelo acelerado processo de degradação do ambiente em que vivemos. Ao mesmo tempo em que o homem passou a contar com novidades e facilidade no seu dia a dia, crescendo a quantidade de fontes sonora de poluição (GARCIA, 1994, apud, NAGEM, 2004).

Hoje, uma das principais fontes de poluição sonora ambiental é o tráfego, seja ele rodoviário, ferroviário ou aeroviário. A recomendação é que relatórios de impacto ambiental incluam estimativas de ruído de tráfego quando do projeto de novas vias ou para ampliação de vias existentes, a fim de que se possa avaliar o impacto causado pelo ruído nas comunidades no entorno da via (BISTAFA, 2011).

O presente artigo tem como objetivo principal avaliar se o muro do Country Clube localizado na cidade de Maringá/PR, atua ou não como uma barreira acústica, garantindo assim, maiores condições de conforto aos usuários do clube.

Efeito do som e do ruído

O som é a sensação produzida no sistema auditivo; e de acordo com Nagem (2004) muitas vezes o som pode ser indesejável aos ouvidos, podendo até causar danos temporários ou irreversíveis na saúde e na audição, sendo chamado nestes casos, de ruído. Ruído é um som indesejável, em geral de conotação negativa (BISTAFA, 2011).

Entretanto sua presença em um ambiente pode ser desejável quando auxilia, por exemplo, na comunicação, no relaxamento ou no divertimento das pessoas. Bistafa (2011), destaca que os ruídos podem também fornecer informações úteis as pessoas, indicando falhas em motores e maquinário, ou seja, avisando uma inconformidade.

No que se refere ao ruído de tráfego, buscam-se intervenções no meio que possam diminuir a intensidade dos sons que atingem o receptor, e a população em geral (LISOT, 2008). De acordo com Oiticica (2010), conhecer o entorno é de fundamental importância, principalmente, para a implantação de qualquer edificação. A avaliação acústica dos ambientes expostos ao ruído e as estratégias direcionadas para o seu controle, fazem parte de um sistema complexo de problemas que para melhor conhece-los necessita-se de aprofundamento teórico e de avaliação das três partes integrantes da problemática: a fonte, a trajetória de transmissão e o receptor.

No ruído urbano é importante considerar que os veículos não são exatamente iguais. Isto significa que cada veículo gera um ruído diferente, em função de diversos fatores: como a maneira de dirigir, a carga que o veículo transporta, o tipo e o seu estado, a pressão dos pneus no asfalto, o tipo e o estado do sistema de escapamento, e o grau de desgaste mecânico geral do veículo (STEELE, 2001, apud DUTRA SOUSA, 2010).

Ainda de acordo com Steele (2001 apud Dutra Sousa, 2010), o tráfego rodoviário é caracterizado pelo deslocamento de diferentes veículos, a diferentes velocidades e distâncias uns dos outros, e cada um é uma fonte sonora pontual. Porém, em condições de tráfego contínuo, cada trecho medido deve ser aproximado a uma fonte sonora linear constante.

A utilização de barreiras acústicas como meio de mitigar o ruído seja ele pontual ou linear, causado não só pelo tráfego, mas por outras fontes de ruído como obras, estabelecimento comerciais e industriais, tem se tornado uma alternativa para o controle desses ruídos.

Barreiras acústicas

Barreira acústica é um obstáculo que bloqueia a transmissão direta do som, reduzindo o nível de ruído no receptor e criando uma zona de sombra acústica (PADUIN, 1999).

Com a colocação desses dispositivos, a trajetória da onda sonora ao atingir a barreira, tem parte de sua energia refletida, parte transmitida, parte absorvida e parte difratada, (Figura 1). (RESNICK E HALLIDAY, 1983, apud FERREIRA NETO, 2002).

