

# XXXVII CICTE

Congresso de Iniciação Científica  
e Tecnológica em Engenharia 

**31<sup>o</sup>** Simpósio Internacional de Iniciação  
Científica e Tecnológica da USP 

16 A 18 DE OUTUBRO DE 2023



SÃO CARLOS  
EESC/USP

**XXXVII Congresso de Iniciação Científica e  
Tecnológica em Engenharia - CICTE  
&  
XXXI Simpósio Internacional de Iniciação  
Científica e Tecnológica da USP - SIICUSP**

**16 a 18 de outubro de 2023**

**LIVRO DE RESUMOS EXPANDIDOS**

**Editores**

Edson Denner Leonel

Marcelo Aparecido Chinelatto

**SÃO CARLOS-SP  
EESC | USP  
2023**

Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos  
Diretor: Professor Fernando Martini Catalano  
Vice-Diretor: Antônio Néelson Rodrigues da Silva

**Presidente do Comitê Local**  
Edson Denner Leonel

**Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca  
"Prof. Dr. Sergio Rodrigues Fontes" EESC/USP**

C749L.37  
2023

Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia  
(37. : 2023 : São Carlos)

Livro de resumos expandidos do 37. congresso de iniciação científica e tecnológica em engenharia & 31. simpósio internacional de iniciação científica e tecnológica da USP [recurso eletrônico] / Editores: Edson Denner Leonel, Marcelo Aparecido Chinelatto. - São Carlos : EESC/USP, 2023.  
246 p. -- Dados eletrônicos  
ISBN 978-65-86954-37-1

1. Engenharias - iniciação científica. I. Leonel, Edson Denner. II. Chinelatto, Marcelo Aparecido. III. Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP (31. : 2023 : São Carlos). IV. Título.

*Flávia Helena Cassin - CRB-8/5812*

ISBN 978-65-86954-37-1  
Número de páginas: 246

Versão eletrônica em PDF disponível online no Portal de Eventos Científicos da  
EESC-USP - [www.eventos.eesc.usp.br](http://www.eventos.eesc.usp.br)  
Tamanho e dimensões da obra: 21 cm x 29,7 cm (padrão Folha A4)

## **Ficha Técnica**

Publicação da Comissão de Pesquisa e Inovação da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

### **Editores**

Edson Denner Leonel  
Marcelo Aparecido Chinelatto

### **Comissão organizadora**

Professores:  
Edson Denner Leonel  
Marcelo Aparecido Chinelatto

Funcionários:  
Andressa de Carvalho  
Elenise Maria do Araújo  
Flávia Helena Cassin  
João Francisco Labela  
Ruth Strozi

### **Editoração**

Serviço de Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC-USP  
Seção de Apoio à Pesquisa e Comunicação Acadêmica

## **Avaliadores**

Alina de Souza Leão Rodrigues  
Amanda Thais dos Reis Fernandes  
Arthur Vieira da Silva Oliveira  
Artur Duarte Loureiro  
Caio Vinícius Colozzo Grilo  
Carlos Mauricio Ruiz Diaz  
Crislayne Gabriela Andreto  
Daniela Vanessa Rodriguez Lara  
Daniel Victor da Cunha Teles  
Deborah Cristina Nardi  
Edson Denner Leonel  
Elmer Pablo Tito Cari  
Fabio Romano Lofrano Dotto  
Fernando Luiz Lavoie  
Francisco Antonio Loyola Lavín  
Gabriel Neves Queiroz  
Helio Jacinto da Cruz Neto  
Henrique de Oliveira Caetano  
Jaime Alberto Mosquera Sanchez  
Jamil Alexandre Ayach Anache  
Jefferson Lins da Silva  
Jéssica Alves Justo Mendes  
João Miguel Mercedes Bega  
Joao Paulo Eguea  
Julio Cesar dos Santos  
Lucas Gabriel Zanon  
Lucas Tadeu Fuess  
Matheus Rocha  
Murilo Eduardo Casteroba Bento  
Rhennan Mecca Bontempi  
Vinicius Perez Dictoro  
Wanderson Ferreira dos Santos

### **Comissão de Pesquisa e Inovação**

EESC/USP

Avenida Trabalhador são-carlense, 400

Pq Arnold Schmidt - CEP 13566-590 - São Carlos - SP

[cpq@eesc.usp.br](mailto:cpq@eesc.usp.br)

## APRESENTAÇÃO

O Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP - SIICUSP é um evento anual que tem como objetivo divulgar os resultados dos projetos de iniciação à pesquisa científica e tecnológica realizados por alunos de graduação da USP, bem como de outras instituições nacionais e internacionais. Visa também contribuir para o desenvolvimento de competências necessárias à pesquisa acadêmica, promovendo a oportunidade de interação entre pesquisadores de todos os níveis e áreas, e fomentando a colaboração e a pesquisa multidisciplinar na Universidade.

Desde 2014, o SIICUSP é composto de duas fases. Na primeira, cada Unidade, ou grupo de Unidades, organiza seu próprio evento, com trabalhos de sua área específica. Os estudantes apresentam seus projetos para uma comissão avaliadora, que indica os que forem melhor avaliados para a segunda fase, denominada "Etapa internacional". Nessa fase, os estudantes selecionados têm a oportunidade de apresentar seus trabalhos novamente, em evento com participação de todas as áreas do conhecimento, na Cidade Universitária em São Paulo.

A Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) realizou entre os dias 16 e 18 de outubro de 2023 o 37º Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CICTE 2023, evento local que integra a primeira etapa do 31º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP - SIICUSP 2023. O evento aconteceu de forma presencial no Auditório I e na Sala de Projetos do Piso Superior do CETEPE/EESC/USP.

O Congresso é organizado com o apoio da Comissão de Pesquisa e Inovação - CPqI, do Centro de Tecnologia Educacional para Engenharia - CETEPE e do Serviço de Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes - SVBIBL. A partir de apresentações orais, o evento objetiva dar visibilidade aos trabalhos desenvolvidos pelos bolsistas de iniciação científica da USP e de outras universidades no período de 2022 a 2023.

Os autores dos melhores trabalhos foram selecionados para participarem da segunda fase do SIICUSP 2023. A etapa internacional foi programada para março de 2024, com apresentações dos estudantes participantes da primeira fase que foram indicados pelas Comissões de Pesquisa e Inovação de cada Unidade.

Edson Denner Leonel  
Marcelo Aparecido Chinelatto  
Editores

# SUMÁRIO

## **AERODINÂMICA (ENGENHARIA AERONÁUTICA)**

Determinação do carregamento transiente em uma asa combinando o modelo de linha sustentadora com a função de Wagner via uma abordagem em elementos finitos  
Pablo Pereira Guelssi, Ricardo Afonso Angélico

Efeitos de ressaltos em instabilidades na camada limite  
Rafael Estorniolo, Victor Barcelos Victorino, Felipe Oliveira Aguirre, Marcello Augusto Faraco de Medeiros

Transição na camada limite induzida por gaps  
Henrique Dias Teixeira, Victor Barcelos Victorino, Marcello Augusto Faraco de Medeiros

## **ASTROFÍSICA DO SISTEMA SOLAR (ASTROFÍSICA)**

Biocélulas combustíveis microbianas de musgos em cerâmica: efeito da luminosidade combinado ao eletrólito na geração de energia elétrica  
Marcos Vilas Boas Filho, Gustavo Pio Marchesi Krall Ciniciato

## **BIOENGENHARIA**

Desenvolvimento de sistema sensorial vestível para análise da atividade física humana  
Gabriel Wolschick de Oliveira, Jonathan Campo Jaimes, Adriano Almeida Gonçalves Siqueira

Q-MAM: programa para avaliação automática de qualidade a partir de imagens digitais de Phantoms de mama padronizados  
Gabriela Micheletti Mucciolo, Homero Schiabel

Técnica para o levantamento de curvas características de sistemas eletrônicos de aquisição de imagens digitais em mamografia digital  
Carolina Paiva Santos, Homero Schiabel

## **CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

Elaboração de inventário de emissões de gases do efeito estufa para o campus da USP em São Carlos  
Anna Júlia Sigrist, Marcelo Montañó

Potencial metanogênico da cafeína em esgoto sanitário em reatores anaeróbios em batelada  
Rebecca Sankarankutty, Maria Bernadete Amancio Varesche Silva

Remediação de solo contaminado com fipronil: potencial do uso do biochar como camada  
selante

Fernanda Oliva Pintucci, Thandy Júnio da Silva Pinto, Evaldo Luiz Gaeta Espindola

## **CIRCUITOS ELÉTRICOS, MAGNÉTICOS E ELETRÔNICOS (ENGENHARIA ELÉTRICA)**

Desenvolvimento de comando de porta para transistores de porta isolada  
Julio Calandrin, José Roberto Boffino de Almeida Monteiro

Implementação do algoritmo SHA-256 em circuito integrado de aplicação específica  
Lucas Daudt Franck, Maximilian Luppe

## **CONSTRUÇÃO CIVIL (ENGENHARIA CIVIL)**

Determinação da permeabilidade mínima para espécies tropicais objetivando seu  
aproveitamento como insumo para a produção de elementos estruturais de madeira lamelada  
colada (MLC)

Maria Clara Cardoso, Francisco Antonio Rocco Lahr

## **ELETRÔNICA INDUSTRIAL, SISTEMAS E CONTROLES ELETRÔNICOS**

Análise do comportamento térmico e vibracional de um motor BLDC com controle trapezoidal  
e FOC

Gaspar Henrique Martins de Oliveira, José Roberto Boffino de Almeida Monteiro

Desenvolvimento de sistema de suspensão semi-ativa para carro Baja SAE  
Rodrigo Caramaschi Vernizzi, Vilma Alves de Oliveira

Deteção de danos em ferramentas de usinagem utilizando emissão acústica, processamento  
de sinais e extração de características

Lucas Pires Bernardes, Pedro de Oliveira Conceição Junior

Estudo da viabilidade de representações tempo-frequência como ferramenta de extração de  
característica para classificação de padrões de desgaste da ferramenta no processo de  
fresamento

Luis Otavio de Angeles Dias, Pedro de Oliveira Conceição Junior

Modelagem de um controle de tração para um veículo Fórmula SAE  
Guilherme Yukio Takemoto, Maíra Martins da Silva

Monitoramento da condição da ferramenta no processo de retificação com base em índices de danos e sinais de vibração

Brena Marques Ribeiro, Pedro de Oliveira Conceição Junior

Projeto de detecção e isolamento de falhas em sensores aplicada a conversores boost  
Vitor Ferreira Paschoal, Deniver Reinke Schutz, Diêgo dos Santos Carneiro, Vilma Alves de Oliveira

## **ENGENHARIA MECATRÔNICA**

Coleta da antropometria humana para escalonamento de modelos computacionais  
Luca Borgonovi, Denis César Mosconi Pereira, Adriano Almeida Gonçalves Siqueira

Identificação de estruturas turbilhonares a jusante de um modelo simplificado de válvula cardíaca do tipo valsalva sinuses através da técnica de velocimetria por imagem de partículas (PIV)

Ana Beatriz de Sa Barbosa Mendes, Oscar Mauricio Hernandez Rodriguez, Pedro José Miranda Lugo, Jorge Enrique Arrollo Caballero,

Projeto e otimização de coletores piezelétricos de energia usando métodos evolucionários  
Catarina Luz Moura Ibiapina Barros, Paulo Sergio Varoto

Servovisão em robôs macios aquáticos bioinspirados  
Matheus Araujo Kurokawa, Maíra Martins da Silva

Sistema de comunicação entre neuronavegador e robô neurocirúrgico baseado em ROS  
José Carlos Andrade do Nascimento, Glauco Augusto de Paula Caurin, Paulo Henrique Polegato

Utilização do controlador ILQR para navegação de robôs móveis 4WD em campos agrícolas  
Francisco Affonso Pinto, Mateus Valverde Gasparino, Marcelo Becker

## **ENGENHARIA MÉDICA**

Aplicativo de monitoramento e análise de dados para o diagnóstico de crises epiléticas  
Gabriele Namie Okabayashi, Glauco Augusto de Paula Caurin, Paulo Henrique Polegato

Desenvolvimento de sensor EDA para classificação de crises epiléticas  
João Vitor Abreu e Oliveira, Glauco Augusto de Paula Caurin, Paulo Henrique Polegato,

Esfera de simulação de albedos para medidas espectrofotométricas em óculos de sol  
Pedro Teixeira Xavier da Silva, Liliane Ventura Schiabel

Interface de planejamento, correção e operação para neuronavegador aplicado a neurocirurgia

Eduardo Morelli Fares, Glauco Augusto de Paula Caurin, Paulo Henrique Polegato

Monitoramento via oxímetro para prevenção de mortes súbitas em epilepsia  
Luana Hartmann Franco da Cruz, Glauco Augusto de Paula Caurin, Paulo Henrique Polegato

Neurobot: plataforma de integração de robótica e neurocirurgia para procedimentos de eletrodos profundos

Calvin Suzuki de Camargo, Glauco Augusto de Paula Caurin

Visão computacional baseada em inteligência artificial para análise automatizada do índice de placa bacteriana em imagens odontológicas

João Antônio Evangelista Garcia, Marcelo Andrade da Costa Vieira

## **ENGENHARIA DO PRODUTO**

Análise da aceitação do consumidor: revisão sistemática da literatura sobre as variáveis da intenção de compra na remanufatura

Vinicius Marques Almeida, Janaina Mascarenhas Hornos da Costa

Comparação de propostas de sistemas para gestão de projetos de inovação utilizando a tecnologia Blockchain

Caio Chebel Pelissari, Alfredo Colenci Neto, Daniel Capaldo Amaral

Efeitos do pós-processamento por acabamento abrasivo magnético em peças produzidas por manufatura aditiva

Ayslan de Carvalho Maximiano, Adriel Magalhães Souza, Alessandro Roger Rodrigues, Eraldo Jannone da Silva

Oportunidades da tecnologia Blockchain para formação de ventures tecnológicas acadêmicas e apoio de fundações

Matheus Stefan Benetton Immer, Alfredo Colenci Neto, Daniel Capaldo Amaral

## **ENGENHARIA TÉRMICA (ENGENHARIA MECÂNICA)**

Calibração e aplicação da técnica de termografia de fluidos por fluorescência induzida por laser

Pedro Stefano Veronese, Arthur Vieira da Silva Oliveira

Desenvolvimento de modelo numérico e avaliação experimental de trocador de calor  
fabricado por manufatura aditiva operando com CO2 supercrítico  
Ana Elisa Leonel Ferreira, Gherhardt Ribatski

Modelagem, construção e medição do desempenho térmico de um painel de isolamento a  
vácuo  
Mateus Henrique Correa, Cristiano Bigonha Tibiriçá

## **ESTRUTURAS (ENGENHARIA CIVIL)**

Análise experimental da eficiência da pintura com revestimentos superficiais na madeira com  
produtos ignífugos  
Larissa Pineli André, Carlito Calil Junior

Aplicação da formulação posicional do método dos elementos finitos e partículas para análise  
da ação de ondas sobre pontes  
Lucas Cardoso Lima, Rodolfo André Kuche Sanches

Desenvolvimento de código computacional para determinação do centro de torção, via área  
setorial, de barras com seções transversais abertas paredes delgadas  
Vitor Cavaretti de Arruda, Dorival Piedade Neto, Jorge Munaiar Neto

Estudo numérico do comportamento de estruturas compostas por barras simples e cabos via  
método dos elementos finitos  
Yasmin Cristiny Fernandes Santos, Rodrigo Ribeiro Paccola

Influência das dimensões dos corpos de prova na Determinação da resistência característica à  
compressão paralela às fibras e das classes de resistência de lotes de madeira nativas  
Maira Rafaela Penazzo, Francisco Antonio Rocco Lahr

## **ESTRUTURAS AEROESPACIAIS (ENGENHARIA AEROESPACIAL)**

Avaliação experimental de sensor para ser aplicado em SHM  
Murilo Henrique Scarmagnani Pimenta, Denys Eduardo Teixeira Marques, Mateus Carpena  
Neto, Volnei Tita

Estudo de fenômenos aeroelásticos estáticos por uma abordagem monolítica baseada no  
método dos elementos finitos  
Murilo Caetano da Silva, Felipe Fernandes Liorbano, Ricardo Afonso Angélico

## **FENÔMENOS DE TRANSPORTE (ENGENHARIA MECÂNICA)**

Caracterização térmica do resfriamento de chapa metálica durante o impacto de gotas por termografia infravermelho

Carlos Eduardo Brasil de Mendonça Rocha, Arthur Vieira da Silva Oliveira

Desenvolvimento de um gerador de gotas monodispersas através de modelo físico para desprendimento de gota

João Marcelo Maris da Silva Filho, Jorge Nicolau dos Santos, Arthur Vieira da Silva Oliveira

Mapeamento do impacto de gotas sobre superfícies aquecidas e não-aquecidas

Luigi Paeró Leitão, Alvaro Felipe Campos Araya, Arthur Vieira da Silva Oliveira

## **FÍSICA GERAL**

Fundamentos do emaranhamento quântico

Tainara dos Santos Mareco, Marcia Cristina Anderson Braz Federson

## **FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

Conscientização de uso de energia solar fotovoltaica em escolas públicas com foco no projeto pequeno cidadão

Beatriz Goncalves Guimaraes, Polick Chen Zhanpeng, Rafael Duarte, Elmer Pablo Tito Cari

Protótipo de sistema fotovoltaico off grid de árvore solar - fase 1

Rafael Bastos Duarte, Rafael Viana Brant, Elmer Pablo Tito Cari

## **GEOTÉCNICA (ENGENHARIA CIVIL)**

Estimativas da resistência à compressão uniaxial de granitos e rochas básicas por meio de ensaios de carga pontual

Leonardo Santos Teixeira, Roberto da Silva Meira Júnior, Daniela Tomaz Alves, Rogério Pinto Ribeiro

Estimativas da resistência à compressão uniaxial de granitos e rochas básicas por meio de ensaios de esclerometria

Roberto da Silva Meira Júnior, Leonardo Santos Teixeira, Daniela Tomaz Alves, Ruben Medinaceli Torrez, Rogério Pinto Ribeiro

Zoneamento da recarga das águas subterrâneas: aplicação município de São Carlos (SP) -  
Escala 1:50.000  
Lavínia Aguiar Pereira, Lázaro Valentim Zuquette

## **GERÊNCIA DE PRODUÇÃO (ENGENHARIA DE PRODUÇÃO)**

Lean construction: impacto da aplicação da metodologia lean em construtoras no Brasil  
Vitor Sgotti, Kleber Francisco Espôsto

## **MATEMÁTICA APLICADA**

Modelagem de um problema de corte de itens irregulares com rotações livres aplicado à  
indústria siderúrgica  
Walison Adrian de Oliveira, Sarah Lopes Lira Feitosa, Marina Andretta

## **MATERIAIS NÃO-METÁLICOS (ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALURGIA)**

Desempenho mecânico de adesivos à base de zeína  
Daniela Winsley Valereto Friozi, Paula Bertolino Sanvezzo, Marcia Cristina Branciforti

Desenvolvimento de compósitos a base de carbetos de nióbio e zircônia  
Gabielli Yamakawa Yokota, Vera Lúcia Arantes

Preparação de membrana cerâmica condutora superiônica para prospecção de lítio  
Pedro Lucas Vicentino, Juliana Mara Pinto de Almeida

Viabilidade do uso de rejeitos de rochas ornamentais na fabricação de rochas artificiais  
Julia Morales Miranda, Vitor Augusto Silva Souza, Eduardo Bellini Ferreira, Paulo Giovany  
Quadros do Amaral

## **MECÂNICA DOS SÓLIDOS (ENGENHARIA MECÂNICA)**

Aplicação da técnica de correlação de imagens digitais em um material modelo submetido à  
variação de temperatura  
Bruno de Lima Vieira, Igor Paganotto Zago, Ricardo Afonso Angélico

Estudo do comportamento dinâmico de coletores piezelétricos multiestáveis: modelagem numérica e experimentação

Lucas José Dantas Alcantara, Paulo Sergio Varoto

Ferramenta computacional para deformar imagens a partir dos resultados de uma análise em elementos finitos

Felipe Lorenzo Andrade de Oliveira, Ricardo Afonso Angélico

## **METALURGIA FÍSICA**

Ablação à laser em ligas metálicas para aplicação em próteses

Gustavo Henrique Zambon, Laís Pacheco Caminata, Antonio Carlos Hernandez, Juliana Mara Pinto de Almeida

Produção e caracterização do aço de alta entropia Fe<sub>43</sub>Ni<sub>20</sub>Cr<sub>15</sub>Co<sub>15</sub>Si<sub>4</sub>Mo<sub>3</sub>

Guilherme Augusto Rossi, Marcelo Falcão de Oliveira

Síntese e caracterização do aço de alta entropia Fe<sub>43</sub>Ni<sub>20</sub>Cr<sub>15</sub>Co<sub>15</sub>Cu<sub>4</sub>Mo<sub>3</sub>

Gabriel Ortolani Oliva, Marcelo Falcão de Oliveira

## **METALURGIA DE TRANSFORMAÇÃO**

Deposição do aço ferramenta AISI H13 em aços para confecção e reparo de moldes de baixo custo por meio de manufatura aditiva DED

Pablo Henrique da Silva, Fábio Edson Mariani, Luiz Carlos Casteletti

Tratamentos térmico a laser dos aços AISI 1020, AISI 1045 E AISI 1095

Marcus Vinicius dos Santos da Silva, Fábio Edson Mariani, Luiz Carlos Casteletti

## **METODOLOGIA E TÉCNICAS DA COMPUTAÇÃO**

Detecção de anomalias em tubulações de transporte de petróleo e gás utilizando long short-term memory networks

Marcus da Silva Carr, Carlos Maurício Ruiz Diaz, Oscar Mauricio Hernandez Rodriguez

Estudo da viabilidade técnica e prototipação de um sistema de visão computacional embarcado para avicultura de corte comercial

Mateus de Castro Duarte Cardoso, Glauber da Rocha Balthazar, Iran Jose Oliveira da Silva, Thiago Luis Lopes Siqueira

Ferramentas para pré-processamento e redução dimensional de imagens no reconhecimento e desvio de obstáculos por um robô móvel

Luis Eduardo de Souza Cintra, Luiz Afonso Batalha Marão, Glauco Augusto de Paula Caurin

## **PESQUISA OPERACIONAL (ENGENHARIA DE PRODUÇÃO)**

Heurística ALNS para o problema de sequenciamento em máquina única com tempos de setup entre famílias

Thiago Luiz de Hongoro, Marcelo Seido Nagano

Um modelo de otimização para a determinação de kits cirúrgicos

Gabriel Vinícius Bacci, Maristela Oliveira dos Santos

## **PLANEJAMENTO ENERGÉTICO**

Integração de sistemas microprocessados para a conexão de inversores Inteligentes à internet da energia

Ana Julia Aguiar Tagliassachi, Augusto Matheus dos Santos Alonso

## **PROCESSOS DE FABRICAÇÃO (ENGENHARIA MECÂNICA)**

Aplicação do algoritmo autoral de deposição variável para manufatura aditiva e publicação em plataforma aberta

Daniel Marcos Souza do Couto, Henrique Takashi Idogava, Zilda de Castro Silveira

Estudo da viabilidade celular em implantes de titânio produzidos por manufatura aditiva e texturizados por microfresamento

Geovana Eloizi Ribeiro, Vincent Edward Wong Diaz, Alessandro Roger Rodrigues

Projeto e fabricação de rochas artificiais com controle de porosidade

Bianca da Silva Soares, Mateus Mota Morais, Carlos Alberto Fortulan

## **PROJETOS DE MÁQUINAS (ENGENHARIA MECÂNICA)**

Desenvolvimento de modelos em elementos finitos para ressonadores e caracterização de materiais

Henri Miranda Magalhaes, Leopoldo Pisanelli Rodrigues de Oliveira

Desenvolvimento de sistema de monitoramento de temperatura in line para um cabeçote miniaturizado vertical para impressão 3D

Gabriel Kenji Gushiken, Dávila Moreira Lopes Silva, Zilda de Castro Silveira

Identificação de lacunas nas linhas de cultivo utilizando algoritmos computacionais

Emanuel Percinio Goncalves de Oliveira, Marcelo Becker

Metodologia de seleção de materiais para aplicações voltadas a tecnologia assistiva

Joao Victor Cassole Aguiar, Alina de Souza Leão Rodrigues, Zilda de Castro Silveira

## **RECURSOS HÍDRICOS**

Ecotoxicidade e ingestão de microplásticos de polietileno por *Daphnia similis* em dois cenários de exposição

Matheus Dias Rezende, Evaldo Luiz Gaeta Espindola, Allan Pretti Ogura

Mapeamento de inovações tecnológicas em recursos hídricos

Dafne Fernanda Alves e Silva, Sabrina de Oliveira Anicio, Tadeu Fabricio Malheiros

## **ROBÓTICA, MECATRÔNICA E AUTOMAÇÃO**

Aplicação de métodos ablativos em redes neurais para navegação robótica em campos acidentados

Gianluca Capezzuto Sardinha, Marcelo Becker

## **SANEAMENTO AMBIENTAL (ENGENHARIA SANITÁRIA)**

Avaliação da qualidade da água em um riacho urbano de São Carlos (SP) durante eventos de precipitação: caracterização da poluição difusa e influência das características da vegetação ripária

Cecília Loretti de Paiva, João Miguel Mercedes Bega, Davi Gasparini Fernandes Cunha

Desenvolvimento de método respirométrico para monitoramento do processo de compostagem em escala reduzida

Isadora Skorupski Barros, Guilherme Henrique Duarte de Oliveira

Desenvolvimento de rotinas de programação para plataforma digital de tomada de decisão para implementação de economia circular em estações de tratamento de esgoto

João Alexandre Ferraz, Sabrina de Oliveira Anicio, Tadeu Fabricio Malheiros

Efeitos ecotoxicológicos da vinhaça biodigerida em reator anaeróbio com o invertebrado  
*Chironomus sancticaroli*

Milena Rosa de Sousa, Mayara Caroline Felipe

Mapeamento de práticas e informações gerais de estratégias de economia circular aplicadas a  
estações de tratamento de esgotos no mundo

Andreina Custodio da Silva, Sabrina de Oliveira Anicio, Tadeu Fabricio Malheiros

Toxicidade da exposição combinada de tetrabromobisfenol A e microplásticos polietileno em  
duas espécies nativas de águas doces brasileiras

Gabriel Botelho de Souza, Aline Christine Bernegossi, Gleyson Borges Castro, Juliano Jose Corbi

## **SANEAMENTO BÁSICO (ENGENHARIA SANITÁRIA)**

Avaliação e diagnóstico dos problemas de saneamento básico no assentamento Santa Helena  
(São Carlos, SP) e análise de possíveis soluções

Mariana Saraiva Urbano, Marcelo Zaiat

Avaliação do sistema de logística reversa em São Carlos

Arthur Manfrin do Bem, Valdir Schalch

Estudo e mapeamento de práticas de economia circular em estações de tratamento de esgoto  
nas bacias PCJ

Louise da Silveira, Sabrina de Oliveira Anicio, Tadeu Fabricio Malheiros

Monitoramento das tecnologias sociais aplicadas pelo Geisa no assentamento comunidade  
agrária nova São Carlos, São Carlos, SP

Daniela Cristine Marques de Lima, Millene Gomes da Silva, Maria Julia de Andrade Cardeal,  
Rogério Pinto Ribeiro

## **SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA (ENGENHARIA ELÉTRICA)**

Análise de desempenho de semicondutores no contexto de alta tensão em para-raios

Leonardo Aldana Rocha, Rogério Andrade Flauzino

Análise da representação de geradores eólicos em ferramentas de análise de estabilidade de  
tensão

Lucas Carnevalli de Almeida, Matheus Rosa Nascimento, Rodrigo Andrade Ramos

Análise e simulação de um ciclo rankine orgânico supercrítico com fonte solar e integração  
com um sistema de distribuição de energia elétrica

Joao Vitor Silva Colnago, Michel Giroto de Oliveira, José Carlos de Melo Vieira Júnior

Instalação de sistemas fotovoltaicos nos Campi da USP São Carlos  
Rafael Bastos Duarte, Rafael Viana Brant, Lucca Barbosa Borges, Polick Chen Zhanpeng, Elmer  
Pablo Tito Cari

Modelagem de relé baseado em tensão para a proteção de microrredes  
Amanda Tsutsumi, Gabriella Pinheiro dos Santos, José Carlos de Melo Vieira Júnior

Representação de incertezas da geração eólica nos estudos de planejamento da operação  
elétrica e análises de segurança  
Pedro Lucas Betarelo dos Santos, Luís Fernando Costa Alberto

## **TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

Sistema de identificação de cartas colecionáveis com processamento de imagem  
Thales Gomes Maurin, Matheus José Bernardi Costa, Maíra Martins da Silva

## **TELECOMUNICAÇÕES**

Desenvolvimento de algoritmo em Python para cálculo de forças fotoforéticas em  
espalhamento eletromagnético  
Beatriz Helena Dias Rocha, Leonardo André Ambrósio

Implementação de algoritmo em Julia para simulação de ondas acústicas não difrativas a partir  
de expansão em ondas parciais e fatores de forma  
Felipe de Alcantara Tome, Leonardo André Ambrósio

## **TÓPICOS ESPECÍFICOS DE EDUCAÇÃO**

Educação ambiental para o ensino fundamental na escola estadual Bento da Silva César, São  
Carlos-SP  
Sara Alves, Brenda Franciss Córdor Salazar, Maria Julia de Andrade Cardeal, Rogério Pinto  
Ribeiro

## **TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO E RESIDUÁRIAS**

Avaliação da codigestão de resíduos da indústria cafeeira e cervejeira em reator EGSB visando  
a produção de biogás  
Leonardo Matias de Oliveira Filho, Caroline Varella Rodrigues, Maria Bernadete Amâncio  
Varesche

## **VEÍCULOS E EQUIPAMENTOS DE CONTROLE**

Criação de banco de dados de imagens de caminhões para classificação automática  
Miguel José Sertori, André Luiz Barbosa Nunes da Cunha

## Determinação do carregamento transiente em uma asa combinando o modelo de linha sustentadora com a função de Wagner via uma abordagem em elementos finitos

Pablo Pereira Guelssi, Ricardo Afonso Angélico

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

pablitopg@usp.br

### Objetivos

Asas de alto alongamento permitem reduzir o arrasto induzido e melhorar o desempenho da aeronave, que, quando combinadas com materiais compósitos, geram estruturas mais leves e, em geral, mais flexíveis. A mudança de configuração da estrutura devido aos deslocamentos altera a distribuição de carregamento que atua sobre ela. Dessa forma, há a necessidade do acoplamento de modelos estruturais e aerodinâmicos para a previsão do comportamento aeroelástico.

Nesse contexto, o principal objetivo desse trabalho é desenvolver uma formulação aerodinâmica não estacionária para a asa utilizando a teoria da linha sustentadora em conjunção com a função de Wagner. As equações são solucionadas numericamente utilizando uma abordagem em elementos finitos.

### Métodos e Procedimentos

Wagner desenvolveu uma função que permite relacionar a mudança do coeficiente de sustentação em um aerofólio a partir de uma entrada de grau de ângulo de ataque. Utilizando o princípio de Duhamel é possível estender essa ideia para variações arbitrárias de ângulo de ataque. Katz e Plotkin [1] explicam como o coeficiente de sustentação seccional se relaciona com a circulação e como esta impacta no *downwash* ao longo da asa.

A partir de integrações por partes e manipulações algébricas, é possível chegar numa equação que combina as duas formulações, permitindo obter a sustentação circulatoria ao longo da asa. Contribuições devido à aceleração de massas de ar, denominadas impulsivas, conforme derivadas por Theodorsen [2], são somadas, chegando na formulação da linha sustentadora não estacionária.

Essa equação é ponderada por uma função peso arbitrária e integrada em seu domínio para se obter a forma fraca. O domínio é subdividido e cada subdivisão é aproximada por um polinômio, chegando na formulação em elementos finitos do problema. Aqui, a circulação no elemento é descrita usando funções lineares e quadráticas.

A equação resultante é escrita na forma de espaço de estados, e é solucionada utilizando o algoritmo de Runge-Kutta para a integração temporal. O modelo foi implementado em Python utilizando um paradigma orientado a objetos.

### Resultados

Os resultados obtidos pela formulação em elementos finitos foram comparados com os obtidos por Boutet e Dimitriadis [3] (WLL), que resolveram o problema aerodinâmico utilizando série de Fourier para aproximar a circulação ao longo da envergadura. A Figura 1 mostra resultados para asas retangulares com uma velocidade igual a 25 m/s e uma entrada de grau de ângulo de ataque na forma:

$\alpha = 5(1 - e^{-10t})$ . Detalhes quanto às informações de entrada podem ser vistos em Boutet e Dimitriadis [3].

A Figura 2 explicita a convergência entre elementos lineares e quadráticos na condição estacionária para uma asa retangular de razão de aspecto 6 com ângulo de ataque 5 graus em função do número de nós.

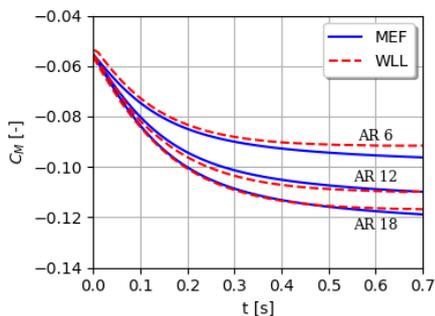
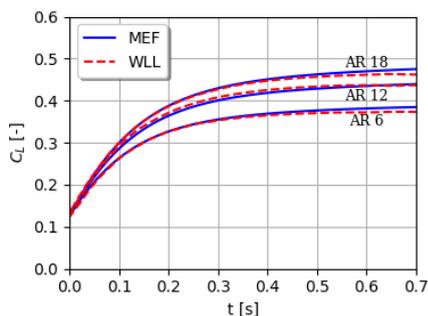


Figura 1: Variação do coeficiente de sustentação (acima) e de momento (abaixo) para uma entrada de grau de ângulo de ataque.

Os elementos quadráticos superestimam o CL enquanto o contrário ocorre para os elementos lineares. Além disso, os elementos lineares convergem para a resposta correta mais rapidamente, o que indica uma maior vantagem do ponto de vista de tempo computacional. A formulação com elementos quadráticos, apesar de mais lenta, ainda pode ser utilizada para facilitar o acoplamento com um modelo estrutural de mesma ordem. Os maiores erros na formulação com elementos quadráticos estão localizados próximos à ponta da asa. Mais investigações

são necessárias para entender esse comportamento localizado.

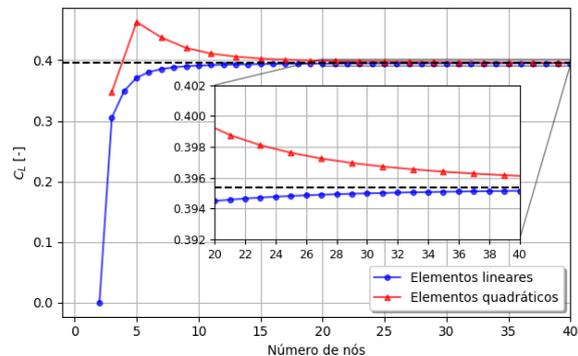


Figura 2: Convergência de CL em função do número de nós.

## Conclusões

A teoria da linha sustentadora não estacionária modelada com elementos finitos consegue prever com sucesso a sustentação e o momento torsor ao longo da envergadura de asas arbitrárias, e a metodologia é validada através da comparação com o WLL. Elementos finitos lineares apresentam melhor convergência que elementos quadráticos. Outras investigações e análises devem ser conduzidas a fim de compreender os motivos desse comportamento.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de reconhecer o apoio financeiro do Programa Unificado de Bolsas da USP (Proc. 2022/3556).

## Referências

- [1] Katz, J. e Plotkin, A. (2001). Low-Speed Aerodynamics. Cambridge Aerospace Series. Cambridge University Press
- [2] Theodorsen, T. (1949). General theory of aerodynamic instability and the mechanism of flutter. Technical Report NACA-TR-496, NACA.
- [3] Boutet, J. e Dimitriadis, G. (2018). Unsteady lifting line theory using the wagner function for the aerodynamic and aeroelastic modeling of 3D wings. Aerospace. Vol. 5, No. 3, p. 92.

## Efeitos de Ressaltos em Instabilidades na Camada Limite

Rafael Estornio

Victor Barcelos Victorino, Felipe Oliveira Aguirre

Marcello Augusto Faraco de Medeiros

Escola de Engenharia de São Carlos - USP

rafael.estornio@usp.br

### Objetivos

Irregularidades em superfícies aerodinâmicas podem antecipar o processo de transição para turbulência em camadas limite, o que resulta em um aumento substancial do coeficiente de arrasto da aeronave. Essas irregularidades podem ser classificadas como ressaltos, cavidades, degraus, entre outros.

Wang e Gaster (2005) utilizaram experimentos para quantificar o impacto no fator de crescimento ( $\Delta N$ ) de ondas Tollmien-Schlichting (TS) em respeito à altura do degrau normalizado pela espessura de deslocamento ( $h/\delta^*$ ). Crouch e Kosorygin (2020) realizaram experimentos com objetivo similar. Os resultados indicaram que para um ressalto o  $\Delta N$  pode ser estimado como uma combinação linear do  $\Delta N$  previsto para degraus com face para frente e face para trás.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é quantificar o  $\Delta N$  causado por um ressalto e compará-lo com a literatura num regime no qual a TS é o mecanismo de transição. Com isso, espera-se uma melhor compreensão do impacto de um ressalto nos fenômenos de transição.

### Métodos e Procedimentos

Os experimentos foram realizados no túnel de vento de baixo ruído acústico e turbulência (LANT) da EESC-USP. O modelo de ensaio consiste em uma placa plana de alumínio com

dimensões 2 m x 1 m x 10 mm, possuindo um ressalto retangular de quinas afiadas localizado a 0,6 m do bordo de ataque do modelo. Este possui um comprimento de 30 mm, cobre uma envergadura de  $\pm 0,3$  m em torno da linha de centro do modelo e sua altura é ajustável remotamente, variando de 0-20 mm.

As medições de velocidade (média e flutuação) foram realizadas pelo anemômetro de fio quente modelo AN-1002 e sonda do tipo camada limite 55P15 da Dantec. A tensão de saída do anemômetro é enviada para dois módulos de aquisição, um para medições de tensão média (USB DAq-6002) e o outro para flutuações (PXI-4498), ambos da National Instruments. A tensão é convertida em velocidade a partir de calibração, usando a velocidade do escoamento livre do próprio túnel de vento através de um tubo de Pitot estático.

### Resultados

O experimento consistiu em medir a evolução ao longo do escoamento da flutuação de velocidade dentro da camada limite. A velocidade do escoamento empregada foi 13 m/s e além da placa plana lisa, um ressalto com altura de 1 mm foi utilizado. A evolução do espectro de frequências é apresentada a seguir. Uma banda de frequências de 45 – 90 Hz apresentou crescimento ao longo da direção do escoamento para o caso liso. Para o caso de 1mm, o ressalto amplificou o crescimento da TS, além de ampliar a largura da banda, que passou a ser de 50 – 120 Hz. .

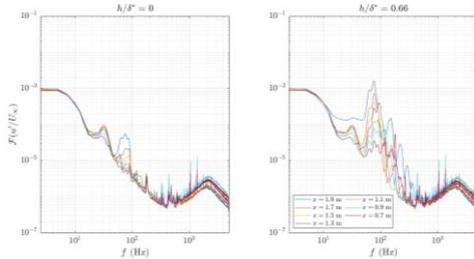


Figura 1: PSD da série temporal de cada sinal

Essa banda de frequências é atribuída a onda TS, pois concorda com a teoria para a condição do escoamento empregada, conforme figura abaixo. As barras de erro indicam a banda de frequências para cada posição, sendo as grossas para o caso liso e as finas para o com ressalto. Os marcadores representam a frequência de máxima amplificação. Os marcadores fechados indicam o caso liso e os vazios o com o ressalto. É perceptível que a frequência máxima ocorre dentro da zona de instabilidade, perto do ramo 2 (superior), conforme a teoria.

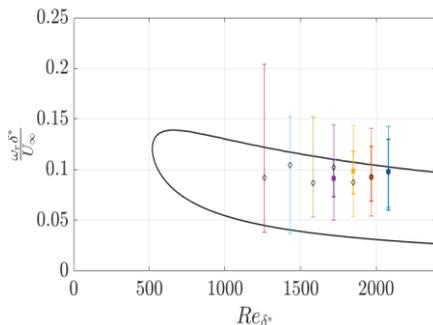


Figura 2: Dados experimentais comparados com o Diagrama de Instabilidade

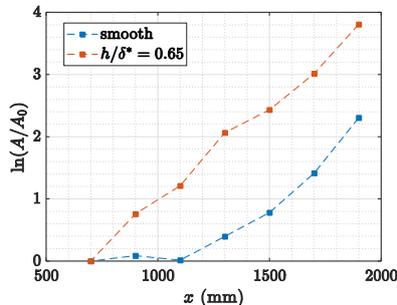


Figura 3: Comparação das Amplitudes

Quantificando o impacto do ressalto no crescimento da onda TS, o  $\Delta N$  foi estimado em 1,5. Esse  $\Delta N$  está em concordância com a correlação para degraus com face para trás estabelecida por Wang (2005), que é 1,27. Entretanto, não está em concordância com a combinação linear proposta por Crouch (2020), que foi de 3,96. Uma diferença que pode explicar essa variação é que os autores empregaram um número de Reynolds maior (25-40%) sobre a rugosidade, apesar de alturas não-dimensionais similares, o que pode impactar no  $\Delta N$ .

## Conclusões

A presença de ressaltos amplificou o crescimento das ondas TS. Com a análise dos PSDs, é possível perceber que a presença do ressalto aumentou a banda da TS, principalmente nas proximidades do ressalto. O  $\Delta N$  estimado foi de 1,5. Apresentou boa concordância com o valor proposto por Wang (2005), entretanto não houve boa concordância com o modelo de Crouch (2020).

## Referências

AMARAL JUAN CARLOS SERRANO RICO, C. S. B. M. M. B. V. B. V. E. M. G. M. A. F. d. M. Filipe Ramos do. The low acoustic noise and turbulence wind tunnel of the university of sao paulo. The Aeronautical Journal, p. 1–45, 2021.

CROUCH, J. D.; KOSORYGIN, V. S. Surface step effects on boundary-layer transition dominated by tollmien–schlichting instability. AIAA Journal, v. 58, n. 7, p. 2943–2950, 2020. ISSN 00011452.

KLEBANOFF, P. S.; TIDSTROM, K. D. Mechanism by which a twodimensional roughness element induces boundarylayer transition. The Physics of Fluids, v. 15, p. 1173–1178, 1972.

WANG, Y. X.; GASTER, M. Effect of surface steps on boundary layer transition. Experiments in Fluids, v. 39, p. 679–686, 2005. 10

## Transição da camada limite induzida por gaps

Henrique Dias Teixeira

Victor Barcelos Victorino

Marcello Augusto Faraco de Medeiros

Universidade de São Paulo

henriquedt@usp.br

### Objetivos

O presente trabalho consiste de um estudo numérico e teórico da estabilidade da camada limite contendo uma cavidade. Os parâmetros das simulações buscam reproduzir condições de escoamento similares às cobertas por (CROUCH et al., 2022), onde os autores correlacionaram a geometria dos gaps com o impacto no local de transição. Tem-se por objetivo verificar se os modos de Rossiter e, ou, modos centrífugos, podem estar relacionados a transição bypass observada por (CROUCH et al., 2022).

### Métodos e Procedimentos

Utilizamos uma Simulação Numérica Direta (DNS), com o código internamente desenvolvido pelo grupo de aeroacustica, transição e turbulência (GATT), para a obter são obtidos dados do escoamento em um regime de ciclo limite. A partir da tendencia das mudanças de valores das variáveis de simulação, determina-se se o escoamento é estável ou instável, caso as variações dos valores das variáveis ocorrerem de forma cíclica e estiverem em uma ordem de grandeza considerável para a simulação, trata-se de um escoamento instável, caso contrário, se as variações tenderem para uma ordem de grandeza considerada residual, trata-se de um escoamento estável.

Quando, se trata de um escoamento instável é necessária a estabilização do escoamento de maneira forçada utilizando o amortecimento seletivo de frequências (SFD) pelo método de (ÅKERVIK et al., 2006) obtendo assim um fluxo base. Para a análise da estabilidade linear (LST), usamos o fluxo de base encontrado, quando o caso é instável, ou o próprio fluxo, quando é estável. Em uma análise de estabilidade linear 2D, os modos instáveis são comparados aos modos Rossiter e, em uma análise de estabilidade linear 3D, os efeitos de instabilidade que podem ocorrer estão relacionados aos modos centrífugos.

### Resultados

Foram estudadas cavidades com parâmetros de simulação disponíveis na Tab.1,

Tabela 1: parâmetros de simulação dos casos estudados.

Caso	$D/\delta^*$	$L/\delta^*$	$Re_{\delta^*}$	$M_{\infty}$
1	1,7	42,7	1416	0,053
2	1,8	45,3	1467	0,060

Pelas simulações via DNS o primeiro caso mostrou-se estável enquanto o segundo instável. Portanto foi aplicado SFD no segundo caso, obtendo assim um escoamento invariante no tempo para as duas cavidades.

A partir desses escoamentos bases foi realizada a análise LST 2D resultando em 1 modo instável para a primeira cavidade e 3

modos instáveis para a segunda cavidade. A partir da análise de frequência desses modos obteve-se as frequências, presentes na Tab.2.

Tabela 2: frequências adimensionais dos modos instáveis de cada caso estudado.

Caso 1	Caso 2
1,459	1,516
-	1,132
-	1,843

Em uma análise de LST 3D foram identificadas ondas com comprimento de onda em z específico que geravam modos instáveis na cavidade, chamados de modos centrífugos, visíveis na Figura.1 para o primeiro caso e Figura.2 para o segundo caso.

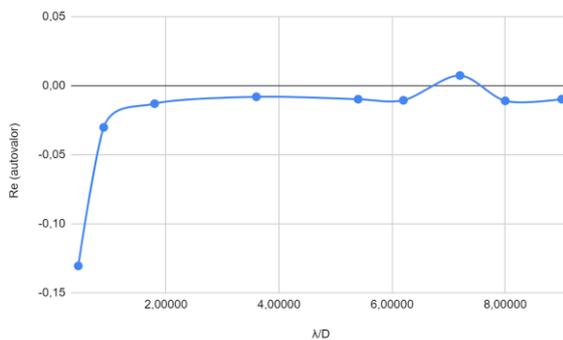


Figura 1: relação de estabilidade por comprimento de onda dos modos na primeira cavidade.

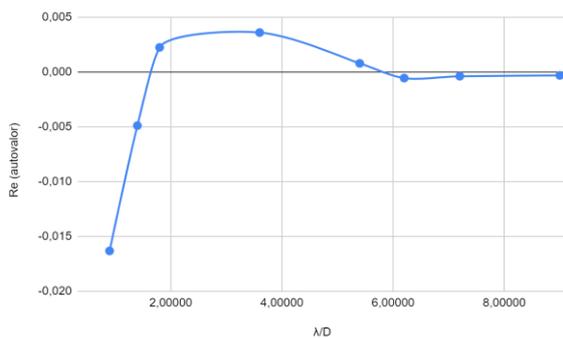


Figura 2: relação de estabilidade por comprimento de onda dos modos na segunda cavidade.

## Conclusões

Conclui-se que a frequência do modo obtido na LST 2D para a cavidade 1 é próxima da frequência de um Rossiter de modo 3, e que em uma LST 3D ondas com  $\lambda/D$  entre 6,2 e 8 podem causar instabilidades com modos centrífugos. Na segunda cavidade, o LST 2D indica 2 modos instáveis com frequências próximas à de um Rossiter de modo 3, e um modo com frequência próxima à de Rossiter de modo 2. Em LST 3D da segunda cavidade, entende-se que ondas com  $\lambda/D$  entre 1,7 e 6,2 podem gerar modos instáveis.

## Agradecimentos

O autor agradece ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pela bolsa 2022/2633, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Programa de Excelência Acadêmica (PROEX) - Brasil pelo apoio financeiro. M.A.F.M. é patrocinado pelo CNPq/Brasil (bolsa nº 307956 /2019-9), patrocinado pela FAPESP (processo no. 2019/15336-7) e pelo US Air Force Office of Scientific Research (AFOSR) para o processo FA9550-18-1-0112, gerenciado pelo Dr. Geoff Andersen da SOARD. e aos pesquisadores do GATT do departamento de engenharia aeronáutica da escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

## Referências

ÅKERVIK, E. et al. Steady solutions of the Navier-Stokes equations by selective frequency damping. *Physics of Fluids*, v. 18, n. 6, p. 68102, 2006. ISSN 10706631. Disponível em: <<http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pof2/18/6/10.1063/1.2211705>>. Citado na página 1.

CROUCH, J. D.; KOSORYGIN, V. S.; SUTANTO, M. I. Modeling gap effects on transition dominated by tollmien-schlichting instability. In: *AIAA AVIATION 2020 FORUM*. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA, 2020. v. 1 PartF, p. 1–8. ISBN 9781624105982. Disponível em: <<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2020-3075>>. Citado na página 1.

## BIOCÉLULAS COMBUSTÍVEIS MICROBIANAS DE MUSGOS EM CERÂMICA: EFEITO DA LUMINOSIDADE COMBINADO AO ELETRÓLITO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Marcos Vilas Boas Filho

Gustavo Pio Marchesi Krall Ciniciato

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Avaré.

marcosvilasboasf@gmail.com

### Objetivos

Construir triplicatas de biocélulas combustíveis em cerâmica, com o uso de musgos *Sphagnum* e observar seu comportamento eletroquímico sob condições de luminosidade total, parcial e em completo escuro, com o auxílio de diodos emissores de luz (LED) em comprimentos de onda para excitação de clorofila. Foram utilizadas curvas de polarização, curvas de potência, potencial de circuito aberto (Eocp) e corrente máxima (imáx) para atestar qual a condição de luminosidade mais adequada para gerar energia elétrica. Verificar se as diferentes condições de luminosidade afetam a coloração dos musgos ao final do projeto.

### Métodos e Procedimentos

Foram utilizados copos cerâmicos nas dimensões e formato como em Carminati, 2021, servindo como recipiente de biocélula e separador dos eletrodos. Tecidos de fibras de carbono costurados com fios condutores de NiCr foram usadas para construção de cátodo e ânodo, onde cátodo foi previamente adicionado de camada difusora de gases conforme o procedimento adaptado de Santoro (2004). Amostras de solo de composição predominantemente argilosa foram adicionadas

ao recipiente cerâmico na quantidade de  $175,34 \pm 0,27$  g. Posteriormente,  $17,07 \pm 0,103$  g de musgos *Sphagnum* foram colocados com auxílio de pinça na superfície do solo e após a biocélula montada, fios de jacaré foram utilizados para estabelecer a conexão entre os fios costurados ao eletrodo e um resistor de  $100 \Omega$  para cada biocélula. As triplicatas BCC (Biocélulas Combustíveis em condição Clara), BCP (Biocélulas Combustíveis em condição Parcial) e BCE (Biocélulas Combustíveis em condição Escura) foram introduzidas às caixas de controle de luminosidade. Duas delas foram adicionadas de fitas de LED que emitem o comprimento de onda que excita especificamente a clorofila, onde para as BCC, as luzes de LED permaneceram ligadas 24 h e para as BCP, a condição de luminosidade fora ajustada para 12 h, enquanto na caixa de controle das BCE, houve ausência completa de luminosidade. A adição de eletrólito ocorreu a cada 24 h, adicionando-se 20 mL de KCl 100 mM em cada biocélula, onde a seguir, realizaram-se as medições bioeletroquímicas para construção das curvas de polarização, seguindo o protocolo de Benavides (2021). Para averiguar o comprimento de onda dos musgos em cada biocélula, fora utilizado o equipamento Colorímetro Delta Vista da marca Delta Color, com auxílio de mira para pequenas áreas, colocada em contato com lente do aparelho.