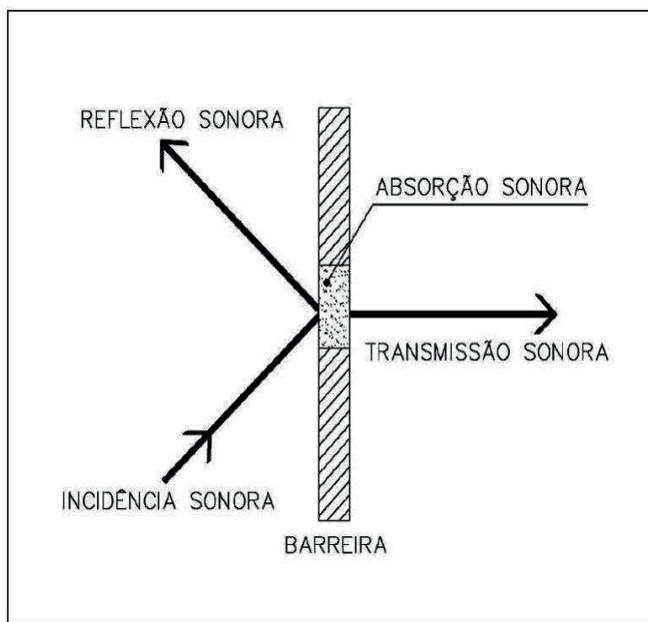


Figura 1 – Comportamento do som incidente em uma superfície

Fonte: SAPATA (2010)

A reflexão ocorre quando a onda se reflete de acordo com as leis da ótica. A transmissão é a capacidade de um material permitir que o som ultrapasse uma superfície, continuando a propagação (JADIR, LIMA, 2009). Quanto à absorção das barreiras, alguns materiais são capazes de não permitir que o som seja refletido pela superfície que a compõe. Já a difração depende da geometria da barreira, e o tamanho do obstáculo (LISOT, 2008).

De acordo com Henrique (2002 apud Lisot, 2008), se o comprimento de onda for menor que o comprimento do obstáculo poderão ocorrer os fenômenos de reflexão e absorção, caso o comprimento de onda for maior ou aproximadamente igual ao tamanho do obstáculo, é provável que ocorra a difração. A Figura 2 mostra o comportamento da onda ao atingir uma barreira ou um obstáculo qualquer.

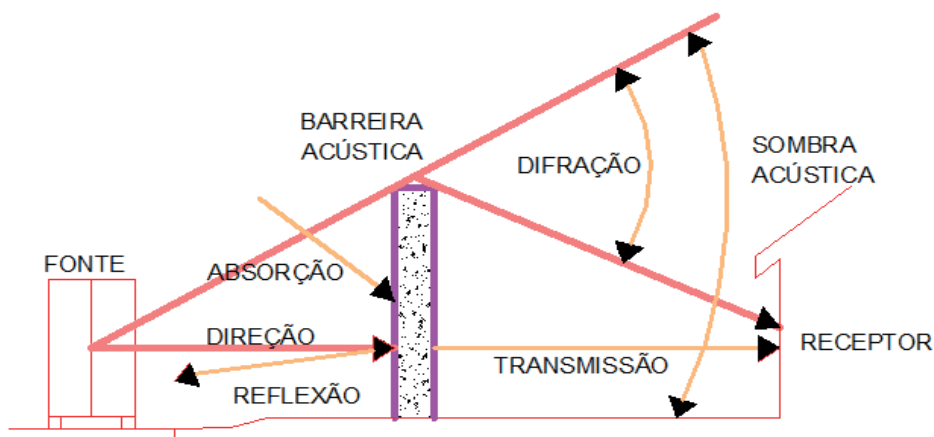


Figura 2- Comportamento de uma onda sonora ao encontrar um obstáculo

Fonte: HENDRIKS (1998) ADAPTADO

Na prática, o grau de eficiência de uma barreira acústica deriva da composição dos efeitos já mencionados: transmissão sonora, difração e reflexão. Para o dimensionamento adequado de uma barreira, deve-se considerar estes efeitos separadamente. Porém, o objetivo final será sempre a busca pelo conforto acústico almejado, seja em um ambiente fechado (edificações) ou em um ambiente aberto, como ruas, parques, clubes, etc. (FERREIRA NETO, 2002).

Os materiais para confecção das barreiras acústicas são diversos, as de blocos de concreto além de serem mais baratas, tem a vantagem de requererem menor manutenção. Contudo, o impacto visual pode ser desagradável, prejudicando a integração do sistema com o entorno. Já os painéis metálicos apresentam baixo custo e uma facilidade de montagem (COSTA, et al, 2013). Existem atualmente normas que classificam e avaliam o ruído ambiental em áreas habitadas, que visam garantir o conforto e a qualidade dos usuários.

Normas sobre Ruído

No Brasil a norma de referência sobre a avaliação do ruído ambiental segue padrões prescritos na norma ABNT NBR 10.151: 2000 intitulada “Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – procedimento”, esta norma fixa valores tabelados para avaliação da aceitabilidade do ruído em ambientes externos. Na Tabela 1 são apresentados os Níveis de Critério de Avaliação (NCA) do ruído em ambientes externos, em dB(A) nos períodos diurno e noturno segundo a norma.

Tipo de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escola	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Tabela 1 – Nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB (A)

Fonte: ABNT (2000)

De acordo com a Lei Complementar nº 218/98 do município de Maringá, os limites máximos de sons e ruídos permissíveis estão exposto na Tabela 2. Estes, estão limitados em função da sua localização e do seu horário de exposição.

Zonas de Uso	Diurno	Noturno
Zona Especial – ZE	55 dB (A)	45 dB (A)
Zonas de Proteção Ambiental –ZPA		
Zonas Residenciais –ZR		
Eixos Residenciais –ER		
Zona Central –ZC	60 dB (A)	50 dB (A)
Eixos de Comércio e Serviços – ECS		
Terminal de Transporte –TT		
Central de Abastecimento – CA		
Zona Industrial 1 -ZI-1	65 dB (A)	55 dB (A)
Av. Colombo, Anel Viário Prefeito		
Sinclair Sambatti (Contorno Sul) e vias de acesso		
Zona de Comércio Atacadista – ZCA		
Demais Zonas Industriais	70 dB (A)	60 dB (A)

Tabela 2- Limites máximos de sons e ruídos permissíveis Lei nº218/98 de Maringá.

Fonte: LEI COMPLEMENTAR Nº218/98 (MARINGÁ-PR)

A norma ISO 10847 (1997) estabelece as condições meteorológicas ideais para efetuar-se o monitoramento do desempenho de barreiras acústicas.

No que se refere à temperatura do ar, a referida norma ainda indica que a variação da temperatura durante o período do monitoramento não deve exceder mais que 10°C. Portanto, este critério foi atendido, registrando-se uma variação de menos de 1°C em ambos os pontos medidos.

METODOLOGIA

Nos tópicos 2.1 e 2.2 serão apresentados as características, os motivos de seleção do objeto de estudo e o método utilizado para realização das medições.

Caracterização do Objeto de Estudo

Como objeto de estudo utilizou-se do Country Club do município de Maringá, Figura 3 (a). O local selecionado para a realização das medições, foi um muro de alvenaria do clube, localizado frente a uma via de elevada movimentação de veículos e consequentemente de elevado nível de ruído gerado, Figura 3 (b).

Este local possui um público característico, por ser uma área destinada ao lazer, os frequentadores buscam recreação e descanso. Devido a este motivo, a verificação do nível de pressão sonora resultante do fluxo de veículos, se faz necessária, para que, entre os demais fatores, alcance a satisfação e o conforto acústico dos mesmos.