## Resultados

Na Figura 1, em 1 A) e 1 B) pode-se observar o modelo tridimensional elaborado nas vistas frontais e superiores e em 1 C) e 1 D), estas vistas no constructo real. Através da Figura 1 E) vê-se que as curvas de polarização obtiveram comportamentos distintos. Isso ocorreu devido ao ambiente em que foram inseridas, uma vez que as BCC foram expostas a condição de luminosidade contínua, o que se supõe ter causado o chamado estresse fotoinibitório, onde o excesso de luminosidade pode causar efeitos negativos a planta, neste caso, o musgo. Para as BCP e BCE, houve aumentos significativos quanto ao potencial (mV) e corrente ( $\mu\text{A}$ ) gerado. BCC, BCP e BCE possuem bons biocatalisadores. Para as BCC, existe zona de queda ôhmica, indicando bom metabolismo microbiano, enquanto para as BCP e BCE, os dados médios obtidos resultam em um segundo pico de geração de energia, também com metabolismo microbiano atuando satisfatoriamente. A perda por transporte de massa para as BCC é aguda e, portanto, mais intensa, quando comparada às BCP e BCE.

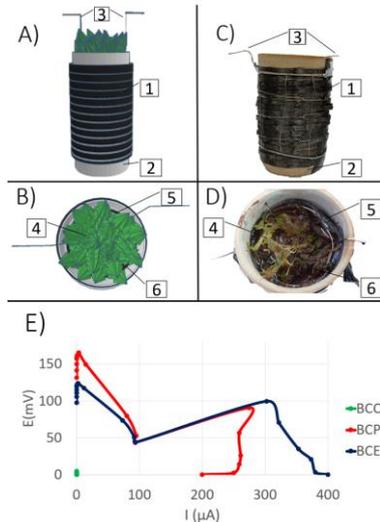


Figura 1: Vistas frontal (A e C) e superior (B e D) de modelo tridimensional de BC, comparadas às BC construídas. Os pontos indicam: 1) cátodo, 2) cerâmica do tipo copo, 3) Interconectores de cátodo e ânodo, 4) musgos *Sphagnum*, 5) ânodo e 6) amostra de solo abaixo dos musgos. Em 1 E), curvas de polarização das biocélulas BCC, BCP e BCE, para o dia 7.

## Conclusões

De posse dos resultados obtidos, afirma-se que de forma geral, levando em consideração os valores gerados pelas curvas de polarização, curvas de potência,  $E_{ocp}$ ,  $i_{máx}$ , as BCP foram aquelas que mais geraram energia, com filamentos de musgos *Sphagnum* com comprimentos de onda mais inclinados ao verde do que aquele observado pelo filamento padrão, onde o pH alterou minimamente e o solo analisado indica consumo que o nitrogênio presente foi consumido pelos musgos e possui alta condutividade, comparado às demais BC presentes em BCE e BCC.

## Agradecimentos

Ao Instituto Federal de São Paulo – Câmpus Avaré pelo financiamento de uma bolsa pelo Programa Institucional de Bolsas de iniciação Científica e Tecnológica (PIBIFSP), 2023-AVR.

## Referências

BENAVIDES, Igor Augusto Sávio Seclen. **Desenvolvimento de Biocélulas a Combustível Microbianas Para Geração de Energia Elétrica em Sistemas de Sensoriamento Autônomo**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Biosistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Avaré, 2021.

SANTORO, Thais. A. de B. **Estudo Tecnológico de Células a Combustível Experimentais a Membrana Polimérica Trocadora de Prótons**, 2004. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares na Universidade, São Paulo.

CARMINATI, Letícia Favero; CINICIATO, Gustavo Pio Marchesi Krall. Development of Ceramic Microbial Fuel Cells to Generate Electrical Energy from Urea, **ECS Meeting Abstracts**, [s.l.], v. 2021, n. 01, 2021.

## Desenvolvimento de Sistema Sensorial Vestível para Análise da Atividade Física Humana

**Gabriel Wolschick de Oliveira**

**Jonathan Campos Jaimes**

**Adriano Almeida Gonçalves Siqueira**

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil

gabrielwolschick@usp.br jonathancj@usp.br

siqueira@sc.usp.br

### Objetivos

A terapia de caminhada assistida por robôs, tem se provado eficaz na reabilitação de indivíduos com disfunções nos membros inferiores, trazendo benefícios para os sistemas cardiovasculares e musculoesquelético. A eficácia dos dispositivos robóticos depende de sua capacidade de identificar atividades do usuário. O uso sensores no sistema humano-robô são fundamentais nesse processo, permitindo feedback e otimização das estratégias de assistência. Apesar dos avanços tecnológicos, persistem desafios, como alto tempo de processamento, fixação de sensores e complexidade de calibração. Neste contexto, desenvolver sistemas alternativos e eficientes de monitoramento, continua sendo um tema de grande interesse crucial na reabilitação robótica.

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema sensorial vestível para medir e analisar os sinais característicos da atividade física humana. O sistema proposto tem como diferencial o uso de sensores suaves de flexão capacitivos e de fibra óptica polimérica para medição de ângulos em articulações de membros inferiores e forças de interação entre humano-robô, respectivamente.

### Metodologia

O sistema descrito neste projeto é ilustrado na Figura 1, este tem como conceito o uso de sensores vestíveis suaves para o monitoramento da atividade física da pessoa. Este sistema é composto por um conjunto de joelheiras ortopédicas comerciais que foram adaptadas e instrumentadas com sensores de fibra ótica e sensores de flexão capacitivos. Estes sensores são alinhados axialmente entre a coxa e canela permitindo

coletar informação relacionada aos ângulos do joelho. Cada joelheira instrumentada possui um módulo de aquisição e processamento de dados, a informação dos sensores é transmitida para um microcontrolador responsável pela coleta, segmentação dos dados brutos e envio destes dados em tempo real por Bluetooth para outro microcontrolador responsável pela inferência do ângulo do joelho, utilizando uma rede neural de regressão previamente treinada.

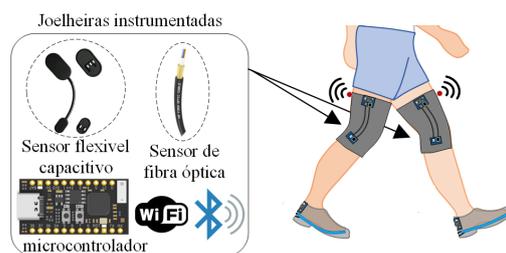


Figura 1: Sistema de sensores vestíveis proposto para o monitoramento de atividade física

### Coleta de Dados para Treinamento da Rede Neural

Para a obtenção de dados de treinamento da rede neural destinada à estimativa dos ângulos do joelho, foi estabelecido um protocolo experimental. Nesse procedimento, seis voluntários, enumerados de 1 a 6 participaram usando as joelheiras equipadas com o sistema vestível. Sensores inerciais (IMUs) comerciais foram adicionados no setup experimental para fornecer uma referência dos ângulos reais dos joelhos. Durante os testes, os participantes realizaram caminhadas em diferentes velocidades, subiram e desceram escadas, além de executarem repetições de sentar e levantar. Essas ativida-

des proporcionaram o conjunto de dados para o treinamento da rede neural.

## Resultados

Após o treinamento da rede neural, foram realizados testes utilizando um conjunto de dados distinto e embaralhado para avaliar e validar o desempenho da rede em uma configuração off-line. Os resultados desses testes podem ser visualizados nas Figuras 2 e 3, que representam os joelhos esquerdo e direito, respectivamente.

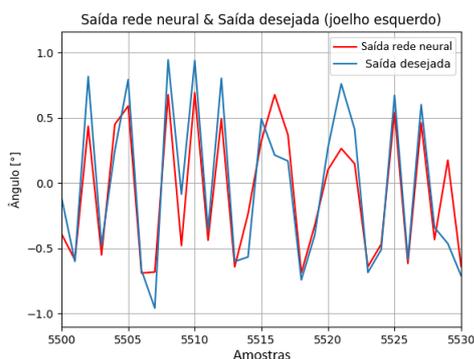


Figura 2: Resultados dos testes off-line da rede neural da joelheira da perna esquerda

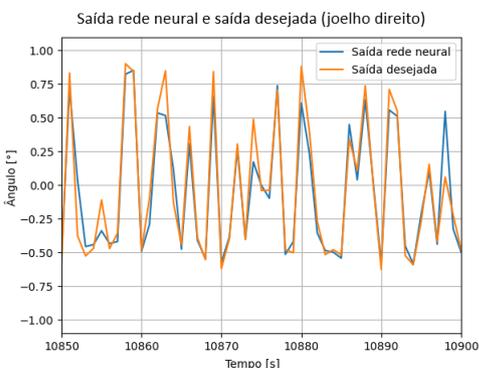


Figura 3: Resultados dos testes off-line da rede neural da joelheira da perna direita

A rede neural alcançou uma acurácia superior a 90% para ambos os casos. Com base neste desempenho, as redes demonstraram serem aptas para implementá-las nos microcontroladores para uma inferência dos ângulos em tempo real. Para avaliar a inferência dos ângulos online, foram conduzidos testes

com alguns usuários. Os resultados obtidos podem ser ilustrados nas Figuras 4 e 5.

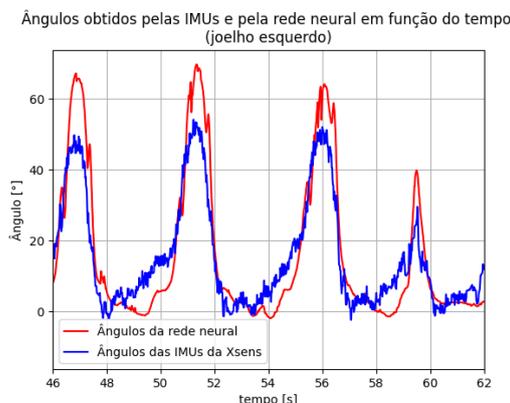


Figura 4: Resultados dos testes on-line do Usuário 1 (joelho esquerdo) rede com acurácia de 89%

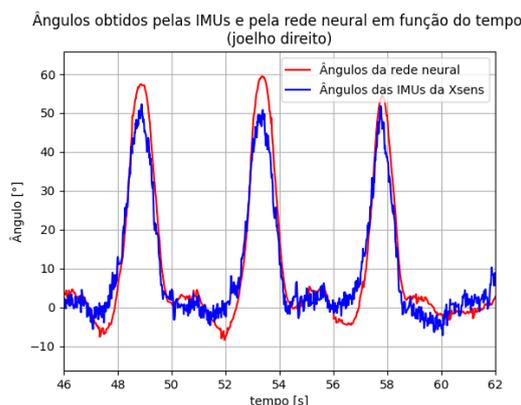


Figura 5: Resultados dos testes on-line do Usuário 1 (joelho direito) rede com acurácia de 91%

## Conclusão

Neste trabalho, foi desenvolvido e avaliado um sistema sensorial vestível baseado em sensores suaves de flexão capacitivos e de fibra óptica polimérica. Os resultados indicam que o sistema vestível é eficaz na inferência dos ângulos dos joelhos, apresentando valores superiores a 90%. Um ponto importante a ser considerado, é a diferença entre os resultados apresentados entre as joelheiras da perna da esquerda e direita. A joelheira da perna direita mostrou uma inferência angular mais precisa em comparação à da esquerda, possivelmente devido à posição dos sensores. Este trabalho contribui para o

avanço da área de monitoramento da atividade física, possibilitando a criação de dispositivos mais acessíveis e eficientes.

## Q-MAM: Programa para Avaliação Automática de Qualidade a Partir de Imagens Digitais de *Phantoms* de Mama Padronizados

Gabriela Micheletti Mucciolo

Homero Schiabel

Escola de Engenharia de São Carlos

gabrielamm@usp.br

### Objetivos

O controle da qualidade do mamógrafo é um dos itens relevantes para uma boa visualização das lesões pelos médicos. Para assegurar isso, existem normas para o controle de qualidade que incluem parâmetros que podem ser obtidos a partir da imagem de um objeto simulador, ou *phantom* de mama. Como, porém, todos esses procedimentos partem do princípio de que um observador humano treinado deve identificar na imagem do *phantom* as características que permitam definir a qualidade do equipamento sob investigação, há fatores psicológicos e ambientais que podem prejudicar, e mesmo invalidar, algumas dessas avaliações. Automatizar os processos de medição que caracterizam a qualidade da imagem mamográfica através de técnicas computacionais pode, porém, simplificar significativamente a rotina dos profissionais especializados, possibilitando ainda, reduzir a subjetividade entre as suas aferições, de modo a aumentar a acurácia das avaliações. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um software que gerencie a interpretação de imagens geradas com *phantoms* de mama expostos a feixes de raios X em equipamentos mamográficos digitais de qualidade previamente certificada, verificando a detectabilidade das estruturas presentes na imagem com graus diferentes de contraste e dimensão e correlacionando as leituras com a percepção visual humana, através da razão de Weber.

### Métodos e Procedimentos

As estruturas presentes na imagem de um *phantom* CIRS são classificadas como sendo visíveis ou não por observadores humanos, após exposições radiográficas. Dessa forma, inicialmente, foi necessário padronizar as imagens (rotacionando ou não) e localizar um ponto de origem para realizar as detecções do programa, que são consideradas corretas quando as estruturas classificadas como visíveis estão de acordo com análise efetuada por especialistas. Para isso, utilizaram-se filtros de correlação confeccionados na forma circular e na forma retangular, a depender da estrutura.

A correlação com a visão humana parte da verificação se a estrutura em questão é perceptível ao sistema visual humano com base no seu comportamento em relação ao contraste na imagem. Dessa forma, o contraste,  $C$ , refere-se a razão da diferença de luminosidade de um objeto,  $B_0$ , e seu entorno imediato,  $B$ :

$$C = \frac{B_0 - B}{B} = \frac{\Delta B}{B}$$

A partir dos resultados de contraste obtidos e do Gráfico de Weber, é possível classificar se a estrutura é visível ou não. A linguagem de programação utilizada foi a linguagem Python.

### Resultados

A partir de 42 imagens disponíveis do *phantom* CIRS (que tem características análogas ao

ACR) obtidas em mamógrafos CR e DR, foram obtidos os seguintes resultados:

Padronização em relação a rotação das imagens	100%
Padronização em relação ao ponto de origem	98%

Tabela 1: Resultados obtidos com a padronização

Para correlacionar a leitura da imagem pelo software e a visão humana, utilizaram-se os laudos técnicos de 24 imagens para selecionar a estrutura limiar predominante em 50% ou mais delas. A partir disso, foi possível montar o Gráfico de Weber de cada uma das estruturas:

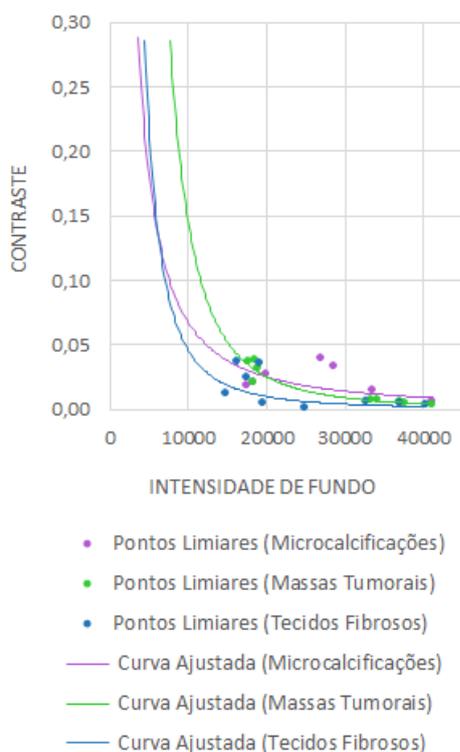


Figura 1: Versão reduzida do Gráfico de Weber

Da aplicação nas 42 imagens, obtiveram-se os seguintes dados:

Detecções corretas das microcalcificações	96%
---	-----

Detecções corretas dos tecidos fibrosos	94%
Detecções corretas das massas tumorais	96%

Tabela 2: Resultados obtidos com o Gráfico de Weber

## Conclusões

Este software tem o objetivo de auxiliar o profissional radiologista na realização dos testes de qualidade de imagem de mamógrafos a partir de imagens digitais de phantoms de mama padronizados. A análise dos principais resultados permite concluir que a padronização e as detecções obtidas possuem um valor satisfatório. Ao aplicar para as 42 imagens, o programa alcançou um valor de acurácia de 96% em comparação com a avaliação humana.

## Referências

- BARUFALDI, B. QUALIMAMO – Uma Ferramenta para Controle de Qualidade de Mamógrafos. Dissertação (Mestrado) – UFPB, João Pessoa (PB), 2011.
- SOUSA, M. A. Z. Avaliação Automática da Qualidade de Imagens Mamográficas Digitais Geradas com o Simulador CDMAM. Dissertação (Mestrado) – EESC/USP, São Carlos (SP), 2013.

## Técnica para o levantamento de curvas características de sistemas eletrônicos de aquisição de imagens digitais em mamografia digital

**Carolina Paiva Santos**

**Homero Schiabel**

Departamento Engenharia Elétrica e de Computação – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos (SP)

carolinapsantos@usp.br

### Objetivos

Entre os principais fatores que interferem na detecção e classificação das lesões mamárias em uma imagem mamográfica, destaca-se o contraste que, dependendo de características da aquisição da imagem durante a exposição, pode afetar a visualização e interpretação de estruturas, como, por exemplo, nódulos, principalmente em mamas classificadas como densas. Como o processo de aquisição da imagem mamográfica digital tem influência decisiva, então, na precisão do diagnóstico, obter informações relevantes de qualidade sobre esse processo é fundamental para possibilitar a elaboração de ferramentas computacionais que auxiliem na melhoria da qualidade da imagem. Logo, o conhecimento de como se comporta a curva característica do sistema de registro – gráfico que proporciona obter a relação da resposta desse sistema em função da intensidade de radiação incidente – é fator relevante para análise do contraste da imagem digital. Por isso, este trabalho apresenta uma técnica de levantamento de curvas características para imagens do tipo raw e pós-processadas dos atuais sistemas eletrônicos de registro para a imagem mamográfica digital, em diferentes equipamentos mamográficos digitais do tipo DR.

### Métodos e Procedimentos

A parte experimental consistiu na exposição de um simulador antropomórfico de mama Nuclear Associates modelo 18-226, também conhecido como phantom Rachel. O aspecto importante é que ele possui, ao lado da mama simulada, uma pequena estrutura baseada em uma escada de alumínio, conforme figura 1, para obtenção de uma escala de graus de escurecimento que funciona como escala de níveis de intensidade de cinza variados para produzir a curva característica do sistema de registro.

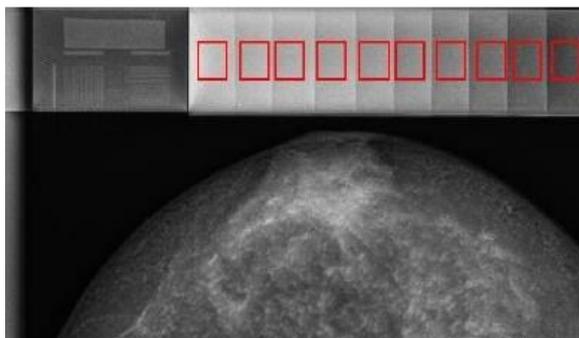


Figura 1: Imagem radiográfica do simulador, destacando 12 “degraus” da escala de cinza.

Os testes foram feitos em equipamentos com sistema DR da GE – um Senographe 2000D, e um Essential, ambos de hospitais públicos de São Paulo –, e da Hologic – um Selenia localizado em clínica privada, em São Paulo,

um Selenia Dimensions em hospital público do Estado.

No total foram adquiridas 25 imagens do simulador variando-se a técnica radiográfica na faixa de 29 a 32 kV e de 60 a 100 mAs.

Uma vez identificado cada degrau da escala de cinza, para cada imagem adquirida, foi calculado a média do valor do pixel da área selecionada de cada degrau que compõe a escada sensitométrica inserida no simulador, como mostrado em destaque na figura 1. Esse cálculo produziu gráficos relacionando os níveis de cinza de cada imagem em função dos “degraus” da escada sensitométrica. Para o cálculo, foi utilizado o software ImageJ que permitiu obter informações correspondente à imagem, como média dos valores de pixels da região selecionada, quantidade de pixels e desvio padrão.

## Resultados

Para cada imagem adquirida, posteriormente, foi calculada a média do valor do pixel de cada degrau que compõe a escada sensitométrica inserida no simulador, e a partir destes valores, foram levantadas as curvas características das imagens pós processadas relacionando os níveis de cinza em função dos “degraus”.

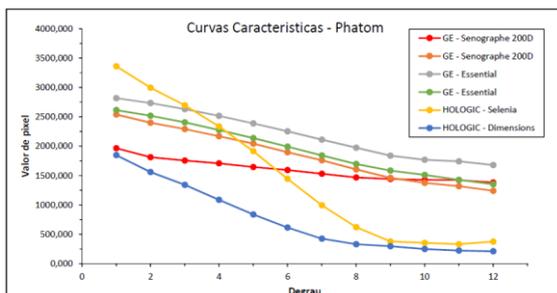


Figura 2: Curvas características das imagens pós processadas de diversos sistemas eletrônicos de registro.

## Conclusões

A partir dos resultados obtidos é possível notar diversas informações relevantes tanto das imagens digitais quanto dos resultados obtidos por fabricantes, como exemplo, os sistemas eletrônicos de registro para a imagem mamográfica digital possuem curvas

características de imagens pós-processadas com comportamentos diferentes, tanto para diferentes equipamentos quanto entre modelos do mesmo fabricante, instalados em diferentes locais. Isso nos permite observar as diferenças de qualidade de contraste na imagem apresentada para o laudo radiológico, o que pode afetar inclusive o diagnóstico, pois a confiabilidade da resposta dada pelo sistema está diretamente relacionada com a qualidade da imagem digital final.

Além disso, as técnicas permitiram o conhecimento das curvas características dos atuais sistemas de registro eletrônico da imagem mamográfica e, com base nos resultados mostrados na Figura 2, por exemplo, pode-se inferir a possibilidade de reproduzir a abordagem descrita em trabalho prévio (GOES & SCHIABEL, 2008) no desenvolvimento de uma ferramenta computacional que possibilite transformar o contraste da imagem mamográfica digital com base numa curva de característica de referência.

## Referências

CALDWELL, C. B.; YAFFE, M. J. Development of an anthropomorphic breast phantom. *Medical Physics*, v.17, n.2, 1990.

GOES, R.F.; SCHIABEL, H.: Computacional adjust technique to digital mammographic images based on digitize characteristic curve, *J. Electronic Imag.*, v. 17, n. 4, p. 043012-1 – 043012-9, 2008. (doi: 10.1117/1.3013544).

MARQUES DA SILVA, A.M.; PATROCÍNIO, A.C.; SCHIABEL, H.: Processamento e análise de imagens médicas. *Rev. Bras. Fís. Méd.*, v. 13 (1), p. 34-48, 2019 (doi: 10.29384/rbfm.2019.v13.n1.p34-48).

STEMBERG, D. R. M, PACHECO, A. L. V., SCHIABEL, H. Imagens mamográficas digitais obtidas em sistemas CR: o efeito de kV e mAs no fator de correção da Curva Característica. v. 10, n. 2, p. 29-33, 2016.(doi: 10.29384/rbfm.2016.v10.n2.p29-33).

## Elaboração de inventário de emissões de gases do efeito estufa para o *campus* da USP em São Carlos

Anna Júlia Sigrist

Orientador: Marcelo Montaña

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

annajsigrist@usp.br

### Objetivos

O objetivo maior do projeto foi mapear as principais fontes de emissões de gases intensificadores do efeito estufa (GEE) nas unidades da USP do *campus* do município de São Carlos/SP, convertidos e quantificados em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tonCO<sub>2</sub>eq). Os objetivos secundários foram observar a contribuição do *campus* nos fenômenos de emissão e consequente intensificação do efeito estufa no ano de 2022 e compará-lo a outros *campi* da USP e de outras universidades brasileiras, além de avaliar a importância das reservas ecológicas da USP em São Carlos no sequestro de carbono atmosférico, o que contribui com a mitigação das emissões de gases do efeito estufa em escala regional.

### Métodos e Procedimentos

De acordo com a metodologia do *GHG Protocol*, adaptado ao contexto brasileiro por parcerias entre instituições públicas e privadas do país, e direcionada pela norma ABNT NBR ISO 14.064-1, o trabalho prosseguiu com a coleta de dados sobre consumo de energia elétrica comprada no *campus* e consumo de combustíveis automotivos pela frota de veículos institucionais, mensalmente para todo o ano de 2022, sendo essas atividades grandes

geradoras de GEE e, portanto, de importância científica e educacional no projeto.

Com auxílio da ferramenta de cálculo disponibilizada *online* pela plataforma da Fundação Getúlio Vargas (FGV) referente à metodologia do GHG Protocol para o contexto do Brasil, foram calculadas as emissões de GEE associadas a essas duas principais fontes geradoras, e posteriormente convertidas pela própria ferramenta em tonCO<sub>2</sub>eq.

Paralelamente, foi estimada a capacidade de captura de carbono atmosférico pelas reservas ecológicas (Áreas de Preservação Permanente e Reservas Legais) nas unidades do *campus* USP em São Carlos, com base em suas dimensões de área e estimativas de taxa de assimilação de carbono extraída da literatura.

Ao fim dos procedimentos, fez-se a comparação do balanço de carbono da USP de São Carlos, bem como de suas emissões de GEE, em relação a outras universidades que fizeram inventários de geração desses gases, e mesmo o inventário elaborado pela própria USP para seus *campi* em 2007.

### Resultados

Os resultados mostraram que o consumo de energia elétrica no *campus* contribui mais com a geração de GEE do que o faz o consumo de combustíveis veiculares, sendo 193,39 tonCO<sub>2</sub>eq do primeiro *versus* 97,61 tonCO<sub>2</sub>eq do segundo.

Os estudos também mostraram que os 35,71 ha de área vegetada nas unidades da USP em São Carlos (Áreas 1 e 2) contribuíram com o sequestro de mais de 500 tonCO<sub>2</sub>eq no ano de 2022, sendo que a geração total por consumo de eletricidade e combustíveis automotivos somaram 291 tonCO<sub>2</sub>eq de emissões, o que constitui balanço negativo de carbono atmosférico, isto é, maior foi a quantia assimilada do que a emitida, configurando mitigação das emissões da USP e até mesmo de outras atividades geradoras em São Carlos.

## Conclusões

As principais conclusões que se pôde extrair do trabalho foram que as reservas ecológicas do *campus* representam extrema importância na mitigação de emissões de GEE pela unidade, bem como contribui para o sequestro de carbono gerado por outras atividades, dado seu saldo positivo, e que, ainda que seja uma unidade intensamente geradora de GEE (291 tonCO<sub>2</sub>eq no ano de 2022), está aquém das gerações quantificadas pelo inventário USP de 2007 e de universidades a UNICAMP que, ainda que maiores, proporcionalmente em área geram mais GEE do que a USP em São Carlos.

## Referências

ANTUNES, R., G.; QUALHARINI, E. L. A **Norma Brasileira de Mudanças Climáticas – ABNT NBR ISO 14064**. IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, RJ, 2008.

BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; GONÇALVES, W.; ROCHA, S. J. S. S. **Balanco de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa no Campus da Universidade Federal de Viçosa**. 2014. *Floresta e Ambiente*, 2014, 21 (2): p. 182-191. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/dCj36FsWPsfm/kZVMHgCZKZL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 jul. 2023.

SENRA, A. L. P. **Proposta de um inventário de emissões de gases de efeito estufa no Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto**. 2023. Disponível em: [https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5553/6/MONOGRAFIA\\_PropostaInvent%c3%a1rioEmissoes.pdf](https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5553/6/MONOGRAFIA_PropostaInvent%c3%a1rioEmissoes.pdf). Acesso em: 15 de ago. 2023

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Estoque das florestas – Carbono**. 2016. Sistema Nacional de Informações Florestais. Disponível em: <https://snif.florestal.gov.br/es/bosques-y-recursos-forestales/162-florestas-e-recursos-florestais/dados-complementares-estoques-das-florestas/626-estoque-das-florestas-carbono-tabelas-e-graficos>. Acesso em: 15 ago. 2023.

SILVA, L. A. P.; VELOSO, G. A.; LEITE, M. E. **Estimativa do sequestro de carbono em diferentes usos e coberturas do solo em áreas do bioma Cerrado, norte de Minas Gerais**. 2022. *Geosul*, 2014, v. 37, n. 81, p. 381-409. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/artic/e/view/71269/49300>. Acesso em: 30 jul. 2023.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Anuário Estatístico da USP**. 2022. Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/anuario/AnuarioControl.e>. Acesso em: 30 jul. 2023.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Inventário da Emissão de Gases do Efeito Estufa, ano base 2007**. Setembro de 2009. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/117217/mod\\_resource/content/1/inventario\\_GEE\\_USP\\_final.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/117217/mod_resource/content/1/inventario_GEE_USP_final.pdf). Acesso em: 30 jul. 2023.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Inventário corporativo de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: anos 2019 e 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.depi.unicamp.br/wp-content/uploads/2022/02/Inventario-Corporativo-de-Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa-da-UNICAMP-2019-2020-1.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2023.

## POTENCIAL METANOGÊNICO DA CAFEÍNA EM ESGOTO SANITÁRIO EM REATORES ANAERÓBIOS EM BATELADA

Rebecca Sankarankutty

Maria Bernadete Amancio Varesche

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

rebecca.sankarankutty@usp.br

### Objetivos

A cafeína (CAF) é o composto estimulante mais consumido no mundo. Assim, tem-se quantidade significativa deste composto no esgoto sanitário, o qual configura-se como micropolvente devido à sua persistência no meio ambiente e propriedades bioacumulativas. Dessa forma, é importante o estudo de processos para a remoção e degradação dos micropoluentes do esgoto sanitário. Para tanto, foi avaliado o potencial metanogênico da cafeína em esgoto sanitário, visto que sua degradação pelos microrganismos gera biogás em condições fermentativas-metanogênicas.

### Métodos e Procedimentos

Os reatores em bateladas foram inoculados com 2 gSTV L<sup>-1</sup> de biomassa anaeróbia, esgoto sanitário e cafeína, totalizando 220 mL de volume reacional e 280mL de *headspace* com N<sub>2</sub> (100%). A CAF foi solubilizada em etanol (99,9%), e a partir de solução estoque de 48,7mg/L foram preparadas as concentrações adicionadas nos reatores anaeróbios de 1, 3, 5, 7,5 e 10 mgCAF L<sup>-1</sup>.

O metano foi analisado por cromatografia gasosa (CG-2010) (Shimadzu, Japan). O modelo de Gompertz modificado (ZWIETERING et al., 1994) foi utilizado para obtenção dos parâmetros de produção acumulada de CH<sub>4</sub> via OriginPro® 8.1 (OriginLab Corporation©), como descrito por (MOTTERAN et al., 2020).

$$H = P \exp \left\{ - \exp \left[ \frac{Rm \cdot e}{P} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

sendo:

H = Produção acumulada de CH<sub>4</sub> (μmol);

P = Potencial máximo de produção de CH<sub>4</sub> (μmol);

Rm = Velocidade máxima de produção de CH<sub>4</sub> (μmol.h<sup>-1</sup>);

λ = Período de início da produção de CH<sub>4</sub> (horas);

t = Tempo (horas);

e = 2,718281828 (Número de Euler).

As análises físico-químicas de monitoramento como demanda química de oxigênio (DQO), pH e alcalinidade foram realizadas via metodologias descritas em APHA, 2005.

### Resultados

Foi observada relação direta entre o aumento da produção acumulada de metano e o aumento da concentração de CAF, até a condição 3 (5 mg L<sup>-1</sup>). A partir da condição 4, observa-se um decréscimo na produção acumulada de CH<sub>4</sub>(Figura 1); ou seja, para as concentrações de 1, 3 e 5 mg L<sup>-1</sup> de CAF, a produção acumulada de metano foi crescente, com valores de 1542,8±64,8, 2600,6±222,84 e 4406,4±107,9 μmols, respectivamente (Tabela 1).

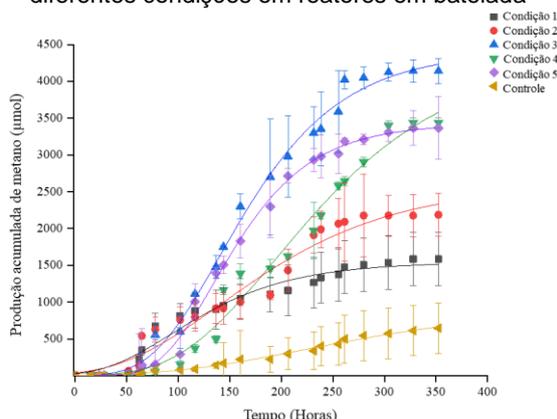
O valor de P para a condição controle (sem cafeína) foi de 949,2±92,6 μmols, portanto, em comparação com a menor produção acumulada de metano das bateladas com cafeína (condição com 1 mgCAF L<sup>-1</sup>, com produção de

CH<sub>4</sub> de 1542,8±64,8 μmols), houve um aumento de aproximadamente 65% na produção do biogás.

Tabela 1. Parâmetros cinéticos de produção de metano dos reatores anaeróbios em batelada

Condição	Parâmetros cinéticos			
	P(μmol)	Rm(μmol/h)	λ(h)	R <sup>2</sup>
Controle	949,2±92,6	2,8±4,1	43,4±5,7	0,99
1 mg CAF L <sup>-1</sup>	1542,8±64,8	8,7±0,9	28,1±8,4	0,97
3 mg CAF L <sup>-1</sup>	2600,6±222,84	19,98±0,9	44,2±9,7	0,96
5 mg CAF L <sup>-1</sup>	4406,4±107,9	24,55±1,2	74,25±3,8	0,99
7,5 mg CAF L <sup>-1</sup>	4232,9±376,0	24,36±1,1	79,7±6,5	0,98
10 mg CAF L <sup>-1</sup>	3421,9±51,6	24,13±1,1	82,5±2,8	0,99

Figura 1. Produção acumulada de metano e ajuste ao modelo de Gompertz modificado para as diferentes condições em reatores em batelada



Isto condiz com os estudos de Chen et al. (2018), no qual constataram potencial metanogênico significativo a partir da degradação anaeróbia da cafeína, em que houve completa remoção deste composto em 2.000 mg L<sup>-1</sup> (aproximadamente 200 vezes maior do que as concentrações aplicadas neste estudo).

Em relação a remoção de matéria orgânica em termos de DQO, ela foi significativa nas condições 2 e 3 (3 e 5 mgCAF L<sup>-1</sup>), com remoção de 74,2 e 76,3%, respectivamente. Nas demais condições, esta remoção foi entre 50 e 70%. O maior tempo de adaptação da

biomassa (λ) e maior produção de metano (P) observados para concentrações maiores de CAF (Tabela 1) podem estar relacionados ao desenvolvimento de atividades microbianas enzimáticas, o que levou a maiores remoções de matéria orgânica, principalmente nas condições 2 e 3.

Quanto ao pH e a alcalinidade, ambos se mantiveram dentro do nicho metanogênico, com o primeiro numa faixa de 7-8 e o segundo com a relação alcalinidade intermediária/alcalinidade parcial em torno de 0,3 para todas as condições experimentais.

## Conclusões

A biodegradação de CAF em condições anaeróbias com ênfase na produção de metano foi favorável para faixa de concentração entre 1 mg L<sup>-1</sup> a 5 mg L<sup>-1</sup> de CAF, com o maior valor de P(4.406,4±107,9 μmols CH<sub>4</sub> com 5 mgCAF L<sup>-1</sup>) e maior remoção de matéria orgânica, de 76,3% para a mesma condição. Vale salientar que, em concentrações maiores(7,5 e 10 mg L<sup>-1</sup> de CAF), a produção de CH<sub>4</sub> iniciou-se mais tardiamente quando comparada com as condições 1, 3 e 5 mg CAF L<sup>-1</sup>, porém foi observada estabilidade em aproximadamente 3200 μmols.

## Referências

- ZWIETERING, M.H., et al, 1994. Modeling of bacterial growth with shifts in temperature. *Appl Environ Microbiol* 60, 204–213. <https://doi.org/10.1128/aem.60.1.204-213.1994>.
- MOTTERAN, F., et al, 2020. Influence of cosubstrates for linear anionic sulfonated alkylbenzene degradation and methane production in anaerobic batch reactors. *Process Safety and Environmental Protection* 139, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.03.032>.
- CHEN, Rong et al. Caffeine degradation by methanogenesis: Efficiency in anaerobic membrane bioreactor and analysis of kinetic behavior. *Elsevier*, [s. l.], v. 334, p. 444-452, 15 fev. 2018.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). LIPPS, C. W., BRAUN-HOLLAND, E. B., BAXTER, E. T. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Pharmabooks, [s. l.], v. 24, 2005.

## REMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM FIPRONIL: POTENCIAL DO USO DO *BIOCHAR* COMO CAMADA SELANTE

Fernanda Oliva Pintucci

Dr. Thandy Junio da Silva Pinto

Prof. Dr. Evaldo Luiz Gaeta Espindola

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

fernanda.pintucci@usp.br

### Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência de remediação pelo *biochar*, produzido a partir da palha da cana-de-açúcar, como uma camada selante em solo contaminado com o inseticida fipronil, assim como avaliar, por meio de testes ecotoxicológicos, a taxa de redução da toxicidade do inseticida no solo. Para isso, propôs-se testar o solo nos extratos anteriores e após a camada de *biochar*, através da utilização da espécie terrestre *Proisotoma minuta* como um indicativo de remediação do solo contaminado pelo fipronil.

### Métodos e Procedimentos

Quatro tratamentos ( $n = 3$ ), montados em tubos de PVC (15 cm diâmetro), contendo uma camada de 20 cm de solo arenoso natural (1,5 Kg) foram preparados. Dois deles receberam uma camada intermediária (2 cm) de *biochar*. Dois tratamentos - solo com e sem *biochar* - foram contaminados com fipronil (referente a dose de 500 mg por 10.000 m<sup>2</sup>) e os outros dois foram mantidos como controles. A Figura 1 apresenta uma representação esquemática das unidades experimentais.

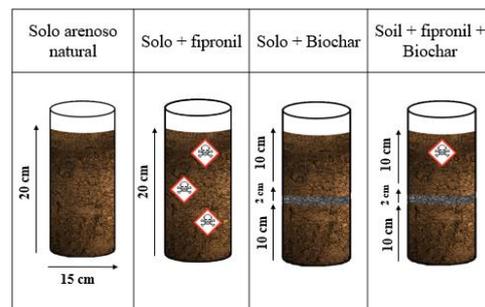


Figura 1: Desenho esquemático dos modelos da unidade experimental.

Após a contaminação, foi feita a simulação de 3 chuvas (350 mL de água cada, considerando a média histórica dos últimos 15 anos de chuva em São Carlos/SP): (I) no dia, (II) 4 e (III) 7 dias após a contaminação para carreamento do agrotóxico pela coluna do solo. O experimento foi finalizado após 10 dias da contaminação, quando o solo foi coletado para verificação da toxicidade. Para isso, a camada superficial e a camada mais profunda foram retiradas e preservadas a -20°C em sacos plásticos atóxicos. Os testes de toxicidade foram realizados de acordo com a adaptação da NBR 11267 (2019) em recipientes de vidro de 100 mL, contendo 30 g de solo cada. Foram feitas 3 réplicas por tratamento, sendo adicionados 12 juvenis em cada (10 a 12 dias de vida). O teste foi mantido por 28 dias a 20°C com fotoperíodo de 16 h:8 h (claro:escuro). A umidade do solo

foi controlada semanalmente e o alimento foi fornecido no início e após 14 dias (fermento biológico seco). Para a confirmação da quantidade de agrotóxicos aplicada nas unidades experimentais, amostras compostas foram feitas e enviadas para o Laboratório de Química Ambiental (UNICAMP). Os agrotóxicos foram quantificados nos extratos de sedimento por cromatografia líquida acoplada a um espectrômetro de massas conforme descrito por GOULART *et al.* (2020). Já para a comparação dos efeitos, foi usada ANOVA de três vias.

## Resultados

Após 28 dias, o número de adultos vivos foi avaliado nas camadas superficial e fundo dos simuladores. A Figura 2 apresenta a taxa de sobrevivência da espécie *P. minuta*.

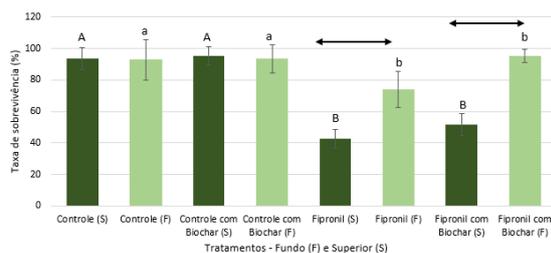


Figura 2: Taxa de sobrevivência (%) da *P. minuta*.

A partir da observação do gráfico, verificou-se diferenças entre os tratamentos “Fipronil” na região superficial e ao fundo, demonstrando maior sobrevivência dos organismos expostos ao solo da parte inferior do tratamento. Além disso, observou-se diferenças entre os tratamentos “Fipronil com Biochar” na parte superior e inferior, também apresentando maior sobrevivência para as amostras de fundo do tratamento. Conforme confirmado pelas análises químicas, houve uma maior retenção desse agrotóxico na superfície do solo. Pode-se inferir que houve influência da camada selante de *biochar*, devido a melhorias observadas na taxa de sobrevivência da espécie em estudo, caracterizada pelo aumento da sobrevivência nas amostras de fundo do tratamento “Fipronil com Biochar” em relação ao tratamento “Fipronil”. Quanto a

quantidade de juvenis produzidos, tem-se a Figura 3, que demonstra a reprodução da espécie.

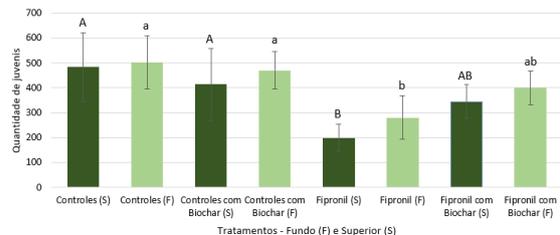


Figura 3: Quantidade de juvenis da *P. minuta*.

Não houve diferenças estatisticamente significativas quanto à mudança de posição dos tratamentos. Entretanto observou-se consideráveis diferenças na presença da camada selante de *biochar*, sobretudo nos tratamentos que possuem agrotóxicos. Dessa forma, é possível indicar que os tratamentos que receberam a camada de *biochar* tiveram maiores taxas de reprodução, independentemente da posição de coleta das amostras de solo.

## Conclusões

Foi possível verificar maior sobrevivência da espécie *P. minuta* exposta ao solo da parte inferior do tratamento contaminado por fipronil, confirmando que a camada selante de *biochar* influencia, de forma positiva, a sobrevivência da espécie, bem como sua reprodução. Com os resultados obtidos, pode-se inferir que a camada selante de *biochar* foi efetiva para a retenção de agrotóxicos, ajudando na melhoria da qualidade do solo e na redução de problemas de contaminação. Dessa forma, tal técnica é considerada uma boa alternativa para a remediação de áreas contaminadas.

## Referências

ABNT. ABNT NBR ISO 11267. Qualidade do solo - Inibição da reprodução de *Collembola (Folsomia candida)* por poluentes do solo, 2019.

GOULART, B. V. *et al.* Matrix effect challenges to quantify 2,4-D and fipronil in aquatic systems. *Environ Monit Assess*, 2020.

## Desenvolvimento de Comando de Porta para Transistores de Porta Isolada

Júlio Calandrin

Prof. Dr. José Roberto Boffino de Almeida Monteiro

Universidade de São Paulo - EESC

julicalandrin@usp.br

### Objetivos

Este projeto de Iniciação Tecnológica teve como propósito estudar técnicas de proteção de IGBTs e MOSFETs, dispositivos semicondutores de grande importância no campo da eletrônica de potência, a fim de desenvolver circuitos de monitoramento, acionamento e dessaturação destas chaves, tendo como objetivo final o projeto de uma placa de circuito capaz de realizar o acionamento e a proteção de IGBTs e MOSFETs, para que pudessem então ser aplicados em diversos sistemas de eletrônica de potência.

### Métodos e Procedimentos

O projeto se iniciou com o estudo de circuitos previamente desenvolvidos no LACEPME, Laboratório de Controle, Eletrônica de Potência e Máquinas Elétricas, a fim de melhor compreender como o circuito final deveria se comportar. Placas foram montadas e submetidas a testes em uma bancada, onde situações nominais de operação assim como situações críticas de curto circuito foram simuladas. Buscou-se avaliar se os circuitos empregados realizavam o desligamento do IGBT de maneira segura e controlada.

Ao definir qual metodologia de proteção seria implementada com a ajuda dos testes em

bancada, se deu início o desenvolvimento de um novo circuito que fosse capaz de unir os pontos positivos das placas anteriores em um único projeto. Um novo circuito e uma nova placa foram por fim desenhados no software de design KiCad 6.0.

### Resultados

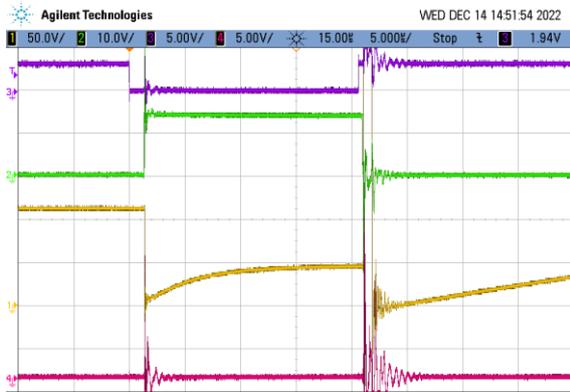
Observou-se que entre os circuitos analisados, apenas uma das metodologias utilizadas operava de maneira satisfatória.

Visível pela Figura 1, ao acionar as chaves em um curto controlado (sinal de controle em roxo), o primeiro circuito que empregava o HCPL316J não ativou o modo de proteção, visível pelo sinal em rosa que se manteve desativado, enquanto a tensão na chave subia (em amarelo).

Já no segundo circuito analisado, que fazia uso de circuitos discretos, obteve-se o comportamento desejado, apresentado na Figura 2, onde se nota que ao ocorrer o curto, o sinal de proteção foi acionado, desativando a chave apesar da persistência do sinal de acionamento (em roxo).

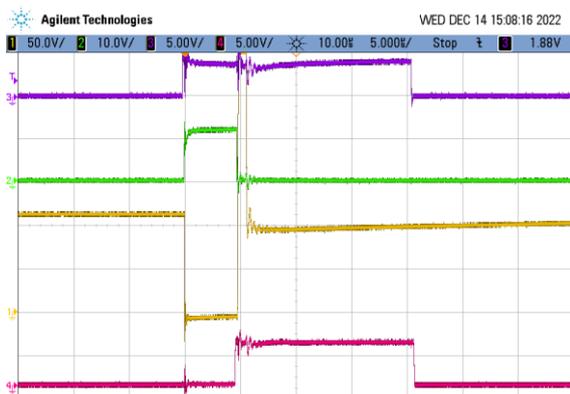
Por fim, um novo projeto foi elaborado no software de design KiCad 6.0 (Figura 3), tendo como base os circuitos anteriores, fazendo uso dos resultados obtidos para unir elementos das diferentes placas estudadas.

Figura 1 - Resultado com o HCPL316J



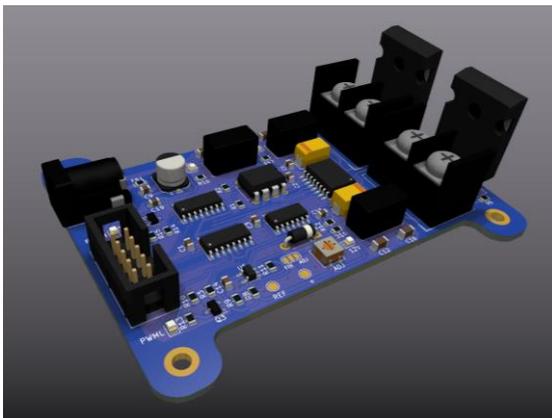
Fonte: Autor

Figura 2 – Resultado com circuitos discretos



Fonte: Autor

Figura 3 - Placa desenvolvida - InvLeg 7



Fonte: Autor

## Conclusões

Os testes realizados demonstraram que a aplicação de circuitos discretos, com monitoramento analógico da tensão permitem maior controle por parte do usuário aos pontos de acionamento do circuito de proteção. Essa mentalidade foi aplicada ao projeto da nova placa, onde circuitos de ajuste, juntamente com uma interface de sinais diferenciais foram implementados para garantir maior robustez e flexibilidade a placa.

Limitações de tempo e de orçamento não possibilitaram a montagem final da placa, porém o projeto dela se baseia em circuitos verificados e testados, que entregam performance satisfatória e servem como base para outros projetos futuros.

## Referências Bibliográficas

O'Sullivan, Dara.  
IGBT Overcurrent and Short-Circuit Protection in Industrial Motor Drives. Analog Devices. Disponível em:  
<https://www.analog.com/en/technical-articles/igbt-overcurrent-and-short-circuit-protection-in-industrial-motor-drives.html>. Acesso em 18 de maio de 2022.

Smart Gate Driver Coupler Tips for Designing DESAT Detection Circuit. Toshiba. Disponível em:  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi\\_tfuG5-T3AhX7uUCHSdhA9wQFnoECACQAQ&url=https://www.semicon-storage.com/%2Finfo/%2Fdocget.jsp/%3Fdid%3D66192&usg=AOvVaw2hixug9prLd-XccY3jWRbr](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi_tfuG5-T3AhX7uUCHSdhA9wQFnoECACQAQ&url=https://www.semicon-storage.com/%2Finfo/%2Fdocget.jsp/%3Fdid%3D66192&usg=AOvVaw2hixug9prLd-XccY3jWRbr). Acesso em 18 de maio de 2022.

IGBT and MOSFET Desaturation Protection. Ed's Projects. Disponível em:  
<http://www.edproject.co.uk/IgbtDesat.html>. Acesso em 17 de maio de 2022.

## IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO SHA-256 EM CIRCUITO INTEGRADO DE APLICAÇÃO ESPECÍFICA

Lucas Daudt Franck

Prof. Dr. Maximilian Luppe

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

ldfranck@usp.br

### Objetivos

O algoritmo SHA-256 é uma função de hash criptográfico amplamente usada na validação da autenticidade, integridade e identidade de informações digitais. Apesar de muito utilizada, a função SHA-256 tem um elevado custo computacional para ser calculada, o que motiva a busca por alternativas de aceleração por hardware, especialmente circuitos integrados de aplicação específica (ASICs). Assim, o trabalho teve como objetivos conhecer o fluxo de projeto de circuitos integrados digitais, estudar o funcionamento do algoritmo de hash criptográfico SHA-256, e projetar um circuito integrado na tecnologia de 130nm da SkyWater para computar a função de hash SHA-256.

### Métodos e Procedimentos

A forma canônica do algoritmo criptográfico SHA-256 disponível na publicação FIPS180-4 *Secure Hash Standard* (2002) do NIST [1] foi descrita em Verilog e sintetizada na tecnologia alvo SKY130 através da ferramenta de código aberto OpenLANE [2]. O OpenLANE é uma rotina automatizada de projeto de circuitos integrados digitais capaz de transformar uma descrição RTL nos arquivos geométricos GDSII necessários para a fabricação do componente. O fluxo de projeto do circuito integrado adotado está ilustrado na Figura 1, com a ferramenta OpenLANE sendo responsável pelas partes de síntese, layout e verificações (*signoff*).