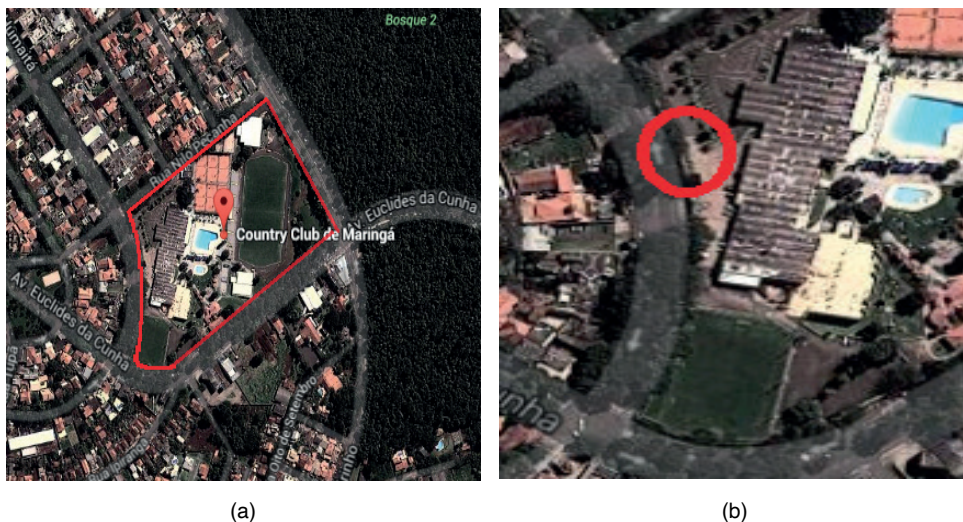


Figura 3 – Área de estudo

Fonte: GOOGLE EARTH (2014)

Método de Ensaio

A metodologia de ensaio consistiu na medição com um Medidor de Nível de Pressão Sonora do nível sonoro equivalente e da frequência sonora em quatro pontos internos, distanciados a cada 3 metros, totalizando 12 metros (Figura 4 (a)) e um ponto externo fixo posicionado a 1 metro da barreira (Figura 4 (b)).

Para melhor caracterização do ruído e efetivação dos resultados, utilizou-se um uma fonte geradora de ruído, posicionada a um metro da via de tráfego. Foram coletados em todos os pontos dados referentes à temperatura e umidade relativa do ar.



(a) Interno

(b) Externo

Figura 4 – Local das medições

Na Figura 5 são apresentados os pontos de medição internos e externos, o posicionamento da fonte sonora e a altura da barreira. São representadas também as variáveis “a”, “b” e “d”, que representam, respectivamente, a distância entre a fonte e o topo da barreira, a distância entre o topo da barreira e o receptor e a distância entre o receptor e a fonte. Variáveis estas necessárias para a utilização do Método de Maekawa.

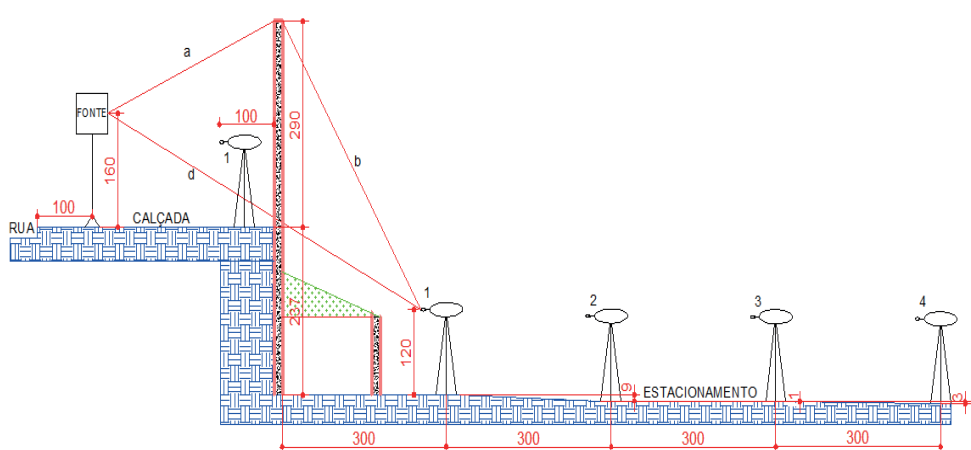


Figura 5 - Metodologia aplicada na avaliação da barreira acústica

De acordo com Kotzen e English (1999), apud Lisot (2013), o desempenho de barreiras acústicas é dependente da frequência e determinado em função do número de Fresnel N , que é um número adimensional, definido conforme a Equação (1).

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} = \frac{2f\delta}{c} \text{ sendo } \lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Onde:

λ : é o comprimento de onda (m);

δ : é a diferença de percurso entre a onda sonora difratada e a onda direta (m);

Logo, com o número de Fresnel, a Equação (2) mostra a equação de Maekawa que foi utilizada para a verificação dos dados da pesquisa.

$$\Delta L = 5 + 10 \cdot \log \left[\frac{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot N}}{\tanh(\sqrt{2 \cdot \pi \cdot N})} \right] \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando a Tabela 1 que são valores mais restritivos que a Tabela 2, verifica-se que o local analisado se localiza dentro de uma zona residencial e seus limites máximos de ruído permissível não poderiam superar 55 dB(A) em períodos diurno, e 50 dB(A) nos períodos noturno.