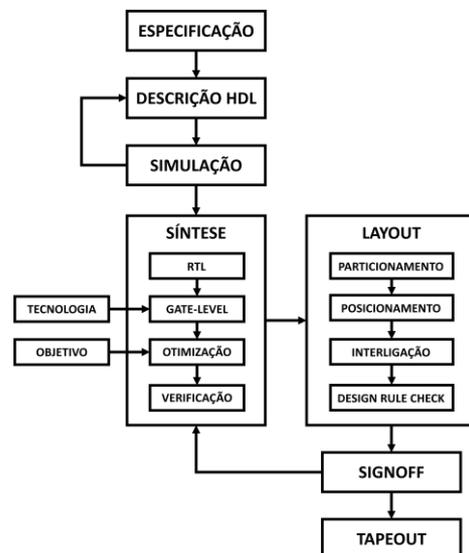


Figura 1: Fluxo de projeto de circuitos digitais.

O funcionamento do algoritmo SHA-256 é dividido em dois módulos: Bloco de Expansão, e Bloco de Compressão [3]. A dinâmica desses blocos está explicada detalhadamente em [1]. Os diagramas lógicos das estruturas descritas em Verilog para esses dois módulos estão ilustradas na Figura 2.

Na etapa de síntese, a descrição em Verilog foi carregada no OpenLANE juntamente com o *process design kit* (PDK) da tecnologia SKY130 de 130nm da SkyWater, e as configurações de da ferramenta. Uma análise exploratória dos parâmetros foi realizada para maximizar a velocidade e diminuir a área do circuito gerado.

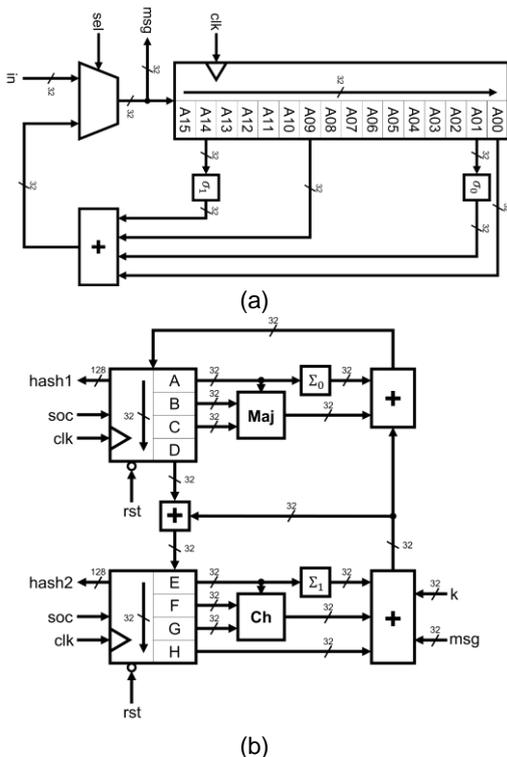


Figura 2: Blocos de (a)Expansão e (b)Compressão.

A Figura 3 ilustra o gráfico de resultados de uma das análises exploratórias feitas. Nesse estudo foram variadas a topologia de somador empregada e a estratégia de síntese, além do período alvo do sinal de *clock*. Com os resultados obtidos foi possível fazer uma busca local das configurações que apresentaram melhor área e frequência máxima de operação.

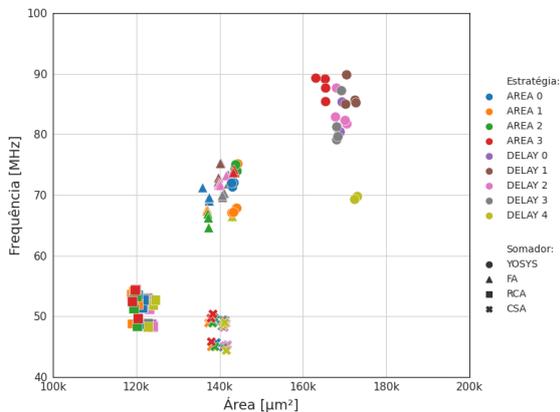


Figura 3: Resultados análise exploratória.

## Resultados

A versão final do circuito integrado apresentou frequência máxima de 100,38MHz, área do núcleo de 123753µm², e utiliza de 65 ciclos de *clock* para computar um bloco do SHA-256. Os parâmetros de síntese utilizados foram: somador YOSYS, estratégia AREA 3, período de *clock* 11ns, e densidade do núcleo de 66%. Na Figura 4 está *layout* final do componente.

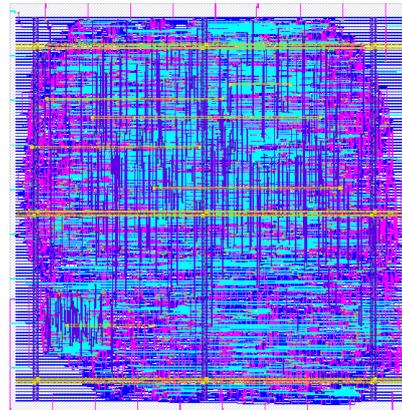


Figura 4: *Layout* do circuito integrado.

## Conclusões

O circuito integrado projetado apresentou desempenho mediano quando comparado com outras implementações (por exemplo [3]). O *layout* final tem área do núcleo menor que circuitos que utilizam técnicas de *pipelining* e reestruturação do caminho crítico, mas frequência máxima de operação inferior a essas outras abordagens de projeto. Futuras otimizações de descrição podem ser realizadas para melhorar o desempenho do circuito.

## Referências

- [1] NIST. Secure Hash Standard (SHS). Federal Information Processing Standards Publication. FIPS180-4, ago. 2015 (revisão).
- [2] SHALAN, M.; EDWARDS, T. Building OpenLANE. IEEE/ACM ICCAD. NY, USA 2020.
- [3] DADDA, L.; MACCHETTI, M.; OWEN, J. The design of a high speed ASIC unit for the hash function SHA-256. IEEE. Paris, FR 2004.

## DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE MÍNIMA PARA ESPÉCIES TROPICAIS OBJETIVANDO SEU APROVEITAMENTO COMO INSUMO PARA A PRODUÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA LAMELADA COLADA (MLC)

**Maria Clara Cardoso**

**Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr**

Universidade de São Paulo

maria3.cardoso@usp.br / frocco@sc.usp.br

### Objetivos

A pesquisa teve por objetivo a determinação dos valores de permeabilidade de seis espécies de madeira tropicais e a análise de suas estruturas anatômicas por meio de microscopia. Os resultados de permeabilidade foram comparados com os valores mínimos necessários para viabilizar o uso dos adesivos comumente aplicados na execução de peças de madeira lamelada colada (MLC), tomando por referência o *Eucalyptus grandis*, de uso recorrente na indústria, com valor de permeabilidade a líquido na direção longitudinal de  $1,47 \text{ cm}^3/(\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s})$ , obtido por Rezende et al. (2018).

Dessa forma, visou-se contribuir com a gama de informações disponíveis sobre espécies tropicais, bem como evidenciar as com potencialidade de aplicação na indústria de MLC, reduzindo a demanda pelas comumente empregadas, como os gênero *Pinus* e *Eucalyptus* (CALIL NETO et al., 2016), e viabilizando sua produção em todo o país por meio do uso de espécies locais.

### Métodos e Procedimentos

Foram escolhidas seis espécies tropicais, sendo elas Caixeta (*Simarouba amara* Aubl.), Paricá (*Schizolobium amazonicum*), Tachi Branco (*Tachigali* sp.), Piquiá (*Caryocar*

*villosum*), Sapucaia (*Lecythis* sp.) e Cambará (*Erisma uncinatum*). Para caracterização anatômica foram produzidas amostras de  $10 \times 10 \times 10 \text{ mm}$ , cozidas sob pressão em solução de água e ácido acético, e posteriormente microtomadas, resultando em lâminas de análise. Com o uso de um microscópio ótico, realizou-se a observação das estruturas das diferentes espécies trabalhadas. Para a determinação dos valores de permeabilidade, seguiu-se a metodologia apresentada por Silva (2007), sendo ensaiado um total de 28 corpos de prova por espécie, 14 deles para cada uma das direções de fluxo estudado, longitudinal e transversal as fibras da madeira, utilizando a água como líquido. O equipamento é apresentado na Figura 1.



Figura 1: Ensaio de permeabilidade a fluxo líquido

O valor de permeabilidade foi calculado pela Lei de Darcy:

$$k = \frac{V * L}{t * A * \Delta P}$$

onde: k = permeabilidade a líquido ((cm<sup>3</sup>/(cm\*atm\*s)); V = volume através do corpo de prova (cm<sup>3</sup>); L = comprimento na direção do fluxo (cm); t = tempo do fluxo (s); A = área da seção transversal (cm<sup>2</sup>); ΔP = diferença de pressão entre entrada (0,906 atm para São Carlos como considerado por Silva (2007)) e saída (atm).

Os dados obtidos foram analisados por meio do CV (confidente de variação) que deveria resultar inferior a 0,2 para confirmar razoável homogeneidade.

## Resultados

Para a direção longitudinal as fibras, as espécies Caixeta, Paricá e Tachi Branco trouxeram resultados laboratoriais que permitiram a determinação de valores de permeabilidade. Para o Cambará o volume percolado foi ínfimo, impossibilitando a obtenção de dados conclusivos por meio do equipamento e metodologia utilizado. Os ensaios para o Piquiá e a Sapucaia não resultaram em fluxo. Seguindo a metodologia, nenhuma das espécies apresentou fluxo na direção transversal as fibras.

Resultados obtidos foram expostos na tabela 1:

Tabela 1: Valores de permeabilidade e análise estatística dos resultados

Espécie	Longitudinal		Transversal	
	k cm <sup>3</sup> /(cm*atm*s)	CV	k cm <sup>3</sup> /(cm*atm*s)	
Caixeta	2,46	0,09	-	
Paricá	2,97	0,08	-	
Tachi branco	2,73	0,08	-	
Cambará	-		-	
Piquiá	-		-	
Sapucaia	-		-	

## Conclusões

A permeabilidade na direção longitudinal tem influência direta na colagem das juntas das lamelas, ou seja, as que ocorrem com o adesivo adentrando a madeira de forma

paralela as fibras. Dessa forma, entende-se que os valores obtidos para Caixeta, Paricá e Tachi Branco foram satisfatórios para atender tal situação, uma vez que se mostram superior ao do *Eucalyptus* utilizado como referência.

Baseado nos experimentos realizados, conclui-se que o equipamento e a metodologia empregada apresentam bons resultados para análises na direção longitudinal as fibras, mais especificamente para espécies de permeabilidade dentro de uma faixa aproximada de 1,5 a 3 cm<sup>3</sup>/(cm\*atm\*s), contudo não é adequado para estudos de permeabilidade na direção transversal as fibras. Dessa forma, destaca-se a necessidade da continuidade de pesquisas no desenvolvimento de métodos que viabilizem a determinação dos valores de permeabilidade para ambas as direções de fluxo, sendo destacada aqui a importância de dados para a direção transversal, sentido de colagem das lamelas responsável pela formação da linha de cola que garante a unidade estrutural de peças de MLC.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo fomento no processo nº 2022/06353-1.

## Referências

CALIL NETO, C. et al. Madeira laminada colada no Brasil: situação atual e perspectivas. **XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, Curitiba, 09-11 maio 2016.

REZENDE, R. N. et al. Wood Permeability in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 25, 2018. p. 1-7.

SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 137. 2007.

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO E VIBRACIONAL DE UM MOTOR BLDC COM CONTROLE TRAPEZOIDAL E FOC

Gaspar Henrique Martins de Oliveira

Prof. Dr. José Roberto Boffino de Almeida Monteiro

Universidade de São Paulo

[gasparhenrique32@usp.br](mailto:gasparhenrique32@usp.br)

### Objetivos

Aplicar a teoria de controle vetorial e trapezoidal (*six-steps*) em (Brushless DC Motors) - que são motores síncronos de ímã permanente (MSIP) de força contra-eletromotriz (FCEM) trapezoidal [1] – e comparar experimentalmente o comportamento térmico e vibracional de ambos os métodos de controle.

### Métodos e Procedimentos

Utilizando a máquina elétrica e o inversor com IGBTs disponibilizados na biblioteca do Simulink, foi implementado em código o algoritmo de controle e acionamento do motor.

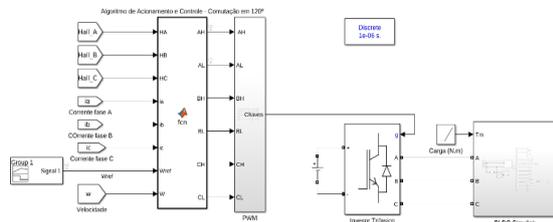


Figura 1: Acionamento da máquina

A Figura 2 mostra a MSIP acoplada a uma máquina de indução trifásica operando como carga de torque. Cada máquina é operada independentemente, cada qual com seus inversor. A carga de torque aplicada nos testes foram de 0.2 N.m e 1 N.m.

A Figura 3 mostra a bancada com os inversores e placas de controle das máquinas, junto aos sensores de corrente e tensão.

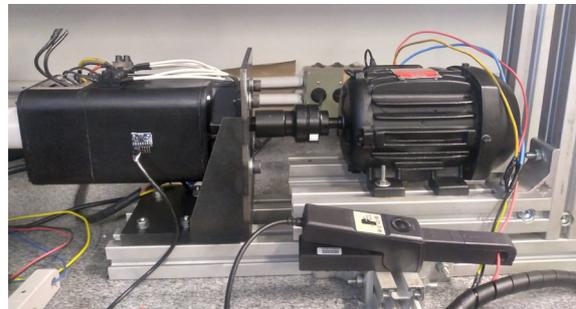


Figura 2: MSIP (à esquerda) com sensor de vibração acoplada a máquina de indução trifásica (à direita).



Figura 3: Bancada com inversores trifásicos para controle da MSIP e da máquina de indução.

## Resultados

Conforme visto nas curvas de torque e corrente do osciloscópio, o controle em seis-pulsos gera mais oscilação no torque da máquina, devido as oscilações bruscas na corrente de fase. A oscilação presente no torque com controle vetorial é causada pelo uso da transformada dq0 na máquina com FCEM trapezoidal.

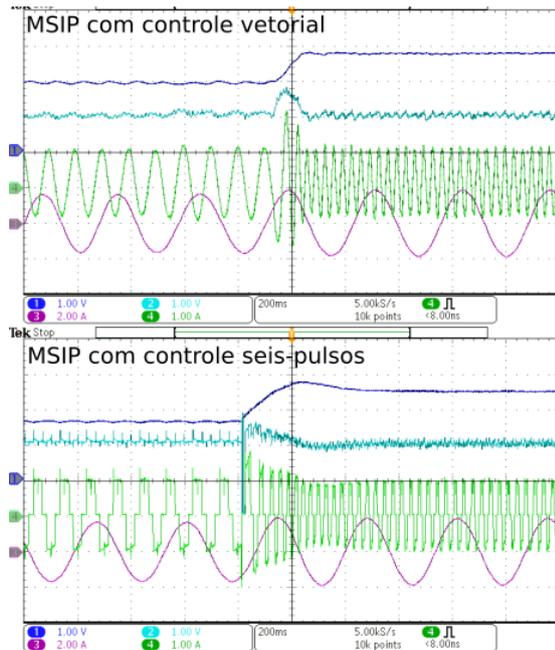


Figura 4: Velocidade da MSIP (canal 1), torque eletromagnético (canal 2), corrente de fase (canal 3), corrente da máquina de indução (canal 4). Fonte: autor.

A Figura 5 mostra a vibração da máquina para dois valores de carga de torque, em que é possível verificar o aumento significativo na amplitude da vibração com controle em seis-pulsos.

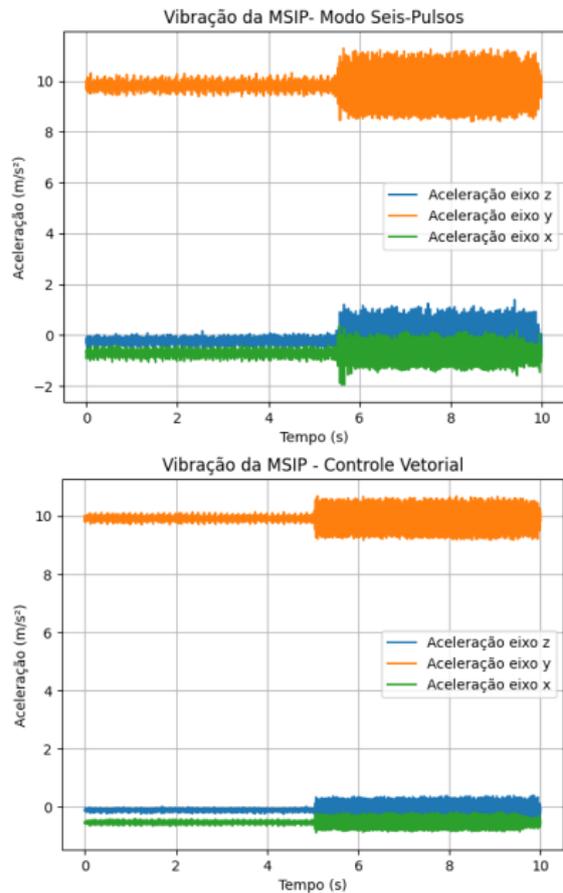


Figura 5: Vibração da MSIP com controle em seis-pulsos e vetorial.

## Conclusões

Conforme foi observado nos testes em bancada, o comportamento vibracional da MSIP com controle vetorial é mais suave em relação ao controle em seis-pulsos (trapezoidal), o que o torna uma escolha apropriada em situações que tal variável é importante para o processo, aumentando também a vida útil da máquina.

## Referências Bibliográficas

- [1] T. J. E. Miller, “*Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives*”. Oxford: Clarendon Press, 1993
- [2] J. R. B. A. Monteiro, W. C. A. Pereira, M. P. Santana, T.E.P. Almeida, G. T. Paula, I. Santini, “*Anti-windup Method for Fuzzy PD+I, PI and PI Controllers applied in Brushless DC Motor Speed Control*” in 2013 Brazilian Power Electronics Conference.
- [3] J. R. B. A. Monteiro, “*Estratégias de acionamento e controle em máquinas CA de ímã permanente com fluxo não senoidal*”. Escola de Engenharia de São Carlos, 1997.
- [4] K. J. Aström, T. Hägglund, “*Advanced PID Control*”. ISA, 2005.

## Desenvolvimento de sistema de suspensão semi-ativa para carro BAJA SAE

Rodrigo Caramaschi Vernizzi  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Vilma Alves de Oliveira  
Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil  
vernizzirodrigo@usp.br

### Objetivos

Na prova de maior pontuação nas competições de BAJA SAE, a melhor equipe é definida pela equipe que conseguir dar mais voltas em 4 horas. Para garantir uma alta pontuação, é necessário um carro robusto, ágil e rápido. A implementação de um sistema de suspensão semi-ativa, permitindo o carro se adequar melhor nos diferentes obstáculos e terreno pode fazer a diferença.

Neste presente trabalho o objetivo principal é o desenvolvimento de módulos de aquisição de dados, sensores de curso do amortecedor e propriamente a análise dos dados para verificar o efeito de diferentes terrenos em uma corrida e compreender como a implementação do amortecedor semi-ativo irá aprimorar o veículo da equipe. Além de fornecer à equipe EESC USP BAJA SAE, semi-ativo.

### Metodologia

O modelo de amortecedor semi-ativo adotado foi o baseado em fluido magnetoreológico (MR) do tipo Bouc-Wen modificado.

O fluido MR é um fluido que, com uma variação do campo magnético gerado pela variação da corrente elétrica, apresenta uma variação das suas propriedades reológicas, como a viscosidade. Assim, é possível obter um amortecedor mais rígido ou mais flexível simplesmente alterando a corrente elétrica [1]. Esse modelo é mostrado na Figura 1, podendo ser descrito pelas equações [2]:

$$F = \alpha z + c_0(\dot{x} - \dot{y}) + k_0(x - y) + k_1(x - x_0) \quad (1)$$

$$\dot{y} = \frac{1}{(c_0 + c_1)}(\alpha z + c_0\dot{x} + k_0(x - y)) \quad (2)$$

O comportamento de um amortecedor semi-ativo foi então simulado com o modelo (2). Como entrada para o sistema, foi utilizado dados obtidos em teste práticos utilizando um amortecedor passivo, sensor manufaturado para analisar curso do amortecedor, uma placa de aquisição de dados também manufaturada para este projeto, e o

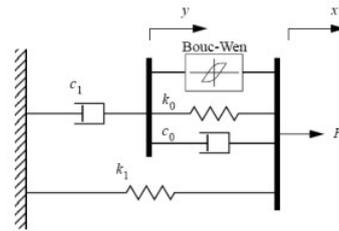


Figura 1: Modelo Bouc-Wen modificado.

carro da equipe EESC USP BAJA SAE. Os dados foram aproximados em uma soma de senos, como forma de modelar obstáculos na pista, assim, o modelo pode ser utilizado como entrada no Matlab Simulink, e a saída sendo a força no amortecedor permite concluir sobre o comportamento do amortecedor nos obstáculos e seus benefícios.

A parte de manufatura consistiu em uma placa de aquisição e o sensor de curso de amortecedor mostrados na Figura 2.



Figura 2: Sensor de curso do amortecedor e placa de aquisição de dados.

### Resultados

Primeiramente os resultados obtidos dos testes no carro são mostrados na Figura 3, a qual mostra

o curso do amortecedor em uma tomada. Neste trabalho apenas são apresentados os resultados para o caso de obstáculos de lombadas, visto que a tomada para a reta foi feita de forma análoga.

O curso do amortecedor passivo, na Figura 3 fornece o seu deslocamento em cm, o qual foi utilizado para modelar o obstáculo, para utilizar como entrada no sistema de simulação do amortecedor semi-ativo, fornecendo assim, a resposta de força nos amortecedores semi-ativo, nas Figuras 4 e 5.

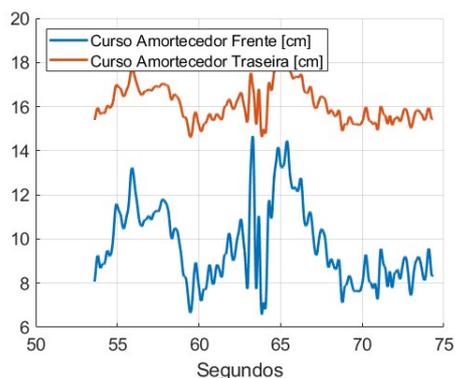


Figura 3: Curso do amortecedor nas lombadas.

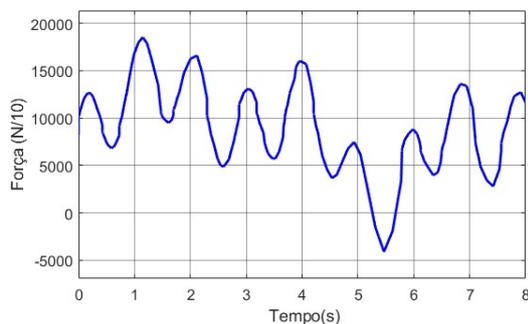


Figura 4: Força no amortecedor nas lombadas.

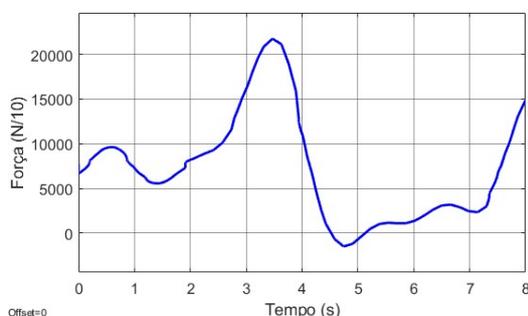


Figura 5: Força no amortecedor na reta.

Como pode ser observado nas Figuras 4 e 5, o pico de força no amortecedor nas lombadas foi menor que o pico de força no amortecedor na reta, o que mostra uma mudança no comportamento do amortecedor, em diferentes situações. Na simulação foi utilizada uma corrente de 0 A para o obstáculo de lombadas, e 0,25 A na reta, o que produz em um amortecedor mais flexível, Figura 4, e um mais rígido na reta, Figura 5. Sendo assim, como o amortecedor terá maior curso, deslocamento nas lombadas, terá uma passagem mais suave, com pouca perda de energia e possibilitando uma velocidade maior. Já na reta, por ser mais rígido, aumentará a aderência do carro ao solo, com menor reação a pequenos distúrbios na pista, possibilitando um velocidade final maior.

## Conclusão

O projeto e a manufatura de toda a parte de hardware necessária para futuros testes em suspensão semi-ativa, além da programação para análise dos dados, já foram concluídos. Com as simulações, conclui-se que a utilização do amortecedor semi-ativo permite que o sistema se comporte de forma diferente, para os diversos obstáculos e terreno. Com um comportamento mais estável e rígido em retas, e um com maior dissipação de energia e com maior curso nas lombadas é possível atingir velocidades finais maiores durante a prova.

Em suma, os principais objetivos foram alcançados com sucesso. Os resultados de simulação indicam a viabilidade da implementação da suspensão semi-ativa no carro da equipe EESC USP BAJA SAE.

## Referências

- [1] R.F. Ierardi and A.J.F. Bombard. Off-state viscosity and yield stress optimization of magneto-rheological fluids: A mixture design of experiments approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 2009.
- [2] Cláudio Crivellaro. Controle robusto de suspensão semi-ativa para caminhonetes utilizando amortecedores magneto-reológicos. Tese de doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2008.

## Detecção de danos em ferramentas de usinagem utilizando emissão acústica, processamento de sinais e extração de características

Lucas Pires Bernardes

Pedro de Oliveira Conceição Júnior

Universidade de São Paulo

lucaspbernardes@usp.br

### Objetivos

Os sistemas de detecção de danos e diagnóstico de falhas baseados em monitoramento de condições em processos de manufatura fazem uso de sensores modernos (emissão acústica, vibração etc.), algoritmos de processamento de sinais e extração de características, sendo capazes de realizar previsões com base em padrões, permitindo identificar falhas precoces no processo de usinagem, tais como quebras, trincas, danos térmicos, vibrações etc. (ÇINAR et al., 2020).

Sendo assim, este estudo se concentra no desenvolvimento de novos métodos e de soluções alternativas para monitoramento e diagnóstico de falhas no processo de fresamento e utilizando indicadores de condição que quantificaram os danos ocorridos a partir de implementação de métricas de processamento digital de sinais de emissão acústica obtidos com transdutor piezoelétrico durante experimentos. O presente trabalho encontra-se em fase de desenvolvimento e este documento apresenta resultados parciais relativo a um estudo inicial por meio do emprego do valor médio quadrático (RMS) nos sinais oriundos de ensaios de fresagem. O estudo foi conduzido testando diferentes bandas de frequência dos sinais acústicos coletados durante o processo, por meio do cálculo da transformada rápida de Fourier (FFT – *fast Fourier transform*).

### Métodos e Procedimentos

A análise experimental foi realizada com base em ensaios de fresamento variando os principais parâmetros do processo a fim de se estudar o desgaste da fresa em diferentes condições de usinagem. A furação foi realizada com sete mil (7.000) rotações por minuto (velocidade de corte de 220m/min) com avanço de 0,1 mm por volta ou avanço de 2800 mm por min em placas de compósito fixadas em suporte de alumínio, aço e resina. O sistema de aquisição de dados foi composto por um sensor de emissão acústica piezoelétrico wireless que foi responsável pela detecção de informações relativas à condição da ferramenta e que foram expressas por meio de sinais elétricos digitalizados em computador por meio de placa de aquisição. Os sinais foram consolidados para posterior processamento e análise de dados por meio da metodologia proposta utilizando o software MATLAB®.

A análise dos resultados deu-se mediante a observação das características mais relevantes referentes a sua condição, tendo como base a comparação dos diferentes níveis de danos com a condição inicial da ferramenta.

### Resultados

A partir dos sinais adquiridos pelo sensor referente ao processo de fresamento, analisou-se os mesmos no domínio da frequência com uso da FFT, obtendo-se várias faixas de

frequência passíveis de análise para que seja possível determinar o estado da fresa. Sendo assim, filtraram-se os sinais nessas faixas de frequência escolhidos, com o uso de um filtro passa-banda do tipo Butterworth, posteriormente aplicando-se o RMS a esses sinais e calculando a sua média, para poder-se analisar a evolução da presença de certas frequências no sinal com o uso da fresa. Na Figura 1 está presente esse processo na faixa de 20 a 50 kHz.

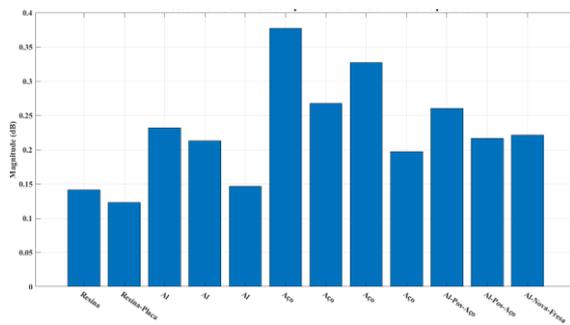


Figura 1: Média dos sinais RMS filtrados na faixa de 20 a 50 kHz para cada passada da fresa, em diferentes materiais de suporte

## Conclusões

Com esse estudo, nota-se que o comportamento do sinal se altera a partir do fresamento em placas de carbono fixadas em diferentes materiais de suporte. Da mesma forma, observa-se que o desgaste da ferramenta influencia diretamente a energia do sinal, já que à medida que o número de furos aumenta a fresa sofre avaria devido a sua abrasividade do compósito. Tal análise permite assim determinar qual é o momento devido para a troca da fresa, evitando desperdício de material e dano ao equipamento. Posteriormente, será realizada a implementação dos índices desvio do valor médio quadrático (RMSD – *root mean square deviation*) e desvio do coeficiente de correlação (CCMD – *correlation coefficient deviation error*), tendo como base o espectro de frequências obtido a partir da transformada rápida de Fourier (fast Fourier transform). Este estudo irá permitir uma análise mais robustas das bandas

de frequências mais representativas quanto ao desgaste da ferramenta a fim de se complementar o presente estudo.

## Agradecimentos

Agradeço à minha família, a qual me deu condições para ingressar na universidade e, portanto, realizar essa pesquisa, bem como a orientação do professor Dr. Pedro de Oliveira Conceição Júnior. Por fim, agradeço à Universidade de São Paulo pela disponibilidade do Laboratório de Automação Industrial (LAI-SEL) e dos trabalhos anteriores sobre o tema.

## Referências

AGHAZADEH, F.; TAHAN, A.; THOMAS, M. Tool condition monitoring using spectral subtraction and convolutional neural networks in milling process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 98, n. 9–12, p. 3217–3227, 31 out. 2018. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00170-018-2420-0>>.

AGOGINO, A.; GOEBEL, K. Milling Data Set. NASA Prognostics Data Repository. BEST Lab, UC Berkeley, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA. 2007.

BASSO, I.; VOIGT, R.; RODRIGUES, A. R.; MARIN, F.; DE SOUZA, A. F.; DE LACALLE, L. N. L. Influences of the workpiece material and the tool-surface engagement (TSE) on surface finishing when ball-end milling. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 75, p. 219–231, mar. 2022. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S152661252200007X>>.

ÇINAR, Z. M.; ABDUSSALAM NUHU, A.; ZEESHAN, Q.; KORHAN, O.; ASMAEL, M.; SAFAEI, B. Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0. *Sustainability*, v. 12, n. 19, p. 8211, 5 out. 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/19/8211>>.

## Estudo da viabilidade de representações tempo-frequência como ferramenta de extração de característica para classificação de padrões de desgaste da ferramenta no processo de fresamento

Luis Otávio de Angeles Dias

Pedro de Oliveira Conceição Junior

Universidade de São Paulo

luisotavio1906@usp.br

### Objetivos

No contexto da atual indústria 4.0, que visa otimizar os processos de produção e a gestão inteligente de recursos, surge a demanda pelo desenvolvimento de ferramentas que auxiliem na tomada de decisões em tempo real. O monitoramento de processos industriais baseado em sensoriamento e a análise dos sinais destes sensores emergem como metodologias promissoras nesse setor.

Portanto, este estudo tem como objetivo investigar a viabilidade da aplicação das transformadas tempo-frequência, focando na distribuição de Wigner-Ville (WVD), para a extração de características a partir dos sinais acústicos emitidos pela fresa durante o processo de fresamento. O propósito final é empregar a WVD para identificar padrões de desgaste na ferramenta, permitindo a interpretação de sua condição atual e a previsão de sua vida útil.

### Material e Métodos

O dataset utilizado para as análises foi obtido pelos experimentos de trabalhos anteriores (AGOGINO; GOEBEL, 2007; BASSO et al., 2022), consistindo num grupo de sinais obtidos pelo sensor de emissões acústicas de modelo WD 925, a uma taxa amostral de 100 kHz. Este

dataset possui quatro subdivisões, correspondentes às diferentes condições de experimento a que a ferramenta foi submetida, cada uma contendo os sinais da ferramenta operando após diferentes números de passada, no intuito de observar o seu desgaste. Estas condições estão mostradas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Condições de experimento

Caso	Profundidade do corte (mm)	Avanço (mm/rev)	Material da fresa
1	1,5	0,5	Ferro fundido
2	1,5	0,25	Aço
3	0,75	0,5	Aço
4	0,75	0,25	Ferro fundido

A partir deste dataset, realizou-se, no software de programação MATLAB, a WVD dos sinais, e o resultado foi plotado. A partir das imagens formadas, estudou-se os padrões do espectro de frequências para os diferentes números de passadas e a relação destes padrões com o desgaste da ferramenta foi visualmente interpretada.

## Resultados

Considerando o trabalho realizado até o momento de elaboração deste documento, foram analisados os sinais do caso 1 para todos os números de passada da ferramenta disponíveis. Por motivos de simplicidade, não serão mostradas todas as imagens formadas pelo trabalho, mas apenas para a passada 1, com desgaste de flanco de 0 mm, o que corresponde ao estado de maior preservação da ferramenta, como mostrado na Figura 1 a seguir.

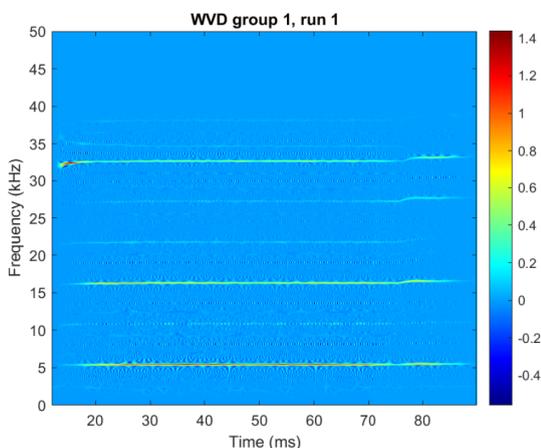


Figura 1: Distribuição Wigner-Ville de uma emissão acústica da fresa no caso 1, primeira passada

Na figura acima, as faixas destacadas na representação tempo-frequência do sinal representam as contribuições que cada faixa frequências possui no respectivo tempo, em ms, observado no eixo das abscissas. A coluna de cores à direita apresenta uma análise quantitativa da contribuição de cada frequência no espectro do sinal analisado.

## Conclusões

Com o estudo dos resultados apresentados, é possível concluir que a imagem produzida pela WVD do sinal apresentou pouco ruído e grande facilidade de identificação e interpretação dos padrões de desgaste da peça, na medida que as bandas dos componentes em frequência do

sinal e o seu comportamento ao longo do tempo se encontram bem destacadas na Figura 1.

Desta forma, as conclusões sobre a condição da ferramenta geradas a partir da WVD são de grande confiabilidade e geram expectativas positivas quanto ao emprego da ferramenta para a tomada de decisão neste processo industrial, podendo ser estendida, em estudos futuros, para o monitoramento de outros processos industriais e, inclusive, de processos de outras áreas do conhecimento.

## Reconhecimentos

Agradeço primeiramente à minha família, pois apenas com o seu apoio que tive a oportunidade de ingressar na universidade e realizar esta pesquisa. Agradeço também o auxílio e a orientação do professor Pedro de Oliveira Conceição Junior, e de todo o apoio emocional e científico prestado pelas minhas amigas durante o processo de pesquisa. Por fim, agradeço à instituição FAPESP pelo apoio financeiro à minha pesquisa com a bolsa de IC cedida ao processo de número 2023/02447-4.

## Referências

AGOGINO, A.; GOEBEL, K. Milling Data Set. NASA Prognostics Data Repository. BEST Lab, UC Berkeley, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA. 2007.

Sarkar, Purna, and V Chilukuri. "Time-frequency analysis tool for Intelligent Condition Monitoring Diagnostics." 2022 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), 2022, <https://doi.org/10.1109/iconat53423.2022.9725824>.

Shair, Ezreen Farina, et al. "Time-frequency distribution of SEMG pattern recognition in reducing limb position invariant." 2020 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), 2021, <https://doi.org/10.1109/iecbes48179.2021.9398820>.

# MODELAGEM DE UM CONTROLE DE TRAÇÃO PARA UM VEÍCULO FÓRMULA SAE

Guilherme Yukio Takemoto

Prof. Dra. Maíra Martins da Silva

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

gytakemoto@usp.br

## Objetivos

Os principais objetivos do projeto foram desenvolver e comparar duas estratégias de controle de tração (TCS) para um veículo de Fórmula SAE elétrico. Estas contemplam um controlador proporcional-integrativo (PI) e de modos deslizantes (SMC). Para analisar as características de cada implementação, realizou-se uma co-simulação entre os softwares MATLAB/Simulink e *Carmaker*. Além disso, elaborou-se a parametrização do pneu utilizado pela equipe através de processos de otimização desenvolvidos no MATLAB pautados na Magic Formula [1].

## Métodos e Procedimentos

O controle de tração proposto baseia-se na teoria que engloba as dinâmicas longitudinais do pneu. De acordo com [2], a partir de uma grandeza denominada *slip ratio*  $\kappa$ , é possível determinar a situação na qual o pneu oferece a maior contribuição longitudinal ( $F_x$ ) possível, como pode ser visto na Fig. 1. O *slip ratio* é calculado a partir da diferença entre as velocidades angulares das rodas tracionadas ( $\Omega$ ) e não tracionadas ( $\Omega_0$ ), matematicamente expressa pela Eq. 1.

$$\kappa = \frac{\Omega - \Omega_0}{\Omega_0} \quad (1)$$

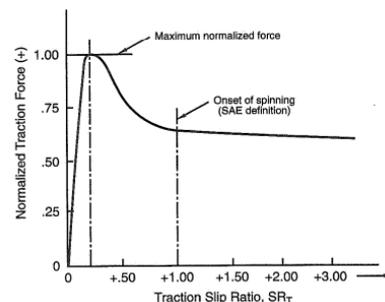


Figura 1: Curva típica que relaciona  $F_x$  com  $\kappa$  [2].

Dessa maneira, é possível desenvolver um sistema de controle que considera o *slip ratio* ideal como referência na entrada e o torque de acionamento do motor como saída. O diagrama de blocos exposto na Fig.2 esboça o controle idealizado.

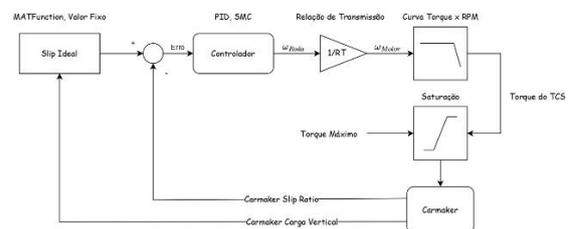


Figura 2: Diagrama de blocos do TCS proposto.

No que tange à parametrização dos pneus, utilizou-se dados do *Tire Test Consortium* [3] juntamente a um script desenvolvido em MATLAB. Este realiza a leitura, filtragem e organização dos dados, os quais são interpolados para compor uma superfície que

relaciona o *slip ratio* com as forças longitudinais e verticais de interesse. Essa superfície é então utilizada como referência para, através de um processo iterativo, determinar os coeficientes da *Magic Formula* [1] que rege as dinâmicas do pneu.

## Resultados

Até o presente momento, apenas o controlador proporcional-integrativo foi desenvolvido no Simulink. A partir de co-simulações entre este e o *software* Carmaker, é possível verificar que o *slip ratio* pode ser mitigado com a ação do controlador, como observado na Fig. 3. Entretanto, ainda são necessários aprimoramentos nos ganhos PI para melhorar a performance e garantir a estabilidade do sistema.

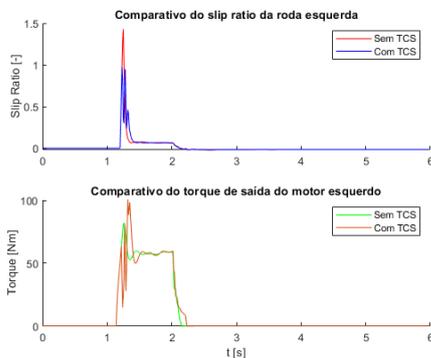


Figura 4: Análise da implementação do TCS.

À respeito da parametrização do pneu, as curvas do pneu modelado são comparadas aos dados obtidos pelo TTC, apresentadas na Fig. 4. Nota-se que a modelagem de  $\kappa \times F_x$  foi bem fiél aos dados base para diferentes cargas verticais. No entanto, indo de encontro às expectativas, as curvas modeladas não apresentaram um pico e um subsequente decaimento. A causa disso pode ser justificada pela faixa de *slip ratio* coletada nos testes experimentais, entre -0.18 e 0.18, o que possivelmente restringiu a constatação do decaimento. Outra provável razão, mais especulativa, está relacionada às características inatas do pneu e da superfície sobre a qual este foi testado, que podem ter influenciado no comportamento da força longitudinal.

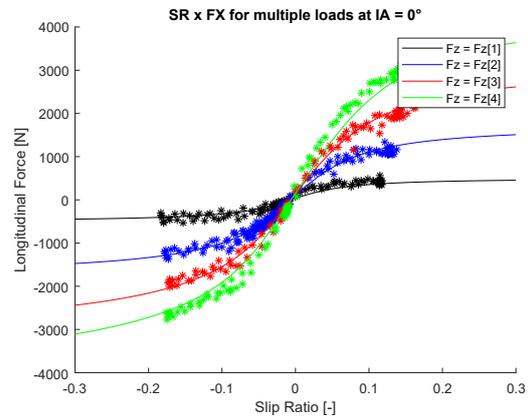


Figura 4: Comportamento  $\kappa \times F_x$  do pneu modelado

## Conclusões

A parametrização do pneu forneceu resultados fiéis aos dados empíricos, embora o comportamento do pneu em questão possa dificultar a identificação do *slip ratio ideal* para ser utilizado como referência. Quanto ao controlador PI desenvolvido, nota-se que este de fato impacta o torque fornecido aos motores e, como consequência, a taxa de deslizamento dos pneus. Entretanto, os ganhos do controlador precisam ser reavaliados a fim de melhorar a performance longitudinal do veículo.

## Agradecimentos

Projeto apoiado pela Fundação de Ampaero à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo 2022/06095-2.

## Referências

- [1] PACEJKA, H. B. **Tire and Vehicle Dynamics**. 3rd. ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2012. ISBN 9780080970174.
- [2] MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L. **Race car vehicle dynamics**. [S.l.]: Society of Automotive Engineers, 1995.
- [3] KASPRZAK, E.; GENTZ, D. **The Formula SAE tire test consortium-tire testing and data handling**. p. 776–4841, 12 2006.

## **Monitoramento da condição da ferramenta no processo de retificação com base em índices de danos e sinais de vibração.**

**Brena Marques Ribeiro**

**Orientador:**

**Pedro de Oliveira Conceição Junior**

USP - Escola de Engenharia de São Carlos

brena.marques@usp.br

### **Objetivos**

A análise de sinais de vibração desempenha um papel cada vez mais importante no processo de retificação. Essa análise possibilita o monitoramento da condição da ferramenta de dressagem, que é responsável por restaurar a capacidade de corte de rebolos, tendo como base uma ferramenta de diamante, que sofre desgaste ao longo da operação e leva a perda de qualidade do processo de retificação. Dessa forma, o presente estudo apresenta uma abordagem para monitoramento da vida útil de ferramentas de dressagem com base na extração de características do sinal de vibração. O propósito é minimizar o custo computacional associado à análise de grandes conjuntos de dados, optando pelo método Welch como alternativa à análise de FFT, e índices estatísticos de danos baseados no valor médio quadrático (RMS) e filtros digitais.

### **Métodos e Procedimentos**

Experimentos de dressagem de ponta única foram realizados em uma máquina retificadora com um sensor de vibração do tipo acelerômetro piezoeletrônico acoplado ao suporte da ferramenta. Os sinais de vibração foram coletados por um sistema de aquisição de dados e cada passe da ferramenta de

dressagem pela superfície do rebolo. A partir desses dados realizou-se a análise no software MATLAB, a partir dos gráficos projetados foi analisado o desgaste da ferramenta em três momentos diferentes.

### **Resultados**

A análise de sinais foi realizada em três momentos: início, após 50 passadas, depois de 150 passadas, empregando-se análises tanto no domínio do tempo quanto da frequência, utilizando a densidade espectral de potência com base no método RMS e Welch. Até o momento, foi possível identificar por meio de índices de danos propostos no presente estudo que as faixas de frequências que melhor mostram o desgaste do dressador que implica diretamente na vibração do equipamento é de 1 kHz a 3 kHz, onde a amplitude aumenta conforme o desgaste da ferramenta de diamante. Os resultados indicam a possibilidade de monitoramento em tempo real da máquina com o uso de filtros digitais, nessa faixa de frequência para acompanhar o desgaste da ferramenta.

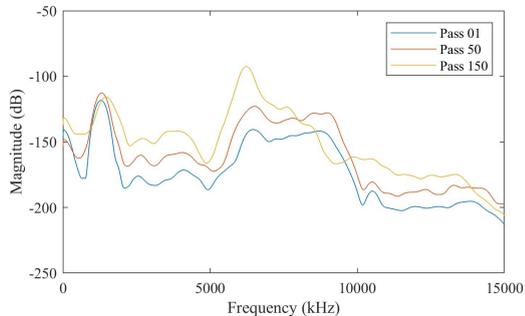


Figura 1: Método Welch para análise do espectro de frequência.

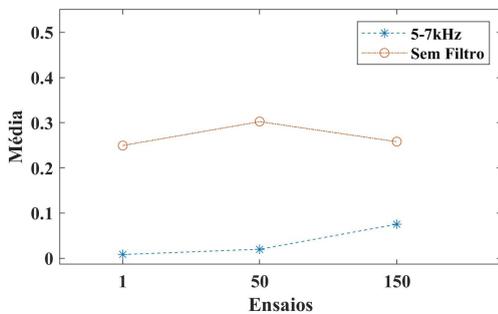


Figura 2: Média com e sem filtro.

## Conclusões

Com base nos resultados desta pesquisa, foi possível propor metodologias que são capazes de acompanhar o desgaste de um dressador, ajudando as indústrias a terem maior qualidade nos produtos fabricados e uma quantidade menor de manutenções corretivas. Dessa forma, é notável a possibilidade de ser desenvolvido um sistema de monitoramento em tempo real de desgaste de peças, com o uso de filtros digitais a partir de um estudo de bandas de frequência nos sinais que vieram desse processo.

## Agradecimentos

A Deus por me ajudar a não desistir, ao meu orientador Prof. Dr. Pedro de Oliveira Conceição Junior por me guiar durante este

projeto. E aos meus pais e amigos por me apoiarem durante essa jornada.

## Referências

- [1] Nguyen, A.T. & Butler, D.L., 2008. Correlation of grinding wheel topography and grinding performance: A study from a viewpoint of three-dimensional surface characterisation. *Journal of Materials Processing Technology*, 208(1-3), pp.14–23.
- [2] Hassui, A. et al., 1998. Experimental evaluation on grinding wheel wear through vibration and acoustic emission. *Wear*, 217(1), pp.7–14.
- [3] Marinescu, I. D. et al. *Handbook of Machining with Grinding Wheels*. 1a Ed. ed. [S.1.]: CRC Press, 2007.
- [4] Xue, L., Naghdy, F. & Cook, C., 2002. Monitoring of wheel dressing operations for precision grinding. *IEEE ICIT'02 - International Conference on Industrial Technology*, (December 2002), pp.1296–1299.

## Projeto de detecção e isolamento de falhas em sensores aplicada a conversores boost

Vitor Ferreira Paschoal

Colaboradores: Deniver R. Schutz e Diego S. Carneiro

Prof<sup>a</sup> Dra. Vilma Alves de Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - Brasil

vitor-pas7@usp.br, voliveira@usp.br

### Objetivos

O presente trabalho apresenta resultados obtidos da implementação de um modelo de conversor boost em sistema embarcado e simulação de falhas de sensor. O projeto desenvolvido compreendeu o estudo de tipos de falha, cálculos de *thresholds* para detecção e isolamento de falhas usando [1], e discretização de sistemas na forma de espaço de estado [2]. Foi estudada a implementação HIL com microcontrolador STM32F, embora de forma simplificada. O modelo do conversor foi testado no microcontrolador STM32F embarcado.

### Metodologia

O modelo do conversor boost usado é mostrado na Figura 1. O conversor é modelado como um sistema chaveado afim da forma:

$$\dot{x} = A_{\sigma}x + b_{\sigma} \quad (1)$$

$$y = Cx + D_f f \quad (2)$$

em que  $x$  é o estado,  $y$  é a saída,  $f$  é o vetor de falhas no sensor,  $D_f$  é diagonal e  $C = I_{p \times p}$ . A lei de chaveamento  $\sigma(t)$  escolhe um subsistema,  $A_1$  ou  $A_2$ , a cada  $t \geq 0$ :

$$A_1 = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{R_o C} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & \frac{-1}{R_o C} \\ \frac{1}{C} & \frac{-1}{R_o C} \end{bmatrix}, b_1 = b_2 = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

No projeto, foram criados dois observadores de estado para detectar falhas em um sensor específico, considerando a observabilidade de  $(A_i, C)$ . Cada observador  $i$  estima o estado  $x_i$  a partir da saída  $y_i$  e o erro residual é então calculado. O sistema de detecção usa limiares de erro para decidir sobre a ocorrência de falhas.

Para os testes em STM32F, programou-se no *software* STMCube a rotina de interrupção, a

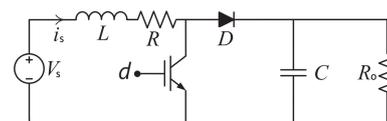


Figura 1: Modelo teórico do conversor boost.

qual ocorre a cada  $kT_s$ , seguindo o fluxograma da Figura 2.

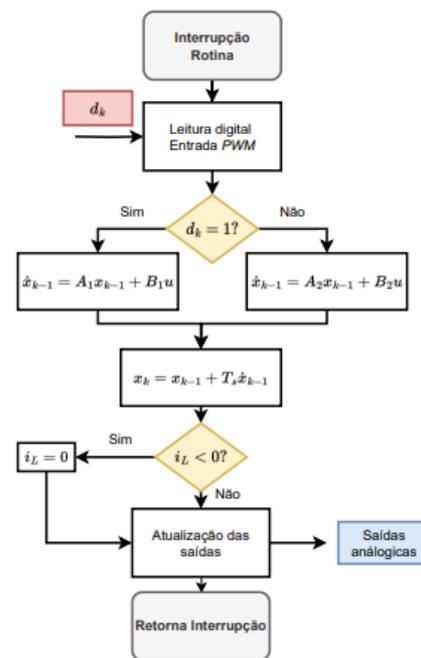


Figura 2: Fluxograma da rotina de interrupção. Adaptado de [2].

### Resultados

São apresentados a seguir as simulações do Simulink e da implementação do sistema embarcado. Primeiramente, sem falha, verifica-se que a tensão e a corrente estabilizam em 380 [V] e

7,6251 [A], respectivamente. Aplicando uma falha de *offset* de 2 [A] na corrente e 50 [v], na tensão, obtém-se as Figuras 3 e 4 que mostram a sua estabilização em 9,6251 [A] e 430 [v], respectivamente. O *zoom* na região na qual houve a falha é mostrado dentro do gráfico, com ênfase no tempo 0.5 [s], momento em que a falha foi observada.

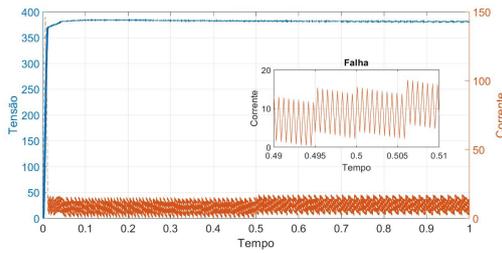


Figura 3: Conversor com falha de *offset* na corrente.

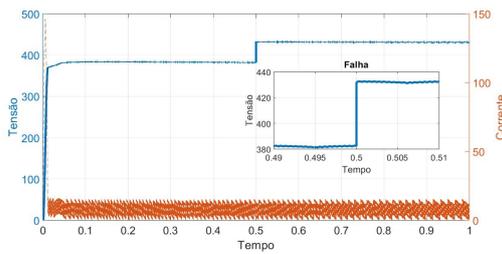


Figura 4: Conversor com perda de sinal da tensão.

Inicialmente, foi analisada a resposta da lei de chaveamento  $d$  e controle  $u$ , representada pelo *duty cycle* em % e observou-se que o controle se ajusta às especificações, mantendo o *duty cycle* entre 0 e 100% e a chaveamento  $d$  entre 0 e 1.

A Figura 5 exibe a lei de chaveamento, com um *zoom* para melhor visualização em curtos períodos de tempo. Finalmente, as variáveis

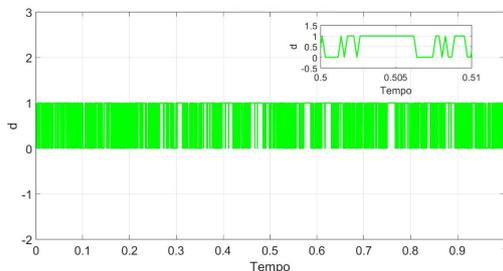


Figura 5: Ação da lei de chaveamento.

de estado  $i_L$  e  $V_C$ , bem como as referências de

equilíbrio  $x_{ei}$  e  $x_{ev}$ , foram adquiridas. As Figuras 6 e 7 apresentam o resultado.

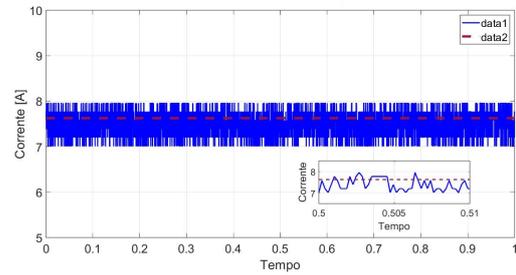


Figura 6: Comparação corrente  $i_L$  e referência  $x_{ei}$ .

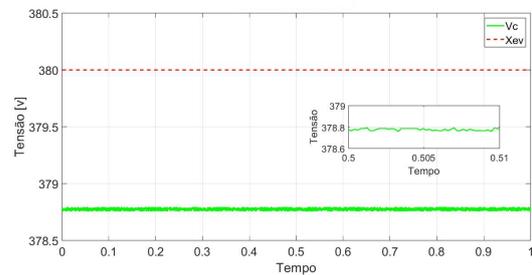


Figura 7: Comparação tensão  $V_C$  e referência  $x_{ev}$ .

## Conclusão

Um modelo de conversor e controlador do tipo sliding mode foram implementados em microcontrolador STM32F. Os códigos e projetos em Matlab, juntamente com a programação do microcontrolador STM, estão disponíveis em: <https://github.com/vitorpaschoal/Detec-e-isolamento.git>.

## Referências

- [1] D. S. Carneiro, L. J. R. Silva, F. A. Faria, R. F. Q. Magossi, and V. A. Oliveira. Reconfiguration strategy for a DC-DC boost converter using sliding mode observers and fault identification with a neural network. 2021. <https://doi.org/10.20906/sbai.v1i1.2741>.
- [2] D. S. Castro, R. F. Q. Magossi, R. F. Bastos, V. A. Oliveira, and R. Q. Machado. Low-cost hardware in the loop implementation of a boost converter. In *2019 18th European Control Conference (ECC)*, pages 423–428, 2019.

## COLETA DA ANTROPOMETRIA HUMANA PARA ESCALONAMENTO DE MODELOS COMPUTACIONAIS

Luca Borgonovi

Denis Mosconi

Adriano A. G. Siqueira

Universidade de São Paulo

lucaborgonovi@usp.br, denis.mosconi@usp.br, siqueira@sc.usp.br

### Objetivos

Os objetivos deste trabalho são realizar a coleta da antropometria de um indivíduo fazendo uso do dispositivo Microsoft Kinect [1], numa captura de movimento, e usar esses dados antropométricos para gerar um modelo computacional escalonado correspondente ao indivíduo [2]. Assim, pode-se realizar simulações diversas com o modelo para entender o comportamento dinâmico da biomecânica do indivíduo. Para verificar a eficácia do método, introduz-se entradas senoidais de flexão e extensão para o joelho direito e analisa-se os torques gerados pelo modelo para compará-los com os valores padrões na literatura.

### Métodos e Procedimentos

Fez-se o procedimento experimental com um indivíduo do sexo masculino de 24 anos de idade, 1,72 metros de altura e 55 quilogramas de massa. Esse homem permaneceu parado, na frente de um Microsoft Kinect, para ter a sua antropometria coletada com o auxílio do software Brekel [3]. A escolha do dispositivo de captura se justifica por ser menos oneroso do que outros métodos convencionais de captura de movimento, reduzindo os gastos para o processo de escalonamento.

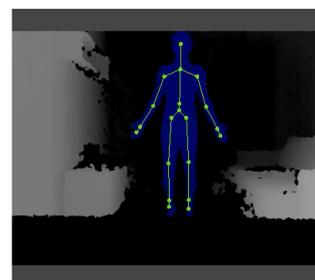
Em seguida, a antropometria foi aplicada a um modelo computacional obtido em OpenSim [4]. Dessa forma, criou-se um modelo escalonado, baseado no já existente, mas com

as dimensões, a massa e a distribuição de massa do indivíduo.

Por fim, simulou-se entradas senoidais de posições angulares para o joelho do modelo e se calculou torques correspondentes utilizando dinâmica inversa a fim de avaliar a efetividade do método.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Configuração corporal para a captura de movimento (b) Marcadores virtuais usados para a captura de movimento em Brekel

### Resultados

Após a obtenção do modelo escalonado, pode-se simular entradas senoidais para o movimento de flexão e extensão de seu joelho direito (Figura 2).

Com essas entradas e o algoritmo de dinâmica inversa, pode-se calcular os torques produzidos pelo modelo para realizar esse movimento (Figura 3).

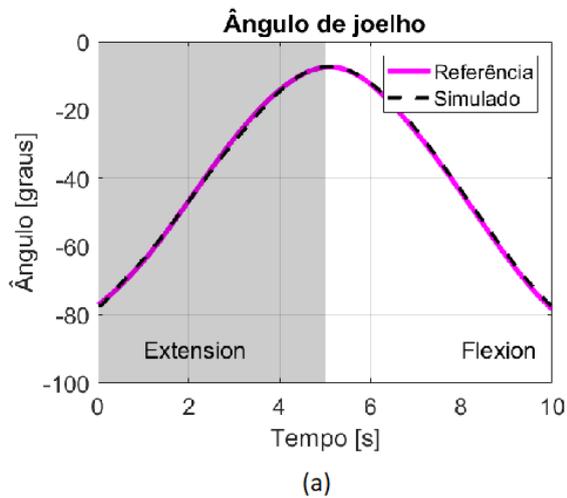


Figura 2: Movimento senoidal de flexão e extensão inserido no joelho direito do modelo



Figura 3: Torques produzidos pelo joelho direito do modelo escalonado para gerar o movimento de flexão e extensão

Numa análise preliminar, a curva apresentada reflete um comportamento coerente, reproduzindo de maneira precisa a forma da meia senoide que foi incorporada ao modelo. Além disso, numa avaliação mais minuciosa, é perceptível que a escala dos valores dos torques é consistente com a de outros estudos que abordam a modelagem e simulação de movimentos de flexão e extensão do joelho humano [5]. Contudo, ainda não é possível obter a exatidão do método empregado com o uso do Kinect, pois requer a comparação com um método convencional de captura de movimento, cuja exatidão é garantida.

## Conclusões

Neste trabalho, apresentou-se uma alternativa economicamente vantajosa para a coleta da antropometria de um indivíduo em relação a métodos tradicionais de captura de movimento. Ao analisar os resultados das simulações, torna-se evidente que tanto a magnitude quanto a evolução da curva de torques estão em concordância com o movimento proposto e o modelo que representa a flexão e extensão do joelho. Essa consistência sugere que essa abordagem de captura de movimento tem potencial para aplicação na reabilitação robótica.

Em trabalhos subsequentes, com o objetivo de aferir a precisão do Kinect em comparação com os equipamentos convencionais de captura de movimento, ambos os métodos devem ser utilizados para criar modelos equivalentes. Dessa forma, será possível determinar se a utilização do Kinect realmente consegue gerar uma antropometria humana de forma precisa para ser usada em modelos neuromusculares.

## Referências Bibliográficas

- [1] ZHANG, Zhengyou. Microsoft kinect sensor and its effect. IEEE multimedia, v. 19, n. 2, p. 4-10, 2012.
- [2] Chaoming Song, Tal Koren, Pu Wang, and Albert-László Barabási. Modelling the scaling prop-erties of human mobility. Nature physics, 6(10):818–823, 2010.
- [3] Brekelmans. Brekel kinect. available online at <https://brekel.com/>, January 2023.
- [4] Scott L Delp, Frank C Anderson, Allison S Arnold, Peter Loan, Ayman Habib, Chand T John, Eran Guendelman, and Darryl G Thelen. Opensim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. IEEE transactions on biomedical engineering, 54(11):1940–1950, 2007.
- [5] Luca Borgonovi, Denis Mosconi, e Adriano Almeida Gonçalves Siqueira. Uso de sinais eletromiográficos em modelo de interação humano-exoesqueleto na reabilitação da flexão e extensão do joelho. Livro de Resumos Expandidos, 2022.

## COLETA DA ANTROPOMETRIA HUMANA PARA ESCALONAMENTO DE MODELOS COMPUTACIONAIS

Luca Borgonovi

Denis Mosconi

Adriano A. G. Siqueira

Universidade de São Paulo

lucaborgonovi@usp.br, denis.mosconi@usp.br, siqueira@sc.usp.br

### Objetivos

Os objetivos deste trabalho são realizar a coleta da antropometria de um indivíduo fazendo uso do dispositivo Microsoft Kinect [1], numa captura de movimento, e usar esses dados antropométricos para gerar um modelo computacional escalonado correspondente ao indivíduo [2]. Assim, pode-se realizar simulações diversas com o modelo para entender o comportamento dinâmico da biomecânica do indivíduo. Para verificar a eficácia do método, introduz-se entradas senoidais de flexão e extensão para o joelho direito e analisa-se os torques gerados pelo modelo para compará-los com os valores padrões na literatura.

### Métodos e Procedimentos

Fez-se o procedimento experimental com um indivíduo do sexo masculino de 24 anos de idade, 1,72 metros de altura e 55 quilogramas de massa. Esse homem permaneceu parado, na frente de um Microsoft Kinect, para ter a sua antropometria coletada com o auxílio do software Brekel [3]. A escolha do dispositivo de captura se justifica por ser menos oneroso do que outros métodos convencionais de captura de movimento, reduzindo os gastos para o processo de escalonamento.

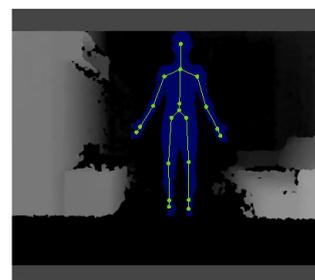
Em seguida, a antropometria foi aplicada a um modelo computacional obtido em OpenSim [4]. Dessa forma, criou-se um modelo escalonado, baseado no já existente, mas com

as dimensões, a massa e a distribuição de massa do indivíduo.

Por fim, simulou-se entradas senoidais de posições angulares para o joelho do modelo e se calculou torques correspondentes utilizando dinâmica inversa a fim de avaliar a efetividade do método.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Configuração corporal para a captura de movimento (b) Marcadores virtuais usados para a captura de movimento em Brekel

### Resultados

Após a obtenção do modelo escalonado, pode-se simular entradas senoidais para o movimento de flexão e extensão de seu joelho direito (Figura 2).

Com essas entradas e o algoritmo de dinâmica inversa, pode-se calcular os torques produzidos pelo modelo para realizar esse movimento (Figura 3).

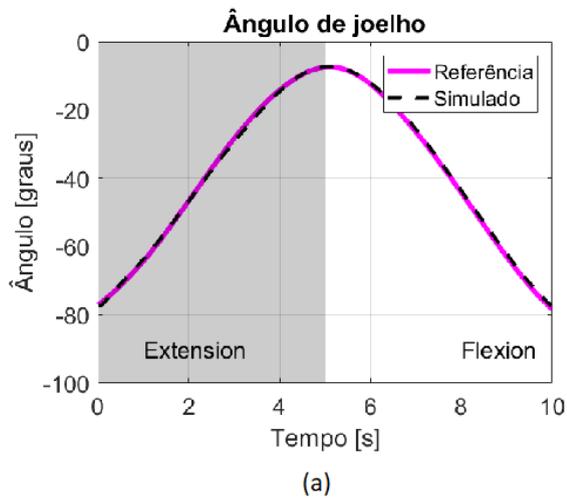


Figura 2: Movimento senoidal de flexão e extensão inserido no joelho direito do modelo



Figura 3: Torques produzidos pelo joelho direito do modelo escalonado para gerar o movimento de flexão e extensão

Numa análise preliminar, a curva apresentada reflete um comportamento coerente, reproduzindo de maneira precisa a forma da meia senoide que foi incorporada ao modelo. Além disso, numa avaliação mais minuciosa, é perceptível que a escala dos valores dos torques é consistente com a de outros estudos que abordam a modelagem e simulação de movimentos de flexão e extensão do joelho humano [5]. Contudo, ainda não é possível obter a exatidão do método empregado com o uso do Kinect, pois requer a comparação com um método convencional de captura de movimento, cuja exatidão é garantida.

## Conclusões

Neste trabalho, apresentou-se uma alternativa economicamente vantajosa para a coleta da antropometria de um indivíduo em relação a métodos tradicionais de captura de movimento. Ao analisar os resultados das simulações, torna-se evidente que tanto a magnitude quanto a evolução da curva de torques estão em concordância com o movimento proposto e o modelo que representa a flexão e extensão do joelho. Essa consistência sugere que essa abordagem de captura de movimento tem potencial para aplicação na reabilitação robótica.

Em trabalhos subsequentes, com o objetivo de aferir a precisão do Kinect em comparação com os equipamentos convencionais de captura de movimento, ambos os métodos devem ser utilizados para criar modelos equivalentes. Dessa forma, será possível determinar se a utilização do Kinect realmente consegue gerar uma antropometria humana de forma precisa para ser usada em modelos neuromusculares.

## Referências Bibliográficas

- [1] ZHANG, Zhengyou. Microsoft kinect sensor and its effect. IEEE multimedia, v. 19, n. 2, p. 4-10, 2012.
- [2] Chaoming Song, Tal Koren, Pu Wang, and Albert-László Barabási. Modelling the scaling prop-erties of human mobility. Nature physics, 6(10):818–823, 2010.
- [3] Brekelmans. Brekel kinect. available online at <https://brekel.com/>, January 2023.
- [4] Scott L Delp, Frank C Anderson, Allison S Arnold, Peter Loan, Ayman Habib, Chand T John, Eran Guendelman, and Darryl G Thelen. Opensim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. IEEE transactions on biomedical engineering, 54(11):1940–1950, 2007.
- [5] Luca Borgonovi, Denis Mosconi, e Adriano Almeida Gonçalves Siqueira. Uso de sinais eletromiográficos em modelo de interação humano-exoesqueleto na reabilitação da flexão e extensão do joelho. Livro de Resumos Expandidos, 2022.

## IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS TURBILHONARES A JUSANTE DE UM MODELO SIMPLIFICADO DE VÁLVULA CARDÍACA DO TIPO “VALSALVA SINUSES” ATRAVÉS DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGEM DE PARTÍCULAS (PIV)

Ana Beatriz de Sá Barbosa Mendes

Prof. Dr. Oscar M. H. Rodriguez, P. J. Miranda-Lugo, Jorge E. Arrollo-Caballero

USP - Universidade de São Paulo

anabeatriz.mendes@usp.br

### Objetivos

O objetivo central da pesquisa é realizar a caracterização da dinâmica do escoamento a jusante de uma válvula “valsalva” em uma seção flexível por meio da técnica PIV (Particle Image Velocimetry).

Primeiramente, deve-se realizar de forma experimental o levantamento dos campos de velocidade na seção flexível usando o PIV. Portanto, com base nesses dados, torna-se possível quantificar os campos de vorticidade. Posteriormente, pode-se identificar os pontos de estagnação e as áreas de alto cisalhamento e assim aplicar o critério de detecção de vórtices.

### Métodos e Procedimentos

Para a execução experimental do projeto contamos com a instalação composta por duas tubulações de vidro borossilicato com 4,5 e 7,5m de comprimento e 9,7 e 20,5 mm de diâmetro interno, respectivamente, para o controle das condições experimentais, há medidores de vazão do tipo coriolis e turbina, termopares e diferenciais da pressão [2].

Onde é observado o escoamento, atualmente há uma seção de visualização de acrílico preenchida com glicerina. Porém para este experimento especificamente é necessário

substituir esta parcela da tubulação de vidro referente a esta seção por um material flexível, cujo índice de refração seja próximo ao da água, cuja densidade seja similar à do sangue. A jusante será colocada a válvula ‘valsalva’, um pouco antes desta parcela flexível ainda na parte de vidro.

O bombeamento do fluido é feito por intermédio de bombas helicoidais de deslocamento positivo.

A aquisição de dados será realizada por meio do LabVIEW 17 e do sistema de aquisição PIV Davis 8.4. Com essas ferramentas é possível ter um controle do sistema e obter informações dos campos de velocidade.

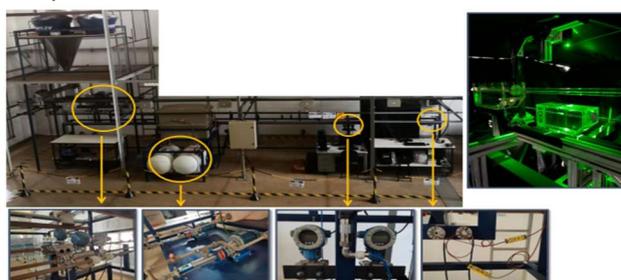


Figura 1: Instalação experimental construída para aplicação da técnica PIV

O experimento será realizado nas seções transversal e longitudinal. O processamento e a análises dos dados experimentais deve ocorrer da seguinte forma: o primeiro passo é avaliar o

escoamento segundo os campos de velocidades obtidos na seção transversal [1], contamos também com as médias temporais das componentes da velocidade na direção radial, além do cálculo do desvio padrão das velocidades nesta direção, e para finalizar são obtidas as tensões de cisalhamento de Reynolds.

Ademais, o sistema o PIV fornece as velocidades dessas partículas na seção transversal na direção do eixo  $x$ , igual a  $u$ , e na direção do eixo  $y$ , igual a  $v$ , além das posições das partículas em relação ao eixo  $x$  e  $y$ , para cada aquisição [1]. Sendo assim, temos todas as informações sobre necessárias para o cálculo das derivadas parciais da velocidade pelo deslocamento:  $\frac{\partial u}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial u}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial v}{\partial x}$  e  $\frac{\partial v}{\partial y}$ .

$$\frac{\partial u}{\partial x} \quad \frac{\partial u}{\partial y} \quad \frac{\partial v}{\partial x} \quad \frac{\partial v}{\partial y}$$

Como o PIV só consegue medir as componentes do vetor velocidade em um único plano, só é possível obter a componente da vorticidade que é ortogonal ao plano do laser, logo podemos calcular a magnitude do vetor vorticidade conforme a seguinte equação:

$$w = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}$$

Foi feito um algoritmo em Python que realiza os cálculos dessas derivadas usando a função gradiente da biblioteca Numpy e aplica a equação da vorticidade descrita acima.

Para validar o nosso código optamos por aplicar este algoritmo a um conjunto de dados, cujos valores de  $\frac{\partial u}{\partial y}$ ,  $\frac{\partial v}{\partial x}$  e das vorticidades já são

conhecidas. Assim, foi possível comparar esses valores com os resultados obtidos com o código que desenvolvemos.

## Resultados

Esperamos obter os campos das velocidades para escoamento monofásico de água em regime laminar e turbulento. Dessa maneira, para o estudo da seção transversal da parte flexível se espera observar o comportamento

dos vórtices e dos pontos de estagnação. Assim como avaliar as intensidades dos vórtices, quando é possível observar componentes da velocidade na direção radial e azimutal na água [2]. Desejamos, observar estruturas de vorticidade semelhantes à expressa na Figura 2.

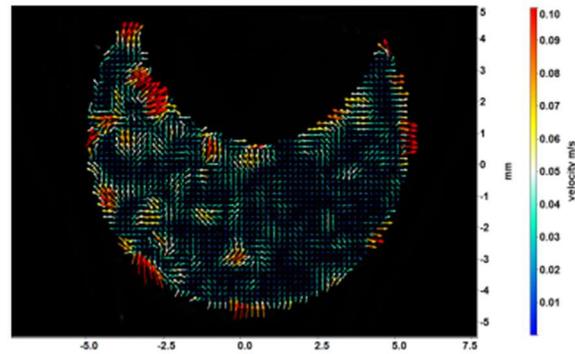


Figura 2: campo de velocidade em uma seção transversal de um escoamento bifásico água-óleo

## Conclusões

Com a técnica PIV será possível observar o comportamento hidrodinâmico da água a jusante de uma válvula 'valsalva' em uma sessão de observação feita de um material flexível. Dessa maneira, seremos capazes de validar os resultados referentes às velocidades radiais com os valores gerados analiticamente, assim como o tensor de tensões. Além disso, será possível identificar e quantificar os vórtices que aparecem na seção transversal.

## Referências Bibliográficas

- [1] HERNANDEZ-CELY, M. M.; BAPTISTELLA, V. E.; RODRIGUEZ, O. M. Study and characterization of gas-liquid slug flow in an annular duct, using high speed video camera, wire-mesh sensor and piv. *Experimental Thermal and Fluid Science*, v. 98, p. 563–575, 2018. ISSN 0894-1777.
- [2] MIRANDA-LUGO, P. J.; ARROLLO - CABALLERO, J. E.; RODRIGUEZ, O. M. H. Study on hydrodynamic stability of stratified liquid-liquid flow using optical techniques. In: *MULTIPHASE FLOW JOURNEY (JEM)*, 7., 2023, Rio de Janeiro. *Proceedings...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2023. p. 1–2.

## Projeto e Otimização de Coletores Piezelétricos de Energia Usando Métodos Evolucionários

Catarina Luz Moura Ibiapina Barros

Paulo Sérgio Varoto

Escola de Engenharia de São Carlos - EESC USP

catarinaluz@usp.br

varoto@sc.usp.br

### Objetivos

O projeto de pesquisa tem como objetivo geral a utilização de algoritmos evolucionários na otimização de parâmetros geométricos e elétricos de geradores de energia piezelétricos, a fim de promover uma maior eficiência e potência, em duas configurações principais: viga cantilever e modelo fan-folded.

Para tanto, devem ser formulados modelos eletromecânicos para os geradores piezelétricos e obtidas as funções de resposta em frequência eletromecânicas.

Referente à otimização, tem-se como objetivo treinar uma rede neural capaz de prever a geração de energia do sistema a partir de suas características elétricas e geométricas, além de desenvolver um algoritmo evolutivo que, em conjunto com a rede neural, possibilite a melhoria da eficiência dos geradores quanto à transdução de sinais de vibração estrutural em energia elétrica.

### Métodos e Procedimentos

Os modelos eletromecânicos são formulados tomando-se como referência a bibliografia existente sobre o assunto, e posteriormente são implementados computacionalmente, em ambiente Python ou MATLAB. Com isso, podem ser obtidos resultados que representam o comportamento físico do sistema de acordo com o modelo matemático. O modelo é então validado experimentalmente.

A partir do modelo numérico, são gerados conjuntos de dados para o treinamento da rede neural que prevê a geração de energia elétrica a partir de características físicas do sistema. Por fim, um algoritmo genético será desenvolvido, tendo como função de fitness a rede neural.

No fim do processo, devem-se ter os parâmetros ótimos para a geração de energia elétrica a partir de materiais piezelétricos.

### Resultados

Para o modelo cantilever, foi observada uma excelente correspondência entre as FRFs experimentais e simuladas, como mostrado na figura 1.

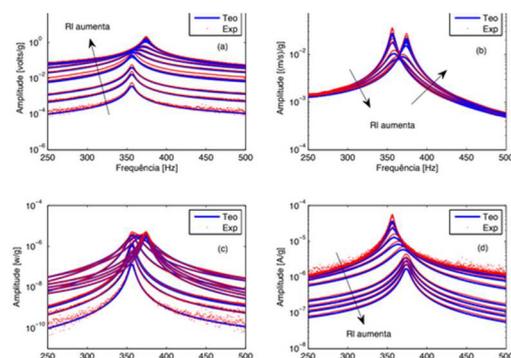


Figura 1: FRFs para conversor com massa na extremidade: (a) tensão; (b) velocidade; (c) potência; (d) corrente elétrica

A rede neural também apresentou bons resultados após o treinamento como mostrado nas figuras 2 e 3.

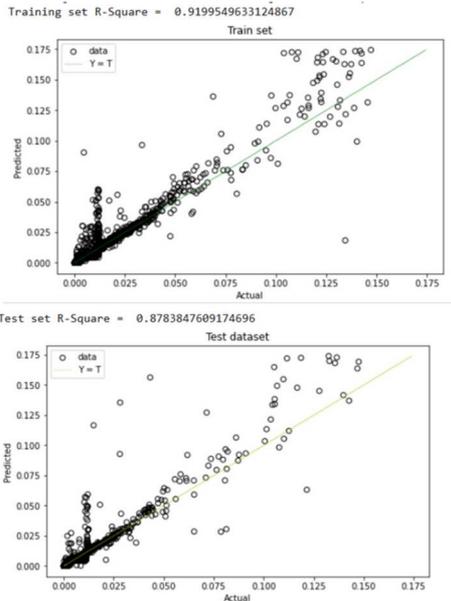


Figura 2: Gráficos de regressão para conjuntos de treinamento e de teste da rede neural

Os resultados obtidos pelo algoritmo evolutivo estão mostrados na Tabela 1

Tabela 1: resultados do processo de otimização.

Símbolo	Propriedade	Valor ótimo
$L_s$	Comprimento da viga	0.3 m
$b_s$	Largura da viga	0.0014 m
$b_p$	Largura do PZT	0.0062 m
$h_s$	Espessura do substrato	0.0162 m
$\Delta x_p$	Comprimento do PZT	0.3 m
$M_t$	Massa da ponta	0.0093 kg
$V$	Tensão elétrica	0.014V

Já para a geometria fan-folded, foi realizada uma análise de sensibilidade utilizando índices de Sobol para selecionar os parâmetros mais relevantes para a otimização. Os resultados da rede neural e do algoritmo evolutivo estão mostrados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2: resultados da rede neural para o fan-folded

Dataset	Erro Absoluto Médio	$R^2$
Teste	3.93	0.82
Treino	5.52	0.82

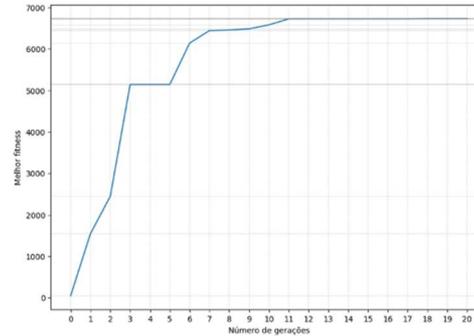


Figura 3: evolução do fitness do G.A. ao longo das gerações.

Tabela 3: resultados do processo de otimização para a geometria fan-folded.

Símbolo	Propriedade	Valor ótimo
$b$	base dos elos	4.31e-2 m
$a$	altura dos elos	0.1 m
$C_p$	Capacitância do piezo	5.11e-7 F
$R$	Resistência elétrica	1.5e-10 $\Omega$
$W/(m/s^2)$	Potência elétrica por aceleração da base	6730e6 $W/(m/s^2)$

## Conclusões

A metodologia aplicada se mostrou efetiva, sendo obtidas boas métricas para o treinamento de ambas as redes neurais, e o processo de otimização com algoritmos genéticos foi bem sucedido. Além disso, os modelos numéricos utilizados foram validados experimentalmente.

## Referências

- [1] Erturk, A., and Inman, D. J. A distributed parameter electromechanical model for cantilevered piezoelectric energy harvesters. *Journal of Vibration and Acoustics* 130 (2008), 1–15.
- [2] Erturk, A., and Inman, D. J. On mechanical modeling of cantilevered piezoelectric vibration energy harvesters. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures* 18, 10 (2008).
- [3] Bagheri, S., Wu, N., Filizadeh, S. (2020), Application of Artificial Intelligence and Evolutionary Algorithms in Simulation-Based Optimal Design of a Piezoelectric Energy Harvester, *Smart Materials and Structures*, 29, 1-18.

## Servovisão em Robôs Macios Aquáticos Bioinspirados

**Matheus Araujo Kurokawa**

**Maíra Martins da Silva**

Universidade de São Paulo

matheus\_kurokawa@usp.br

### Objetivos

O projeto de Iniciação Científica visa ao estudo e implementação de uma instrumentação dedicada a um sistema robótico aquático bioinspirado. Imagens serão obtidas por meio de uma ou duas câmeras instaladas no sistema robótico na configuração olho na mão (*Eye-in-Hand*). As imagens obtidas serão processadas por meio de uma técnica de visão computacional para a identificação de um alvo pré-determinado. Com isso, pretende-se também realizar uma revisão das técnicas de aquisição e processamento de imagens, bem como um estudo e comparação entre as técnicas de servo visão baseadas na imagem ou na posição com as técnicas de visão mono e estéreo. Além disso, pretende-se implementar o algoritmo de processamento de imagens em um sistema embarcado no sistema robótico utilizando a técnica de visão computacional mais indicada, considerando precisão, velocidade de processamento e simplicidade de implementação da técnica. O algoritmo deverá ser validado pela identificação de um alvo e o cálculo da posição relativa deste alvo com relação à câmera e, por fim, serão calculados os sinais que serão utilizados no planejamento do movimento do sistema robótico bioinspirado.

### Métodos e Procedimentos

Para a técnica de visão mono, a aquisição das imagens do alvo pode ser feita utilizando apenas uma câmera, e as informações

importantes a respeito do alvo podem ser obtidas através das imagens sucessivas do alvo. A partir das imagens obtidas, é necessário que o algoritmo seja capaz de identificar somente o alvo escolhido. Para tanto, converte-se o ambiente de cores BGR (*Blue-Green-Red*) para o HSV (*Hue-Saturation-Value*), que realça determinadas características do alvo e o destaca do meio. Em seguida, as imagens são binarizadas e, caso ainda existam ruídos, é possível eliminá-los pelos processos morfológicos de dilatação e contração de quadros. Por fim, são adicionados filtros de verificação para a validação do alvo, como filtro de circularidade e área, que descartam detecções muito destoantes do objeto escolhido como alvo. Deste modo, é possível identificar as bordas do alvo, bem como seu centro e seu raio em *pixels* no sistema de referência da câmera. Finalmente, um problema do tipo PnP (*Perspective and Point*) é resolvido, e a pose do alvo consegue ser estimada com apenas uma câmera.

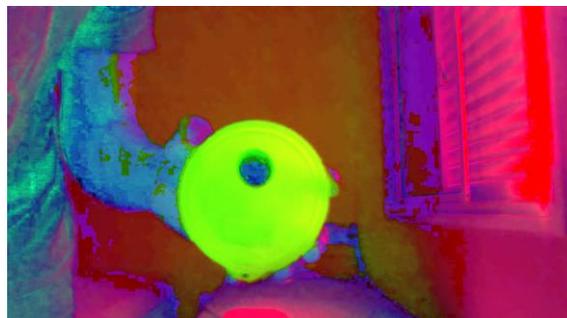


Figura 1: Alvo no espaço HSV

Para a técnica de visão estéreo, são utilizadas duas câmeras para a aquisição de imagens. Essas câmeras são postas de tal forma que suas posições e direcionamentos sejam conhecidos. Além disso, é necessário que haja uma região comum da região sensoreada por ambas as câmeras. Essa região deve ocupar uma proporção considerável nas imagens, mas as imagens não devem ser completamente iguais. Dessa forma, é possível fazer a reconstrução de informações de maneira tridimensional, desde que as imagens sejam capturadas simultaneamente pelas duas câmeras. Para tanto, utiliza-se um algoritmo semelhante ao da visão mono para a detecção do alvo, porém, em vez de um problema do tipo PnP, é necessário que se faça uma correspondência entre as imagens de cada câmera, isto é, é preciso que *pixels* iguais sejam encontrados em cada uma das imagens. Com isso, e conhecendo previamente as câmeras com as quais se trabalha, é possível calcular a profundidade que o alvo se encontra em relação às câmeras pelo processo de triangulação de pontos.

## Resultados

Ambas as técnicas, mono e estéreo, se mostraram viáveis para estimar a profundidade de um alvo pré-determinado em relação às câmeras. Além disso, para as duas técnicas, o tempo de execução do algoritmo foi de aproximadamente 60 milissegundos.

A implementação do algoritmo de detecção utilizando a técnica de visão mono foi simples, e o algoritmo pode funcionar mediante ao uso de qualquer câmera, desde que calibrada previamente, além de ajustes nos parâmetros que definem o ambiente HSV.

Para a visão estéreo, o algoritmo mostrou-se menos versátil, uma vez que ele opera apenas com uso de câmeras de mesma distância focal. Então, por mais que o desenvolvimento do código para estimativa de profundidade utilizando a visão estéreo não seja complicado, a instrumentação para a implementação da técnica mostrou-se mais restritiva, e pode acabar sendo um fator determinante na escolha de uma das técnicas.

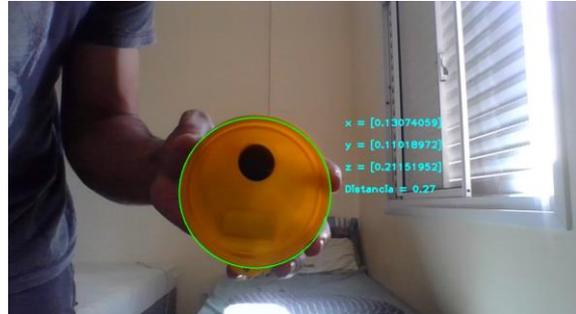


Figura 2: Pose estimada com a visão mono



Picture 3: Estimativa de profundidade com a visão estéreo

## Conclusões

As estimativas de profundidade utilizando as técnicas de visão mono e estéreo se mostraram viáveis e satisfatórias, e ambos os métodos foram capazes de realizar as estimativas em tempos consideravelmente bons (aproximadamente 60 milissegundos).

A técnica de visão mono, entretanto, necessita de uma instrumentação muito mais simples, pois faz o uso de apenas uma câmera e não apresenta muitas restrições quanto à escolha desta câmera.

Por sua vez, a técnica de visão estéreo apresenta algumas restrições na seleção da câmera. As principais restrições são: as distâncias focais das câmeras devem ser iguais e a distância entre as câmeras deve ser conhecida e se manter igual durante todo o processo.

Portanto, como ambas as técnicas mostraram resultados semelhantes em tempos de execução parecidos, opta-se por escolher a técnica que proporciona maior facilidade na instrumentação e criação do código. Por conta disso, conclui-se que a implementação da

técnica de visão mono mostra-se mais viável que a estéreo.

## Agradecimentos

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à Professora Máira Martins da Silva pela sua orientação valiosa, apoio, paciência e solicitude ao longo deste projeto de pesquisa. Sua mentoria foi essencial para o desenvolvimento e sucesso dessa Iniciação Científica.

Também desejo reconhecer a Universidade de São Paulo, por proporcionar meu preparo acadêmico e fornecer ambiente e estrutura educacional propícia para esse projeto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa.

Por fim, mas não menos importante, agradeço aos meus amigos, que me acompanharam nessa jornada acadêmica. Eles foram fontes de inspiração, diversão e conforto. Sem eles, eu jamais teria chegado até aqui.

Este trabalho é dedicado a todos estes.

## Referências

- [1] BARBOSA, A. S.; SILVA, M. M. da. Macro fiber composite-actuated soft robotic fish: A gray box model-predictive motion planning strategy under limited actuation. *Soft Robotics*, Mary Ann Liebert Inc, mar. 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1089/soro.2022.0061>><<https://doi.org/10.1089/soro.2022.0061>>
- [2] OPENCV modules. 2022. Acessado em 14 Fev. 2023. Disponível em: <<https://docs.opencv.org/4.7.0/>><<https://docs.opencv.org/4.7.0/>>
- [3] NIELSEN, N. *OpenCV Python Tutorial and Projects*. 2022. Acessado em 27 Mar. 2023. Disponível em: <[http://w3techs.com/technologies/overview/content\\_language/all](http://w3techs.com/technologies/overview/content_language/all)><[http://w3techs.com/technologies/overview/content\\_language/all](http://w3techs.com/technologies/overview/content_language/all)>
- [4] NETWORK, I. S. *Introduction to Computer Vision and Image Processing*. 2023. Acessado em 12 Fev. 2023. Disponível em: <<https://www.coursera.org/learn/introduction-computer-vision-watson-opencv>><<https://www.coursera.org/learn/introduction-computer-vision-watson-opencv>>
- [5] NEDEVSKI, S. Camera calibration error analysis in stereo measurements. 2017. Acessado em 14 Fev. 2023.
- [6] RONDA, J. I. *Geometrical Analysis of Polynomial Lens Distortion Models*. [S.l.: s.n.], 2018. Acessado em 17 Fev. 2022.
- [7] CAMERA Calibration. 2023. Acessado em 27 Mar. 2023. Disponível em: <[https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial\\_py\\_calibration.html](https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html)><[https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial\\_py\\_calibration.html](https://docs.opencv.org/4.x/dc/dbb/tutorial_py_calibration.html)>
- [8] DETECTION of ArUco Boards. 2023. Acessado em 27 Mar. 2023. Disponível em: <[https://docs.opencv.org/4.x/db/da9/tutorial\\_aruco\\_board\\_detection.html](https://docs.opencv.org/4.x/db/da9/tutorial_aruco_board_detection.html)><[https://docs.opencv.org/4.x/db/da9/tutorial\\_aruco\\_board\\_detection.html](https://docs.opencv.org/4.x/db/da9/tutorial_aruco_board_detection.html)>
- [9] DETECTION of CharUco Boards. 2023. Acessado em 27 Mar. 2023. Disponível em: <[https://docs.opencv.org/3.4/df/d4a/tutorial\\_charuco\\_detection.html](https://docs.opencv.org/3.4/df/d4a/tutorial_charuco_detection.html)><[https://docs.opencv.org/3.4/df/d4a/tutorial\\_charuco\\_detection.html](https://docs.opencv.org/3.4/df/d4a/tutorial_charuco_detection.html)>
- [10] BURGER, W. *Zhang's Camera Calibration Algorithm: In-Depth Tutorial and Implementation*. [S.l.], 2016. Acessado em 20 Fev. 2023. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/303233579\\_Zhang's\\_Camera\\_Calibration\\_Algorithm\\_InDepth\\_Tutorial\\_and\\_Implementation](https://www.researchgate.net/publication/303233579_Zhang's_Camera_Calibration_Algorithm_InDepth_Tutorial_and_Implementation)><[https://www.researchgate.net/publication/303233579\\_Zhang's\\_Camera\\_Calibration\\_Algorithm\\_InDepth\\_Tutorial\\_and\\_Implementation](https://www.researchgate.net/publication/303233579_Zhang's_Camera_Calibration_Algorithm_InDepth_Tutorial_and_Implementation)>
- [11] ZHANG, Z. *A Flexible New Technique for Camera Calibration*. 1998. Acessado em 17 Fev. 2022. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/tr9871.pdf>><<https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/tr98-71.pdf>>
- [12] PERSPECTIVE-N-POINT (PnP) pose computation. 2023. Acessado em 27 Mar. 2023. Disponível em: <<https://docs.opencv.org/4.x/d5/d1f/calib3dsolvePnP.html>><<https://docs.opencv.org/4.x/d5/d1f/calib3dsolvePnP.html>>

## Sistema de comunicação entre neuronavegador e robô neurocirúrgico baseado em ROS

José Carlos Andrade do Nascimento

Prof. Dr. Glauco A. P. Caurin, Paulo H. Polegato

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

[josecarlos.101@usp.br](mailto:josecarlos.101@usp.br), [gcaurin@sc.usp.br](mailto:gcaurin@sc.usp.br), [paulopolegato@usp.br](mailto:paulopolegato@usp.br)

### Objetivos

Dado o procedimento médico SEEG (estéreo-eletroencefalografia) [1] no contexto da robótica aplicada a ambientes cirúrgicos, o projeto objetivou o desenvolvimento da comunicação do braço robótico *KUKA iiwa 14* com o *software open source 3D Slicer*, usado para pesquisas médicas auxiliadas pela tecnologia [1], visando transformá-lo em um neuronavegador com uma arquitetura em ROS (Robot Operating System) e comunicação TCP. Além disso, o projeto foi responsável por aplicar métodos de corregristo fiducial com o intuito de relacionar as bases das coordenadas do espaço virtual do *3D Slicer* com o espaço físico do robô.

### Métodos e Procedimentos

O projeto se passou no laboratório AeroTECH, localizado no campus 2 da USP de São Carlos, e faz parte do Projeto Cirurgia, que conta com diversos projetos relacionados que buscam, em conjunto, realizar uma simulação do procedimento com o braço robótico do laboratório.

Quanto à comunicação, a linguagem escolhida foi Python 3, devido às suas aplicações do paradigma orientado a objetos. Foram desenvolvidos módulos individuais que são importados por outras partes do projeto e, principalmente, pela interface desenvolvida

pelo laboratório como um *add-on* para o *3D Slicer*, sendo facilmente integrável com a arquitetura do laboratório. Quanto às tecnologias utilizadas, foi usado a biblioteca *pyigtl*, desenvolvida por Andras Lasso [3], um dos principais desenvolvedores do *software* em questão. Esta biblioteca é responsável por abstrair a transmissão de dados médicos por dispositivos na rede local, como matrizes, pontos, imagens e afins, usando o protocolo *OpenIGTL* [4], padronizado para a troca de dados entre dispositivos em ambientes médicos. Sua implementação foi simples e permitiu com que partes separadas da interface se comuniquem sem perda de informação.

Na etapa do corregristo, é necessário a coleta de 3 pontos: duas têmeoras e um nasio, responsáveis por fixar uma base no sistema de coordenadas correspondentes. Isso deve ser feito, como é instruído na interface desenvolvida pelo laboratório, tanto no programa quanto no espaço físico. Desse modo, a aplicação desenvolvida faz a coleta desses pontos e realiza o processo de *registration*, que, através do método ICP (*Iterative Closest Point*) [5] gera uma matriz de transformação homogênea que, ao ser usada para transformar um ponto qualquer na base do *software*, gera seu correspondente no espaço real

Já na etapa de operação, o usuário seleciona dois pontos da reconstrução no *software*, sendo estes o ponto de entrada e o ponto alvo,

que representam a posição e orientação do eletrodo. Esses dados são então transmitidos para o nó *commander* em ROS que é responsável por intermediar a comunicação com o robô.

A arquitetura geral deste projeto consiste no diagrama apresentado na figura [1].

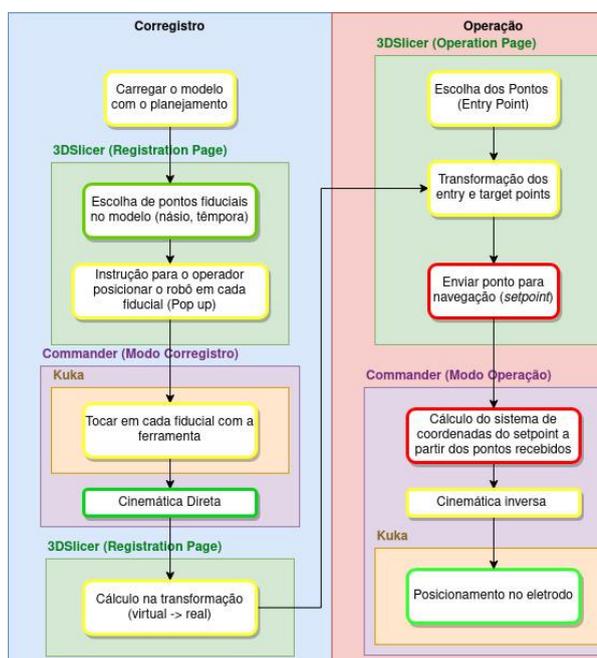


Figura 1 - Diagrama de funcionamento da etapa de corregristo e operação.

## Resultados

A implementação da comunicação na arquitetura do laboratório gerou resultados positivos e nos permitiu realizar testes para validar o projeto como um todo, concretizando etapas individualmente. Entretanto, por ser uma biblioteca recente e com um único desenvolvedor, o *pyigtl* ainda conta com alguns problemas de estabilidade de conexão, o que não pode acontecer em um ambiente cirúrgico. Logo, um dos próximos passos do laboratório é o *neurolink*, uma frente voltada para o desenvolvimento de uma rede *open source*

customizada e própria do laboratório, que atenda às suas necessidades específicas.

Quanto ao processo de corregristo, foi possível validar seu funcionamento, fisicamente e com o cálculo de seu erro através do TRE e FRE [6], contando com uma precisão positiva. Entretanto, devido à falta de ferramentas necessárias para seu teste, não foi possível realizar nenhum teste de precisão real com o braço robótico. Logo, uma das próximas etapas quanto ao corregristo seria realizar testes de precisão com a produção de novas ferramentas para o laboratório.

## Conclusões

Dado os testes realizados com a participação de integrantes do HCFM (Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina), pode-se concluir que o Projeto Cirurgia tem um potencial promissor, uma vez que já ocorreu uma simulação das três etapas do processo: planejamento, corregristo e operação. Embora haja partes a serem repensadas e novas frentes a serem criadas, o projeto apresentou resultados com projeções positivas.

## Referências

- [1] CENTENO, R. S. et al. Estereoeletroneurografia na era da cirurgia guiada por imagem. pt. **Journal of Epilepsy and Clinical Neurophysiology**, scielo, v. 15, p. 178–183, dez. 2009. ISSN 1676- 2649. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-2649200900040008>
- [2] 3D Slicer image computing platform. 2023. Disponível em: [www.slicer.org](http://www.slicer.org)
- [3] ANDRAS Lasso github page, one of the 3D Slicers core developer. 2023. <https://github.com/lassoan>
- [4] OPENIGTLINK protocol. 2023. Disponível em: <http://openigtlink.org/>
- [5] XIANG GAO, T. Z. - Introduction to Visual SLAM From Theory to Practice. [S.l.: s.n.], 2021.



[6] REGISTRATION Erros - TRE and FRE with python examples. 2023. Disponível em: <[http://insightsoftwareconsortium.github.io/SimpleTK-Notebooks/Python\\_html/68\\_Registration\\_Errors.html](http://insightsoftwareconsortium.github.io/SimpleTK-Notebooks/Python_html/68_Registration_Errors.html)>. (Acessado em: 9 de set de 2023).

# UTILIZAÇÃO DO CONTROLADOR ILQR PARA NAVEGAÇÃO DE ROBÔS MÓVEIS 4WD EM CAMPOS AGRÍCOLAS

Francisco Affonso Pinto

Matheus Gasparino Valverde

Marcelo Becker

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

[francisco.affonso02@usp.br](mailto:francisco.affonso02@usp.br); [mvalve2@illinois.edu](mailto:mvalve2@illinois.edu); [becker@sc.usp.br](mailto:becker@sc.usp.br)

## Objetivos

A navegação de robôs móveis em terrenos agrícolas apresenta desafios significativos devido à natureza acidentada desses ambientes. Nessas condições, a busca por trajetórias ideais se destaca como uma estratégia altamente eficaz, pois permite avaliar tanto a autonomia do robô quanto a suavidade de sua operação.

Nesse contexto, o controlador iLQR (*iterative linear quadratic regulator*) emerge como uma escolha altamente promissora. Este controlador é o resultado de um problema de otimização, especialmente adequado para lidar com sistemas não lineares. Não sendo muito explorado na literatura, é de grande interesse avaliar o desempenho do controlador com métodos difundidos.

## Métodos e Procedimentos

No contexto de um sistema de navegação completo, o controlador desempenha um papel crucial ao receber um plano de trajetória e, em seguida, relacioná-lo com o estado estimado atual do robô, a fim de gerar ações de controle para execução da trajetória planejada. Para implementar o controlador iLQR e cumprir essa tarefa, é necessário seguir várias etapas para

definir o problema de otimização e compreender como ele gera ações de controle.

Nesse trabalho, foi utilizado o robô TerraSentia, cedido pela *EarthSense*, por se tratar de um robô com um sistema de tração independente nas quatro rodas (4WD) específico para aplicações no campo.



Figura 1: TerraSentia

A dinâmica do robô pode ser expressa de forma discreta e não linear como desenvolvido para robôs móveis 4WD em [1]:

$$e_{(k+1)} = f(e_k, u_k) = A_k e_k + B_k u_k \quad (1)$$

onde,  $A_k$  e  $B_k$  são derivadas do modelo.

Com isso, podemos definir a função de custo quadrática linear que será utilizada:

$$J = \frac{1}{2} \sum e_k^t Q_k e_k + u_k^t R_k u_k \quad (2)$$

onde,  $Q_k$  e  $R_k$  são as matrizes de custo.

Para concluir o problema de otimização, apresentamos o *cost-to-go* para o estado final:

$$V_n(e_N) = \frac{1}{2} e_N^T Q_f e_N \quad (3)$$

onde,  $Q_f$  é a matriz de custo final.

Após a formulação do problema, podemos descrever como o iLQR emprega a programação dinâmica em suas etapas de *backward* e *forward pass*, para determinar a ação de controle; tendo a escolha das matrizes de peso para ajustar o comportamento do controlador[2].

No estágio *backward*, o algoritmo calcula iterativamente os gradientes da função de custo em relação aos estados e controles.

No *forward pass*, o algoritmo simula a trajetória resultante das ações de controle previamente calculadas, computando o custo total ao longo do horizonte de tempo.

## Resultados

Para simular o sistema do robô, foi utilizado um ambiente no Gazebo, com o desenvolvimento de todos os sistemas no ROS (Robot Operating System).

Com o objetivo de isolar variáveis de outras seções de um sistema de navegação, os alvos foram escolhidos arbitrariamente e não foi utilizado estimador de estado.

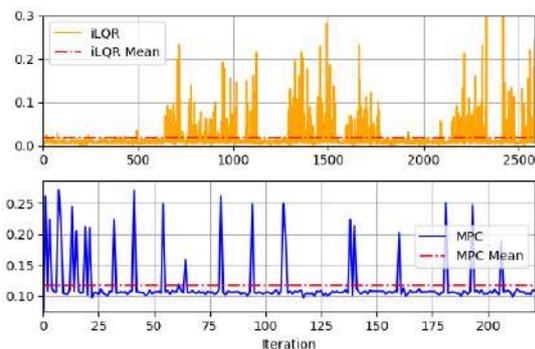


Figura 2: Gasto computacional do iLQR e MPC

A fim de determinar em quais situações o iLQR se revela a melhor opção, realizou-se uma comparação dos seus resultados com os do MPC (*model predictive control*), conforme detalhado em [3].