Em posse do nível de pressão sonora, para as diferentes faixas de frequência, calculou-se a atenuação medida *in loco* e a atenuação de acordo o método de Maekawa, em todos os pontos, para que então os dados pudessem ser comparados, Tabela 3.

A variação da temperatura no momento da medição interno e externo era de 1°C e da umidade relativa do ar 4,8%, logo estão de acordo com as especificações estabelecidas pela ISO 10847.

PONTO	EXT. 1	INTERNO											
		1			2			3			4		
f (Hz)	NPS dB(A)	NPS dB(A)	ΔL_m	ΔL_e	NPS dB(A)	ΔL_m	ΔL_e	NPS dB(A)	ΔL_m	ΔL_e	NPS dB(A)	ΔL_m	ΔL_e
31,5 Hz	72	64,9	7,1	7	64,4	7,6	6,4	74,3	-2,3 [^]	6,01	76,2	-4,2 [^]	5,81
63 Hz	73,3	64,7	8,6	8,15	64,9	8,4	7,3	68	5,3	6,76	62,8	10,5	6,45
125 Hz	77,6	56,8	20,8	9,5	61,1	16,5	8,5	59,8	17,8	7,82	55,9	21,7	7,4
250 Hz	82,7	55,1	27,6	10,98	57,8	24,9	9,9	54,5	28,2	9,14	51,6	31,1	8,65
500 Hz	81	51,3	29,7	12,48	50	31	11	49,5	31,5	10,6	49,3	31,7	10,07
1000 Hz	81,5	51,8	29,7	13,99	52,4	29,1	13	51,4	30,1	12,1	50,5	31	11,56
2000 Hz	78,9	49,4	29,5	15,49	52,1	26,8	14	50,5	28,4	13,6	49,2	29,7	13,07
4000 Hz	73,5	43,2	30,3	17	45	28,5	16	45,6	27,9	15,1	43,7	29,8	14,57
8000 Hz	66,4	< 40	26 [*]	18,5	37,2	29,2	17	35,6	30,8	16,6	35,5	30,9	16,08

ΔL_m : Atenuação medida em dB(A)

ΔL_e : Atenuação calculada Maekawa em dB(A)

*: Valor estimado, pois a medida estava fora do limite inferior do equipamento;

[^]: A medida no ponto de receptor, nesta frequência, foi maior que o ruído na fonte.

Tabela 3 - Análise dos pontos medidos

Analisando a atenuação medida, percebe-se que a barreira apresentou atenuação significativa, principalmente para altas frequências. Em relação à distância verificou-se que quanto mais afastado da barreira, maior foi a atenuação em baixas frequências, não sendo significativa a diferença de atenuação para as altas frequências, ou seja, para os sons agudos.

Na frequência de 31,5 Hz, a atenuação medida no ponto interno 3 e no ponto 4 foi maior que o ruído gerado na fonte, isso ocorreu devido a um número significativo de carros passando ao lado do Medidor de Nível de Pressão Sonora. Um aumento na intensidade de sons emitidos dentro do clube também contribuiu para o acréscimo de ruído nesses dois pontos.

Quanto ao comparativo entre a atenuação calculada pelo método Maekawa e a medida, percebeu-se que os valores obtidos experimentalmente foram mais satisfatórios, que os calculados. Como exemplo, no ponto 2 interno, na frequência de 8000 Hz, foi medida uma atenuação de 29,2 dB enquanto que pelo método obteve-se um valor de 17,00, ou seja, uma diferença superior a 10 dB do real.

A Tabela 4 mostra o cálculo da atenuação global da barreira medido em todos os pontos internos.

Frequência (Hz)	ΔL_{medido} (dB)	ΔL_{medido} (dB)	ΔL_{medido} (dB)	ΔL_{medido} (dB)
	(ponto interno 1)	(ponto interno 2)	(ponto interno 3)	(ponto interno 4)
63	8,6	8,4	5,3	10,5
125	20,8	16,5	17,8	21,7
250	27,6	24,9	28,2	31,1
500	29,7	31	31,5	31,7
1000	29,7	29,1	30,1	31
2000	29,5	26,8	28,4	29,7
4000	30,3	28,5	27,9	29,8
ΔL_{Global}	36,6	35,6	36,5	37,8

Tabela 4 Cálculo da Atenuação Global ΔLG :

Por se tratar de um solo duro, o asfalto comporta-se como um plano refletor e suas reflexões no solo interferem com o som direto. Porém a existência da barreira corrobora para que o ruído gerado e refletido, do solo e dos demais objetos que compõem o ambiente, seja atenuado.

A atenuação medida no ponto interno 4, conforme Tabela 4, foi maior que nos demais pontos, este resultado se dá pela atenuação sonora do ar atmosférico, que durante a propagação, o som é absorvido.

CONCLUSÃO

Com o levantamento realizado em 2014, foi possível perceber, de forma mais notória, a importância de estudos científicos na área em questão, com vistas a atingir os usuários e a comunidade, diminuindo cada vez mais o desconforto causado pelos ruídos, seja ele qual for.

Tendo em vista a atenuação global para os pontos internos do local avaliado, os valores de 36,6 dB; 35,6 dB; 36,5 dB; 37,8 dB; concluir-se que o muro atenua como uma barreira acústica, diminuindo consideravelmente os níveis de ruído dentro do recinto.

Percebe-se que a barreira acústica é uma solução eficaz na proteção do ruído e pode ser usada como uma solução efetiva para atenuar a poluição sonora das vias, ou seja, atua como um recurso importante na manutenção da qualidade do ambiente.

Se não existisse a barreira (o muro) em questão, o local que seria para o lazer, recreação e descanso, traria danos aos usuários causados pelo excesso de ruído ao entorno, como uma irritabilidade, danos físicos e psicológicos como estresse, alteração da pressão cardíaca, entre outros desconfortos causados pelo ruído, inviabilizando o local.

Importante mencionar que esse estudo foi realizado no ano de 2014 e novos estudos mais recentes devem ser realizados para verificar se o local objeto de estudo aumentou ou diminuiu o nível de ruído e se aumentou, quais as medidas necessárias a serem utilizadas para diminuir esse desconforto aos usuários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**. Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicado ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blücher, 2011. 380p.

COSTA, C. A., GARAVELLI, S. L., SILVA, E. F. F., MELO, W. C., MAROJA, A. M. Barreiras acústicas como medida de mitigação dos ruídos gerados pelo tráfego rodoviário: Setor Noroeste – DF. In: **19º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito**, 2013, Brasília.

DUTRA SOUSA, L. H.C., ZANQUETA, G. J. B., JOHNSTON, G. H., NASCIMENTO, M. A. Avaliação do ruído na região central de Maringá e Universidade Estadual de Maringá. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 32, n. 1, p. 49-54, 2010.

FERREIRA NETO, M. F. **Estudo de barreiras acústica ao ar livre, sob a perspectiva de eficiência e qualidade sonora**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 2002.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10847**. Acoustics – In-situ determination of insertion loss of outdoors noise barriers of all types. Geneve, 1997.

JADIR, T. T., LIMA, M. G. Propriedades acústicas de materiais de construção para uso em edificações no entorno de aeroportos. In: Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA, São José dos Campos. **Anais do 15º ENCITA**, São José dos Campos, São Paulo, 2009.

HENDRIKS, R. **Technical Noise Supplement**. Sacramento, CA: Office of Transportation Laboratory, Caltrans, 1998.

LISOT, A. **Ressonadores de Helmholtz em barreiras acústicas: Avaliação do desempenho na atenuação do ruído de tráfego**. 2008. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá – UEM-PR, Maringá, 2008.

LISOT, A. **Modelo em escala reduzida ao ar livre como ferramenta de validação de simulação computacional de barreiras acústicas**. 2013.158 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Campinas – Campinas, 2013.

MARINGÁ (Paraná). **Lei complementar nº218**, de 9 de janeiro de 1998. Dispõe sobre o controle e a fiscalização das atividades que gerem poluição sonora, impõe penalidades e dá outras providências, 1998.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 2004.