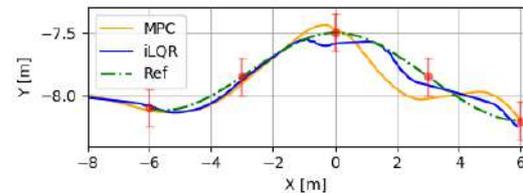


Figura 3: Resultados da trajetória do iLQR

## Conclusões

Com base nos resultados apresentados, fica evidente que o iLQR proporciona trajetórias satisfatórias para aplicações em ambientes agrícolas. No entanto, é importante notar que o tempo necessário para percorrer essas trajetórias tende a ser maior em comparação com controladores mais robustos, como o MPC. Por fim, o iLQR emerge como uma alternativa atraente em situações onde há restrições de *hardware*.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro concedido através da Bolsa de Iniciação Científica (2022/03339-8).

## Referências

- [1] E. Kayacan and G. Chowdhary, "Tracking error learning control for precise mobile robot path tracking in outdoor environment," *CoRR*, vol. abs/2103.11282, 2021.
- [2] B. E. Jackson, "Al-ilqr tutorial," 2019.
- [3] F. A. Pinto, F. Tommaselli, M. V. Gasparino, and M. Becker, "Navigating with finesse: Leveraging neural network-based lidar perception and ilqr control for intelligent agriculture robotics," in *SBR-LARS 2023*, oct 2023.

## Aplicativo de monitoramento e análise de dados para o diagnóstico de crises epiléticas

[Gabriele Namie Okabayashi](#)

Prof. Dr. Glauco A. P. Caurin, Paulo H Polegato

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

[gabinamieo@usp.br](mailto:gabinamieo@usp.br), [paulopolegato@usp.br](mailto:paulopolegato@usp.br), [gcaurin@sc.usp.br](mailto:gcaurin@sc.usp.br).

### Objetivos

O diagnóstico da epilepsia é difícil de ser realizado atualmente, devido aos sinais que detectam o seu comportamento serem expostos apenas em estados ictais, ou seja em momentos próximos e durante as crises epiléticas[1]. O exame mais tradicional de ser aplicado é o EEG (Eletroencefalografia), entretanto devido a baixa frequência de convulsões em epiléticos, um número médio de 3.5 vezes durante 1 ano[3], é complicada a captura espontânea delas durante o exame. Nos últimos anos tem crescido o número de *weareble devices* no tratamento e diagnóstico da epilepsia.

Pensando nisso, esse projeto visa implementar um sistema de aquisição e armazenamento em nuvem de dados recebidos por uma de *weareble device* de predição de crises epiléticas, no formato de um aplicativo de *smartphone*.

Dessa maneira, almeja-se facilitar a coleta de dados em momentos de crises epiléticas. Para que, o médico possa acessá-los posteriormente e encaminhar o paciente ao tratamento mais adequado.

Como objetivo secundário, o projeto visa implementar filtros aos dados eletrofisiológicos e motores recebidos, utilizando modelos de *machine learning*

### Métodos e Procedimentos

Em relação aos métodos, o *weareble device* utilizado é um dispositivo em formato anatômico de pulseira[2] já desenvolvido pelo laboratório pertencente ao projeto.

A integração do sistema é feita com o AWS *services* tanto na parte de aquisição como armazenamento dos dados. O desenvolvimento do App funcionará tanto para Android como IOS e contará com três telas principais: **conexão à dispositivo por Bluetooth, visualização em tempo real dos dados e login deles pelo paciente.** Nisso optará por uma linguagem orientada a objetos e multiplataforma, como *Kotlin* ou *Java*.

Além disso, os dados motores e eletrofisiológicos serão tratados por filtros e modelos de algoritmos treinados, fornecendo opções de filtragem do sinal ao médico.

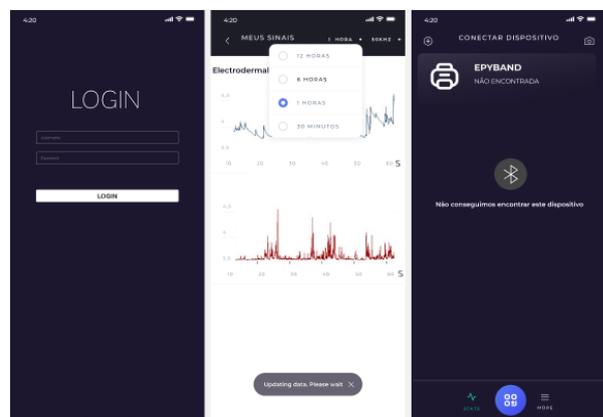


Figura 1: Esquemático do aplicativo  
Fonte: autor

## Resultados

Devido ao projeto ainda estar em seu começo, focou-se na qualificação e estudo nessas áreas, em primeiro plano. Nisso, um curso de machine learning e de AWS services foram realizados.

Além disso, participou de uma competição de predição de crises epilépticas por modelos de machine learning, onde recebeu-se dados reais coletados por eletrodos em ratos de sinais LFP. Obteve-se no grupo participante segundo lugar e eficácia do modelo de 56%. Essas experiências foram essenciais para a qualificação nessa área.

Espera-se que o aplicativo possa ser usado por médicos e pacientes com um design acessível e intuitivo a ambas as partes. Nesse sentido, por meio de uma parceria com o CIREP-Centro de Cirurgia de Epilepsia, do Hospital das clínicas de Ribeirão Preto, estão sendo realizadas reuniões frequentes para a melhor modelagem e implementação do App.

## Conclusões

O projeto está atualmente na fase de estudos e avaliação. A incorporação de um aplicativo para *wearable devices* possui inúmeras aplicações para o diagnóstico e tratamento da epilepsia, de forma não invasiva. Desse modo, após implementar o sistema do aplicativo o projeto poderá ser expandido adicionando outros recursos. Ademais, para poder ser coletado dados em pacientes reais será preciso ser aceito pelo comitê de ética o uso da pulseira, que está em encaminhamento.

## Referências

- [1]STABA, R. J.; STEAD, M.; WORRELL, G. A. Electrophysiological biomarkers of epilepsy. *Neurotherapeutics*, Springer, v. 11, p. 334–346, 2014.
- [2]ARAKI, K. Reconstrução completa da pose humana através de sensores inerciais para monitoramento de pacientes com epilepsia. In. ENGEL JR, J. et al. *Epilepsy biomarkers*. *Epilepsia*, Wiley Online Library, v. 54, p. 61–69, 2013.
- [3]ORGANIZATION, W. H. et al. *Atlas: epilepsy care in the world*. [S.l.]: World Health Organization, 2005.

# DESENVOLVIMENTO DE SENSOR EDA PARA CLASSIFICAÇÃO DE CRISES EPILEPTICAS

João Vitor Abreu e Oliveira

Prof. Dr. Glauco A. P. Caurin, Paulo H Polegato

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

[joaov.ao@usp.br](mailto:joaov.ao@usp.br), [paulopolegato@usp.br](mailto:paulopolegato@usp.br), [gcaurin@sc.usp.br](mailto:gcaurin@sc.usp.br).

## Objetivos

É apontado por Mellers [1] que aproximadamente 20% dos pacientes que comparecem em clínicas especializadas, com convulsões, não tem epilepsia, a maioria apresenta crises dissociativas, também chamadas de crises não-epiléticas. O método mais utilizado para classificar os tipos de crise é o eletroencefalograma (EEG), impossibilitando que portadores de epilepsia possam realizar testes com praticidade.

O sensor EDA (Electrodermal Activity), mede a atividade eletrodermal da pele. As medições são coletadas por meio de eletrodos que aplicam uma pequena diferença de potencial na pele, retornando a condutância de unidade Siemens [S]. As medições apresentam variações conforme há secreções na região, variando a condutância. De acordo com Poh [2] a condutância da pele apresenta variações capazes de auxiliar nas classificações de crises epiléticas.

O projeto tem como objetivo a construção de um modelo de sensor EDA de baixo custo, possibilitando a integração do mesmo em um dispositivo com microcontrolador, responsável pelo tratamento e armazenamento dos dados na nuvem.

Secundário ao objetivo principal, é fusão de dados com a reconstrução de pose humana de Araki [3], para predição e classificação de crises epiléticas de maior eficácia.

## Métodos e Procedimentos

O projeto foi realizado em colaboração com o Laboratório Aeronáutico de Tecnologias (AeroTech) e o Centro de Cirurgia de Epilepsia (CIREP) do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto (HCFMRP).

O trabalho se inicia e se mantém com a constante revisão da literatura disponível, utilizada para aprimorar o dispositivo, técnicas e validar conclusões encontradas.

No estudo piloto, foi simulado o circuito de EDA baseado no modelo de Cantara [4], no software Proteus, realizando alterações em alguns componentes para o funcionamento do sensor no pulso.

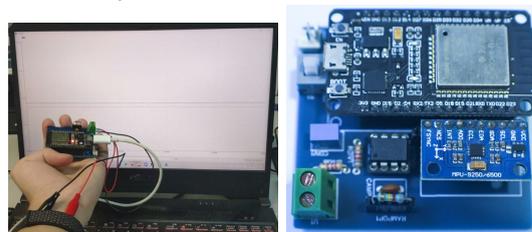


Figura 1: Protótipo final do projeto. Incluindo o EDA e o sensor inercial em uma única placa, com o microcontrolador ESP32 já embutido (Imagem elaborada pelo autor).

Com a compra dos componentes foram realizados testes práticos na protoboard. Para aprimorar o circuito, foi confeccionada uma placa de circuito impresso utilizando o software EasyEDA e encomendando as placas pela fabricante JLCPCB. O sensor inercial do projeto [3] foi incluído na placa. A confecção dos eletrodos foi feita com eletrodos de

eletrocardiograma de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl).

Utilizando o próprio conversor analógico digital da ESP32, realizamos leituras da saída do sensor. O programa utilizou o sistema operacional FreeRTOS para organizar o processamento das tarefas realizadas pelo microcontrolador.

Configuramos um ambiente na nuvem, utilizando a plataforma Amazon Web Services, em que por meio do AWSIoT e AWSIoT Analytics, publicamos e armazenamos dados do sensor em tempo real na nuvem.

## Resultados

O dispositivo se limitou à uma área de 60x55mm, existindo possibilidade da redução de suas dimensões por meio da substituição de componentes PTH (*Pin Through Hole*) por SMD (*Surface Mount Device*).

Os eletrodos de ECG acrescentaram estabilidade às medições do dispositivo, junto à PCB prototipada pelo site JLCPCB.

A ESP32, escolhida pelo wifi e bluetooth integrados em seu SoC, demonstrou ter um ADC inadequado para a aplicação, extraindo valores instáveis e tendo uma sensibilidade menor do que a esperada. É recomendado a utilização de um ADC externo para o EDA. Com a utilização do wifi, foi possível a publicação dos dados no AWS, tornando o dataset acessível pela nuvem em tempo real.



Figura 2: Gráfico de medições do sensor EDA (eletrodos no pulso), tendo a condutância em micro siemens ( $\mu\text{S}$ ) por amostras (Imagem elaborada pelo autor).

O circuito foi projetado para realizar medições no pulso do paciente, sua medição de condutância tem um range de  $0\mu\text{S}$  até  $3.24\mu\text{S}$ . Durante testes, foi perceptível que o

usuário do sensor, ao entrar em contato com o chão, provoca uma interferência nas medições que podem ser corrigidas com um circuito isolador.

## Conclusões

Foi desenvolvido o sensor EDA, acoplado à pulseira para predições de crises epiléticas. O dispositivo obtido contém a fusão de dados com o sensor inercial, como descrito por Tang [5], o uso de um sensor de atividade eletrodermal para predições é válido ao se combinar com medições de outra natureza.

O dispositivo final tem baixo custo de manufatura e está pronto para realização dos primeiros testes clínicos, em colaboração com o Centro de Cirurgia de Epilepsia (CIREP) do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto (HCFMRP), aguardando a autorização do comitê de ética.

## Referências Bibliográficas

- [1] Mellers, J. D. C. (2005). The approach to patients with “non-epileptic seizures”. *Postgraduate medical journal*, 81(958), 498-504.
- [2] POH, Ming-Zher et al. Continuous monitoring of electrodermal activity during epileptic seizures using a wearable sensor. In: 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology. IEEE, 2010. p. 4415-4418.
- [3] ARAKI, K. Reconstrução completa da pose humana através de sensores inerciais para monitoramento de pacientes com epilepsia. Departamento De Engenharia Aeronáutica, Escola De Engenharia De São Carlos Universidade De São Paulo, 2021.
- [4] CANTARA, A. D.; CENIZA, A. M. Stress sensor prototype: Determining the stress level in using a computer through validated self-made heart rate (hr) and galvanic skin response (gsr) sensors and fuzzy logic algorithm. *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 5, n. 03, 2016.
- [5] TANG, Jianbin et al. Seizure detection using wearable sensors and machine learning: Setting a benchmark. *Epilepsia*, 2021.

## Esfera de simulação de albedos para medidas espectrofotométricas em óculos de sol

Pedro Teixeira Xavier da Silva

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liliane Ventura

EESC - Universidade de São Paulo

pedrotxs@usp.br

### Objetivos

Esta pesquisa tem como objetivo a identificação e a proposição de uma solução para uma lacuna nas normas nacionais e internacionais relacionadas aos óculos de sol. Os olhos humanos são suscetíveis aos efeitos prejudiciais da radiação ultravioleta, e, nesse contexto, os óculos de proteção solar são amplamente empregados como uma medida de defesa contra os raios solares UV. Além disso, a norma NBR ISO 12312-1:2018 (alinhada com a ISO europeia) foi estabelecida com a finalidade de garantir, por meio de testes, a eficácia da proteção contra a radiação UV proporcionada pelas lentes dos óculos de sol. No entanto, é importante ressaltar que esses testes estão atualmente restritos às lentes, enquanto as armações dos óculos são avaliadas apenas em termos de sua resistência mecânica. Portanto, foi desenvolvido um protótipo de experimento que permite a quantificação da eficácia da proteção oferecida pelas armações dos óculos de sol. Essa abordagem visa aprimorar a segurança dos usuários desses produtos, contribuindo, assim, para a promoção da saúde pública e o bem-estar da sociedade.

### Métodos e Procedimentos

O protótipo é constituído por uma esfera de isopor preenchida internamente com fitas de LEDs, que são controladas de forma independente por octantes usando um microcontrolador Arduino. Isso possibilita a simulação da luz solar superior e, na parte

inferior, a dispersão retro refletida de luz para diferentes tipos de superfícies, como areia, água e neve. Esse controle ocorre devido aos circuitos de condicionamento, que por meio de sinais de até 3V gerados pelas saídas analógicas do microcontrolador, aciona os Leds variando a tensão de 5V a 13V, ao utilizar amplificadores de tensão LM358 e de corrente TIP122.

A medida da proteção contra a luz retro espalhada que atinge o olho é realizada utilizando sensores de intensidade de luz OPT101. Essa medição compara a intensidade de luz capturada pelo sensor localizado no olho de um manequim com os óculos de sol e a intensidade detectada pelo sensor posicionado na parte superior da cabeça, evitando interferências de ruídos no sensor.



Figura 1: Protótipo para medição de proteção das armações de óculos de sol.

O acionamento do sistema e a aquisição dos resultados são realizados pelo usuário por meio de uma tela *touchscreen*, o que possibilita o protótipo ser usado no *campus* da Universidade

e em feiras para a divulgação da pesquisa e conscientização da população sobre a importância da proteção contra a radiação UV. Por meio da tela, o usuário pode selecionar o tipo de céu e ambiente desejados, configurando assim a intensidade de cada octante da esfera. Além disso, há a opção de utilizar informações em tempo real de São Carlos, por meio de um sensor UV SKU440 localizado no Departamento de Engenharia Elétrica, que se comunica com o sistema através de Xbees.

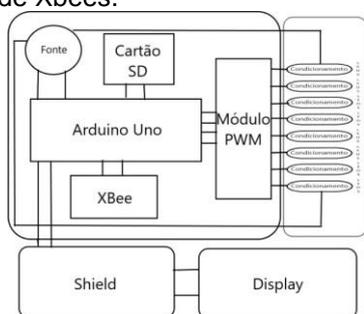


Figura 2: Diagrama de Blocos do sistema. Ademais, o sistema passa por um processo de calibração, utilizando linhas de base com os LEDs desligados e ligados sem os óculos de sol. Esse procedimento estabelece os valores de 0% e 100% de proteção, permitindo uma referência precisa para as medições. Por fim, baseado na quantidade relativa de luz retro espalhada medida, o resultado da proteção é exibido na tela.

## Resultados

Os resultados foram obtidos apenas para a proteção das armações dos óculos de sol, pois as lentes foram tampadas utilizando um material preto e opaco, eliminando essa variação. O sistema apresenta medidas de boa correlação (10x repetidas por medição).

Tabela 1: Resultados do bloqueio de luz de diferentes armações de óculos de sol

Amostra	Bloqueio de Luz (%)
01	80,34
02	79,83
03	78,09
04	79,92
05	80,41
06	78,34
07	79,99
08	79,08

09	70,02
10	78,51
11	78,59
12	68,34
13	75,66
14	78,87
15	69,41
16	75,25

As armações testadas permitiram apresentarem um bloqueio de luz entre 68,34% - 80,41%.

## Conclusões

O protótipo mostrou-se eficiente para medidas do bloqueio de luz para a geometria das armações de óculos de sol. Estes resultados preliminares são inéditos e mais medidas devem ser realizadas, nas armações dos 369 óculos de sol disponíveis no LIO-EESC, para se ter um perfil do bloqueio que as armações dos óculos vendidos no Brasil apresenta.

Em adição, o protótipo desenvolvido é um sistema embarcado para facilitar o transporte, o que garante a divulgação da pesquisa em diferentes oportunidades. O protótipo serve como educação popular sobre a importância da escolha das armações dos óculos de sol para proteção ocular contra os raios UV.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP (2021/12240-2) pelo apoio e financiamento da pesquisa.

## Referências

- [1] L. Ventura, M. Masili, "Bioengenharia ocular – Os óculos de sol e suas normas". 1st ed., 2022.
- [2] ABNT NBR ISO 12312-1:2018 Proteção dos olhos e do rosto – Óculos para proteção solar e óculos relacionados Parte 1: Óculos para proteção solar para uso geral, 2018.
- [3] M. Masili, H. Schiabel, and L. Ventura, Contribution to the radiation protection for sunglasses standards, Radiat. Prot. Dosimetry 164(3), 435 (2015).D
- [4] M. Masili, L. Ventura, Equivalence between solar irradiance and solar simulators in aging tests of sunglasses. Biomed Eng Online. 2016;

# INTERFACE DE PLANEJAMENTO, CORREGISTRO E OPERAÇÃO PARA NEURONAVEGADOR APLICADO A NEUROCIRURGIA

Eduardo Morelli Fares

Prof. Dr. Glauco A. P. Caurin, Paulo H. Polegato

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

[eduardo.fares@usp.br](mailto:eduardo.fares@usp.br), [gcaurin@sc.usp.br](mailto:gcaurin@sc.usp.br), [paulopolegato@usp.br](mailto:paulopolegato@usp.br)

## Objetivos

O recente trabalho busca unir os benefícios da robótica colaborativa com as necessidades médicas, no procedimento conhecido como estereo-eletroencefalografia (SEEG), com a finalidade de melhorar a precisão, acurácia e agilidade, [1]. Para tanto, foi desenvolvida uma interface com o objetivo de permitir que o usuário pudesse planejar a cirurgia e controlar o robô durante o processo de operação. Para atingi-lo, foi implementado um novo módulo em formato de extensão ao software *open-source* chamado *3D Slicer*, o qual fornece ferramentas de visualização e análise de conjuntos de dados médicos, [3].

Essa pesquisa desenvolveu uma interface, cuja a construção se divide em planejamento, corregristo e operação. Os testes foram feitos no laboratório AeroTech, o qual dispõe de um *Kuka® LBR liwa 14*, fornecido pela Universidade de São Paulo.

## Métodos e Procedimentos

O desenvolvimento da interface foi feito a partir de duas bibliotecas principais, sendo a primeira conhecida como *Qt* [5], voltada para construção de interfaces gráficas de usuário e a segunda, chamada de *VTK* [6], responsável por representar objetos tridimensionais. As

etapas seguidas foram feitas de acordo com o diagrama da figura 1. Vale ressaltar que a imagem mostra o procedimento como um todo, indo além dos campos propostos por esse trabalho.

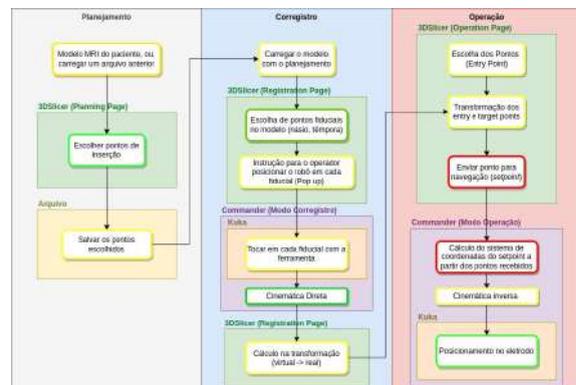
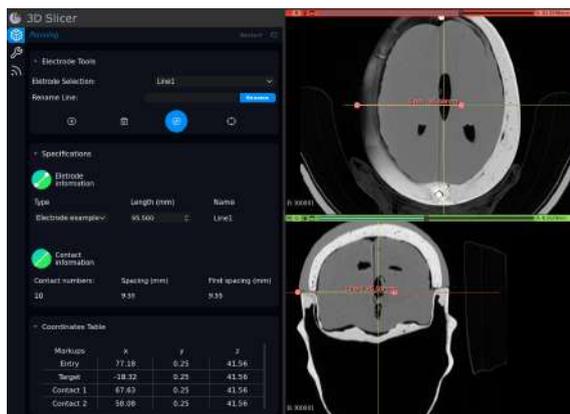


Figura 1: Diagrama da etapa dos procedimentos

A primeira seção da interface, Figura 2, foi desenvolvida para satisfazer as necessidades pré-operatórias de mapeamento e planejamento na inserção de eletrodos, como consta no diagrama da Figura 1. Ela proporciona em um mesmo ambiente uma maneira de adicionar marcações enquanto se analisa o modelo 3D gerado a partir dos exames de imagens.

O corregristo, segunda aba da interface, apresenta a finalidade de alinhar

especialmente imagens e campos de pontos distintos. Algo essencial, dada a necessidade de controlar um robô a partir de um software, o qual não compartilha do mesmo espaço de coordenadas, [2, 4]. Neste procedimento ocorre a primeira interação entre os sistemas de controle do braço robótico e a interface, Figura 3.



**Figura 2: Aba de Planejamento.**

Por fim, a aba de operação foi responsável por coletar e enviar os pontos e as orientações necessárias para que o controle do robô o levasse à localização desejada.



**Figura 3: Corregistro.**

## Resultados

A interface foi desenvolvida para satisfazer as necessidades médicas, mas

também contribuir para um procedimento mais ágil, seguro e com melhores recuperações pós-cirúrgicas. Indo além, essa ferramenta foi construída em colaboração de profissionais envolvidos no procedimento SEEG, com a finalidade de ser intuitiva, de fácil e amplo acesso.



**Figura 4: Demonstração da interface em simulação.**

No estágio atual ela apresenta um *design* satisfatório, com alta aceitação pelos médicos presentes na simulação feita em conjunto da parceria do laboratório com a FMRP-USP. Figura 4.

## Conclusões

Esse projeto como um todo permitiu o aprendizado e integração com procedimentos médicos, de maneira a ampliar o repertório do conhecimento. Para atingir todos os objetivos foi necessário um aprofundamento na linguagem Python, o qual resultou na descoberta de novas bibliotecas, além é claro do contato com outras áreas do laboratório, as quais contribuíram nos conhecimentos de redes de computadores e dinâmica de sistemas robóticos.

## Referências Bibliográficas

- [1] T. Ginoya, Y. Maddahi e K. Zareinia. A Historical Review of Medical Robotic Platforms. 2021. doi: 10.1155/2021/6640031.
- [2] D. L. G. Hill, P. G. Batchelor, M. Holden e D. J. Hawkes. Physics in Medicine Biology Medical

image registration Medical image registration.  
2001. url: [www . iop . org / Journals /  
pbPll:S0031-9155](http://www.iop.org/Journals/pbPll:S0031-9155).

[3] FEDOROV, A. et al. **3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network**. Magnetic Resonance Imaging, Elsevier, v. 30, p. 1323–1341, 9 nov. 2012. ISSN 0730-725X. DOI: 10.1016/J.MRI.2012.05.001.

[4] R. D. S. de Pádua. **Corregistro de imagens aplicado à construção de modelos de normalidade de SPECT cardíaco e detecção de defeitos de perfusão miocárdica**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. doi: 10.11606/D.82.2012.tde-02052012-154125. Acesso em: 2023-08-19.

[5] Q. C. Ltd. «Qt for Python». Em: <https://doc.qt.io/qtforpython-6/>.

[6] SCHROEDER, W.; MARTIN, K.; LORENSEN, B. **The Visualization Toolkit: An Object-Oriented Approach To 3D Graphics**. [S.l.: s.n.], 2006. ISBN 9781930934191. Disponível em: . YU, H. et al. Characterizing Brain Signals for Epileptic Pre-ictal Signal Classification. [S.l.], 2021.

## MONITORAMENTO VIA OXÍMETRO PARA PREVENÇÃO DE MORTES SÚBITAS EM EPILEPSIA

**Luana Hartmann Franco da Cruz**

**Prof. Dr. Glauco A. P. Caurin, Paulo H. Polegato**

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

[luanahartmann@usp.br](mailto:luanahartmann@usp.br), [paulopolegato@usp.br](mailto:paulopolegato@usp.br), [gcaurin@sc.usp.br](mailto:gcaurin@sc.usp.br).

### Objetivos

A SUDEP (*Sudden Death in Epilepsy*) é um evento inesperado e repentino em pessoas com epilepsia, podendo ocorrer com ou sem convulsões visíveis. Durante esse evento, a atividade cardíaca e respiratória é drasticamente afetada, levando à morte imediata ou a um breve período de recuperação seguido de falha respiratória e parada cardíaca. Pesquisas indicam que a maioria dos casos de SUDEP está relacionada à apneia central pós-convulsões, sugerindo uma ligação entre a fisiopatologia da SUDEP, disfunções no sistema serotoninérgico e na regulação do dióxido de carbono no sangue. Esses mecanismos são fundamentais para a oxigenação sanguínea e a regulação da respiração, evidenciando a complexidade das interações entre o sistema nervoso central e a homeostase do oxigênio na SUDEP.

O projeto visa desenvolver hardware e software para medições cardiorespiratórias com um oxímetro, integrando ao dispositivo existente e estudando a prevenção da SUDEP. Serão feitos testes clínicos para avaliar o desempenho do sensor na oxigenação e na detecção de eventos críticos, com um sistema de alerta para baixos níveis de oxigenação.

Como objetivo secundário, o projeto será comparado com um sensor PPG em desenvolvimento paralelo, fornecendo informações valiosas sobre as métricas de saúde monitoradas e seus benefícios para pacientes com epilepsia.

### Métodos e Procedimentos

Em relação aos métodos, o sistema irá combinar um oxímetro com um microcontrolador, constituindo o hardware para as medições cardiorespiratórias. No âmbito do software, será utilizada a linguagem de programação C/C++ para assegurar o funcionamento adequado e a integração eficiente entre os componentes. Além disso, o sistema de alerta será projetado para incluir alertas sonoros e vibratórios, proporcionando múltiplas formas de notificação em situações críticas.

Paralelamente, está em andamento o desenvolvimento de um aplicativo que se integra ao sistema. Planeja-se uma integração entre o sistema de alerta com o aplicativo, potencializando as capacidades de prevenção e monitoramento da SUDEP, bem como aprimorando a experiência do usuário como um todo.

### Resultados

Embora o projeto ainda não tenha começado, espera-se que os resultados sejam bastante satisfatórios. A implementação do oxímetro permitirá uma monitorização mais abrangente das funções cardiorespiratórias durante crises epiléticas, proporcionando medições imediatas dos níveis de oxigênio no sangue e, possivelmente, contribuindo para a prevenção da SUDEP. Além disso, espera-se que o sistema de alerta detecte em tempo real sinais indicativos da SUDEP, permitindo intervenções rápidas por parte de cuidadores ou

profissionais de saúde para minimizar os riscos associados a essa condição trágica.

Handbook of Clinical Neurology, v. 189, p. 153–176, 2022. DOI: <10.1016/B978-0-323-91532-8.00012-4>.



Figura 1: Esquemático da execução do projeto  
Fonte: autor

## Conclusões

O projeto está atualmente na fase de estudos e avaliação. Os oxímetros em análise são da Maxim Integrated, e o microcontrolador promissor é o ESP32, devido ao seu baixo custo e capacidade de integração com WiFi. Essas escolhas estratégicas visam garantir a eficácia e viabilidade econômica do dispositivo para o monitoramento de pacientes com epilepsia, com o objetivo de contribuir para a prevenção da SUDEP e avanços na tecnologia de saúde no campo da epilepsia.

## Referências

- [1] KLOSTER, Robert; ENGELSKJØN, Torstein. Sudden unexpected death in epilepsy (SUDEP): a clinical perspective and a search for risk factors. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, BMJ Publishing Group Ltd, 1999. Disponível em: <<<https://jnnp.bmj.com/content/67/4/439>>>.
- [2] TERAN, Francisco A.; BRAVO, Esperanza; RICHERSON, George B. Sudden unexpected death in epilepsy: Respiratory mechanisms.

## Neurobot: Plataforma de Integração de Robótica e Neurocirurgia para Procedimentos de Eletrodos Profundos

Calvin Suzuki de Camargo

Glauco Augusto de Paula Caurin

Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos

[calvinssdcamargo@usp.br](mailto:calvinssdcamargo@usp.br), [gcaurin@sc.usp.br](mailto:gcaurin@sc.usp.br)

### Objetivos

O procedimento de introdução de eletrodos profundos refere-se a um procedimento médico no qual eletrodos são implantados no interior do cérebro de um paciente para monitorar a atividade cerebral ou para realizar estimulação cerebral profunda (DBS, na sigla em inglês) [1]. O projeto tem o objetivo de utilizar o manipulador robótico colaborativo *Kuka LBR Iiwa* e fornecer uma plataforma que integra robótica com neurocirurgia [2].

### Métodos e Procedimentos

A aplicação do robô conta com uma arquitetura completa para aplicação neurocirúrgica, i.e., todos os módulos necessários para o planejamento, registro e operação do processo de introdução de eletrodos profundos.

*Neurobot*<sup>1</sup> emprega os protocolos de comunicação *ROS (Robot Operating System)*, estabelecendo uma integração entre os *softwares* de visualização neurológica *3DSlicer* e a plataforma de operação da *Kuka* [3,4]. A concepção desta plataforma foi inspirada nas práticas cirúrgicas realizadas pela equipe médica do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto e engloba as seguintes etapas:

Primeiro, a identificação dos pontos-alvo no interior do cérebro e planejamento do ponto de entrada através da superfície cerebral. Segundo, o médico estabelece uma correlação entre três pontos virtuais e três pontos reais no paciente, a fim de determinar a transformação da base virtual para a base do robô colaborativo. E por fim, a seleção do ponto de entrada e subsequente movimento do robô até o ponto de operação.

### Resultados

Foi realizado uma simulação do sistema envolvendo todas as fases projetadas e a participação da equipe de desenvolvimento do laboratório e a equipe médica de Ribeirão Preto. A atividade demonstrou a integração completa de todas as partes do projeto e provou a viabilidade da pesquisa.



Figura 1: Simulação do projeto com capa estéril.

<sup>1</sup> Nome fantasia designado ao projeto.

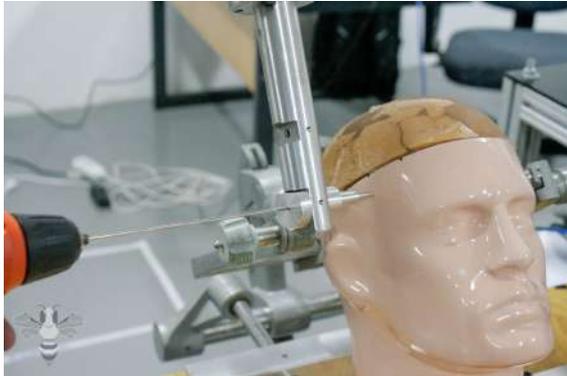


Figura 2: Vista detalhada da ferramenta de guia para a broca do crânio.

## Conclusões

O *Neurobot* representa uma solução completa para procedimentos neurocirúrgicos, abrangendo o planejamento, registro e execução da introdução de eletrodos profundos no cérebro. Utilizando protocolos de comunicação *ROS*, integra *software* de visualização neurológica (*3DSlicer*) e uma plataforma de operação *Kuka*. O trabalho apresenta uma simulação que integra todas as partes do projeto e confirmou a viabilidade da pesquisa. Isso sugere que o *Neurobot* tem potencial para melhorar significativamente a precisão e eficácia dos procedimentos neurocirúrgicos no futuro.

## Agradecimentos

Gostaríamos de externar nossa profunda gratidão aos engenheiros, estudantes de graduação e pós-graduação, bem como aos profissionais da saúde que colaboraram no projeto desde o ano de 2019. Esperamos impactar significativamente o campo da neurocirurgia com os futuros avanços do projeto e abrir espaço para novas linhas de pesquisa na área de neurologia, robótica e automação.

## Referências

[1] Denys, Damiaan, Matthijs Feenstra, and Rick Schuurman, eds. **Deep brain stimulation: a new frontier in psychiatry**. Springer Science & Business Media, 2012.

[2] KUKA. (2020). KUKA iiwa LBR 14. Retrieved from <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>

[3] Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Wheeler, R., & Ng, A. Y. (2009). **ROS: An open-source Robot Operating System**. In ICRA Workshop on Open Source Software (Vol. 3, p. 5).

[4] Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J. C., Pujol, S., ... & Kikinis, R. (2012). **3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network**. *Magnetic Resonance Imaging*, 30(9), 1323-1341.

# VISÃO COMPUTACIONAL BASEADA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA ANÁLISE AUTOMATIZADA DO ÍNDICE DE PLACA BACTERIANA EM IMAGENS ODONTOLÓGICAS

**João Antônio Evangelista Garcia**

**Orientador: Marcelo Andrade da Costa Vieira**

Universidade de São Paulo - USP

joaoevangelista@usp.br

## Objetivos

A doença periodontal crônica é caracterizada pela infecção bacteriana no biofilme dos tecidos moles que envolvem o dente e a falta de higiene bucal é uma das grandes causas.

O método preventivo mais eficaz para as doenças periodontais, atualmente, é o controle da placa bacteriana [1], que deve ser feito por um dentista ou pela própria pessoa, já que elimina os elementos patogênicos que colonizam a superfície dos dentes e causam a gengivite e a periodontite, que consistem na inflamação dos tecidos de sustentação do dente se diferenciando no fato da primeira ser reversível e a segunda poder ocasionar a perda total do dente [2].

Para mensurar a saúde bucal do paciente, são utilizados os índices de placa bacteriana, determinados por meio de um profissional da saúde a partir de dois índices de avaliação: o índice de placa visível (IPV), calculado entre a razão do número de faces com placa e o número total de faces, e o índice de placa corada (IPC), que se diferencia do anterior por dividir cada dente em 4 partes antes de identificar as faces com placa [3].

O objetivo do projeto é desenvolver um algoritmo capaz de calcular o índice de placa bacteriana de um paciente a partir de uma "selfie", ou seja, de uma imagem frontal de seus dentes, utilizando redes neurais e

processamento de imagem. Dessa forma, as pessoas conseguirão acompanhar diariamente a evolução da saúde bucal de forma rápida e fácil, servindo como motivação para evitar possíveis doenças periodontais [4].

## Métodos e Procedimentos

A primeira etapa do projeto consiste em fazer a segmentação dos dentes presentes em uma imagem frontal de um sorriso similar ao da figura 1 a seguir:



Figura 1: Imagem frontal de um sorriso

Com a segmentação dos dentes feita, o próximo passo é fazer a segmentação apenas das áreas com presença de placa bacteriana. Por fim, o índice utilizado no projeto é calculado apenas pela porcentagem de placa em relação à área total dos dentes.

Como foi dito anteriormente, a solução adotada para o projeto foi o uso de redes neurais

artificiais para as duas segmentações. Dessa forma, foi adotada uma arquitetura de rede neural convolucional chamada *UNET* [7], que foi treinada pelo método supervisionado a partir de um banco de imagens, formado por fotos de dentes de diversos pacientes. Além disso, para as repostas desejadas da rede para cada imagem de entrada, um dentista fez as máscaras ideais manualmente utilizando um software apropriado.

## Resultados

A segmentação dos dentes a partir de uma imagem frontal foi muito satisfatória, como pode ser observada na comparação entre a máscara feita manualmente e a obtida pela rede neural:



Figura 2: Máscara gerada pela segmentação da imagem da figura 1

Já para a segmentação da placa bacteriana, foi feita a comparação entre a porcentagem de placa em relação à área dos dentes para a máscara feita por um profissional, e a resposta da rede, como pode ser observado na figura 3.



Figura 3: Porcentagem de placa bacteriana obtida pela análise de um dentista (esquerda) e do treinamento da rede neural (direita) para a imagem da figura 1

## Conclusões

A segmentação dos dentes feita pela rede neural obteve um resultado muito satisfatório. O mesmo não aconteceu com a segmentação da placa bacteriana, já que houveram divergências entre os resultados obtidos para os índices. Logo, são necessários alguns métodos de processamento de imagem para serem aplicados antes do treinamento da rede, de modo a facilitar seu aprendizado.

## Referências

- [1] Laudenbach JM, Simon Z. Common dental and periodontal diseases: evaluation and management. *Med Clin North Am.* 2014 Nov;98(6):1239-60. doi: 10.1016/j.mcna.2014.08.002. Epub 2014 Oct 18. PMID: 25443675.
- [2] Hancock EB. Periodontal diseases: prevention. *Ann Periodontol.* 1996 Nov;1(1):223-49. doi: 10.1902/annals.1996.1.1.223. PMID: 9118259.
- [3] AZEVEDO, Camila Lindoni. Análise da utilização de "selfies"; na estimativa de índice de placa. 2021. Dissertação (Mestrado em Odontologia Forense e Saúde Coletiva) - Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. doi:10.11606/D.23.2021.tde-26082021-110547. Acesso em: 2022-05-18.
- [4] Stefanou LB, Sefo DL. Promoting Health and Preventing Disease within Groups. *Clinical Cases in Dental Hygiene.* New York: Wiley-Blackwell; 2018. 293p.
- [5] Ciresan, D.C., Gambardella, L.M., Giusti, A., Schmidhuber, J.: Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images. In: NIPS. pp. 2852–2860 (2012)
- [6] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 770-778).
- [7] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III* 18 (pp. 234-241). Springer International Publishing

## Análise da aceitação do consumidor: revisão sistemática da literatura sobre as variáveis da intenção de compra na remanufatura

Vinicius Marques Almeida

Janaína Mascarenhas

Universidade de São Paulo - USP

vini8.almeida@usp.br

### Objetivos

O consumo mundial de recursos e desperdício poderão duplicar até 2050, tornando essencial a transição para um modelo de produção mais sustentável (European Commission, 2020). Neste sentido, a remanufatura surge como uma estratégia produtiva para recuperar o valor de produtos usados e incentivar a circularidade. A aceitação de produtos remanufaturados pelos consumidores é essencial para a adoção do modelo circular nas empresas. Porém, pouco se sabe como os consumidores valorizam esses produtos, o que é um fator imprescindível para o sucesso das cadeias de suprimentos fechadas. A pesquisa visa estudar como ocorre a intenção de compra de produtos remanufaturados. Especificamente, objetiva-se analisar quais os fatores que mais influenciam a intenção de compra desses produtos e se essa influência tem um impacto positivo ou negativo.

### Métodos e Procedimentos

A pesquisa utiliza a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) como metodologia de pesquisa, pois possibilita a síntese do conhecimento e a identificação de lacunas existentes na literatura (Paul; Criado, 2020). Foram escolhidas palavras-chave relacionadas a consumidores, remanufatura e variáveis de aceitação, as quais foram combinadas usando operadores booleanos. A *string* resultante,

(*Consumer\** OR *Costumer\** OR *User\**) AND (*Reman\**) AND (*Willingness* OR *barrier\** OR *preference\** OR *perception\** OR *perceived* OR *intention\** OR *acceptance\** OR *knowledge* OR *"ambiguity tolerance"*), foi pesquisada nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, resultando em 709 artigos. Em seguida, cinco critérios de exclusão foram empregados, obtendo-se a amostra final de 35 artigos. Por fim, o *software* MAXQDA foi utilizado para a codificação dos artigos, permitindo análises qualitativas e quantitativas. Foram observadas 30 variáveis com impacto potencial na intenção de compra, as quais foram transformadas em 30 códigos. Cada código foi quantificado em tipos de influência: não há influência, influência direta negativa, influência direta positiva, influência indireta negativa e influência indireta positiva. No total, foram realizadas 282 codificações.

### Resultados

Após aplicação da RBS, a seleção final dos artigos foi de 35 artigos, com 30 variáveis codificadas. As variáveis foram classificadas em três grupos, resultando em: quatro de âmbito empresarial e governamental, seis relacionadas com o produto e vinte relacionadas com o consumidor. A Figura 1 exemplifica a quantificação das variáveis relacionadas com o produto. Dentre todas as variáveis, a atitude de compra, a diferença de preço entre produtos novos e remanufaturados,

o conhecimento do produto, a consciência ambiental e a norma subjetiva apresentaram os maiores números de artigos que comprovaram suas influências diretas e positivas na intenção de compra de remanufaturados. A variável “riscos percebidos”, por sua vez, apresentou a maior influência direta e negativa observada entre os artigos selecionados. Portanto, os governos e as empresas devem estabelecer estratégias de marketing que propaguem uma imagem positiva desses produtos, destacando seus benefícios ambientais, sua vantagem competitiva em termos de preço em relação aos produtos novos, bem como sua qualidade equivalente ou superior. Ainda, devem conscientizar os consumidores do processo de remanufatura para que entendam que os preços menores derivam de processos produtivos que utilizam menos recursos e energia e que o desempenho do produto remanufaturado deve ser igual ao do produto novo, diminuindo os riscos percebidos. Além disso, empresas devem cuidar do pós-venda de seus produtos remanufaturados, fornecendo serviços de suporte e garantias que assegurem confiança nos usuários quanto à qualidade dos produtos.

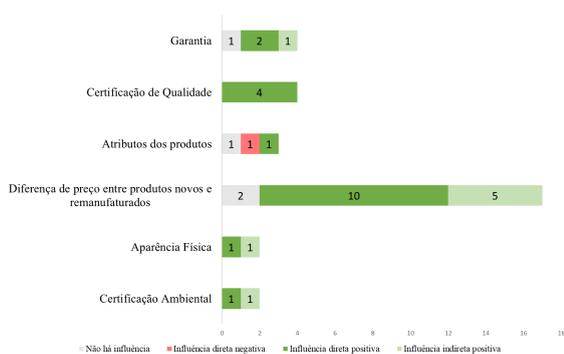


Figura 1: Influência das variáveis de produto na intenção de compra de produtos remanufaturados.

## Conclusões

O presente estudo visa analisar quais são os principais fatores que influenciam a intenção de compra dos consumidores e como ocorre a aceitação de produtos remanufaturados pelos

consumidores. Assim, foi conduzida uma Revisão Bibliográfica Sistemática para atender aos objetivos de pesquisa propostos. A amostra final possui trinta e cinco artigos, os quais apresentaram trinta variáveis que influenciam a intenção de compra de produtos remanufaturados. Dentre as variáveis, a atitude de compra, a diferença de preço entre produtos novos e remanufaturados, o conhecimento do produto, a consciência ambiental e a norma subjetiva apresentaram os maiores números de artigos que comprovaram suas influências diretas e positivas na intenção de compra de remanufaturados, enquanto os riscos percebidos apresentaram a maior influência direta e negativa. A partir dessas conclusões, tomadas de decisão foram sugeridas para empresas e governos.

## Agradecimentos

Agradeço à Dra. Janaína Mascarenhas pelo suporte, apoio, confiança e oportunidade de participação em seu grupo de pesquisa. Agradeço também à Dra. Iara Moroni pela parceria durante todo o período vigente da bolsa e pelos conhecimentos compartilhados em sua ampla experiência na área de remanufatura. Sem elas, os resultados dessa pesquisa não seriam possíveis.

## Referências

- EUROPEAN COMMISSION. **Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Youth Opportunities Initiative**. Brussels, Belgium: European Commission, 2011.
- TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.
- PAUL, Justin; CRIADO, Alex Rialp. The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know?. **International business review**, v. 29, n. 4, p. 101717, 2020.

## Comparação de propostas de sistemas para gestão de projetos de inovação utilizando a tecnologia Blockchain

**Caio Chebel Pelissari**

**Alfredo Colenci Neto**

**Daniel Capaldo Amaral**

Universidade de São Paulo - USP

caiopelissari@usp.br

### Objetivos

A pesquisa visa estudar as aplicações blockchain nas áreas de Gestão de Projetos (PM), Gestão da Tecnologia (TM) e Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP). O problema identificado nas três áreas de conhecimento é a falta de confiabilidade e transparência das partes envolvidas em trabalhos que há trocas de informações, os quais podem comprometer alguma das partes quando compartilhadas, fazendo-se necessário dar importância para a proteção de dados.

A tecnologia Blockchain é reconhecida pela sua capacidade de armazenar dados de forma distribuída, mais segura e transparente. As aplicações na área de gestão de tecnologia começaram a surgir recentemente e não há um panorama sobre a situação acerca do nível de evolução destas aplicações. O objetivo principal da pesquisa foi realizar uma revisão sistemática bibliográfica para compreender sua situação atual: identificar e dimensionar a quantidade de artigos com aplicações de tecnologia blockchain na literatura especializada nas áreas de: PDP, PM e TM. Caracterizar os tipos de aplicações. Analisar o nível de prontidão tecnológica das aplicações.

### Métodos e Procedimentos

O procedimento metodológico é classificado como uma Revisão Bibliográfica Sistemática

(RBS), segundo Conforto et al.(2011) e Rethlefsen et al.(2021). As etapas para condução da pesquisa foram divididas em 4 partes: Identificação, Avaliação, Análises e Conclusões. Realizou-se todas as etapas descritas no procedimento metodológico, registrando-as em um protocolo de pesquisa. A fim de identificar trabalhos sobre aplicações foi utilizada a base de dados Scopus no período entre Novembro e Dezembro de 2022. As palavras-chave utilizadas na pesquisa tomou como base o artigo de Pelissari, Amaral e Neto (2023)

### Resultados

Inicialmente foram identificados trabalhos nas três áreas de estudo, foi decidido a análise e categorização das aplicações somente em PDP, devido a menor quantidade da amostra, 25. Utilizando critérios de inclusão, foram selecionados nove artigos para análise que descrevem, de forma completa e passível de análise, as propostas de uso da tecnologia Blockchain no Processo de Desenvolvimento de Produtos

O maior número de trabalhos, 5, aborda a subárea Product Lifecycle Management (PLM) como principal oportunidade de atuação em seus casos de uso, como evidenciado na figura 1. Os outros campos identificados foram de Product Data Management e Engenharia de Requisitos.

Cada artigo foi classificado em categorias. Primeiro, categorias que definem aspectos da tecnologia Blockchain: Tipo da rede Blockchain, Ativo gerenciado no bloco, Stakeholders, Framework, Ledger, Smart Contract. Segundo, as categorias que definem aspectos da aplicação são: Objetivos e Área da aplicação. Por fim, é definido, através da escala de TRL, qual nível a aplicação se encontra: TRL1 - Inception; TRL2-4 - Teste de viabilidade; TRL5-7 - Desenvolvimento da tecnologia ou Demonstração; TRL8-9 - Qualificado para uso ou uso em ambiente real.

Campo de aplicação	Código do Artigo	TRL: 1	TRL: 2-4
PLM	Heber et al., (2017)	1	
PLM	Li et al., (2021)	4	
PLM	Gonzalez-Compean et al., (2022)		1
PLM	Huang et al., (2020)		1
PLM	Salehi (2021)		1
PDM	Papakostas et al., (2019)	1	
PDM	Malamas et al., (2019)		1
Eng. de Requisitos	Liu et al., (2021)		1

Figura 1: Tabela com campo, código e classificação de cada aplicação

## Conclusões

A pesquisa identificou as aplicações blockchain nas áreas de Desenvolvimento de Produto, Gestão de Projetos e Gestão da Tecnologia. A quantidade de artigos encontrados na em TM foi substancialmente maior que as demais. Além disso, as aplicações estão crescendo cada vez mais ao longo dos anos, o que mostra a tendência e utilidade do Blockchain para essas áreas, criando-se a necessidade de realizar uma revisão acerca dos trabalhos e descobrir como e com quais ferramentas e métodos as aplicações estão se desenvolvendo. A área de PLM é a que está explorando a tecnologia mais intensamente, especialmente em problemas de segurança e rastreabilidade de documentos. Ainda com relação ao tipo, é interessante notar que a aplicação mais disruptiva aconteceu na área de Engenharia de Requisitos e não na área com maior número de propostas.

## Referências

- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. Trabalho apresentado, v. 8, 2011.
- RETHLEFSEN, M. L., Kirtley, S., Waffenschmidt, S., Ayala, A. P., Moher, D., Page, M. J. PRISMA-S: an extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews. *Systematic Reviews*, V.10, n.1, 2021.
- HEBER, D. et al. Towards a digital twin: How the blockchain can foster E/E-traceability in consideration of model-based systems engineering. 2017. p. 321-330.
- LI, Z. et al. Blockchain-enabled product lifecycle management. Elsevier, 2022. p. 349-379.
- GONZALEZ-COMPEAN, J. L. et al. A Blockchain and Fingerprinting Traceability Method for Digital Product Lifecycle Management. *Sensors*, v. 22, n. 21, p. 8400, 2022.
- HUANG, S. et al. Blockchain-based data management for digital twin of product. 2020.
- SALEHI, Vahid. Integration of blockchain technologie in case of systems engineering and software engineering in an industrial context. 2021.
- PAPAKOSTAS, N.; NEWELL, A.; HARGADEN, V.. A novel paradigm for managing the product development process utilizing blockchain technology principles. 2019.
- MALAMAS, Vaggelis et al. A forensics-by-design management framework for medical devices based on blockchain. 2019.
- LIU, Ang et al. Blockchain-based customization towards decentralized consensus on product requirement, quality, and price. 2021.
- Neto, A. C.; Amaral, D. C.; Pelissari, C. C. (2023, August). Análise de aplicações blockchain em desenvolvimento de produtos. In *Anais do I Colóquio em Blockchain e Web Descentralizada* (pp. 37-42). SBC.

## EFEITOS DO PÓS-PROCESSAMENTO POR ACABAMENTO ABRASIVO MAGNÉTICO EM PEÇAS PRODUZIDAS POR MANUFATURA ADITIVA

**Ayslan De Carvalho Maximiano**

**Adriel Magalhães Souza**

**Alessandro Roger Rodrigues**

**Eraldo Jannone Da Silva**

Escola De Engenharia De São Carlos - Universidade De São Paulo

ayslan.carvalho@usp.br

### Objetivos

Analisar e avaliar os efeitos do pós-processamento de amostras depositadas de aço inoxidável 316L pelo processo de Directed Energy Deposition (DED), aplicando o processo de fresamento como operação intermediária e Magnetic Abrasive Finishing (MAF) como operação de acabamento. Medir e analisar as rugosidades e o estado de superfície das amostras ao final de cada operação realizada.