OITICICA, Maria Lúcia Gondim da Rosa. **Desempenho Acústico de Diferentes Tipologias de Peitoris Ventilados**. Universidade Estadual De Campinas, Faculdade De Engenharia Civil, Arquitetura E Urbanismo. Campinas, SP. 2010.

PADUIM, F. B. **Avaliação do desempenho acústico de barreiras através da técnica de MLS**. 1999. 77 f. Tese (Mestrado em Ciência em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 1999.

SAPATA, A. M. A. **Monitoramento, modelagem e simulação dos impactos e efeitos do ruído de tráfego em trecho de Cânion Urbano da Avenida Horácio Racanello da cidade de Maringá-Pr**. 2010. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá – UEM-PR, Maringá, 2010.

MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE: Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Paranaense (2009-2013), com especialização em Gestão de Projetos e Obras de Edificações pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016). Possui Mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (2018-2023). Atuou como Professora horista na Universidade Paranaense nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura entre os anos de 2017-2022, bem como contribuía e participava do quadro do colegiado do curso. Atualmente (2021- Atual) é professora do Departamento de Tecnologia (DTC) nos cursos de Engenharia Civil e Tecnologia da Construção Civil da Universidade Estadual de Maringá Campus de Umuarama, lecionando disciplinas de Conforto térmico, Hidrologia, Hidráulica I, Laboratório de Hidráulica I e II, Materiais de Construção, Gerenciamento de Obras, entre outras. Participa de projetos de pesquisa e contribui para o desenvolvimento dos respectivos cursos.

A

- Ácidos nucleicos 91, 94
- Aços carbono-manganês 48
- Aços estruturais 48
- Aços microligados (ARBL) 48
- Águas subterrâneas 107, 108, 109, 110, 111, 113, 115, 123
- Anfibolitos 1, 3
- Atenuação sonora 176
- Autodepuração 75, 77, 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89
- Automação 143, 158, 159
- Avaliação geotécnica 37, 46

B

- Barragens 37, 38, 40, 46
- Barreira acústica 167, 168, 170, 173, 176
- Biopolímeros 21, 22, 23, 24, 25
- Biorremediação 107, 121, 122, 123

C

- Caminho de Cora Coralina 26, 27, 28, 29, 32, 34, 35
- Compósito híbridos 179
- Construção civil 155, 157, 158, 160, 164, 178
- Contaminação das águas 119, 120
- Contaminação de solo 107
- Controle 21, 24, 27, 31, 34, 46, 55, 61, 62, 64, 72, 76, 79, 87, 93, 97, 123, 143, 144, 146, 159, 160, 168, 177
- Corredor ecológico 26, 28, 32, 34
- Cura 143, 144, 145

D

- Derivados de petróleo 107, 113, 122
- Desgaste 50, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 132, 133, 168
- Digitalizadores ópticos 3D 65

E

- Efeito Joule 143, 144, 145
- Eficiência 143, 155, 157, 158, 160, 170, 177

Elementos meteorológicos 75

Ensaio mecânicos 179

Escaneamento 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74

Estampabilidade 47, 48, 52, 55, 60

Expansão de furo 47, 48, 49, 50, 60

F

Fibra de carbono 143, 144

Fibras naturais 179

Fresamento 125, 128, 133

G

Geotêxteis 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19

Gnaisse 1, 3, 20

L

Laminetes de polipropileno 5

Laterílico argiloso 179

Latossolo VermelhoAmarelo 4

M

Método dos Elementos Finitos 43

Metrologia 62, 72, 74

N

Nitretação 124, 125, 126, 128

O

Obras de terra 3, 18

Oxigênio dissolvido 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90

P

Processos construtivos 157

Proliferação celular 103

Q

Qualidade da água 75, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 109, 112, 113, 121, 123

S

Serviços ecossistêmicos de provisão 179

T

Tanino 21, 22, 23, 24

Tecnologias avançadas 157

Testes físico-mecânicos 22, 23

U

Usinagem 50, 57, 124, 125, 126, 127, 128, 131, 132, 133

Usinas termelétricas 179

V

Vazamentos 179

Visão robótica 155, 157, 158, 166

Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br