### Métodos e Procedimentos

Foi realizada a deposição das amostras de aço inoxidável 316L com dimensões de 12 mm x 12 mm x 5 mm em um substrato de aço AISI 4140 com dimensões de 18,7 mm x 76 mm x 8,6 mm utilizando a máquina da BeAM, módulo 250, com os seguintes parâmetros de deposição: a potência do laser utilizada foi de 350W, com uma taxa de alimentação de 6,5 g/min a uma velocidade de varredura constante de 2000 mm/min (DIAZ, 2023). Como operação intermediária foi feito o fresamento das amostras no centro de usinagem Discovery 560 da ROMI, para o contorno das peças, foi utilizada uma fresa de aço rápido com 10 mm de diâmetro visando corrigir erros de forma e remover a superfície irregular deixada pelo

processo de DED para evitar que partículas magnéticas e abrasivas alojem-se nos poros e cavidades da peça. Para o fresamento de topo, foi utilizada uma fresa com 12 mm de diâmetro de metal duro da Sandvik, modelo 1P222-1200-XA 1630, utilizando as mesmas condições e parâmetros para todas as amostras, sendo eles: velocidade de corte (vc) 92,7 m/min, rotação (n) 2460 rpm, velocidade de avanço (vf) 268 mm/min, avanço por dente (fz) 0,0272 mm/dente e profundidade de usinagem final (ap) 0,05 mm. Posteriormente, as amostras foram submetidas ao acabamento por MAF, o qual resume-se a uma escova magnética flexível formada por partículas de ferro com 60 µm de diâmetro médio (0,9 g) da marca Goodfellow, grãos abrasivos de alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) com 1 µm de diâmetro médio (0,1 g) da marca Codemaq e óleo lubrificante Hydra XP 32 (0,4 mL) da Lubrax e com movimentos lineares sobre a amostra, o polimento por MAF foi realizado seguindo os seguintes parâmetros: velocidade de corte (vc) 75 m/min, velocidade de avanço (vf) 200 mm/min, avanço (f) 0,1 mm/rev, distância entre polo/peça (gap) 2 mm, tempo (t) 180 s, 60 passes e variando a rotação (n) 1500, 2000, 2500 e 3000 rpm (SOUZA, 2023). A aferição das medidas de rugosidade foi realizada utilizando um Microscópio Laser 3D Confocal e os resultados

obtidos foram tratados através de uma Análise de Variância (ANOVA) para determinar a significância da mudança de rotação nos parâmetros de rugosidade avaliados.

## Resultados

Foi notado uma melhora significativa na rugosidade das amostras, a rotação de 3000 rpm foi a que obteve os melhores resultados quantitativos, onde para a rugosidade Ra, a superfície fresada obteve uma melhora de 108 nm para 39 nm, já para a rugosidade Rz, a melhora foi de 590 nm para 192 nm. Em geral, as amostras apresentaram um aumento nos parâmetros de espaçamento (rugosidade Rsm), o que explica a suavização dos picos e vales das superfícies das amostras. Foi notada uma grande influência do processo de fresamento mesmo após o polimento por MAF, o qual manteve suas marcas de processamento na topografia das peças, esse fato influenciou na medição das amostras, sendo que, devido a essa grande influência, foi utilizado um cut-off de 80  $\mu\text{m}$  quando o mais indicado seria um cut-off 25  $\mu\text{m}$ . O quadro ANOVA revelou interação entre os processos (P-valor menor que 0,05), porém as medidas de rugosidade Rq não apresentaram significância. Por fim, na figura 1 é possível observar como se deu a suavização da superfície da amostra.

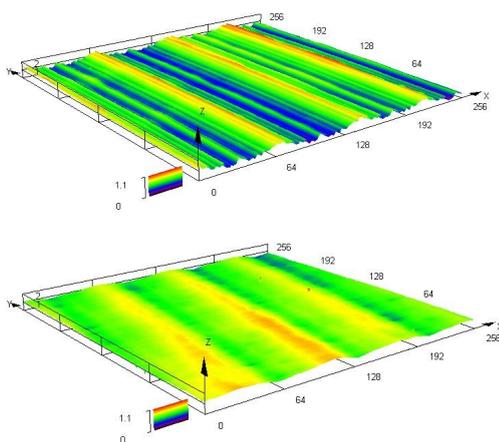


Figura 1: Comparação entre a superfície fresada e a polida por MAF da amostra polida a 3000 rpm.

## Conclusões

O polimento abrasivo magnético apresentou grande potencial no pós-processamento de peças produzidas por DED, porém, é nítida a necessidade de se realizar uma outra operação intermediária que não deixe a superfície com muitas marcas de processamento, pois como se trata de um processo de cópia de pressão, o MAF não tem capacidade de corrigir erros de forma e defeitos superficiais mais acentuados. Por fim, é seguro dizer que o MAF é uma ótima alternativa para o rápido polimento de peças depositadas, desde que haja processos intermediários que garantem previamente uma boa qualidade superficial e facilitem o polimento.

## Referências

DIAZ, Vincent Edward Wong et al. **A Comprehensive Evaluation Of The Laser Power And powder Feed Rate For The Directed Energy Deposition process Using Principal Components Analysis.** 12th Brazilian Congress of Manufacturing Engineering, 2023.

SOUZA, Adriel Magalhães. **Pós-processamento de peças metálicas produzidas por manufatura aditiva.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2023.

## OPORTUNIDADES DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* PARA FORMAÇÃO DE VENTURES TECNOLÓGICAS ACADÊMICAS E APOIO DE FUNDAÇÕES

**Matheus Stefan Benetton Immer**

**Alfredo Colenci Neto**

**Daniel Capaldo Amaral**

Escola de Engenharia de São Carlos – USP

matheus.immer@usp.br

### Objetivos

*Technology Ventures* são empreendimentos que envolvem colaboração distribuída e buscam desenvolver tecnologias, transformando-as em produtos comerciais. Eles iniciam em universidades ou centros de pesquisa e requerem parcerias com empresas para produção e comercialização (Hirose, 2017). Nas *Ventures*, é necessário gerenciar a troca de informações e de recursos entre várias organizações, incluindo empresas, startups, fundações de pesquisa e institutos de pesquisa. As *Ventures Acadêmicas* envolvem fundos públicos e colaborações entre pesquisadores, universidades, startups e grandes empresas, apresentando altos níveis de risco e incerteza. O termo "*blockchain*" refere-se a tecnologias que permitem a criação de bancos de dados distribuídos com informações protegidas por criptografia. Isso pode impactar a forma como as cadeias produtivas funcionam (Trabucchi et al., 2020). A tecnologia *blockchain* oferece a possibilidade de registrar transações de forma fácil e imutável. O artigo faz parte de uma investigação, a fim de identificar requisitos e oportunidades de soluções para um processo de apoio na formação de *Technology Ventures Acadêmicas*, em um contexto de ecossistemas de inovação. Em particular, no entorno da

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), tendo em vista os potenciais benefícios da tecnologia blockchain, como apontado por Piccirillo, Gouvêa e Amaral (2022).

### Métodos e Procedimentos

A fim de mapear os requisitos e proposições, em um primeiro momento foi realizada a delimitação e caracterização dos problemas, com descrição do escopo. Então, foi feita uma análise documental, para definição do processo do atendimento e modelagem, conforme os procedimentos da FAPESP. Com essas informações, foi realizado um estudo de campo dirigido, com pesquisadores experientes. Foram realizadas transcrições das entrevistas, as citações relevantes foram extraídas e separadas em categorias, (i) de benefícios, melhores práticas, impactos negativos e problemas, a respeito de (ii) formação de grupo, gestão de atividades, orçamento, escrita do projeto, sigilo, e recebimento da oportunidade. Cada par (i-ii), com enfoque nos problemas, deu origem a categorias de pesquisa contabilizadas por frequência, que embasaram uma análise comparativa. Isto revelou oportunidades e produtos potenciais.

## Resultados

Uma vez compreendido o escopo do problema, se tratou da produção científica no Brasil. A partir do financiamento de órgãos de fomento, em particular a FAPESP, foram investigadas as modalidades de auxílio à pesquisa. Em posse desse entendimento, foi confeccionado um fluxograma BPMN (Business Process Model and Notation), representado pela Figura 1.

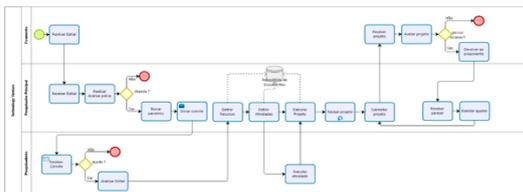


Figura 1: Diagrama BPMN

O resultado da modelagem, acompanhado dos dados da revisão bibliográfica nortearam a realização de cinco entrevistas, abordando os seguintes temas: Escrita do Projeto, Formação do grupo, Gestão das atividades, orçamento, recebimento da oportunidade e sigilo.

Os resultados das entrevistas foram sistematizados em uma análise de conteúdo que gerou duas categorias: problemas e benefícios. Estes conteúdos foram analisados e comparados com a tabela de oportunidades do *Blockchain* conforme definidos por Piccirillo e Amaral (2022). Esta análise comparativa está representada na Figura 2.

Ao todo são quatro classes de oportunidades:

- (1) Distribuição de recursos e controle de orçamento e tarefas. Uso do *blockchain* para monitoramento dos desembolsos e controle de tarefas.
- (2) Confiança e transparência. Apoiar acordos e prover confiança entre os parceiros, por meio do registro das informações prévias e possibilidade de selecionar e atribuir tarefas por reputação.
- (3) Melhorar a relação entre parceiros e compartilhamentos. Facilitar a troca de informações na preparação e envio do projeto, por meio do registro e acompanhamento de todas as ações do projeto.
- (4) Ajudar o coordenador e agências a controlar as ações ao longo do ciclo de vida do projeto.

Potenciais benefícios	Categorias de 2ª ordem	Oportunidades
Ser usado como forma de pagamento para transações	[M11], [I2], [P7], [P8]	Distribuição de recursos por meio de transações registradas em <i>ledger</i> durante a execução do projeto, segundo necessidades (e.g., com orçamento único)
Monitorar tarefas entregues, orçamento, <i>feedback</i> e transações	[M12], [B2], [P4], [M13]	Armazenamento em <i>ledger</i> imutável das informações sobre recursos e orçamentos
Prover confiança e transparência em relacionamentos através de <i>timestamp</i> , <i>distributed ledger</i> , e <i>smart contracts</i>	[D2], [P2], [P5]	Integração de órgãos públicos e privados sob as mesmas regras de negócio
Selecionar parceiros de acordo com a sua reputação	[M4], [M6], [P3], [B1], [M10], [M5]	Integração e organização de diversos pesquisadores como nós em uma rede, Rede que contempla diferentes regras de edital, segundo a linha de cada agência
Atribuir diferentes tarefas e projetos para parceiros de formas distintas	[M7], [P9], [M2], [D4], [M3]	Definição de equipes e líderes de projeto dentro da rede, com seus próprios atributos e permissões
Melhorar relações e compartilhamento de informações entre stakeholders, mesmo que eles não conheçam nem confiem uns nos outros, por meio do registro e acompanhamento de todas as interações	[M8], [M14], [P6]	Organização da documentação em uma só rede, descentralizada. Não há <i>ownership</i> sobre a documentação.
Apoiar o ciclo de vida de um projeto (bloquear compartilhamento indevido de resultados, evitar contrabando)	[M9], [B3], [P12], [I3]	Automatização de processos para a escrita, aprovação e submissão de projeto
Monitorar e concordar com a performance e resultados em tempo real, por meio do <i>distributed ledger</i> armazenado em <i>smart contracts</i>	[D1], [P10], [P11]	Verificação do atendimento às restrições de edital em primeira mão, de forma automatizada ( <i>smart contract</i> )
Gerir as tarefas entregues, lidar com quebras de contrato, <i>deadlines</i> de projeto e uso ilegal de fundos	[P11], [M11], [I1], [M15], [P13]	Gestão das tarefas de escrita em rede, por meio de acompanhamento de entregas
		Configuração de NDA virtual com <i>smart contract</i>
		Automatização da gestão de ganhos e contribuições em propriedade intelectual

Figura 2: Análise comparativa de BC para TM

## Conclusões

A pesquisa investigou o uso de *blockchain* em *Technology Ventures* acadêmicas. Identificou desafios relacionados à transparência, distribuição de tarefas e comunicação, com oportunidades de aplicação. Uma limitação foi o número reduzido de casos estudados. Mas, isso ajudou a desenvolver um método que pode ser aplicado a um conjunto maior de casos para criar soluções baseadas em *blockchain*, como próxima etapa para o grupo.

## Referências

- HIROSE, Yuta. *Technology venture emergence characterisation*. 2017. Cambridge.
- PICCIRILLO, Isabela Neto; AMARAL, Daniel Capaldo; DE OLIVEIRA, Maicon Gouvêa. A Research Agenda for Collaborative Roadmapping Supported by Blockchain Technology. *Sustainability*, v. 14, n. 20, p. 13093, 2022.
- TRABUCCHI, D.; MORETTO, A.; BUGANZA, T.; MACCORMACK, A. Disrupting the disruptors or enhancing them? how blockchain reshapes two-sided platforms. *Journal of Product Innovation Management*, v. 37, n. 6, p. 552-574, 2020.

## Calibração e aplicação da técnica de termometria de fluidos por fluorescência induzida por laser.

**Pedro Stefano Veronese**

**Arthur Vieira da Silva Oliveira**

Universidade de São Paulo

[pedro.veronese@usp.br](mailto:pedro.veronese@usp.br); [avs.oliveira@usp.br](mailto:avs.oliveira@usp.br)

### Objetivos

A fluorescência induzida por laser (LIF, na sigla em inglês) emerge no cenário científico como uma técnica disruptiva que fornece medições minimamente intrusivas e de um campo de medições, e não apenas pontual, alterando a maneira de estudar diversos fenômenos. Dessa forma, o presente trabalho objetiva a calibração da técnica para posterior utilização em termografia de fluidos em futuras atividades do grupo. Pretende-se calibrar para lasers contínuos e pulsados de modo a obter toda a curva de emissão de fluorescência (linear, pré-saturado e saturado) para todos os corantes disponíveis, e ao fim, eleger a melhor dupla para a referida aplicação.

Por fim, este artigo apresenta os primeiros resultados de calibração desta técnica para início da sua implementação em estudos de térmica e fluidos na EESC/USP

### Métodos e Procedimentos

Para garantir medições precisas, o arranjo experimental óptico deve permanecer estável durante a aquisição. Desse modo, a configuração é projetada para manter essa consistência.

A bancada (Fig. 1) inclui uma cubeta com fluido dentro de um porta-cubeta, posicionado sobre uma chapa aquecedora e agitador magnético. O laser é direcionado para a cubeta através de uma entrada no porta-cubeta que permite a minimização do caminho óptico. Normal ao laser, posiciona-se um colimador, conectado por fibra óptica ao espectrofotômetro, que

fornece os dados ao computador. Dois termopares no porta-cubeta monitoram a temperatura em diferentes alturas, assegurando uniformidade no fluido.

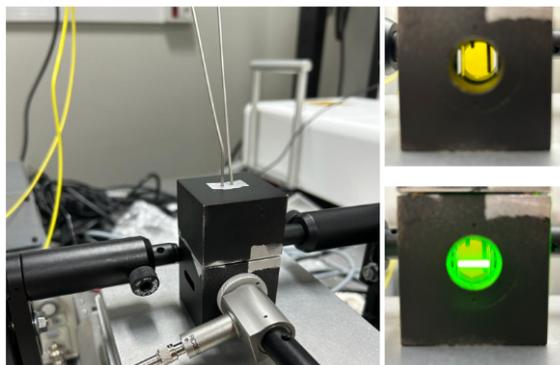


Figura 1: Arranjo experimental e visão do colimador.

O procedimento seguido consiste em conferir a temperatura com os termopares e em seguida liberar o laser no fluido. Depois, aguardar até a segunda medição do software, pois a primeira após a liberação do laser corre risco de ter utilizado em sua integração sinais sem a excitação do laser. Depois o laser é barrado e a chapa aquecedora brevemente ativada, aumentando a temperatura cerca de 5°C de forma gradual para evitar gradientes de temperatura no fluido e então reinicia-se a medição da nova temperatura. Os testes são interrompidos em torno de 80~90°C para evitar evaporação e alteração na concentração dos corantes.

### Resultados

Após grande estudo acerca da teoria do fenômeno e da técnica, partiu-se para os experimentos. Atualmente já foram preparadas e testadas misturas para quatro corantes: sal sódico de Fluoresceína, Sulforhodamina 640, Sulforhodamina B, e Cloreto de Rhodamina 110. Após tratamento dos espectros, as curvas obtidas são as presentes na Figura 2.

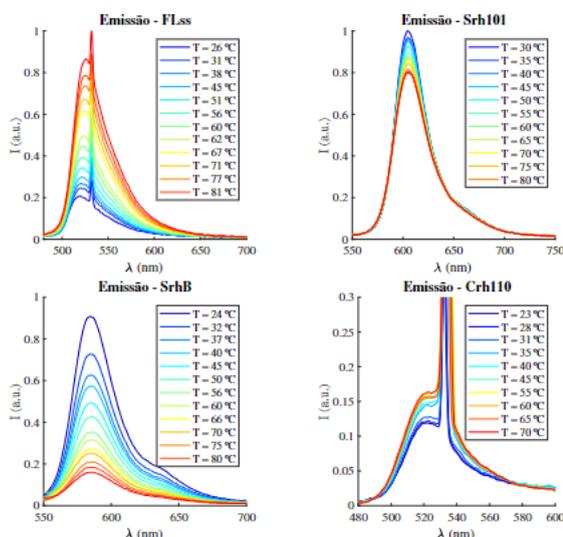


Figura 2: Espectros de corantes obtidos.

O pico observado em aproximadamente 532 nm nos espectros é devido à reflexão do laser no porta-cubeta, que pode ser corrigido com pós-tratamento dos dados.

Com exceção à reflexão do laser, os resultados são extremamente próximos ao apresentado, para os mesmos corantes, por Chaze [1], com exceção do Crh110, que não foi testado por ele. A Figura 1 ainda permite notar a diferença da sensibilidade com a temperatura (Eq.1), que para alguns é grande ao passo que para outros, quase inexistente. Ainda visando a calibração da técnica, os primeiros cálculos de sensibilidade já foram feitos, e o obtido também é comparado com o apresentado por Chaze (Figura 3).

$$S = \frac{\ln(F(T1)/F(T0))}{T1-T0} \quad (1)$$

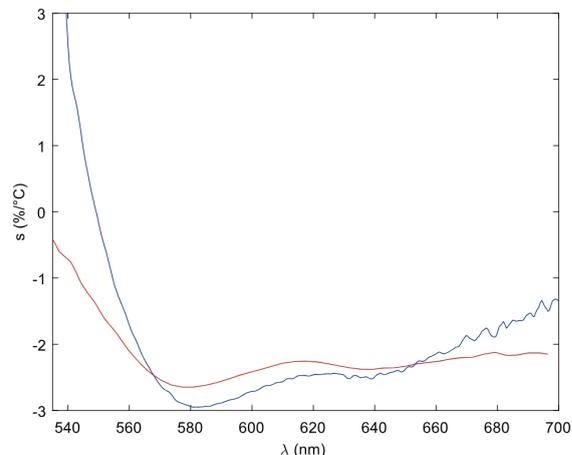


Figura 2: Curvas de sensibilidade para SrhB elaboradas pelo autor (em azul) e Chaze (vermelho).

Nela, é possível observar forte semelhança entre 560 e 670nm. A diferença em comprimentos de onda fora desse intervalo advém do fato de ruídos e pontos aberrantes terem maior influência em faixas de menor intensidade de fluorescência.

## Conclusões

Após o estudo detalhado do fenômeno, a forte semelhança dos testes em relação aos resultados presentes na literatura permite afirmar que as boas práticas de utilização da técnica estão sendo atingidas. Percebe-se ainda, que há corantes mais apropriados para a termografia a depender da sua sensibilidade. Assim, os próximos passos abordarão testes com misturas de corantes e calibrações com laser pulsado de alta potência.

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer à FAPESP pelo financiamento através do auxílio Jovem Pesquisador (processo 2021/01897-0) e bolsa de IC (processo 2022/16400-7).

## Referências

[1] Chaze, W., Caballina, O., Castanet, G., and Lemoine, F. (2016). The saturation of the fluorescence and its consequences for laser-induced fluorescence thermometry in liquid flows. *Experiments in Fluids*, 57.

## DESENVOLVIMENTO DE MODELO NUMÉRICO E AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE TROCADOR DE CALOR FABRICADO POR MANUFATURA ADITIVA OPERANDO COM CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO

Ana Elisa Leonel Ferreira; Gherhardt Ribatski.

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

aeleonel@usp.br

### Objetivos

Modelagem e avaliação experimental de trocadores de calor metálicos fabricados por manufatura aditiva. As condições a serem avaliadas são referentes a recuperadores em ciclos Brayton utilizando CO<sub>2</sub> supercrítico como fluido de trabalho visando aplicações no setor aeronáutico.

### Métodos e Procedimentos

A fim de analisar numericamente as condições e características da troca de calor ao longo do trocador foram até o momento desenvolvidos dois códigos computacionais. Os códigos incluem um programa principal, cuja função é calcular a temperatura e pressão ao longo do comprimento do trocador, e um código secundário, cuja função é determinar a relação entre a variação de temperatura e o calor trocado na seção transversal do trocador, a fim de determinar a resistência térmica de condução a partir da geometria proposta.

O código principal está sendo desenvolvido no programa EES [1]. Ele estima a transferência de calor ao longo do trocador. Para isso, o trocador de calor é discretizado em 50 elementos. Em cada elemento é calculada a perda de pressão e a transferência de calor, utilizando-se de balanços de energia e quantidade de movimento para se obter o estado termodinâmico do fluido no próximo elemento. O código em questão se trata de uma versão inicial já que algumas simplificações ainda se encontram presentes,

logo ele proporciona resultados apenas parciais. Entre as simplificações encontra-se o emprego das correlações de (Gnielinski, 1976) para transferência de calor, e a de (Churchill, 1977) para a perda de pressão, ambas não adequadas para a aplicação em condições supercríticas, mas sim para escoamentos monofásicos subcríticos.

Quanto ao segundo programa, a resistência térmica da seção transversal é determinada pelo método das diferenças finitas, cujos elementos, e as condições de contorno são dadas pelas temperaturas da parede assumidas como uniformes ao longo do perímetro dos dutos. Segundo o procedimento adotado, estimam-se inicialmente as temperaturas ao longo dos perímetros dos tubos com base no coeficiente de transferência de calor por convecção e da temperatura do fluido. Devido à simetria do problema, condições adiabáticas são adotadas nas regiões extremas da Fig. 1., conforme ilustrado (amarelo). Em seguida, por meio do método das diferenças finitas, estimam-se as temperaturas em cada elemento discreto. Uma vez determinado o campo de temperaturas, determina-se o calor transferido para um elemento discreto da parede do tubo a partir da lei de Fourier aplicada a este elemento e os elementos vizinhos da matriz metálica, considerando as direções dos eixos y e x. O somatório do calor transferido para cada elemento discreto da parede do tubo fornece o calor trocado entre os fluxos de CO<sub>2</sub>. Assim, tendo as temperaturas da parede do tubo e o

calor total trocado tem-se a resistência térmica devido à condução entre os tubos.

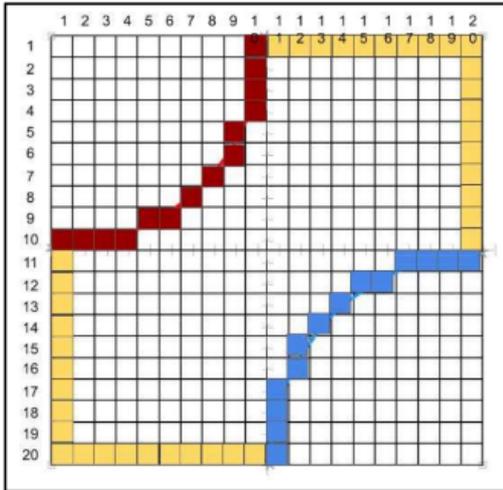


Figura 1 - Ilustração dos elementos discretos adotados para a estimativa da resistência térmica de condução.

## Resultados

Com a aplicação dessa versão inicial do código foi possível obter resultados preliminares. A Figura 2 apresenta a variação do Coeficiente de Transferência de Calor com o incremento do número de Reynolds.

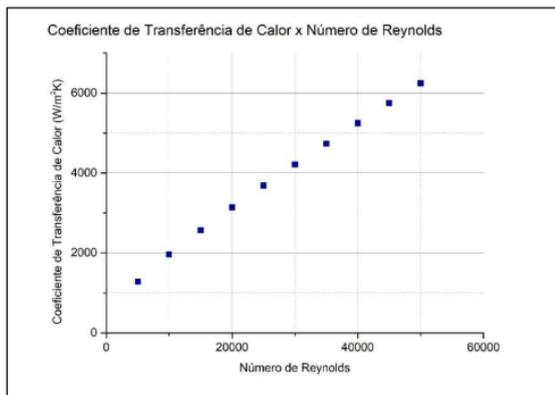


Figura 2 - Ilustração da variação do Coeficiente de Transferência de Calor (HTC) com a elevação do Número de Reynolds (Re)

Com o código atual também é possível gerar uma figura que apresenta a variação da temperatura ao longo dos tubos do trocador,

tanto para o fluido quente quanto para o frio, esses resultados estão expostos na Figura 3.

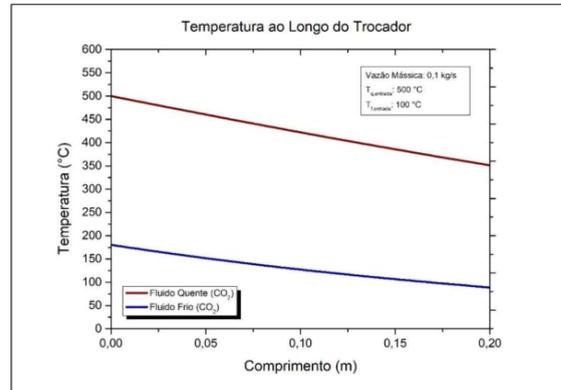


Figura 3 - Temperatura dos Fluidos ao Longo do Trocador

## Conclusões

No que diz respeito à variação do HTC em razão do incremento do Número de Reynolds nota-se na Figura 2 uma tendência de aumento do coeficiente de transferência de calor com o aumento do Número de Reynolds. Esse comportamento condiz com resultados para faixas de temperatura abaixo do ponto crítico encontrados na literatura. Quanto à variação de temperatura ao longo do trocador, o comportamento previsto numericamente é condizente com o esperado para um trocador de calor contracorrente.

## Referências Bibliográficas

- EES, Engineering Equations Solver, F-Chart software, LLC, 2004.
- Gnielinski V. **New equations for heat and mass transfer inturbulent pipe and channel flow.** International Chemical Engineering, 1976.
- Churchill SW. **Friction-factor equation spans all fluid-flow regimes.** Chem Eng, 1977.
- D. Kuhr. **Performance characterization of compact heat exchangers within a supercritical carbon dioxide brayton cycle.** 2022.
- F. Crespi, G. Gavagnin, D. Sánchez, G.S. Martínez. **Supercritical carbon dioxide cycles for power generation: a review.** Appl. Energy. 195, 2017.

## MODELAGEM, CONSTRUÇÃO E MEDIÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM PAINEL DE ISOLAMENTO A VÁCUO

Mateus Henrique Corrêa

Cristiano Bigonha Tibiriçá

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

mateus.hcorrea@usp.br

### Objetivos

O presente trabalho possui como objetivo a modelagem da condutividade térmica um Painel de Isolamento a Vácuo (PIV) de sílica fumada, assim como sua manufatura e avaliação de seu desempenho térmico.

PIVs são um tipo de isolamento de alta performance compostos de um núcleo de material poroso revestido por um envelope, de modo que o ar é retirado do interior, fazendo com que o transporte de calor pelos gases residuais seja pequeno.

Esse tipo de painel pode ser, de acordo com estudos (BATENS et al., 2010) até 10 vezes mais isolante do que o poliestireno expandido (Isopor®) ou até 8 vezes mais do que a espuma de poliuretano, comumente usada como isolante térmico industrial. Isso faz com que seu uso possa impactar diretamente no consumo energético mundial.

Dessa forma, o desenvolvimento de um protótipo se mostra de grande importância para aplicações de maior eficiência energética, como refrigeradores de baixo consumo, os quais, além contribuir para a questão climática, consomem menos energia elétrica, impactando diretamente seu custo de operação.

Em mais detalhe, estima-se que a indústria de refrigeradores represente 17% do gasto energético mundial, sendo que 57% desse gasto é perdido na forma de calor para o ambiente através das paredes. (VERMA; SINGH, 2019). Sendo assim, materiais potencialmente mais isolantes são uma

necessidade no futuro em que a pegada ecológica tem maior relevância.

### Métodos e Procedimentos

A modelagem da condutividade térmica da sílica fumada foi feita com base na soma das parcelas de condutividades sólida, gasosa e de radiação, assim como modelos amplamente validados (BOUQUEREL et al., 2012).

Com o desempenho teórico implementado no software EES (Engineering Equation Solver), um PIV de 150X150X10 mm foi manufaturado e submetido a ensaios experimentais, os quais consistiam em aplicar uma potência térmica constante de 8,1 W no PIV e verificar a diferença de temperatura entre seus dois lados, além de coletar a temperatura do ar ambiente.

Para determinar a condutividade térmica do PIV foram usados dois métodos de análise de dados, pelo coeficiente médio local de transferência de calor e pela resistência térmica da base (lado quente) ao ambiente. O primeiro consiste em utilizar um material de propriedades térmicas conhecidas e mesmas dimensões do PIV para determinar o coeficiente de convecção médio local no topo (lado frio), e assim determinar o calor que é transferido ao ar, e, conseqüentemente, o calor que atravessou o PIV. Já no segundo, é utilizado esse mesmo material de calibração para determinar a quantidade de calor que é dissipada para o ambiente sem cruzar o PIV. Sendo assim, o PIV foi submetido a esses ensaios de modo que sua pressão interna foi

variada entre o vácuo absoluto e a pressão ambiente, com saltos entre 5 kPa 10 kPa.

## Resultados

As Figuras 1 e 2 mostram os resultados obtidos nos ensaios. Vale ressaltar que os dados brutos são os mesmos para ambas as figuras, o que difere é o método de análise do desempenho.

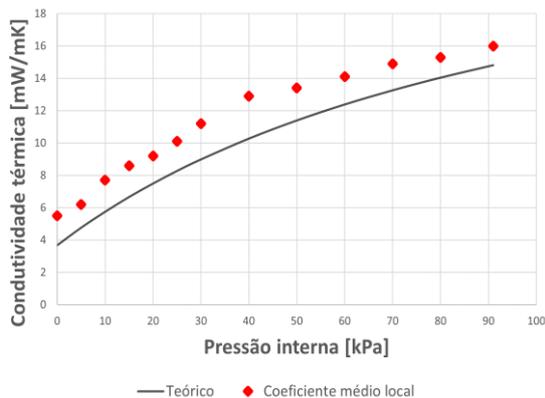


Figura 1: Condutividade térmica do PIV em função da pressão interna pelo método do coeficiente médio local de transferência de calor.

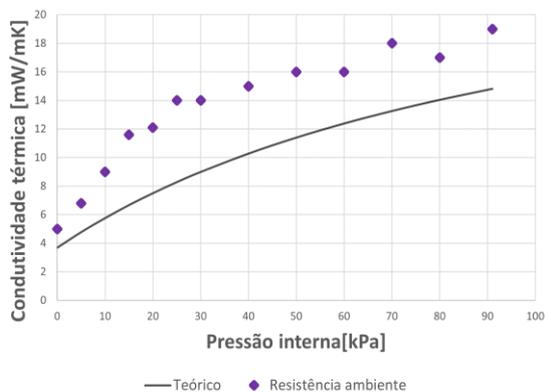


Figura 2: Condutividade térmica do PIV em função da pressão interna pelo método da resistência térmica ao ambiente.

Como podemos ver, há uma semelhança entre os dois métodos no aumento da condutividade térmica com a perda do vácuo, o que indica que a proteção do núcleo poroso contra os gases da atmosfera seja um ponto importante a ser estudado.

Outro a ser notado é a diferença entre as incertezas para cada método, de modo que a avaliação do PIV pelo coeficiente médio local de convecção é mais precisa.

Por fim, pode-se notar que há um desvio aproximadamente constante entre o modelo teórico e os dados experimentais, o que é um forte indício para o efeito de pontes térmica, em que o calor é transferido entre os lados do PIV através da borda.

## Conclusões

Dessa forma, podemos concluir que foram obtidos resultados próximos ao modelo teórico, de maneira que a condutividade térmica mínima de 5,5 mW/mK foi atingida (ou cerca de 7 vezes mais isolante que o poliestireno expandido).

Também foi verificado um possível efeito de pontes térmicas, o qual deve ser estudado posteriormente para que os resultados fiquem mais próximos ao modelo.

## Agradecimentos

Os autores são gratos à Universidade de São Paulo pelo suporte através de uma bolsa PUB.

## Referências

- BAETENS, R.; JELLE, B. P.; THUE, J. V.; TENPIERIK, M. J.; GRYNNING, S.; UVSLÖKK, S.; GUSTAVSEN, A. Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond. *Energy and Buildings*, v. 42, n. 2, p. 147–172, 2010.
- BOUQUEREL, M.; DUFORESTEL, T.; BAILLIS, D.; RUSAOUEN, G. Mass transfer modeling in gas barrier envelopes for vacuum insulation panels: A review. *Energy and Buildings*, v. 55, p. 903–920, 2012. *Cool Roofs, Cool Pavements, Cool Cities, and Cool World*.
- VERMA, S.; SINGH, H. Vacuum insulation in cold chain equipment: A review. *Energy Procedia*, v. 161, p. 232–241, 2019. *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains including Workshop on Energy Recovery Conversion and Management; ICSEF 2018, 17 - 19 October 2018, Paphos, Cyprus*.

## ANÁLISE EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA DA PINTURA COM REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS NA MADEIRA COM PRODUTOS IGNÍFUGOS

Larissa Pineli André

Carlito Calil Junior

Escola de Engenharia de São Carlos - EESC/USP

Larissa\_pineli\_andre@usp.br

### Objetivos

A pesquisa tem como objetivo investigar a eficiência do tratamento por meio de revestimentos superficiais da madeira com produtos ignífugos, visando conferir-lhe aumento de resistência à degradação térmica. Realizando para isso, ensaios no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

### Métodos e Procedimentos

O método de ensaio utilizado foi o Ensaio de Schlyter Modificado, cujos aparatos de ensaio estão disponíveis no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) da EESC-USP. Esse ensaio foi utilizado para avaliar a tendência à propagação vertical das chamas de uma superfície, avaliando, portanto, a eficiência de produtos ignífugos aplicados na forma de pintura.

O aparelho de ensaio consiste em uma armação metálica que sustenta dois corpos de prova de madeira (painéis) paralelos na posição vertical, uma escala, a fim de determinar a altura das chamas, instalada de modo que as graduações sejam visíveis entre os corpos de prova, e um bico de gás tipo Meeker nº4, como está apresentado na figura 1.

O ensaio visou determinar a altura das chamas durante todo o processo, o instante em que as chamas ultrapassam o topo da armação, a duração da fumaça após desligar o queimador e a altura máxima atingida pelas chamas.

Mediu-se ainda, a altura e a largura da mancha preta após a placa esfriar.

Os corpos de prova empregados na montagem de cada ensaio Schlyter Modificado possuem 28,5 cm de largura, 1 cm de espessura e 80 cm de comprimento. Todos os corpos de prova possuem umidade inferior a  $12 \pm 1\%$ . As amostras utilizadas consistem de peças de madeira compensada de Pinus sp e painéis OSB, tratadas e não tratadas com retardante de chamas fornecidos pela empresa Montana Química.

### Resultados

Para analisar os resultados utilizou-se o Software ImageJ para calcular a proporção de área carbonizada de cada painel, como ilustra a figura 1.



**Figura 1:** Uso do Software ImageJ para analisar a eficiência dos produtos nos painéis de compensado.

As tabelas a seguir apresentam um resumo dos resultados obtidos no Ensaio de Schlyter Modificado para o teste dos retardantes de chamas fornecidos pela empresa Montana Química.

**Tabela 1:** Determinação da área carbonizada dos painéis de compensado.

Painel	Painéis Compensados			Média Final (%)
	Proporção de Área Carbonizada (%)			
	A	B	C	
Natural (1)	6,7	3,7	7,1	11,5
Natural (2)	18,3	12,2	20,9	
Osmoguard FR100 (1)	5,0	2,2	1,8	3,4
Osmoguard FR100 (2)	3,6	2,6	5,2	
CKC 2020 (1)	3,3	5,7	5,6	4,1
CKC 2020 (2)	3,5	3,2	3,1	
Guanilureia 2 Demãos (1)	3,1	2,1	3,1	2,8
Guanilureia 2 Demãos (2)	2,3	3,6	2,4	
Guanilureia 3 Demãos (1)	3,5	4,0	1,9	2,7
Guanilureia 3 Demãos (2)	2,	2,5	1,8	

Os painéis tratados tanto com o Osmoguard FR100 como com o CKC 2020, apresentaram redução de aproximadamente 70%. Enquanto que os tratados com o MOQ apresentaram redução de cerca de 75%. Notou-se ainda que não houve diferenças significativas de desempenho comparando a MOQ Guanilureia com duas e três demãos.

**Tabela 2:** Determinação da área carbonizada dos painéis de OSB.

Painel	Painéis OSB			Média Final (%)
	Proporção de Área Carbonizada (%)			
	A	B	C	
Natural (1)	47,6	55,9	51,8	55,0
Natural (2)	51,8	64,7	58,3	
Osmoguard FR100 (1)	5,5	8,8	7,2	7,8
Osmoguard FR100 (2)	4,9	11,9	3,3	
Guanilureia 2 Demãos (1)	0,8	5,8	3,3	2,6
Guanilureia 2 Demãos (2)	1,1	2,7	1,9	
Guanilureia 3 Demãos (1)	2,0	0,8	1,4	1,5
Guanilureia 3 Demãos (2)	1,8	1,3	1,6	

A redução da área carbonizada em relação ao natural fica ainda mais evidente para todos os produtos testados, nos painéis de OSB.

Nota-se ainda que o MOQ Guanilureia, assim como no painel compensado, apresentou desempenho superior ao do Osmoguard FR100, com uma redução da área carbonizada em cerca de 96%.

## Conclusões

Conclui-se portanto que o ensaio de Schlyter Modificado foi eficaz para avaliarr a eficiência do tratamento por meio de revestimentos superficiais da madeira com produtos ignífugos.

Os corpos de provas tratados apresentaram valores menores para a propagação de chamas, e a altura máxima das chamas foi menor e levou mais tempo para ocorrer, na madeira tratada.

Além disso, após desligar o queimador as chamas cessaram quase que instantaneamente, nos ensaios em que o produto foi aplicado nos painéis, e a fumaça persistiu por mais tempo nos corpos de prova sem tratamento.

Ainda, por meio do estudo de Schlyter Modificado foi possível observar que a MOQ Guanilureia apresentou um desempenho superior aos produtos Osmoguard FR100 e CKC 2020 na capacidade de reduzir a área carbonizada dos painéis e na altura máxima alcançada pela chama.

Por fim, para os corpos de prova de OBS, a redução da área carbonizada nos painéis revestidos foi mais evidente do que nos painéis de compensado.

## Referências

- AGUILLAR FILHO, Danilo. **Combustibilidade e tratamento ignífugo da madeira**. 102 f. Tese (Mestrado). São Carlos, 1986.
- ASSOCIATION SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2010). **ASTM E119**: standard test methods for fire tests of building construction and materials. Philadelphia.
- MARTINS, Gisele Cristina Antunes. **Análise Numérica e Experimental de Vigas de Madeira Laminada Colada em Situação de Incêndio**. 2016. 177 f. Tese (Doutorado). São Carlos, 2016.

## Aplicação da Formulação Posicional do Método dos Elementos Finitos e Partículas Para Análise da Ação de Ondas Sobre Pontes

Lucas Cardoso Lima

Orientador: Prof. Dr. Rodolfo André Kuche Sanches

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

Lucas2020420@usp.br

### Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de metodologia baseada na formulação posicional do método dos elementos finitos e partículas (PFEM) para simulação computacional bidimensional do impacto de volumes de água sobre pontes, tais como ondas quebrando sobre pontes ou escoamentos de superfície livre decorrentes de ruptura de reservatórios ou enchentes. Dentro deste objetivo, é possível destacar objetivos específicos que devem ser alcançados, que são: o estudo de dinâmica das estruturas e a implementação computacional de programa para simulação dinâmica de sistemas com 3 graus de liberdade empregando integração direta, o estudo do PFEM aplicado a escoamentos incompressíveis de superfície livre com mudanças topológicas no domínio do fluido, a implementação de técnicas de acoplamento particionado para acoplar o programa para escoamentos com superfície livre ao programa para dinâmica das estruturas, e por fim, o estudo numérico dos modelos de acoplamento particionado implementados e do desempenho da ferramenta computacional resultante.

### Métodos e Procedimentos

Os problemas estudados são bastante desafiadores ao tratar-se de problemas de interação fluido-estrutura (IFE) com mudanças

topológicas no domínio do fluido. Assim, para simular o escoamento, adota-se a formulação posicional do PFEM desenvolvida por Avancini (2023). A estrutura é aproximada por um sistema de 3 graus de liberdade (2 de translação e um de rotação), representado pela seção transversal da ponte presa ao centro de cisalhamento por molas axiais e de torção. As características físicas do modelo estrutural são definidas de modo a representar o comportamento dinâmico do centro do vão de uma ponte e emprega-se o método alfa-generalizado (mesmo modelo empregado no programa de PFEM disponível) para resolver o problema de dinâmica das estruturas por processo de marcha no tempo.

São implementadas 3 formas de acoplamento particionado (unidirecional, onde apenas as forças do fluido são atualizadas para a estrutura, bidirecional fraco, onde tanto as forças do fluido dão atualizadas para a estrutura como a movimentação da estrutura é atualizada para o fluido, porém somente ao final de cada passo de tempo e bidirecional forte, onde a iteração é levada em consideração durante a resolução iterativa do problema não linear). Embora o modelo unidirecional seja o menos custoso computacionalmente, este apresenta resultados consistentes apenas para problemas em que os deslocamentos e as velocidades da estrutura não afetam significativamente os campos do escoamento, já o modelo bidirecional fraco, permite grande modularidade

ao código, mas não apresenta bons resultados quando o problema é dito fortemente acoplado, ou seja, quando uma pequena perturbação em um dos meios causa grandes alterações no outro.

## Resultados

Para verificação e estudo das implementações realizadas, simulou-se um problema em que uma coluna de água, inicialmente em repouso, colapsa e atinge uma ponte com seção transversal. Inicialmente, realiza-se uma análise de dependência de malha para o problema considerando o acoplamento forte, obtendo-se a história de deslocamentos e rotação da Figura 1. Na Figura 2, mostra-se a configuração deformada do problema para o instante  $t=0,89$  s após o colapso da coluna de água. Ao testar os outros modelos de acoplamento, nota-se que, empregando-se passos de tempo pequenos é possível representar bem a configuração da estrutura no seu primeiro ciclo de oscilação mesmo empregando o modelo particionado unidirecional. No entanto, para se obter uma melhor flexibilidade quanto ao passo de tempo adotado bem como para obter uma boa representação do comportamento dinâmico da estrutura em instantes mais distantes do impacto, faz-se necessário o emprego do modelo de acoplamento forte.

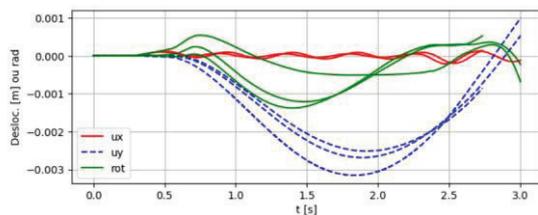


Figura 01: Convergência de malha

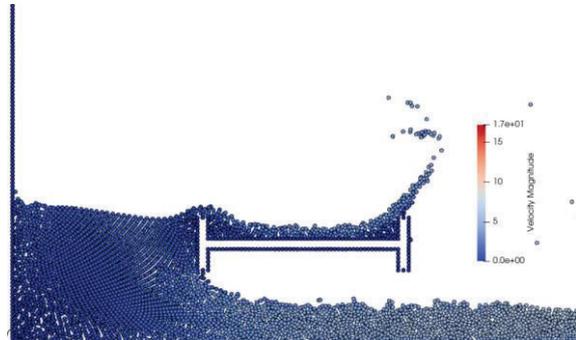


Figura 02: configuração deformada do problema

## Conclusões

Através dos resultados obtidos, conclui-se que a metodologia proposta possui bom potencial para a simulação de problemas de ondas ou volumes de água interagindo com estruturas de pontes, de modo a fornecer parâmetros para serem considerados em projetos de pontes e passarelas que tenham potencial de sofrer tais efeitos. Ao se empregar aproximações que transformam o problema em bidimensional, notou-se que os ganhos em termos de custo computacional não são justificáveis para o emprego de acoplamento unidirecional, nem mesmo de acoplamento fraco. Como desenvolvimentos para trabalhos futuros, sugere-se a validação do modelo por comparação com resultados experimentais, bem como o estudo detalhado acerca da atribuição das características físicas para o problema de 3 graus de liberdade de modo a representar com melhor precisão o problema real.

## Referências

AVANCINI, G. Formulação unificada para análise tridimensional de interação fluido-estrutura com escoamento de superfície livre: Uma abordagem Lagrangiana baseada em posições. Tese de Doutorado — SET-EESC-USP, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2023.

# DESENVOLVIMENTO DE CÓDIGO COMPUTACIONAL PARA DETERMINAÇÃO DO CENTRO DE TORÇÃO, VIA ÁREA SETORIAL, DE BARRAS COM SEÇÕES TRANSVERSAIS ABERTAS E PAREDES DELGADAS

Vitor Cavaretti de Arruda

Dorival Piedade Neto

Jorge Munaiar Neto

EESC / USP

[vitorcava2019@usp.br](mailto:vitorcava2019@usp.br) / [jmunaiar@sc.usp.br](mailto:jmunaiar@sc.usp.br) / [dpiedade@sc.usp.br](mailto:dpiedade@sc.usp.br)

## Objetivo

Desenvolver código computacional, em linguagem de programação *Python*, baseado na teoria de Flexo Torção. Mais especificamente, se desenvolveu um código computacional para a determinação da posição do Centro de Torção de barras com seções abertas e paredes delgadas, denominado *Flexo III*, por meio de conceitos atrelados à área setorial baseada na *Teoria de Vlasov*, contribuindo assim para estudos na área de Mecânica dos Sólidos e, obviamente, em Engenharia de Estruturas. Como ponto de partida, se tomou como referência outro código, o *Flexo II*, já existente e também desenvolvido no Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC/USP.

## Métodos e Procedimentos

A estratégia adotada consistiu em dividir o desenvolvimento do programa em quatro etapas. A priori, houve uma revisão bibliográfica a respeito da teoria de Vlasov para definir se os resultados de interesse seriam alcançados considerando equações em formas implícitas, denominadas *Produtos Setoriais*, ou por equações em formas explícitas, obtidas por meio do procedimento denominado Interpretação Geométrica. Além disso, houve um prévio estudo a respeito do funcionamento do próprio Flexo II com o intuito de facilitar o alcance dos objetivos.

Em sequência, iniciou-se a aplicação dos recursos computacionais, principalmente por meio da biblioteca *Numpy*, para a definição de funções envolvendo o cálculo das propriedades geométricas da seção transversal, isto é, do

Centro Geométrico (CG), da área geométrica, dos momentos principais de inércia  $I_z$  e  $I_y$ , e respectivas direções, e do momento de inércia à torção  $I_t$ . Com isso, para obter o posicionamento do Centro de Torção (D), o Flexo III, enquanto referências geométricas, assume inicialmente o CG como pólo provisório (P) e uma das extremidades da seção como origem ( $O_s$ ) para a obtenção da denominada área setorial ( $\omega_p$ , ainda provisória), conforme equação 1, cuja determinação da área geométrica (A) se faz com base em um triângulo formado por três pontos não colineares, de acordo com a mesma equação 1, do qual é possível obter as coordenadas de D por meio das equações 2 e 3, considerando as coordenadas de y e z.

$$A = \frac{1}{2} \cdot \begin{vmatrix} z_0 & y_0 & 1 \\ z_1 & y_1 & 1 \\ z_2 & y_2 & 1 \end{vmatrix} \rightarrow \omega = 2 \cdot |A| \quad (1)$$

$$y_D = y_P + \frac{1}{I_y} \cdot \int_A \omega_p z dA \quad (2)$$

$$z_D = z_P - \frac{1}{I_z} \cdot \int_A \omega_p y dA \quad (3)$$

Conhecido a posição do Centro de Torção (D), se faz novamente o mesmo processo mencionado anteriormente, agora considerando D como pólo e obtendo um novo diagrama de área setorial, agora definitiva, mas ainda não de interesse. Em seguida, se aplica a equação 4 para o cálculo da área setorial principal, agora de interesse, em que o valor de área setorial complementar, representado por  $\omega_c$  é determinado pela equação 5.

$$\omega_{pc} = \omega - \omega_c \quad (4)$$

$$\omega_c = \frac{1}{A} \cdot \int_A \omega \, dA \quad (5)$$

De modo geral, utilizou-se da Interpretação Geométrica para o cálculo da posição de D e de equações implícitas para a área setorial principal. Já a terceira etapa envolveu a parte visível e interativa. Para isso, fez-se uso da biblioteca *tkinter*, com a qual projetou-se uma nova interface gráfica (GUI) através da inserção de botões para a execução dos comandos, caixas de texto para a inserção de valores e, principalmente, do *Canvas*. Esse último é um componente da biblioteca que permite o desenho de formas geométricas. Sobre ele criaram-se estruturas de dados e algoritmos de forma a representar e manipular os elementos gráficos relativos ao desenho da seção transversal. Por fim, o código construído foi utilizado na resolução de vários exemplos representativos de casos da prática das construções com o intuito de se verificar a autenticidade dos resultados e sanar eventuais imperfeições.

## Resultados

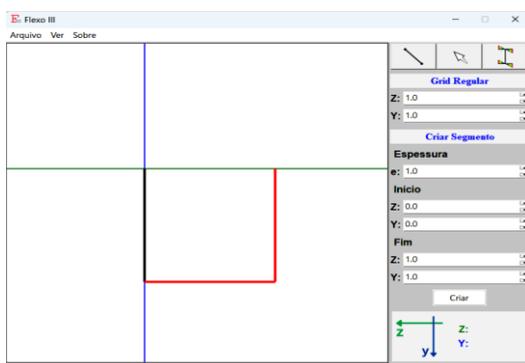


Figura 1 – Interface Gráfica (GUI) do Flexo III

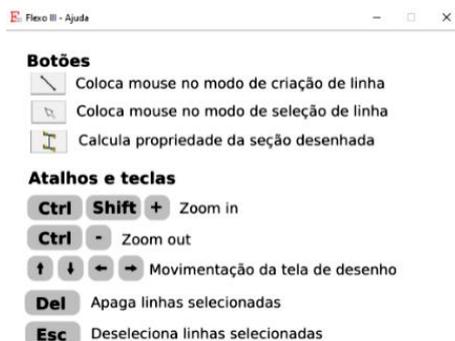


Figura 2 – Comandos principais do Flexo III

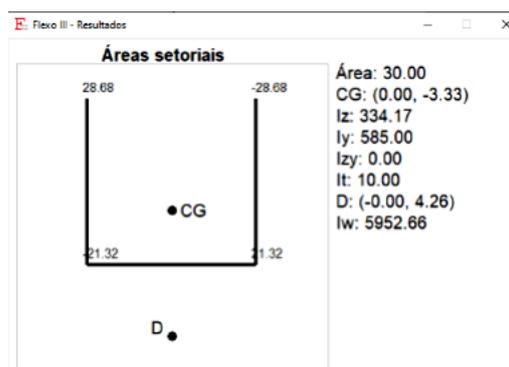


Figura 3 - Resultados obtidos para uma seção “U” inserida no Flexo III

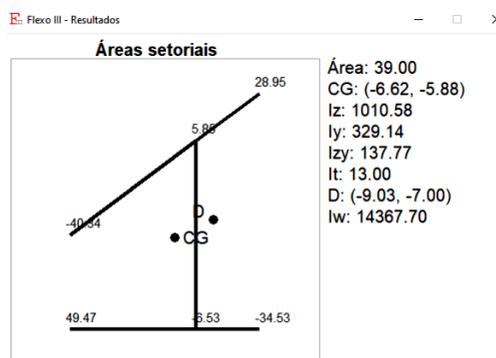


Figura 4 - Resultados obtidos para uma seção “I” inserida no Flexo III

## Conclusões

Em trechos retos, como mostrado na seção transversal “U” e para a seção com trechos inclinados, seção em “I”, em relação à área setorial, à posição do Centro de Torção, bem como dos demais parâmetros calculados, o Flexo III apresentou resultados satisfatórios e condizentes quando comparados com os resultados do Flexo II e da literatura. Já com relação à interface, ela apresenta características do tipo amigável, intuitiva e minimalista, possuindo apenas os comandos necessários, de modo que o usuário percorra poucos passos para atingir o esperado, tornando-a objetiva e agradável.

## Referências Bibliográficas

MORI, D. D.; MUNAIAR NETO, J. Flexo torção: barras de seção aberta delgada. 2 ed. São Carlos: EESC-USP, 2017. 315 p. ISBN: 978-85-85215-91-1, Serviços Gráficos da EESC/USP.

# ESTUDO NUMÉRICO DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS COMPOSTAS POR BARRAS SIMPLES E CABOS VIA MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Yasmin Cristiny Fernandes Santos

Rodrigo Ribeiro Paccola

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

ycristiny@usp.br

## Objetivos

Os cabos e as estruturas treliçadas são, frequentemente, utilizadas como soluções na engenharia para vencer grandes vãos, devido a, dentre outros fatores, seu peso reduzido. No entanto, essas estruturas são menos estáveis por conta de sua esbelteza, o que torna necessária uma análise bastante cuidadosa durante o dimensionamento, principalmente no que se refere aos efeitos dos deslocamentos na determinação dos esforços solicitantes.

O alto grau de não-linearidade, bem como a geometria e as condições de contorno envolvidos nas análises, tornam difícil a obtenção de soluções analíticas. Neste sentido, é necessária a busca de alternativas numéricas que representem o comportamento dessas estruturas de forma adequada.

O Método dos Elementos Finitos Posicional considera os efeitos da não-linearidade geométrica nas análises e, por isso, nele foi baseada a formulação utilizada para o desenvolvimento do código computacional, cuja metodologia será descrita a seguir.

Os objetivos deste projeto foram o aprimoramento na formação referente à análise estrutural via Método dos Elementos Finitos e a implementação da ferramenta gerada como resultado da pesquisa.

## Métodos e Procedimentos

O algoritmo de Newmark é uma das aproximações temporais mais simples e eficientes para a análise estrutural linear. Esse integrador possui bom desempenho nas análises não lineares devido ao fato da matriz de massa do MEF posicional ser constante (CODA, 2018).

Para a implementação do código computacional, foram utilizadas as aproximações de Newmark, descritas abaixo:

$$Y_{s+1} = Y_s + V_s \Delta t + \left[ \left( \frac{1}{2} - \beta \right) A_s + \beta A_{s+1} \right] \Delta t^2$$
$$V_{s+1} = V_s + (1 - \gamma) \Delta t A_s + \gamma \Delta t A_{s+1}$$

sendo  $Y$  a posição,  $V$  a velocidade,  $A$  a aceleração,  $\Delta t$  o intervalo de tempo e  $\beta = 0,25$  e  $\gamma = 0,5$ .

Para o primeiro passo de tempo, a aceleração é calculada como:

$$A_0 = M^{-1} \left[ F_0^{ext} - CV_0 \right]$$

O algoritmo utilizado neste projeto é adaptado de CODA (2018) e se resume como se segue:

- Considera-se a primeira tentativa de solução as variáveis do final do passo anterior, ou seja,

$$Y_{s+1} = Y_{s+1}^0 = Y_s'$$

- $V_{s+1} = V_{s+1}^0 = V_s$  e  
 $A_{s+1} = A_{s+1}^0 = A_s$ .
- Calcula-se a força aplicada e/ou as posições prescritas. Calcula-se  $Q_s$  e  $R_s$ .
  - Calculam-se a força interna nos elementos e a matriz Hessiana estática.
  - Montam-se o vetor de forças internas global e a Hessiana global. Soma-se a parcela dinâmica à força interna e os termos de massa e amortecimento à Hessiana estática, obtendo-se a Hessiana completa.
  - Calcula-se o vetor  $g(Y_{s+1})$  e aplicam-se as condições de contorno.
  - Resolve-se  $\Delta Y$ .
  - Atualizam-se a posição, a aceleração e a velocidade.
  - Calcula-se  $|\Delta Y_k|/|X_k|$  e se faz nova interação caso o valor seja maior do que a tolerância.

## Resultados

Para validar o código computacional desenvolvido conforme metodologia descrita, foram analisados dois exemplos, o primeiro deles inspirado na ponte Rolling Bridge, situada na em Londres, Inglaterra, e apresentado na Figura 1, em sua posição já deslocada.

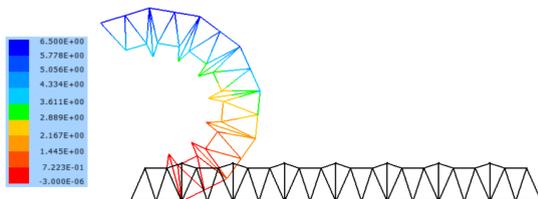


Figura 1 - Deslocamento da estrutura treliçada

A Figura 2 apresenta o segundo exemplo, inspirado na ponte Yeongjong e apresentado em Silva (2020).

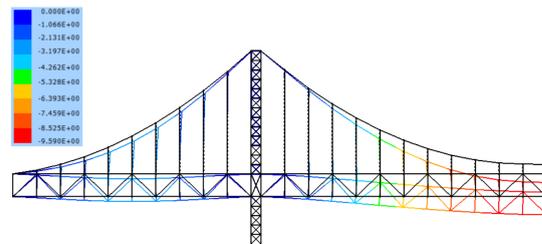


Figura 2 - Deslocamento da ponte pênsil

## Conclusões

A busca por alternativas numéricas que representem adequadamente as estruturas que apresentam não-linearidade e/ou geometria complexa é de extrema importância para a engenharia. O Método dos Elementos Finitos Posicional é uma poderosa ferramenta para compreender o comportamento das estruturas nessas análises.

Através da formulação baseada no MEF posicional, foi possível estudar o comportamento das estruturas compostas por barras. Portanto, os objetivos foram atingidos.

## Agradecimentos

À Escola de Engenharia de São Carlos, à Universidade de São Paulo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

## Referências

CODA, H. B. O Método dos Elementos Finitos Posicional: Sólidos e Estruturas – Não Linearidade Geométrica e Dinâmica, São Carlos: EESC/USP, 2018.

SILVA, A. P. de O. Desenvolvimento de código computacional para análise estática e dinâmica de pontes pênsis, pontes estaiadas e tenso-estruturas simples. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2020.

# INFLUÊNCIA DAS DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA NA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E DAS CLASSES DE RESISTÊNCIA DE LOTES DE MADEIRA NATIVAS

Maira Rafaela Penazzo

Francisco Antonio Rocco Lahr

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

maira.penazzo@usp.br - frocco@sc.usp.br

## Objetivos

A determinação dos valores de resistência característica à compressão paralela às fibras e classificação nas classes de resistências dos lotes de madeira nativa com corpos de prova prismáticos com dimensões nominais inferiores ao padrão normativo adotado pela ABNT NBR 7190:1997, mantido pela revisão normativa na ABNT NBR 7190:2022-3, que é de 5 cm x 5 cm x 15 cm.

## Métodos e Procedimentos

A metodologia utilizada nesta pesquisa seguiu a ABNT NBR 7190:2022-3 - Projeto de estruturas de madeira - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Os materiais e máquinas utilizados foram do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP).

Para os ensaios laboratoriais foram escolhidas, dentre as espécies disponíveis no LaMEM, oito espécies para realizar as análises, todas com umidade (U) a 12%, sendo elas: Cupiúba (*Goupia glabra Aubl.*), Caixeta (*Simarouba amara Aubl.*), Tatajuba (*Bagassa guianensis*),

Angelim-Pedra (*Hymenolobium petraeum*), Sapucaia (*Lecythis spp.*), Cajueiro (*Anacardium occidentale L.*), Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Cambará (*Moquiniastrum polymorphum*).

Dessa maneira, foram feitos 10 lotes de madeira nativa, sendo dois com espécies repetidas, e cada lote com seis corpos de prova de cada dimensão nominal. As dimensões nominais estudadas nesta pesquisa foram: 5 cm x 5 cm x 15 cm; 4 cm x 4 cm x 12 cm; 3 cm x 3 cm x 9 cm; e 2 cm x 2 cm x 6 cm. Os cortes nas peças de madeiras nativas foram feitos com a utilização de uma serra de mesa, após isso, os corpos de prova tiveram suas dimensões efetivas medidas, foram pesados em uma balança digital e depois foi feito o ensaio de resistência à compressão paralela às fibras.

Os ensaios a resistência à compressão paralela às fibras dos corpos de prova por intermédio de uma máquina universal de ensaio, da marca AMSLER (ICIMOTO *et al*, 2013), controlada pelos técnicos do laboratório. Para os procedimentos dos ensaios foram feitos os procedimentos descritos na ABNT NBR 7190:2022-3.

Para determinação da resistência características à compressão paralela às fibras foi feita conforme orientação da ABNT NBR 7190:2022-3 também, logo foi feita análise de

cada lote de madeira nativa e aplicado as equações do documento normativo para encontrar os valores da resistência à compressão paralela às fibras dos corpos de prova e, por fim, 70% da resistência média à compressão paralela às fibras dos corpos de prova. Assim, foi possível definir a resistência característica e o enquadramento de cada lote em uma classe de resistência.

## Resultados

Nos ensaios feitos foram observados que a ruptura dos corpos de prova não foi uniforme, afinal trata-se de um material heterogêneo e anisotrópico, assim, houve espécies que teve um modo de ruptura dúctil, já outras uma ruptura de cisalhamento, como demonstrado na figura 1.



Figura 1: Corpos de prova rompidos da espécie da espécie Sapucaia (*Lecythis ssp.*) de dimensão nominal de 3 cm x 3 cm x 9 cm.

E como os valores de resistência características à compressão paralela às fibras e o enquadramento nas classes de cada lote de madeira foi possível analisar que as mudanças nas dimensões nominais dos corpos de prova prismático alteram esses parâmetros normativos em algumas espécies de madeira nativa, como observa na tabela 1 e figura 2.

Tabela 1: Classificação das classes de resistência de algumas espécies de madeira nativa.

Espécies	Cupiúba	Caixeta	Cambará	Itaúba
Dimensões nominais [cm]	Classes de resistência			
5 x 5 x 15	D60	D30	D30	D60
4 x 4 x 12	D50	D30	D40	D60
3 x 3 x 9	D60	D30	D40	D60
2 x 2 x 6	D50	D30	D40	D60

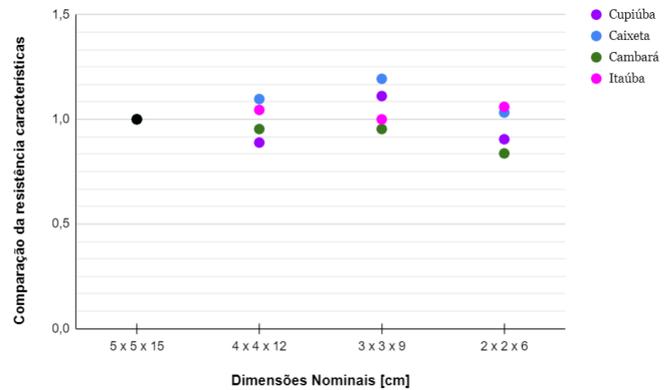


Figura 2: Gráfico de comparação entre as resistências características dos corpos de prova com dimensões nominais diferentes das espécies da tabela 1, com a dimensão nominal padrão normativa equivalendo a 1.

## Conclusões

Após, análise dos resultados apresentados foi possível verificar que em algumas espécies de madeira nativa o valor característico da resistência à compressão paralela às fibras dos lotes levou a diferentes enquadramentos nas classes de resistência com a mudança das dimensões nominais no corpo de prova, principalmente nos corpos de prova com dimensões mais reduzidas, contrariando a indicação normativa da NBR7190:2022-3. Dessa forma, se faz necessário uma revisão do documento normativo brasileiro sobre esse tema.

## Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 7190-3**: Projeto de Estruturas de Madeiras - Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de janeiro: ABNT, 2022, 36 p.

ICIMOTO, F. H. et al. Comparação entre resultados determinados para propriedades mecânicas da madeira a partir de duas máquinas universais de ensaios. **Madeira: arquitetura e engenharia**. [S.l.], v. 14, n. 34, p. 9 – 22, 2013.

## Avaliação experimental de sensor para ser aplicado em SHM

Murilo H. S. Pimenta

Denys E. T. Marques e Mateus C. Neto

Volnei Tita

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

murilopimenta@usp.br

### Objetivos

Apesar da crescente participação em diferentes ramos da indústria, os materiais compósitos ainda não atingiram todo o seu potencial de aplicação, devido ao seu complexo comportamento em serviço por apresentarem múltiplos modos de falha, dos quais não se tem total conhecimento, Tita [1]. Dessa forma, novos conceitos e sistemas relacionados à SHM (Structural Health Monitoring) são vistos como uma alternativa, visto que permitem o monitoramento contínuo da integridade estrutural, tornando os componentes mais seguros e diminuindo a necessidade de inspeções.

Dentre os diversos métodos e técnicas empregados em sistemas SHM, destacam-se os métodos baseados em vibrações da estrutura, por conta da sua simples implementação e capacidade para monitorar danos em escala global, os quais geralmente utilizam sensores piezoelétricos. Assim sendo, o presente trabalho objetiva avaliar piezoeletretos desenvolvidos por pesquisadores do Departamento de Engenharia Elétrica da EESC-USP por meio de análises modais experimentais em relação a sua capacidade de monitorar danos em estruturas de compósito.

### Materiais e Métodos

Para alcançar o objetivo proposto, dividiu-se o projeto em três etapas, sendo elas: (1) preparação das amostras, (2) montagem e realização dos ensaios e (3) processamento e análise dos resultados.

A partir de uma placa de carbono PPS composta por sete camadas bidirecionais com orientação  $[0/90^\circ]$ , foi obtida a viga utilizada nos ensaios, a qual possui 190mm x 30mm e espessura de 2.17mm. Foi feita, então, a colagem do piezoeletreto na viga com um adesivo à base cianoacrilato fabricado pela 3M, por possuir boa capacidade de adesão e, portanto, transferir as deformações da viga para o sensor.

Na montagem do *setup* dos ensaios, utilizou-se gerador de sinal, shaker eletromecânico, acelerômetros, sistema de aquisição de sinais (LabAmp - Kistler®) e um computador. Para a realização das análises modais, a viga foi montada no *shaker* de forma “engastada-livre” e os acelerômetros foram posicionados na base do *shaker* e na ponta da viga. Além disso, em alguns ensaios, adicionou-se uma massa extra na ponta da viga, com o intuito de alterar as propriedades do conjunto, simulando a presença de um dano. Ressalta-se que foram realizados ensaios dinâmicos à frequência constante (25, 50 e 75Hz) e à frequência variável (15 à 2000 Hz).

Por fim, os dados encontrados foram analisados com o intuito de passá-los do domínio do tempo para o domínio da frequência, o qual permite uma melhor

compreensão da resposta dinâmica da estrutura, como visto em De Medeiros et al. [2].

## Resultados e Discussões

Na Figura 1, tem-se as respostas no domínio da frequência do piezoeletreto e dos acelerômetros considerando uma excitação de 25Hz e sem massa extra na ponta da viga. Nota-se, então, a presença de picos em 25Hz e múltiplos nas curvas dos acelerômetros, o que é esperado devido à frequência de excitação. Na curva da resposta do piezoeletreto, é possível observar picos em 25, 60 e 75Hz, sendo que a presença do pico em 60Hz ocorre por conta da frequência da rede elétrica.

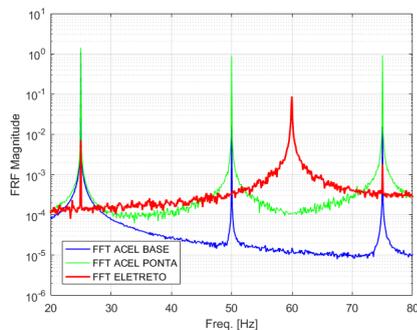


Figura 1: FRF para viga excitada em 25Hz via acelerômetros e piezoeletreto.

Na Figura 2, são mostradas as respostas do piezoeletreto para uma excitação de 25 Hz e diferentes massas extras na ponta da viga (0, 20 e 40g). Apesar de ser esperado um deslocamento nos picos, não é possível observar mudanças consideráveis. Além disso, percebe-se que a adição da massa promoveu o aumento de ruído e uma piora no sinal do piezoeletreto.

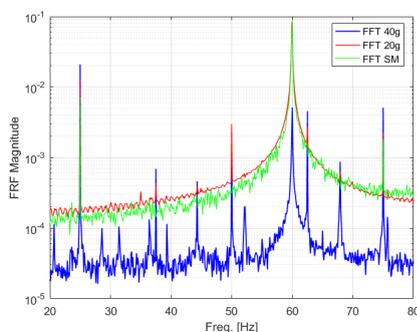


Figura 2: FRF para viga excitada em 25Hz e diferentes massas extras via piezoeletreto.

## Conclusões

Conclui-se, portanto:

- O novo sensor, piezoeletreto, é um candidato para monitorar danos em estruturas, visto que foi possível observar picos, mesmo que pequenos, na frequência de excitação e seus harmônicos;
- É preciso aplicar métodos para tornar os resultados encontrados mais precisos, isto é, reduzir o ruído e, principalmente, cortar as frequências da rede elétrica (60Hz e seus harmônicos) seja pela aplicação de filtros e/ou desenvolvimento de pequenos circuitos.

## Agradecimentos

Murilo H. S. Pimenta agradece ao CNPq e Mateus C. Neto agradece a CAPES.

## Referências

- [1] TITA, Volnei. Composite structures design and analysis. Dynamics of Smart Systems and Structures: Concepts and Applications, p. 217-263, 2016.
- [2] DE MEDEIROS, Ricardo et al. A comparative assessment of different frequency based damage detection in unidirectional composite plates using MFC sensors. Journal of Sound and Vibration, v. 383, p. 171-190, 2016.
- [3] BOUKABACHE, Hamza; ESCRIBA, Christophe; FOURNIOLS, Jean-Yves. Toward smart aerospace structures: Design of a piezoelectric sensor and its analog interface for flaw detection. Sensors, v. 14, n. 11, p. 20543-20561, 2014.
- [4] MOREIRA, M. M. A. C. et al. Piezoelectrets: A brief introduction. IEEE Sensors Journal, v. 21, n. 20, p. 22317-22328, 2021.

## Estudo de fenômenos aeroelásticos estáticos por uma abordagem monolítica baseada no método dos elementos finitos

Murilo Caetano da Silva, Felipe Fernandes Liorbano,  
Ricardo Afonso Angélico

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

m.caetano@usp.br

### Objetivos

Aeronaves comerciais modernas usam asas de alto alongamento, principalmente pela notável vantagem na redução do arrasto induzido e consequente diminuição do consumo de combustível. No entanto, tais asas exibem elevada flexibilidade estrutural, tornando-as propensas a deslocamentos e giros de grande magnitude que podem levar a configurações instáveis de aeronave. Portanto, previsões precisas sobre suas configurações de equilíbrio e segurança contra efeitos aeroelásticos são cruciais, além de garantir desempenho aerodinâmico adequado.

O cálculo desta previsão envolve a utilização de modelos aerodinâmicos e estruturais formulados em distintas bases matemáticas. Esta característica torna difícil a implementação direta do problema acoplado, pois são necessárias interpolações entre os domínios. Portanto, um modelo monolítico baseado em MEF foi desenvolvido para facilitar esse acoplamento. Resultados relativos aos efeitos do acoplamento flexural e torcional já foram apresentados em edições anteriores do SIICUSP. Este trabalho objetiva evidenciar a utilização do modelo desenvolvido no estudo de dois fenômenos aeroelásticos estáticos: divergência de asa e reversão de comando.

### Metodologia

O modelo aeroelástico desenvolvido possui dois componentes principais: (i) módulo aerodinâmico baseado na Teoria da Linha Sustentadora [1], cuja solução numérica fornece o cálculo das forças aerodinâmicas utilizando a distribuição da circulação  $\Gamma(y)$  ao

longo da envergadura [2], e (ii) módulo estrutural baseado em uma viga geral 6GDL ( $ux, uy, uz, \theta x, \theta y, \theta z$ ) [3] modelada com o modelo de vigas de Euler-Bernoulli para comportamentos de flexão e aproximações lineares para torção e deslocamentos axiais, cuja solução fornece a distribuição de giros e deslocamentos. Ambos os problemas usam a técnica dos Elementos Finitos [3] para a discretização usando a mesma malha, a fim de eliminar a necessidade de interpolação de forças/deslocamentos. O acoplamento é dado considerando a interdependência entre os GDLs estruturais e aerodinâmicos diretamente na formulação do problema, atestando o caráter monolítico da formulação, e as condições de contorno são definidas por multiplicadores de Lagrange. Os modelos foram implementados em Python usando programação orientada a objetos.

Os fenômenos aeroelásticos estudados neste projeto são aplicados a asas finitas e são estritamente torcionais. Sob esta hipótese, segundo Hodges [4], a identificação da pressão dinâmica de divergência  $q_{div}$  é feita traçando os valores recíprocos de torção  $\theta y$  e pressão dinâmica  $q$ , i.e., um gráfico  $1/\theta y$  vs.  $1/q$  linear, e identificando o ponto em que a curva obtida cruza o eixo  $x$ , já que isso representaria uma torção infinita ( $\theta y \rightarrow \infty \therefore 1/\theta y \rightarrow 0$ ). A velocidade de divergência  $U_{div}$  é então obtida usando a definição de pressão dinâmica.

Quanto à velocidade de reversão (rev.) de comando  $U_{rev}$ , Hodges [4] traz sua identificação como o ponto em que  $M_x$  se anula. Em termos práticos, a distribuição de torção devido à deflexão do flap faz com que a

circulação total da asa seja zero, resultando em um momento fletor nulo na raiz. Aumentos adicionais em  $\beta$  diminuiriam a sustentação, um efeito contrário ao resultado esperado.

## Resultados

A metodologia supracitada para o cálculo da velocidade de divergência é aplicada para uma asa retangular de envergadura  $b = 12\text{m}$ , corda  $c = 1\text{m}$ , inclinação do coeficiente de sustentação 2D  $Cl\alpha = 2\pi$  e coeficiente de momento no centro aerodinâmico  $CmAC = 0$  para cada seção de asa. Não há inserção de torções geométricas ou aerodinâmicas. Considera-se uma excentricidade entre o eixo elástico e o centro aerodinâmico de  $d = 0.25\text{m}$ , e cada seção possui rigidez torcional  $GJ = 50 \cdot 10^3 \text{ Nm}^2$ .

A simulação foi realizada considerando um ângulo de ataque  $\alpha = 5^\circ$  e densidade  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$  utilizando 200 elementos finitos com uma distribuição refinada perto da ponta da asa. A velocidade do escoamento foi variada entre  $U_\infty = [10, 200] \text{ m/s}$  em 50 pontos igualmente espaçados. A fig. 1 identifica o ponto de divergência de acordo com a metodologia como  $1/q_{div} = 333.0 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$  que resulta em  $U_{div} = 70.02 \text{ m/s}$ .

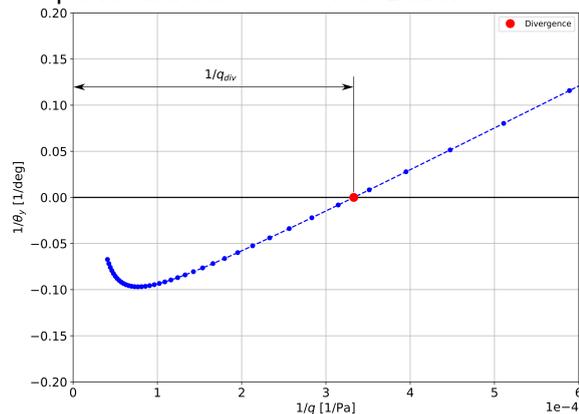


Figura 1: Determinação da velocidade  $U_{div}$ .

Uma asa modificada do estudo da divergência é usada para o cálculo da velocidade de reversão de comando. Essa asa considera um aileron que se estende do meio da envergadura à ponta da asa com

coeficientes de controle  $Cl\beta = 0.8$  e  $Cm\beta = -0.5$ . As seções de asa que contêm o flap têm coeficiente de momento aerodinâmico  $CmAC = \beta \cdot Cm\beta$ , ângulo de sustentação nula  $\alpha_{L=0} = -Cl\beta/2\pi$  e deflexão de flap  $\beta = 1^\circ$ . A fig. 2 traz o ponto calculado de reversão de comando como  $U_{rev} = 37.58 \text{ m/s}$ .

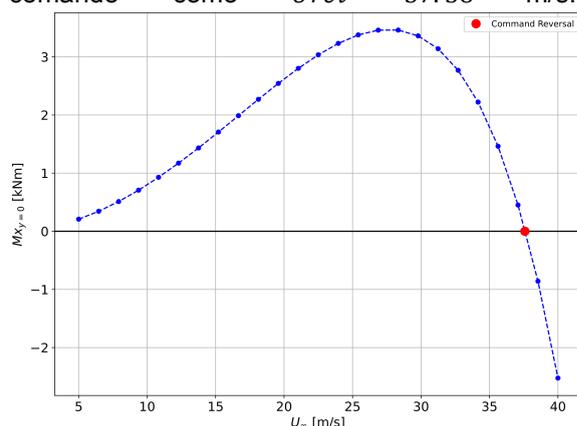


Figura 2: Determinação da velocidade  $U_{rev}$ .

## Conclusões

Este projeto apresentou a aplicação de um modelo monolítico baseado em MEF para estudar problemas aeroelásticos estáticos. Sua natureza monolítica facilita o acoplamento, eliminando a necessidade de interpolações, e sua versatilidade é comprovada por cálculos de parâmetros essenciais de projeto: velocidades de rev de comando e divergência. Esforços futuros serão direcionados para uma descrição dinâmica do modelo para cálculo de flutter.

## Referências Bibliográficas

- [1] Houghton, E.L., Carpenter, P.W., Collicott, S., Valentine, D.: *Aerodynamics for Engineering Students*. Butterworth-Heinemann, 2003.
- [2] Liorbano, F. F., Pelegrineli, L. A., Proença, S. P., & Angélico, R. A. (2022). Solution of a Nonplanar Lifting-Line Model Using the Finite Element Method. *Journal of Aircraft*, 1-11.
- [3] Hughes, T. J. R. *The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*. Dover Civil and Mechanical Engineering. Dover Publications, Mineola, NY, 2000.
- [4] Hodges, D. *Introduction to Structural Dynamics and Aeroelasticity*. Cambridge University Press, New York, 2011.

## Caracterização térmica do resfriamento de chapa metálica durante o impacto de gotas por termografia infravermelho

Carlos Eduardo Brasil de Mendonça Rocha

Arthur Vieira da Silva Oliveira

EESC/USP

[carlosbmrocha@usp.br](mailto:carlosbmrocha@usp.br), [avs.oliveira@usp.br](mailto:avs.oliveira@usp.br)

### Objetivos

O impacto de gotas em superfícies superaquecidas é um tópico recorrente nos estudos de transferência de calor por causa de suas aplicações na engenharia, como na indústria metalúrgica, motores a combustão e em um fluxo bifásico de vapor e gota em um resfriamento de um reator nuclear em um caso hipotético de acidente de perda de refrigerante primário. Em geral, as gotas aparecem em suas aplicações, na forma de sprays. Porém é difícil caracterizar o comportamento e a contribuição das gotas no resfriamento devido ao comportamento estocástico dos sprays. Assim, o estudo inicial do impacto de uma única gota isolada pode ajudar na melhor compreensão e utilização dos sprays em larga escala. Dessa forma, neste trabalho, foi utilizado a técnica de termografia infravermelho para realizar uma medição rápida e pouco intrusiva do transiente do impacto de uma única gota e, com isso, caracterizar o fenômeno do impacto como um todo. Com os resultados obtidos, podemos observar o comportamento térmico da superfície ao longo do impacto e estimar o fluxo de calor empregado e a energia dissipada pela gota.

### Métodos e Procedimentos

Para a realização do experimento foi utilizado uma chapa de aço inox 304L de 0,5 mm com a parte de baixo (virada para a câmera) pintada de preto para melhor sua emissividade.

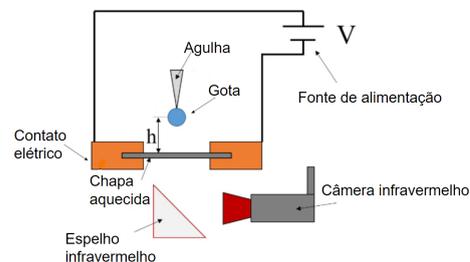


Figura 1: Diagrama do aparato experimental

A disposição da bancada pode ser vista na figura 1. A câmera infravermelho foi programada para captar imagens em 500 fps e foi utilizado um termopar do tipo K, soldado longe da região de impacto da gota, para auxiliar na calibração da câmera. A gota foi solta de diferentes alturas para alterar a velocidade de impacto, que foi estimada utilizando uma formulação de queda livre e variou de 1,4 a 3,4 m/s. O fluxo de calor gerado pelo impacto foi calculado baseado no modelo unidimensional de condução de calor feito por Oliveira [1].

### Resultados

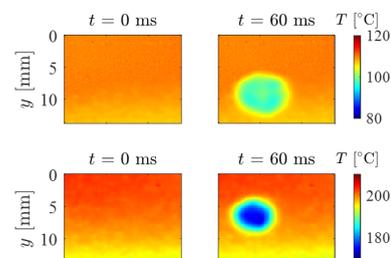


Figura 2: Exemplo de termografia Infravermelho

Foram realizados um total de 9 experimentos, porém, nesse artigo apenas alguns exemplos serão mostrados. Na Figura 2, temos uma imagem infravermelho do impacto de uma gota solta de 60 cm acima da chapa. Nela é possível observar a diferença no resfriamento quando se tem temperaturas de paredes distintas.

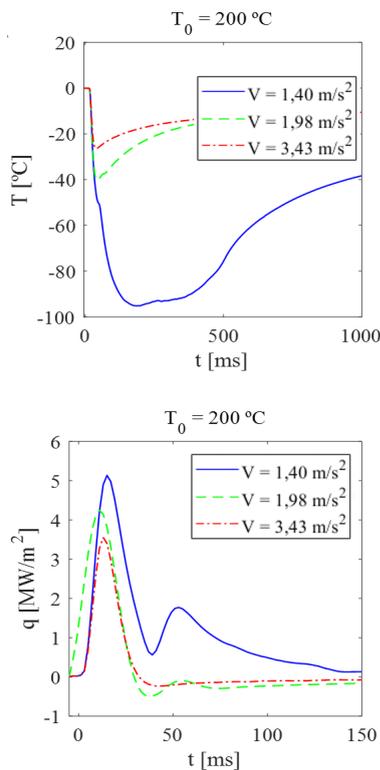


Figura 3: Queda de temperatura e fluxo de calor devido ao impacto de uma gota

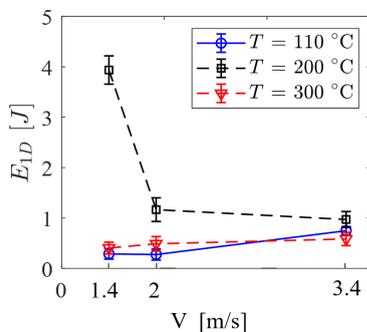


Figura 4: Energia Dissipada pela gota

Na Figura 3, temos a evolução da temperatura e fluxo de calor para a temperatura de  $200\text{ }^\circ\text{C}$  no ponto de impacto. Para a menor velocidade de impacto ( $1,4\text{ m/s}$ ), observamos um comportamento anômalo aos demais, onde o ponto de impacto levou mais tempo para reaquecer. Ao olhar o gráfico do fluxo para esse mesmo experimento, é observado dois picos de fluxo, o que sugere um segundo impacto subsequente da gota. Na Figura 4, são comparadas as energias dissipadas de cada impacto, que foram calculadas pela integração espacial e temporal do fluxo de calor. Podemos ver que, para a temperatura de  $200\text{ }^\circ\text{C}$ , a energia dissipada alcançou valores mais elevados. Essa maior dissipação pode ser um indício de remolhamento da parede.

## Conclusões

Com os experimentos realizados, foi possível observar a dependência que a forma da troca de calor da gota com a parede tem com os parâmetros, como a velocidade de impacto e a temperatura de parede. Mesmo a termografia infravermelho se mostrando uma excelente técnica para a caracterização térmica da placa, a utilização de uma câmera rápida para observar as características hidrodinâmicas do impacto se mostrou essencial para se ter uma análise mais completa. Os conhecimentos adquiridos neste trabalho estão sendo aplicados em um novo conjunto de experimentos mais completos.

## Agradecimentos

Os Autores agradecem à Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM) pela bolsa ABCM PABIC 2022 de Iniciação Científica, à FAPESP pelo financiamento do Auxílio Jovem Pesquisador, processo número 2021/01897-0.

## Referências

- [1] Oliveira, A., 2022. "Cooling of a metallic sheet during the impact of a water droplet measured by high-speed infrared thermography", 19th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Eng. (ENCIT 2022).

## DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR DE GOTAS MONODISPERSAS ATRAVÉS DE MODELO FÍSICO PARA DESPRENDIMENTO DE GOTA

João Marcelo Maris da Silva Filho

Jorge Nicolau dos Santos

Arthur Vieira da Silva Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

[jmarcelofilho@usp.br](mailto:jmarcelofilho@usp.br); [jorgenic@sc.usp.br](mailto:jorgenic@sc.usp.br); [avs.oliveira@usp.br](mailto:avs.oliveira@usp.br)

### Objetivos

A geração de gotas de tamanho e posição bem controlados possui diversas aplicações industriais, como a injeção de cristal líquido para a confecção de telas LCD [1] e a dosagem de insumos na produção de fármacos [2]. Na área acadêmica, a geração de gotas é fundamental nos estudos envolvendo o resfriamento de paredes aquecidas através do impacto de gotas.

Nesse contexto, esta pesquisa de Iniciação Científica propôs o desenvolvimento de um gerador de múltiplas gotas monodispersas, isto é, que possuam o mesmo tamanho e impactem a superfície ao mesmo tempo.

### Métodos e Procedimentos

A Figura 1 apresenta o gerador de gotas desenvolvido, bem como o conjunto de equipamentos para a captura das imagens dos testes. Inicialmente, o fluido é injetado através de uma bomba de seringa, a qual pode ser ajustada para taxas de injeção nanovolumétricas. Posteriormente, o fluido é direcionado a duas tubulações que resultam em duas agulhas – ou seja, geração de duas gotas. No meio do caminho, foram adicionadas duas micro válvulas solenóides, as quais são responsáveis por permitir, ou não, a passagem do fluido. A ideia é que, ao final do crescimento de uma gota, a sua micro válvula correspondente seja fechada, permitindo a

injeção de líquido somente na outra agulha. Através de uma *webcam*, um código, em linguagem G, desenvolvido em *LabView*, realiza o monitoramento em tempo real do tamanho das gotas presas às agulhas. Por fim, após o crescimento desejado das gotas, um cilindro pneumático conectado à base das agulhas é acionado, causando o desprendimento das gotas. Uma câmera de alta velocidade e um refletor LED proporcionando uma iluminação de contraluz foram utilizados para a captura das imagens, cujo tamanho de pixel foi de 18,2  $\mu\text{m}$ .

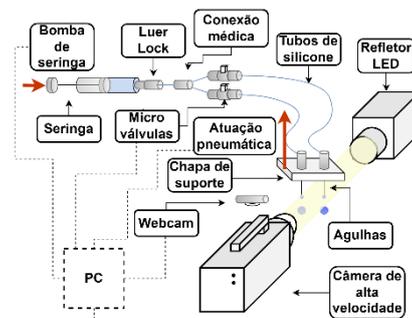


Figura 1: Aparato experimental desenvolvido

O *software* de monitoramento do tamanho de gota foi implementado através de um ajuste de elipse, a partir dos pontos pretos identificados na borda da gota presa. Dessa forma, é possível relacionar esse valor de área com o diâmetro real da gota, permitindo o controle do processo.

O tratamento das imagens envolveu o desenvolvimento de um código no programa

MATLAB, para obtenção da aceleração da agulha e do diâmetro de gota gerada. A aceleração da agulha foi obtida a partir do monitoramento da posição vertical ao longo do tempo de um dos seus pontos, calculando-se a segunda derivada do polinômio obtido para as posições. O tamanho de gota foi obtido através da identificação de círculos implementada na função *imfindcircles* do próprio software. A Figura 2 ilustra uma sequência de frames de um dos testes realizados com água:

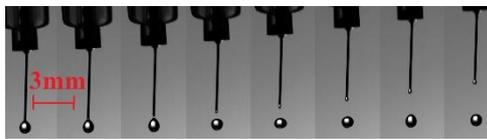


Figura 2: Sequência de frames de um dos testes

## Resultados

Inicialmente, foi desenvolvido um modelo de desprendimento de gotas a partir do balanço de forças no volume de fluido pendente, resultando na equação abaixo:

$$a_f = \frac{6\sigma d_A}{\rho d_0^3} - g \quad (1)$$

Dessa forma, foi possível relacionar a aceleração necessária  $a_f$  para desprender uma gota de diâmetro  $d_0$  em um bocal de diâmetro  $d_A$  com a densidade  $\rho$  e tensão superficial  $\sigma$  do fluido, além da aceleração da gravidade  $g$ . A Figura 3 apresenta o resultado obtido de desprendimento de gota para 17 testes:

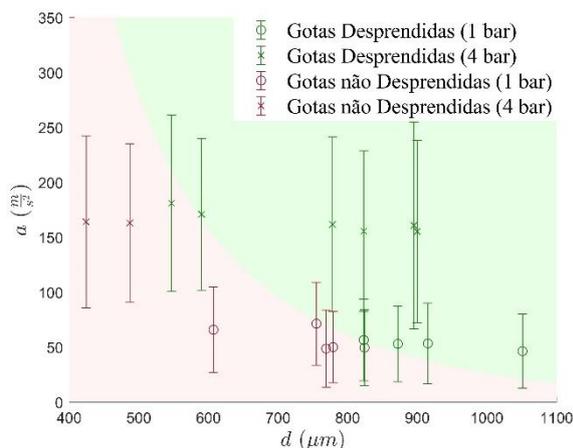


Figura 3: Gráfico do diâmetro de gota obtido pela aceleração aplicada à agulha

No gráfico apresentado anteriormente, as áreas sombreadas representam o modelo teórico de desprendimento – verde para desprendimento e vermelho para não desprendimento –, enquanto que os pontos em verde e vermelho representam as gotas que se desprenderam e não se desprenderam, respectivamente. Nota-se que o modelo teve sucesso para prever o desprendimento ou não das gotas.

Por fim, com o gerador já desenvolvido, duas gotas de mesmo diâmetro impactando uma superfície ao mesmo tempo foram geradas, conforme apresentado na Figura 4:



Figura 4: Quatro frames sobrepostos do impacto simultâneo de duas gotas monodispersas

## Conclusões

Esta pesquisa propôs o desenvolvimento de um gerador de múltiplas gotas monodispersas, o qual foi validado com testes de geração de duas gotas idênticas. Além disso, um modelo para o desprendimento de gotas através de uma aceleração aplicada na agulha foi, também, desenvolvido e validado com sucesso.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro concedido através da Bolsa de Iniciação Científica (2022/05287-5) e do Auxílio Jovem Pesquisador (2021/01897-0).

## Referências

- [1] Fan, K. C., Chen, J. Y., Wang, C. H., & Pan, W. C. *Development of a drop-on-demand droplet generator for one-drop-fill technology*, Sensor Actuat A-Phys 147, no. 2 (2008): 649-655.
- [2] İçten, E., Giridhar, A., Taylor, L. S., Nagy, Z. K., & Reklaitis, G. V. *Dropwise Additive Manufacturing of Pharmaceutical Products for Melt-Based Dosage Forms*, J Pharm Sci 104, no. 5 (2015): 1641-1649.

## Mapeamento do Impacto de Gotas sobre Superfícies Aquecidas e não Aquecidas

Luigi Paero Leitão

Álvaro Felipe Campos Araya

Arthur Vieira da Silva Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

[luigi.leitao@usp.br](mailto:luigi.leitao@usp.br); [afc.araya@usp.br](mailto:afc.araya@usp.br); [avs.oliveira@usp.br](mailto:avs.oliveira@usp.br)

### Objetivos

O fenômeno de gotas impactando superfícies recebeu grande atenção durante as últimas décadas devido a seu grande espectro de aplicações, como o resfriamento de microeletrônicos, o impacto de gotas salinas em tubos de transferência de calor em evaporadores de filme descendente em processos de dessalinização e refrigeração e o resfriamento por spray em sistemas de extinção de incêndios. A grande aplicabilidade deste fenômeno impulsiona a necessidade de estudar as incertezas remanescentes e dúvidas relacionadas ao comportamento térmico e hidrodinâmico inerente à dinâmica da interação entre gotas e superfícies. Nesse contexto, este estudo empregará métodos ópticos de captura de imagem, especificamente reflexão interna total (TIR) e shadowgraph, para caracterizar o resultado do impacto de gotas a partir de imagens obtidas de diferentes ângulos. O resultado será classificado com base em parâmetros de impacto, como o número de Weber e a temperatura da superfície. Dessa maneira, será possível obter uma compreensão mais precisa e mecanicista do comportamento dinâmico das gotas ao impactar substratos de diferentes materiais. Essa abordagem permitirá desenvolver modelos de transferência de calor mais correntes, incorporando os fenômenos identificados por este estudo.

### Métodos e Procedimentos

Para a execução dos experimentos planejados, foi projetada e desenvolvida a estrutura experimental. Por meio dessa estrutura, é possível variar a temperatura da superfície na faixa de 20 a 500 °C, utilizando aquecedores conectados a uma fonte. Além disso, é possível ajustar a altura de liberação da gota para atingir diferentes velocidades de impacto e, conseqüentemente, variar o número de Weber, dado por:  $We = \frac{\rho v^2 D}{\sigma}$ , na ordem de 1 até 900. Desse modo é possível realizar diversos pontos experimentais diante de uma mesma seção de testes.

Toda bancada experimental é montada em cima de uma mesa óptica, e é equipada através dessa com uma fonte de luz e uma lente de Fresnel para o shadowgraph e um laser, filtros ópticos, espelhos e lentes para a técnica de reflexão interna total (TIR). Adicionalmente, são utilizadas câmeras rápidas com lentes dedicadas para cada uma das técnicas de medição, permitindo a captura simultânea dos resultados de cada abordagem a partir do software disponibilizado pelos fornecedores da câmera. O esquemático deste arranjo é apresentado na Figura 1 a seguir.

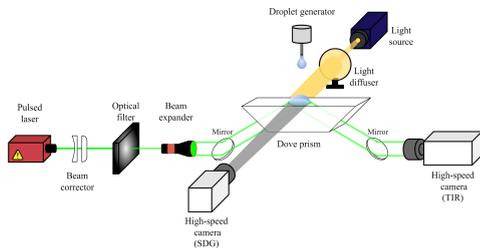


Figura 1: Esquemático da bancada final.

## Resultados

Devido à limitação da TIR a substratos transparentes, foram conduzidos experimentos preliminares com substratos de alumínio e aço (opacos) usando a técnica shadowgraph. Essa abordagem possibilitou a categorização dos regimes de impacto, baseada nos comportamentos intrínsecos às características hidrodinâmicas da interação gota-substrato, que têm impacto na transferência de calor. A Figura 2 a seguir ilustra alguns desses regimes identificados nos experimentos com alumínio, enquanto a Figura 3 mostra o mapa correspondente.

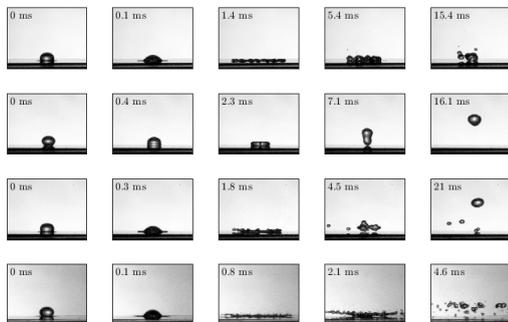


Figura 2: Regimes identificados com gotas de água impactando superfície de alumínio através do Shadowgraph

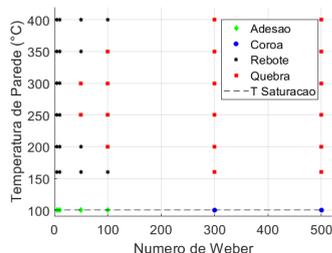


Figura 3: Mapa de regime para substrato de alumínio

Foram realizados experimentos iniciais também para a técnica TIR, buscando uma compreensão mais profunda de sua implementação. Finalmente, testes preliminares foram conduzidos para validar os componentes da bancada definitiva, projetada para a captura simultânea das duas técnicas abordadas no projeto. Os resultados obtidos foram satisfatórios e de qualidade, corroborando a validação do arranjo experimental complexo, vide Figura 4.

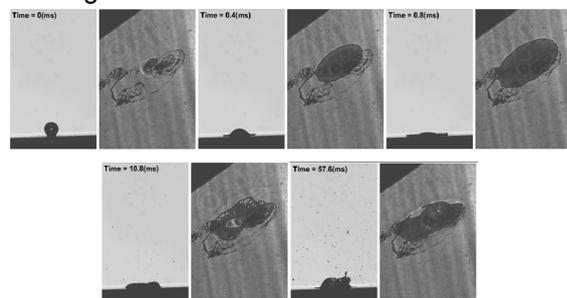


Figura 4: Imagens obtidas através das técnicas TIR e Shadowgraph simultâneas

## Conclusões

Resultados experimentais satisfatórios foram alcançados, permitindo a formulação de mapas de regimes através do shadowgraph, bem como a obtenção de resultados preliminares a partir do arranjo experimental final. Este último validou a configuração necessária para a captura simultânea das técnicas ópticas. O trabalho agora avança para a fase de experimentos finais, destinados a revelar características do impacto por meio de imagens simultâneas obtidas via TIR e shadowgraph.

## Agradecimentos

Gostaria de expressar meus agradecimentos à FAPESP pelo auxílio Jovem Pesquisador (#2021/01897-0) e pela concessão da bolsa (2022/13480-0). Também à EESC, pela oferta da infraestrutura laboratorial, e à empresa Marelli Sistemas Automotivos pela produção de componentes.

## FUNDAMENTOS DO EMARANHAMENTO QUÂNTICO

Tainara dos Santos Mareco

Márcia Cristina Anderson Braz Federson

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

tainara.mareco@usp.br

### Objetivos

O objetivo deste trabalho é proporcionar uma análise abrangente e acessível dos princípios subjacentes ao fenômeno do emaranhamento quântico. Buscou-se fornecer uma compreensão sólida das bases teóricas e experimentais desse fenômeno crucial na mecânica quântica, explorando suas implicações e aplicações em diversas áreas da física quântica.

### Métodos e Procedimentos

Para a realização deste trabalho, foi conduzida uma pesquisa bibliográfica dividida em cinco etapas teóricas, além de investigações relacionadas às aplicações do estudo do emaranhamento quântico em tecnologias.

A primeira etapa teórica abrangeu a compreensão de conceitos fundamentais da física da informação, incluindo a definição de informação quântica, algoritmos quânticos eficientes, complexidade quântica, paralelismo quântico e diversos tipos de *hardwares* quânticos.

A segunda etapa focou-se no entendimento de conceitos como espaço de estados, evolução, medição quântica, estados quânticos, bem como medições projetivas e medições POVM (do inglês, "*Positive Operator-Valued Measure*").

A terceira etapa aprofundou-se no estudo de conceitos como operador densidade, ensembles, decomposição de Schmidt,

emaranhamento, paradoxo EPR e desigualdades de Bell.

A quarta etapa concentrou-se na compreensão de conceitos como medição ortogonal, canais quânticos, dualidade canal-estado e a dilatação de um canal, além da exploração de três canais quânticos e equações mestras para sistemas quânticos abertos.

Por fim, o último tópico estudado na pesquisa bibliográfica abarcou a análise dos seguintes conceitos: inseparabilidade de pares EPR, a desigualdade de Bell, outras desigualdades de Bell, aplicações práticas do emaranhamento, criptografia quântica, emaranhamento de estado misto, não localidade sem emaranhamento, e emaranhamento multipartido.

Cada etapa foi essencial para a construção de uma compreensão abrangente dos fundamentos do emaranhamento quântico e sua aplicabilidade em diversas áreas da tecnologia quântica.

### Resultados

Como resultado deste trabalho, além do aprofundamento nos fundamentos do emaranhamento quântico, foi possível compreender diversas aplicações desse fenômeno.

Os conceitos essenciais para a compreensão da física da informação quântica, como superposição e paralelismo quântico, foram devidamente estudados.

A superposição permite que um sistema quântico exista em múltiplos estados

simultaneamente, desafiando a intuição clássica. Por exemplo, um qubit, unidade básica da informação quântica, pode representar uma combinação linear de  $|0\rangle$  e  $|1\rangle$ . O paralelismo quântico, por sua vez, advém da superposição, possibilitando a realização de operações em diferentes estados simultaneamente.

O experimento mental do Gato de Schrödinger exemplifica vividamente os conceitos de superposição e paralelismo quântico. Na caixa fechada, o gato e o átomo radioativo existem em um estado de superposição, ou seja, simultaneamente "vivo" e "morto", antes da observação. Isso ilustra a superposição quântica, onde um sistema pode estar em múltiplos estados ao mesmo tempo. Além disso, o experimento destaca o paralelismo quântico, pois as possibilidades de estados persistem até que a caixa seja aberta e o sistema seja observado.

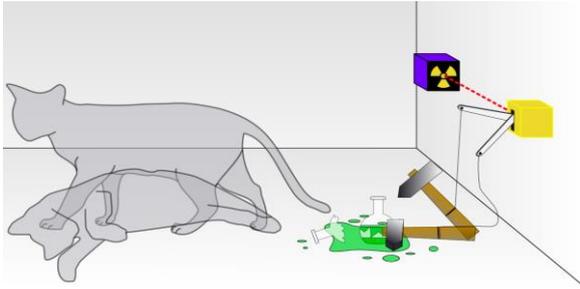


Figura 1: Experimento mental do Gato de Schrödinger.

Disponível em:

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Gato\\_de\\_Schr%C3%B6dinger](https://pt.wikipedia.org/wiki/Gato_de_Schr%C3%B6dinger).

Entender que é possível utilizar estados quânticos em superposição e emaranhamento para codificar e processar informações é crucial para o desenvolvimento de algoritmos quânticos eficientes, capazes de resolver certos problemas de forma exponencialmente mais rápida que seus equivalentes clássicos. Isso traz implicações significativas em segurança criptográfica, otimização de algoritmos de busca, simulações quânticas, entre outras aplicações.

Uma das aplicações centrais estudadas foi o teleporte quântico, uma das mais emblemáticas utilizações do emaranhamento, sendo objeto de pesquisa há décadas. Essa tecnologia desempenha um papel crucial não apenas na computação quântica, mas também na concepção da chamada "internet quântica", prometendo comunicação extremamente rápida e altamente segura, graças ao emaranhamento entre partículas, que assegura a integridade da informação durante a transmissão.

## Conclusões

Conclui-se que o emaranhamento quântico desempenha um papel crucial na comunicação em longas distâncias, exigindo a prévia criação de um estado de emaranhamento compartilhado entre as partes envolvidas. Embora este trabalho ainda esteja sendo desenvolvido, é evidente sua importância para uma compreensão mais abrangente e precisa dos fundamentos do emaranhamento quântico e suas potenciais aplicações em tecnologias futuras.

## Agradecimentos

Agradeço, principalmente, à professora Márcia Federson por todo incentivo e entusiasmo ao orientar este trabalho. Agradeço também ao meu amigo Levy, por toda ajuda sempre que necessário durante o desenvolvimento deste trabalho.

## Referências

- E. Sales. Um estudo sobre estados emaranhados e suas aplicações. Universidade Federal do Tocantins. 2021.
- J. Preskill. Lecture Notes for Physics 229: Quantum information and computation. California Institute of Technology. September, 1998.
- J. Preskill. Quantum computing 40 years later.

**Beatriz Guimarães**

**Polick Zhanpeng e Rafael Duarte**

**Prof. Dr. Elmer Cari**

**EESC/USP**

beatrizgguimaraes@usp.br

### **OBJETIVOS**

Este projeto tem o intuito de conscientizar estudantes selecionados do ensino fundamental público sobre o manejo de circuitos de geração fotovoltaica de energia através de um treinamento feito. Serão apresentados os conceitos e as vantagens desta forma de geração de energia conscientizando ao estudante ao uso de geração fotovoltaica.

### **MÉTODOS E PROCEDIMENTOS**

No início do projeto, foram desenvolvidos 12 kits práticos para utilização de um modelo solar off-grid, que simulam utilizações reais da energia fotovoltaica.

Para essa aplicação foram construídos kits que contavam com ventilador, lâmpada e carregador de telefone, tudo isso alimentado pela energia gerada através dos mini painéis fotovoltaicos. A partir disso, os monitores foram capacitados a fim de treinar os alunos.

Foi escolhido, nesta primeira edição, o Projeto Pequeno Cidadão, da USP São Carlos, que é composto por alunos de toda a cidade de São Carlos.

A fim de habilitar os estudantes participantes, foi realizado um treinamento em três etapas, visando conhecer o funcionamento da geração fotovoltaica em forma teórica e prática.

A primeira etapa foi composta de treinamentos teóricos, adaptando para crianças

as informações contidas no “Curso Solar USP”, ministrado na Universidade pelo professor Elmer Pablo, instruindo sobre os princípios da geração de energia por fontes alternativas, principalmente por meio de fontes fotovoltaicas.

Na segunda etapa foram realizados treinamentos práticos utilizando os kits práticos desenvolvidos. Este treinamento foi feito a céu aberto, auxiliando os estudantes na manipulação dos conjuntos fotovoltaicos e apresentando as diversas aplicações da energia fotovoltaica.



Figuras 01, 02 e 03 - Treinamentos práticos de diferentes turmas (Fonte: Equipe do Projeto)

Por fim, a última etapa foi composta pelo fechamento do projeto, reunindo todas as turmas e realizadas avaliações a partir de resoluções de questões teóricas sobre os tópicos ministrados durante os treinamentos.



Figura 04 - Fechamento do Projeto (Fonte: Equipe do Projeto)

## RESULTADOS

Foram treinados 95 alunos, divididos em 4 turmas com idades entre 10 e 15 anos. O treinamento ocorreu entre os dias 10/05/2023 e 02/06/2023, com uma carga horária de 3 horas, divididas em 2 dias para cada turma

Foi adquirido pelos alunos um conhecimento sólido sobre os conceitos teóricos da energia fotovoltaica, incluindo como é gerada, os benefícios dessa fonte de energia renovável e como ela contribui para a sustentabilidade ambiental.

Uma vez adquiridas as habilidades e conhecimentos necessários, os estudantes serão capazes de aplicar o que aprenderam em sistemas de energia fotovoltaica em cenários reais e no dia a dia.

Após a conclusão do treinamento, os estudantes serão capazes de transmitir o conhecimento adquirido para outras pessoas em suas comunidades, criando um efeito multiplicador e expandindo a conscientização sobre a energia fotovoltaica, investindo em novas gerações.

No fechamento do projeto, os resultados de avaliações orais e escritas dos tópicos ministrados durante os treinamentos forneceram uma medida quantitativa do aprendizado dos alunos, oferecendo feedback positivo sobre as iterações do programa de treinamento.

Em longo prazo, o projeto pode incentivar o uso mais amplo de energia fotovoltaica na comunidade, à medida que os alunos aplicam e compartilham o que aprenderam. Este impacto poderia ser medido pelo aumento no número de instalações de energia fotovoltaica na comunidade.

Por isso, o projeto será estendido para outras escolas de ensino fundamental e médio de São Carlos e Região para o próximo ano. Nesse sentido, já existe um novo projeto para a 2ª edição do “Curso Solar USP em escolas” focado nas Escolas: “Escola Estadual Sebastião de Oliveira Rocha” e “Escola Estadual João Batista Gasparin”, que será realizado em Maio de 2024 (previsão).

## CONCLUSÕES

Este projeto evidenciou-se como uma etapa fundamental na promoção de uma educação orientada para a sustentabilidade, com ênfase na energia fotovoltaica.

A combinação de treinamentos teóricos e práticos permitiu não somente informar, mas também inspirar estudantes sobre a relevância e viabilidade desse tipo de energia, ao mesmo tempo em que desenvolveu habilidades práticas para sua aplicação.

Com a expansão do projeto para mais escolas na cidade de São Carlos e a capacitação de professores, busca-se ampliar ainda mais o seu impacto.

Através deste investimento em educação, almeja-se formar uma geração de líderes conscientes e capacitados para impulsionar uma economia local mais sustentável e responsável.

## BIBLIOGRAFIA

Cari, E. P. T. **Apostilas dos módulos 1 e 2 do Curso Solar USP**, 2022. Disponível em: [www.sel.eesc.usp.br/cursosolar](http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar).

## Protótipo de Sistema Fotovoltaico Off Grid de Árvore Solar - Fase 1

Rafael Bastos Duarte, Rafael Viana Brant

Prof. Elmer Pablo Tito Cari

Escola de Engenharia de São Carlos

[rafaelb.duarte@usp.br](mailto:rafaelb.duarte@usp.br), [rvbrant@usp.br](mailto:rvbrant@usp.br), [elmerpab@sc.usp.br](mailto:elmerpab@sc.usp.br)

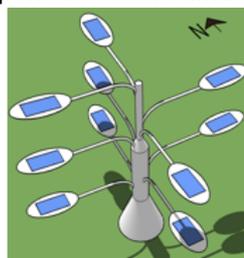
### Objetivos

O objetivo é desenvolver um protótipo de árvore solar fotovoltaico. Para isso, são necessários os seguintes objetivos específicos: I. Construção do protótipo virtual tridimensional; II. Pesquisa dos materiais adequados para a estrutura, suporte e revestimento da árvore solar. III. Construir o protótipo de mini árvore solar e teste dos módulos fotovoltaicos para geração de energia; IV. Análise da eficiência de parâmetros como inclinação das folhas com os módulos e durabilidade da estrutura frente a fenômenos como chuvas e ventos; V. Conscientizar o campus USP São Carlos sobre o uso de energia solar a partir do protótipo desenvolvido.

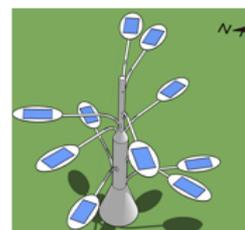
### Métodos e Procedimentos

O projeto da mini árvore solar a partir de pequenos módulos foi pensado para ser executado no software SketchUp, que é amplamente utilizado em diversas áreas da engenharia e permite a criação de protótipos virtuais tridimensionais. É necessário considerar os efeitos do sombreamento causado pelas próprias folhas da estrutura, e a otimização do ângulo azimutal e ângulo de orientação das superfícies em que estarão os módulos, de modo a obtermos as células fotovoltaicas perpendiculares aos raios solares da região (São Carlos, SP). Nesta etapa do

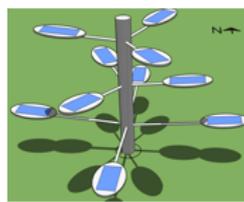
projeto, foram obtidos os seguintes modelos de árvores. Destaca-se as inspirações em árvores reais nos protótipos c) e e), inspirado em araucárias e o modelo d), cuja estrutura foi pensado como uma copa de árvore:



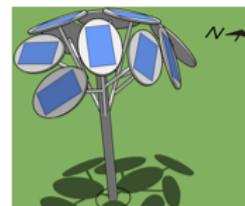
a) ESPCREAL



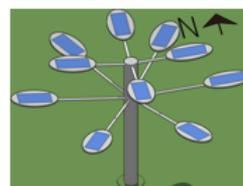
b) ESPCREDES



c) GALPLA



d) COPARV



e) PLANALT

Figura 1: Modelos 3D desenhados

## Sombreamento

Com os dados de perda de potência por sombreamento para cada modelo, com o efeito do sombreamento real (considerando efeito do diodo bypass) e do efeito do horário, foi feita a comparação:

Tabela 1: Comparação do efeito de sombreamento real nos modelos a), b), c) e e)

Modelos	Perdas por sombreamento (%)	Perdas por sombreamento Real (%)	Perdas por sombreamento Real +Hora(%)
ESPCREAL	7,06%	12,29%	12,95%
ESPCREDES	6,60%	13,54%	12,32%
GALPLA	5,52%	9,38%	9,61%
PLANALT	3,10%	6,88%	5,80%

## Energia gerada

Também fizemos a comparação de energia gerada, como visto na tabela a seguir, a exemplo do sombreamento simplificado:

Tabela 2: Comparação da energia gerada nos modelos a), b), c) e e)

Modelos	Energia anual sem sombreamento (kWh)	Energia anual com sombreamento (kWh)
ESPCREAL	3904,95	3629,16
ESPCREDES	3904,95	3647,06
GALPLA	3904,95	3689,36
PLANALT	3904,95	3783,73

## Conclusões

Analisando os resultados das análises de sombreamento como da tabela 1, é evidente que o "PLANAT" se sobressaiu em todos os testes realizados, sendo assim, portanto, o modelo ideal a ser escolhido para a fase seguinte de impressão 3D e testes em laboratório do modelo de árvore solar. No fim, em um possível modelo para o projeto final da árvore foi anexada uma base de 60 cm à árvore solar, que servirá não somente como banco para o uso público, como também para guardar componentes como controlador de carga e bateria.

No final, prevê-se também a disponibilização de tomadas e lâmpadas na base da árvore, para que a energia gerada possa ser utilizada por aqueles que desejarem, contribuindo assim

para o fator de conscientização do uso dessa energia.

Além disso, os testes de sombreamento envolvem somente as sombras formadas pela própria árvore sobre si mesma, e não prevêm sombras geradas por fontes externas como prédios ou outras árvores. Portanto, como o efeito de sombreamento pode ser extremamente prejudicial é altamente recomendado que a árvore seja colocada em local aberto, sem estar sujeita a sombras externas. Recomenda-se também que seja instalada em local de alto movimento de pessoas, visto que a mesma possui o objetivo de ser vista e utilizada para garantir seu propósito de conscientização.

Atualmente, estamos trabalhando em um protótipo de pequeno porte para validar a metodologia. O protótipo está sendo desenvolvido a escala com dimensões reduzidas para futura implementação real, e terá análise estrutural feita em trabalhos posteriores. Por último, estamos buscando empresas parceiras para poder produzir o sistema em grande escala.

## Agradecimentos

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, projeto nº 2022/13338-9, e ao PUB - Programa Unificado de Bolsas, projeto nº 1432, que forneceu o apoio financeiro necessário para a garantir a infraestrutura da pesquisa.

## Referências

CARI, E. P. T. Estudo de sistemas fotovoltaicos off grid: Apostila Módulo 1 e 2 do Curso Solar Fotovoltaico da USP - São Carlos. SEL-EESC-USP, 2020. Disponível em: <http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/>

COUTINHO, C. R. O efeito do sombreamento e diodos de bypass em módulos fotovoltaicos. 2016

## ESTIMATIVAS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DE GRANITOS E ROCHAS BÁSICAS POR MEIO DE ENSAIOS DE CARGA PONTUAL

Teixeira, L.S.; Meira Júnior, R.S.

Alves, D.T.

Ribeiro, R.P.

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)

Leoteixeira1812@usp.br; robertosmjr@usp.br; danielaalves@usp.br; rogerioprx@sc.usp.br

### Introdução

Os materiais pétreos utilizados como agregados devem apresentar propriedades compatíveis com as solicitações impostas em serviço. No caso de lastro ferroviário, agregados sem ligantes, foco de pesquisa mais ampla na qual se insere este trabalho, a rocha deve possuir alta resistência à compressão para suportar os esforços provocados pelo peso dos veículos e, forma e granulometria adequadas, para distribuir as tensões com eficiência para a plataforma.

No caso da resistência à compressão uniaxial, pode ser estimada pelo ensaio de carga pontual, também denominado compressão puntiforme (CP), que possui uma configuração mais simples, de rápida execução e de baixo custo.

### Objetivos

Estimar a resistência à compressão uniaxial por meio de ensaios CP em quatro tipos de litotipos (granitos, diabásio e basalto) explotados em pedreiras ativas nas regiões de São Paulo, Cajamar, Americana e Leme, respectivamente.

### Métodos e Procedimentos

Com base nas diretrizes da norma D5731 (ASTM, 2016), dezenas de corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 55 mm foram

rompidos axialmente pela aplicação de uma carga concentrada a partir de duas ponteiros cônicas de um equipamento de configuração mais simples (Figura 1), sendo então calculado e obtido o índice  $Is(50)$ . Os ensaios foram realizados nas condições secas e saturadas possibilitando, dessa forma, avaliar o possível enfraquecimento hidráulico  $R$  de cada rocha em relação aos esforços nelas exercidos. O coeficiente  $R$  (Kowalski, 1970 apud Mesquita, 2002), relaciona a resistência de um material seco e saturado, permitindo avaliar o efeito da água na resistência dos materiais rochosos.

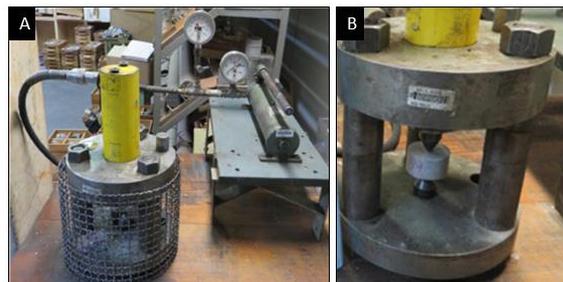


Figura 1- (A) Equipamento de ensaio CP; (B) Detalhe das ponteiros cônicas em contato com os corpos de prova ensaiados (Ø55 mm).

### Resultados

Em referência aos dados dos ensaios de carga pontual apresentados na Tabela 1, as rochas apresentam resistências muito alta ( $Is50$  entre 5,1 e 6,6 MPa) a extremamente alta ( $Is50$  de 10,8 a 11,1 MPa) no caso do diabásio, rocha

de estrutura maciça, homogênea, compacta e de granulação fina a fina/média.

Tabela 1 – Síntese dos resultados de ensaios CP

Rocha (N)	Is(50) e estatística (MPa)					
	M	DP	M+DP	M-DP	>V/<V	
PAR	9	6,39	1,00	7,39	5,39	7,59/4,80
PAR <sub>s</sub>	10	5,61	1,54	7,14	4,07	7,80/3,36
TIC	11	5,28	0,48	5,76	4,81	6,01/4,53
TIC <sub>s</sub>	12	5,07	0,90	5,97	4,17	6,15/3,28
DIA	11	<b>11,11</b>	0,58	11,69	10,53	12,12/10,18
DIA <sub>s</sub>	11	<b>10,84</b>	0,80	11,64	10,04	12,82/9,70
BAS	12	6,61	1,05	7,66	5,56	8,01/4,91
BAS <sub>s</sub>	11	5,97	1,60	7,57	4,38	8,37/3,71

NOTA1: PAR/PAR<sub>s</sub>- Granito Parelheiros (sec/sat); TIC/TIC<sub>s</sub>- Granito Morro do Tico-Tico (sec/sat); DIA/DIA<sub>s</sub>- Diabásio (sec/sat); BAS/BAS<sub>s</sub>- Basalto (sec/sat); NOTA 2: N- Numero de ensaios válidos; M- Média; DP- Desvio-padrão; >V/<V- maior e menor valor.

Para se correlacionar os resultados de ensaios CP, no presente estudo foram adotadas as formulações propostas pela norma D5731 (ASTM, 2016) e por Al-Harthy (2001), cujas estimativas de RCU são respectivamente apresentadas na Tabela 2 e Figura 2.

Tabela 2 – Estimativas do coeficiente de enfraquecimento hidráulico (R) e da resistência à compressão uniaxial (RCU)

Rocha	R (%)	RCU <sub>1</sub> (MPa)		RCU <sub>2</sub> (MPa)	
		sec	sat	sec	sat
PAR	90,3	157,78	142,45	150,00	137,00
TIC	87,5	123,59	108,11	120,00	110,00
DIA	97,8	262,24	256,51	248,00	241,00
BAS	90,4	157,28	142,24	150,00	138,00

NOTA1: PAR- Granito Parelheiros; TIC- Granito Morro do Tico-Tico; DIA- Diabásio; BAS- Basalto; NOTA 2: RCU<sub>1</sub> e RCU<sub>2</sub> – estimativas pela norma D5731 (ASTM,2016) e Al-Harthy (2001), respectivamente; NOTA 3: estimativa do coeficiente R feita com base nos valores de RCU determinados pela diretrizes da norma D5731 (ASTM, 2016).

Pode-se verificar que os valores de RCU estimados pelas diretrizes da norma ASTM e por Al-Harthy (2001) são relativamente próximos, indicando que as rochas apresentam valores de RCU que variam entre 120 e 262,2 MPa. Levando-se em conta a perda de resistência de 12,5% no caso dos ensaios em condição saturada do granito TIC, esta rocha constitui o material com RCU mais baixa entre os materiais estudados, mas ainda pouco acima do requisito mínimo de 100 MPa estabelecido pela norma NBR 5664 (ABNT, 2021), visando emprego de rocha britada como lastro ferroviário.

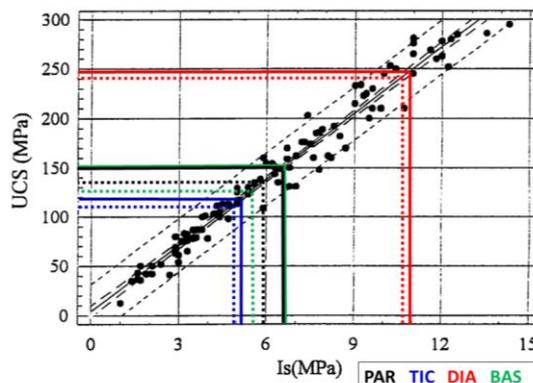


Figura 2- Correlações entre Is e RCU (Modificado de Al-Harthy, 2001).

## Considerações finais

Os dados de ensaios apresentados constituem parte de pesquisa mais ampla em desenvolvimento pela mestrandia Daniela T. Alves, na qual prevê-se avaliações comparativas de ensaios CP em corpos de prova cilíndricos de 75mm de diâmetro, requeridos pela norma NBR 5564 (2021), bem como a determinação de RCU nas diferentes condições de ensaios

## Agradecimentos

Os autores agradecem pelas bolsas disponibilizadas pelo edital PUB/USP, projeto nº3626, vigência 2022/2023.

## Referências

- ABNT NBR 5564: Via Férrea – Lastro Ferroviário - Requisitos e métodos de ensaio. Associação Brasileira De Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2021.
- ASTM D5731. Standard test method for determination of the point load strength index of rock and application to rock strength classifications. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. 2016.
- MESQUITA, M. P. S. Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do stock Morrinho, Santa Quitéria (CE). Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 171 p. 2002.
- AL-HARTHI, A. A. A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate. Bull Eng Geol Env. v. 60, n. 3, p. 193-200. 2001.

## ESTIMATIVAS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DE GRANITOS E ROCHAS BÁSICAS POR MEIO DE ENSAIOS DE ESCLEROMETRIA

**Meira Júnior, R.S.; Teixeira, L.S.**

**Alves, D.T.; Medinaceli, R.T.**

**Ribeiro, R.P.**

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)

robertosmjr@usp.br; leoteixeira1812@usp.br; danielaalves@usp.br; ruben.medinaceli@usp.br; rogerioprx@sc.usp.br

### Introdução

Além da carga pontual, o ensaio de esclerometria ou teste do martelo de Schmidt, é um outro método e não destrutivo que pode ser utilizado para determinar um valor aproximado da resistência à compressão. Foi desenvolvido originalmente para mensurações da resistência de concretos, tendo também nas últimas décadas ampla e diversificada utilização em Mecânica das Rochas. Conforme abordado por Monticelli (2019; p.127), amplo debate sobre o emprego de impactos simples ou contínuos para se obter o número de rebote com esclerômetro é verificado na literatura.

### Objetivos

Estimar a resistência à compressão uniaxial por meio de ensaios de esclerometria em quatro tipos de litotipos (granitos, diabásio e basalto) explotados em pedreiras ativas nas regiões de São Paulo, Cajamar, Americana e Leme, respectivamente.

### Métodos e Procedimentos

Conforme ilustrado na Figura 1, utilizou-se um martelo digital Silver Schmidt Proceq, tipo L (0,735 Nm), que possui sistema de correção de rebote em relação à orientação de aplicação do

aparelho, principal vantagem deste esclerômetro em relação aos demais martelos.



Figura 1- Esclerômetro em uso nas dependências do Lab. de Mecânica das Rochas do Depto. de Geotecnia da EESC/USP.

Em atendimento às diretrizes da norma D5893 (ASTM, 2001) foram realizadas, em cada corpo de prova, 10 leituras de impacto único, separadas por ao menos 1 diâmetro do pistão de impacto do esclerômetro; descartando aquelas que diferem da média em mais de 7 unidades e calculando-se a média das restantes.

## Resultados

Os ensaios esclerométricos realizados em 46 corpos de provas tanto secos como saturados totalizaram 815 medições válidas. Conforme apresentado na Tabela 1, as rochas apresentam-se muito resistentes (Rebote “R” entre 56,0 e 66,2) sendo os valores mais expressivos os casos do diabásio e do basalto, rochas compactas, de estrutura maciça e de granulação média/fina a fina.

Em termos comparativos, em se tratando de rochas de porosidade (< 1,96%) e absorção de água (< 0,68%) muito baixos, não foi observado enfraquecimento hidráulico por conta do efeito da água na resistência dos materiais rochosos, com variação de +0,6% a -0,4% na razão entre valores de rebote nas condições saturadas e secas podendo ser, portanto, considerados estatisticamente muito similares.

Tabela 1 – Síntese dos resultados de ensaios CP

Rocha (N)	R e estatística				
	R <sub>M</sub>	DP	M+D P	M-DP	>V/<V
PAR	60,90	2,53	63,43	58,37	63,30/56,38
PAR <sub>s</sub>	60,98	2,73	63,72	58,25	64,56/56,25
TIC	56,02	1,76	57,78	54,26	59,28/53,56
TIC <sub>s</sub>	56,30	1,54	57,84	54,77	58,90/53,72
DIA	66,24	2,72	68,96	63,52	70,78/61,40
DIA <sub>s</sub>	65,98	3,32	69,30	62,67	70,17/59,75
BAS	64,13	1,58	65,71	62,55	66,94/62,00
BAS <sub>s</sub>	64,51	1,45	65,96	63,06	66,56/62,14

NOTA1: PAR/PAR<sub>s</sub>- Granito Parelheiros (sec/sat); TIC/TIC<sub>s</sub>- Granito Morro do Tico-Tico (sec/sat); DIA/DIA<sub>s</sub>- Diabásio (sec/sat); BAS/BAS<sub>s</sub>- Basalto (sec/sat); NOTA 2: N- Numero de corpos de prova ensaiados; M- Média; DP- Desvio-padrão; >V/<V- maior e menor valor.

Para se correlacionar os resultados dos testes de esclerometria, no presente estudo adotou-se a formulação empírica proposta por Wang & Wan (2019) para se obter estimativas de RCU conforme a equação abaixo:

$$RCU = \frac{6222}{88,15 - R} - 70,38$$

Com base nos valores mais representativos do Rebotes R com o esclerômetro tipo L utilizado nas campanhas de medições laboratoriais, as estimativas de RCU são: PAR (158,66 MPa), TIC (125 MPa), DIA (213,61 MPa) e BAS

(188,65 MPa). Valores estes compatíveis com as características geomecânicas das rochas avaliadas no presente estudo e com ordens de grandezas de resistência mecânica similares a outros conjuntos de ensaios tecnológicos desenvolvidos no âmbito do projeto PUB/USP n°3626, vigência 2022/2023.

## Considerações finais

Os dados de ensaios apresentados constituem parte de pesquisa mais ampla em desenvolvimento pela mestrandia Daniela T. Alves no Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da EESC/USP, na qual prevê-se avaliações comparativas de ensaios esclerométricos em corpos de prova cilíndricos de 75mm de diâmetro, bem como a determinação de RCU em diferentes diâmetros e em condições de ensaio (secos e saturados), levando-se em conta as recomendações da norma NBR 5564 (ABNT, 2021), que trata da caracterização tecnológica para lastro ferroviário.

## Agradecimentos

Os autores agradecem pelas bolsas disponibilizadas pelo edital PUB/USP, projeto n°3626, vigência 2022/2023.

## Referências

ABNT NBR 5564: Via Férrea – Lastro Ferroviário - Requisitos e métodos de ensaio. Associação Brasileira De Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 2021.

ASTM D5893. Standard test method for determination of rock hardness rebound number method. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. 2001.

Monticelli, J.P. Weathering study of the gneissic rock mass from the Monte Seco tunnel region, Southeastern Brazil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 154p. 2019.

Wang, M. & Wan, W. A new empirical formula for evaluating uniaxial compressive strength using the Schmidt hammer test. Int J. Rock Mech Min Sci, 123 (2019) 104994.

# Zoneamento da recarga das águas subterrâneas: aplicação município de São Carlos(SP) - Escala 1:50.000.

Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos

Lavinia Aguiar Pereira ([laviniaaguiar136@gmail.com](mailto:laviniaaguiar136@gmail.com))  
Lázaro Valentim Zuquette ([lazarus1@sc.usp.br](mailto:lazarus1@sc.usp.br))

## INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas constituem um bem essencial para a humanidade e mais de 90% das águas doces e líquidas da Terra encontram-se armazenadas nos poros dos materiais geológicos, formando grandes reservatórios de água potável denominados de aquíferos. Parte das águas dos poros é absorvida pelas plantas por meio das raízes e são usadas pelos seres humanos por meio da extração por poços, outra parte mantém a umidade do solo, recarrega lagos e zonas úmidas, sendo responsável pelo fluxo de base dos canais de drenagem, assim como, a perenização nos períodos de estiagem.

Sendo assim é fundamental compreender os fatores envolvidos na recarga, definida como a parcela de água que infiltra no solo até atingir o sistema aquífero. Sendo assim, o conhecimento acima da recarga é um dos pontos de maior relevância nesse gerenciamento.

## OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi a elaboração de uma hierarquização das áreas de recarga das águas subterrâneas no município de São Carlos considerando os materiais geológicos e suas características geotécnicas, assim como as chuvas e evapotranspiração, baseado na pelo método de pesos diretos e uso do Qgis.

## MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

O estudo foi desenvolvido com base no modelo conceitual da Figura 1 e no fluxograma da Figura 2, desenvolvidos por Pereira e Zuquette (2023), seguindo as diferentes etapas sequenciais e os dados coletados em trabalhos prévios.

## Modelo conceitual

O estudo foi realizado considerando o modelo conceitual da Figura 1, que retrata as diferentes relações que foram consideradas neste tudo.

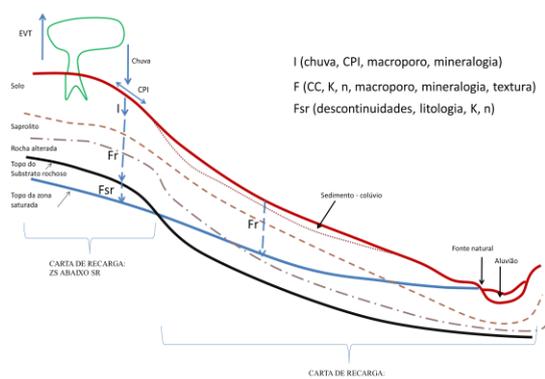


Figura 1. Modelo conceitual adotado no estudo.

Os atributos e classes foram associados às condições envolvidas no modelo conceitual e para cada atributo foi adotado um peso que foi adotado em função da importância do atributo e da classe nas condições de recarga das águas subterrâneas.

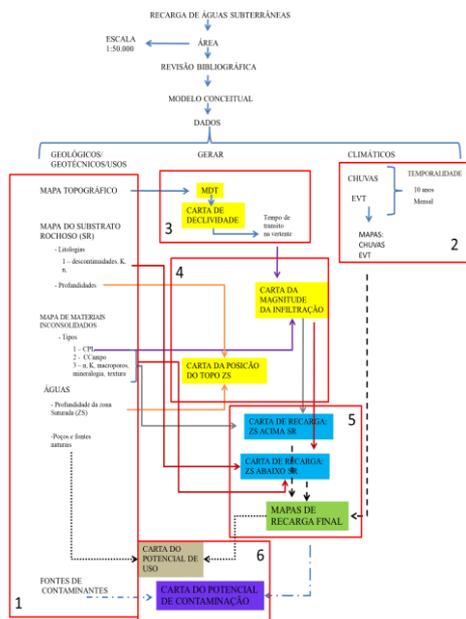


Figura 2. Fluxograma geral do estudo.

## RESULTADOS

Os atributos e respectivas classes foram digitalizados e inseridos como shapes no Qgis e a álgebra de acordo com o fluxograma da Figura 2 resultou no mapa de zoneamento de recarga de águas subterrâneas do município de São Carlos (SP), conforme Figura 3.

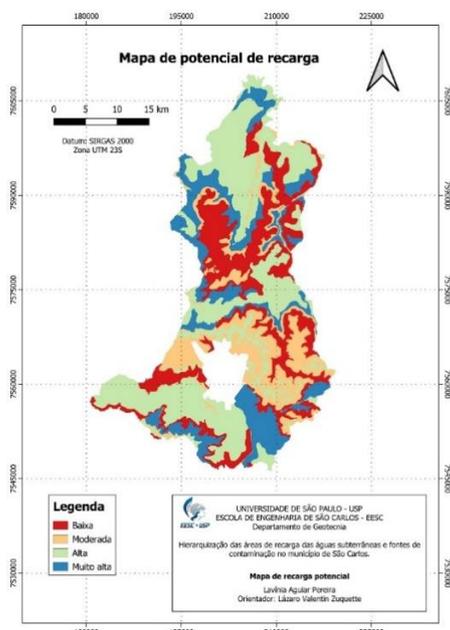


Figura 3. Mapa de zoneamento de recarga de águas subterrâneas do município de São Carlos (SP).

A análise do mapa de recarga da Figura revelou a distribuição significativa das classes: "alta" que abrange uma expressiva parcela de 39% da área total, indicando um grande potencial de influência no processo de recarga de água subterrânea, enquanto, a "muito alta" ocupa 19% da área total e, ambas, totalizam 58%. Por outro lado, a classe "baixa" e a "moderada" ocupam parcelas menores, de 24% e 18%, respectivamente, mas totalizando uma extensão de 42% da área total.

## CONCLUSÕES

A partir do mapa de recarga, é evidente que mais da metade do município de São Carlos possui áreas propícias para a recarga de água subterrânea. Quase metade da área demonstra um alto potencial de recarga, enquanto cerca de 20% apresenta um potencial muito alto. Essas informações são cruciais para orientar a gestão ambiental e territorial, assim como, a tomada de decisões relacionadas aos recursos hídricos, evidenciando as áreas críticas que demandam medidas de conservação e do uso sustentável da água subterrânea na região.

## REFERENCIAS

Pereira, L., Zuquette, L. (2023). Hierarquização das áreas de recarga das águas subterrâneas e fontes de contaminação no município de São Carlos. Relatório Científico da Bolsa de IC – PIBIC – CNPq. Engenharia Ambiental – EESC/USP.

## LEAN CONSTRUCTION: IMPACTO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA LEAN EM CONSTRUTORAS NO BRASIL

Vitor Sgotti

Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

vitor.sgotti@usp.br

### Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa de iniciação científica é identificar e analisar as principais ferramentas e técnicas de *lean construction* utilizadas por construtoras no Brasil. A partir disso, busca-se compreender a sua aplicação, benefícios, e desafios enfrentados pelas empresas do setor. Para atingir o objetivo geral, foram alcançados os seguintes objetivos específicos:

- I. Revisar a literatura sobre *lean construction* para embasar a elaboração do formulário de perguntas;
- II. Elaborar um formulário de perguntas seguras e abrangentes sobre as ferramentas e técnicas de *lean construction*;
- III. Realizar a pré-testagem do formulário com o professor orientador da pesquisa para validar o conteúdo e a clareza das questões;
- IV. Disponibilizar o formulário por meio da plataforma 'Google Forms' para ser respondido pelos construtores selecionados para a pesquisa;
- V. Realizar a análise das respostas para identificar as principais ferramentas e técnicas de *lean construction* adotadas pelas construtoras no cenário nacional.

### Métodos e Procedimentos

Em um primeiro momento, realizou-se um processo de investigação na literatura já existente acerca do tema, tendo como base para investigação os moldes da metodologia de Revisão Bibliográfica Sistemática, a fim de se criar um embasamento teórico-científico a partir do processo de coleta, conhecimento, compreensão, análise, síntese e avaliação de um conjunto de artigos científicos (LEVY; ELLIS, 2006). Em seguida procurou-se realizar uma *survey*, a qual baseia-se na obtenção de dados ou informações sobre características, ações ou opiniões de determinado grupo de pessoas, indicado como representante de uma população alvo, por meio de um instrumento de pesquisa, normalmente um questionário (Tanurapud Pinsonneault e Kraemer, 1993). No entanto, devido à baixa quantidade de respostas obtidas, as quais podem ter sido influenciadas por diversos fatores, tais como disponibilidade dos respondentes e complexidade das questões, foi necessário realizar uma mudança na metodologia inicialmente proposta, uma vez que não seria possível tirar conclusões descritivas sobre o uso de ferramentas e técnicas *lean* por construtoras no ambiente nacional. Por isso, tentou-se migrar para o método de estudo de caso devido à possibilidade de demonstrar uma dada teoria em um contexto prático, isto é, de forma a confirmar ou não o que está previsto na literatura, permitindo uma expansão e

refinamento da teoria (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002), mas que também, devido algumas limitações de tempo e disponibilidade das empresas contatadas para o estudo de caso, necessitou ser adaptada.

Por fim, a conclusão desse trabalho foi feita exclusivamente com base na revisão bibliográfica

## Resultados

Como o objetivo inicial não foi atingido, impossibilitando a discussão dos resultados a partir do estudo de caso aplicado, a conclusão desse trabalho foi feita exclusivamente com base na revisão bibliográfica

## Conclusões

A aplicação da filosofia *lean construction* na indústria da construção civil no Brasil tem um grande potencial para trazer uma série de resultados positivos e oportunidades de melhorias significativas. A adoção do *lean construction* pode resultar em uma melhoria substancial na eficiência dos processos construtivos. Ao eliminar desperdícios, otimizar o fluxo de trabalho e promover a colaboração entre os diferentes stakeholders, pode-se reduzir os prazos de construção, diminuir os custos e aumentar a qualidade das edificações. Isso não beneficia apenas as empresas de construção, mas também os consumidores finais, que terão acesso a projetos mais seguros e confiáveis.

## Agradecimentos

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho. Ao professor doutor Kleber Francisco

Esposto por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

## Referências

LEVY, Y.; ELLIS, T. J. **Uma Abordagem de Sistemas para Conduzir uma Revisão de Literatura Eficaz em Apoio à Pesquisa de Sistemas de Informação**. *International Journal of an Emerging Transdiscipline*, v. 9, p. 181-212, 2006.

PINSONNEAUT, A.; KRAEMER, K. L. **Survey research in management information systems: na assesment**. *Journal of Management Information System*, 1993.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. **Case research in operations management**. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 22, n. 2, p. 195–219, 2002.

# MODELAGEM DE UM PROBLEMA DE CORTE DE ITENS IRREGULARES COM ROTAÇÕES LIVRES APLICADO À INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Walison Adrian de Oliveira

Sarah Lopes Lira Feitosa

Marina Andretta

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação / Universidade de São Paulo

[Walisonadrian201@usp.br](mailto:Walisonadrian201@usp.br)

## Objetivos

Diversas indústrias siderúrgicas necessitam cortar placas de aço em peças irregulares menores, levando em consideração condições de tamanho e formato impostas pelos clientes. Assim, é notório que a otimização do uso do material é de suma importância para o lucro e a sustentabilidade das empresas, tendo em vista que quanto mais sucata restar das placas, mais resíduos as empresas irão gerar e menos matéria-prima elas irão aproveitar. Assim, objetivamos modelar matematicamente o *Irregular Single Knapsack Problem (ISKP)*, de modo a testar a modelagem com instâncias adaptadas da literatura e, assim, tirar conclusões sobre a sua eficácia na aplicação nas indústrias siderúrgicas.

## Métodos e Procedimentos

O problema de corte e empacotamento de itens irregulares a ser tratado neste projeto consiste em cortar itens irregulares e circulares, que possuem rotações livres, em uma placa retangular de dimensões fixas, de modo que os itens não sejam sobrepostos e não ultrapassem as limitações da placa, buscando maximizar o espaço utilizado na placa. Tal problema é definido na literatura como *Irregular Single Knapsack Problem (ISKP)*. A Figura 1 exemplifica o problema em questão, em que os polígonos e círculos a serem cortados estão com suas arestas destacadas na cor preta.

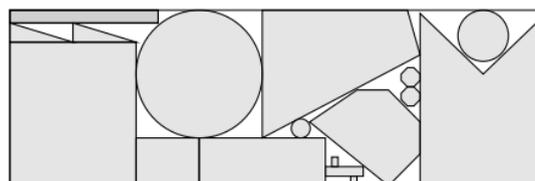


Figura 1: Exemplo de corte de itens irregulares

Assim, podemos modelar o *ISKP* como um problema de otimização não-linear inteira. Para tal, definimos as variáveis e parâmetros do modelo; sua função objetivo, que corresponde a maximizar a área dos itens empacotados; as restrições de não-sobreposição entre itens e as restrições de contenção dos itens no recipiente. Dados os seguintes parâmetros e variáveis:

Parâmetros	
$W, H$	Largura e altura da placa, respectivamente.
$X_0, Y_0$	Largura e altura do recipiente artificial, respectivamente.
$(x_{ij}^{\ell}, y_{ij}^{\ell})$	O ponto representando o vértice $\ell$ (com $\ell = 1, \dots, v_{ij}$ ), da partição $j$ (com $j = 1, \dots, p_i$ ), do polígono não-convexo $i$ (com $i = 1, \dots, n$ ), em que $n$ é a quantidade de polígonos a serem cortados.
$r_i$	Raio de cada circunferência $i$ (com $i = 1, \dots, n_c$ ), em que $n_c$ é a quantidade de itens circulares presentes no problema.
$A_i, A_j^c$	As áreas de cada polígono (com $i = 1, \dots, n$ ) e as áreas de cada círculo (com $j = 1, \dots, n_c$ ), respectivamente.
Variáveis	
$(x_i^c, y_i^c)$	Ponto representando as coordenadas onde será alocado o centro do círculo $i$ (com $i = 1, \dots, n_c$ ).
$(\tilde{x}_{ij}^{\ell}, \tilde{y}_{ij}^{\ell})$	O ponto representando o vértice $\ell$ (com $\ell = 1, \dots, v_{ij}$ ), da partição $j$ (com $j = 1, \dots, p_i$ ), do polígono não-convexo translacionado e rotacionado $i$ (com $i = 1, \dots, n$ ).
$c_{ijrs}, d_{ijrs}$	Coefficiente angular e coeficiente linear, respectivamente, da reta que separa dois polígonos $P_{ij}$ (com $i = 1, \dots, n-1$ e $j = 1, \dots, p_i$ ) e $P_{rs}$ (com $r = i+1, \dots, n$ e $l = 1, \dots, v_{ij}$ ).
$c_{ijk}, d_{ijk}$	Coefficiente angular e coeficiente linear, respectivamente, da reta que separa um polígono $P_{ij}$ (com $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, p_i$ ) e um círculo $C_k$ (com $k = 1, \dots, n_c$ ).
$\Delta_{ijk}$	Distância do centro do círculo $C_k$ à reta separadora de $C_k$ e $P_{ij}$ (com $i = 1, \dots, n$ , $j = 1, \dots, p_i$ e $k = 1, \dots, n_c$ ).
$\rho_i, \rho_j^c$	Variáveis binárias (com $i = 1, \dots, n$ e $j = 1, \dots, n_c$ ), que indicam se um item (polígono ou círculo) foi alocado na placa real (quando $\rho_i = 1$ ) ou artificial (quando $\rho_i = 0$ ).

Tabela 1: Parâmetros e variáveis do modelo.

O modelo final é dado por:

$$\text{Max.} \quad \sum_{i=1}^n A_i p_i + \sum_{i=1}^{n_c} A_i^c \rho_i^c \quad (2.1)$$

$$\text{s. a} \quad \rho_i X_0 + r_i \leq \bar{x}_{ij}^e \leq X_0 + \rho_i W, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p_i, \quad (2.2)$$

$$\rho_i Y_0 \leq \bar{y}_{ij}^e \leq Y_0 + \rho_i H, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p_i, \quad (2.3)$$

$$\rho_i^c X_0 + r_i \leq x_i^c \leq X_0 - r_i + \rho_i^c W, \quad i = 1, \dots, n_c, \quad (2.4)$$

$$\rho_i^c Y_0 + r_i \leq y_i^c \leq Y_0 - r_i + \rho_i^c H, \quad i = 1, \dots, n_c, \quad (2.5)$$

$$\bar{y}_{ij}^e - c_{ijrs} \bar{x}_{ij}^e - d_{ijrs} \leq 0, \quad i = 1, \dots, n-1, \quad r = i+1, \dots, n, \quad (2.6)$$

$$\bar{y}_{rs}^e - c_{ijrs} \bar{x}_{rs}^e - d_{ijrs} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n-1, \quad r = i+1, \dots, n, \quad (2.7)$$

$$\bar{y}_{ij}^e - c_{ijk} \bar{x}_{ij}^e - d_{ijk} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p_i, \quad (2.8)$$

$$y_k^c - c_{ijk} x_k^c - d_{ijk} \leq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p_i, \quad (2.9)$$

$$\Delta_{ijk} \geq r_k, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p_i, \quad (2.10)$$

$$(x_i^c - x_j^c)^2 + (y_i^c - y_j^c)^2 \geq (r_i + r_j)^2, \quad i = 1, \dots, n_c - 1, \quad j = i+1, \dots, n_c, \quad (2.11)$$

$$\rho_i, \rho_j^c \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n_c, \quad (2.12)$$

$$\bar{x}_{ij}^e, \bar{y}_{ij}^e \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p_i, \quad (2.13)$$

$$x_i^c, y_i^c \geq 0, \quad i = 1, \dots, n_c, \quad (2.14)$$

$$c_{ijk}, d_{ijk} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, p_i, \quad (2.15)$$

$$c_{ijrs}, d_{ijrs} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n-1, \quad r = i+1, \dots, n, \quad (2.16)$$

A função objetivo (2.1) representa a maximização da área total dos itens alocados na placa. As restrições (2.2) - (2.5) asseguram que os polígonos e círculos sejam alocados dentro dos limites do recipiente. As restrições (2.6) - (2.7) garantem a não sobreposição entre polígonos e as restrições (2.8) - (2.10) a não sobreposição entre polígonos e círculos. As restrições (2.11) garantem a não sobreposição entre círculos. As restrições (2.12) - (2.16) determinam o domínio das variáveis.

No intuito de analisar a qualidade das soluções que podem ser obtidas através da resolução da modelagem matemática apresentada, realizamos experimentos computacionais, utilizando o *solver* SCIP, com um conjunto de 10 instâncias diferentes, baseadas em instâncias da literatura.

## Resultados

A Tabela 2 representa as instâncias testadas com a modelagem apresentada e utilizando o SCIP como *solver*.

Instância	Quantidade de Itens	Dimensões da Placa	Quantidade de Variáveis	Nós Explorados	GAP	Solução	Tempo (s)
<i>Three</i>	(3, 2)	13 × 13	353	3423	0%	54.41	0.50
<i>Shapes0</i>	(4, 2)	21 × 21	2477	22521	0%	171.70	583.69
<i>Blaze1</i>	(7, 1)	12 × 14	2465	1	0%	84.14	8.49
<i>Albano</i>	(8, 1)	6100 × 6100	4914	1	0%	14998306.64	28.54
<i>Marques</i>	(8, 1)	75 × 75	4952	1	0%	2830.14	25.72
<i>Shirts</i>	(8, 3)	27 × 22	4733	54210	29.94%	30.00	3600.13
<i>Dagli</i>	(10, 1)	58 × 30	4646	51	0%	1017.44	41.12
<i>Mao</i>	(9, 3)	1800 × 2200	9434	1	0%	1860433.14	87.08
<i>Dighe2</i>	(10, 2)	150 × 100	2631	86560	-	-	3600.02
<i>Fu</i>	(12, 1)	42 × 38	2392	99025	78.14%	615.00	3600.08

Tabela 2: Soluções obtidas para as instâncias.

Analisando os resultados obtidos, é possível perceber que para a maioria das instâncias usadas, uma solução ótima foi encontrada. Já em alguns casos, não obtivemos uma solução viável no tempo máximo estabelecido (de 3600 segundos). Em nossos testes, notamos que nas instâncias *Three*, *Shapes0*, *Blaze1*, *Albano*, *Marques*, *Dagli* e *Mao*, em que todos os itens cabem dentro da placa, o modelo tende a encontrar uma solução ótima de maneira ágil e eficaz, diferentemente do que acontece com as instâncias em que nem todos os itens cabem dentro da placa, como, por exemplo, as instâncias *Shirts*, *Dighe2* e *Fu*.

## Conclusões

De modo geral, nas instâncias com uma maior quantidade de itens, pelo fato do problema possuir mais variáveis, as soluções, mesmo para os casos em que todos os itens podem ser alocados no recipiente, demoram mais para serem encontradas do que nas instâncias com menos itens. Isso evidencia que encontrar uma solução ótima para problemas de otimização não-linear inteira utilizando métodos exatos pode ser muito custoso computacionalmente, especialmente para problemas de maior porte.

## Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), nos processos 2022/08538-9 e 2013/07375-0, e ao Programa Unificado de Bolsas (PUB), pelo financiamento da presente pesquisa.

## Referências

J. Peralta e M. Andretta e J. Oliveira. Solving Irregular Strip Packing Problems With Free Rotations Using Separation Lines. Pesquisa Operacional, V. 38 (2), 2018.

## DESEMPENHO MECÂNICO DE ADESIVOS À BASE DE ZEÍNA

Daniela Winsley Valereto Friozi

Paula Bertolino Sanvezzo

Márcia Cristina Branciforti

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

danielawinsley@usp.br

### Objetivos

Desenvolver um adesivo biodegradável a partir da zeína, proteína proveniente do endosperma do milho, com propriedades adesivas satisfatórias para uso em diversos substratos, como alternativa sustentável aos adesivos comerciais.

### Métodos e Procedimentos

A zeína bruta em pó foi extraída a partir de farelo de glúten de milho (CGM60) da empresa Ingredion Incorporated. Para tanto, fez-se uso de um processo de baixo custo envolvendo, dentre outras etapas, rotaevaporação, secagem, trituração e peneiramento. Na sequência, foi realizada a dissolução da zeína bruta em solução aquosa de dodecilsulfato de sódio - SDS - (200 mmol/L) e posterior adição da solução final a moldes quadrados de PTFE (politetrafluoretileno) para secagem em estufa a 70 °C. Após a secagem, foi possível a retirada dos filmes de zeína e SDS com o auxílio de uma espátula. Por fim, o adesivo foi obtido ao submergir o filme em soluções aquosas de diferentes cloretos metálicos ( $\text{FeCl}_3$  e  $\text{CaCl}_2$ ) por um período pré-definido de tempo [1]. Os testes foram realizados em diferentes substratos, como papel cartão (gramatura 276  $\text{g/m}^2$ ), vidro, polipropileno e madeira (*pinus*, orientação longitudinal e 12 % de umidade) [1,2]. Para a adesivação, adicionou-se

quantidades semelhantes de adesivos em cada amostra e aguardou sua secagem. Para cada substrato foram adesivadas pelo menos 5 amostras. A resistência da união adesiva foi medida utilizando o equipamento Instron Universal Test 5969 com velocidade do ensaio de 2 mm/min [3].

### Resultados

A Figura 1 mostra os valores de resistência máxima ao cisalhamento para cada conjunto substrato/adesivo.

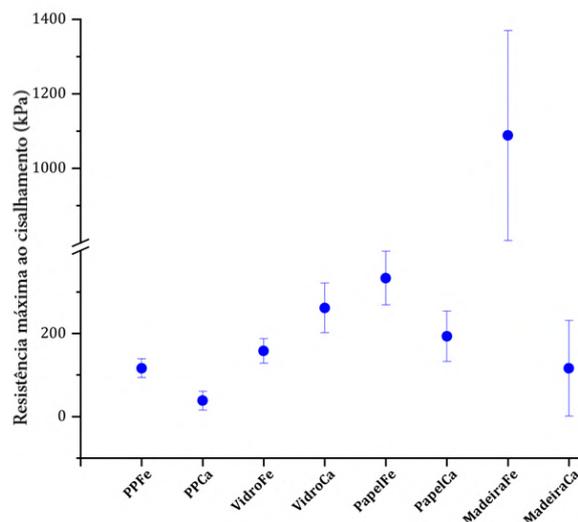


Figura 1: Resistência máxima ao cisalhamento dos conjuntos substratos/adesivo

Para o adesivo preparado com ferro, o substrato de madeira apresentou os maiores valores de resistência adesiva ( $1088 \pm 282$  kPa) seguidos pelo papel cartão ( $333 \pm 64$  kPa). Já para o de cálcio, destacou-se o substrato de vidro com ( $261 \pm 60$  kPa). Os menores valores de resistência ao cisalhamento encontrados correspondem ao PP para ambos os adesivos, indicando um mecanismo de adesão menos eficiente para esse tipo de superfície. Além disso, como se nota nas Figuras 2a e b, visualmente os adesivos são semelhantes, porém, após o ensaio de cisalhamento foi possível observar que o adesivo com  $\text{FeCl}_3$  é mais dúctil, enquanto o com  $\text{CaCl}_2$  mostra-se mais frágil e quebradiço (Figuras 2c e d).

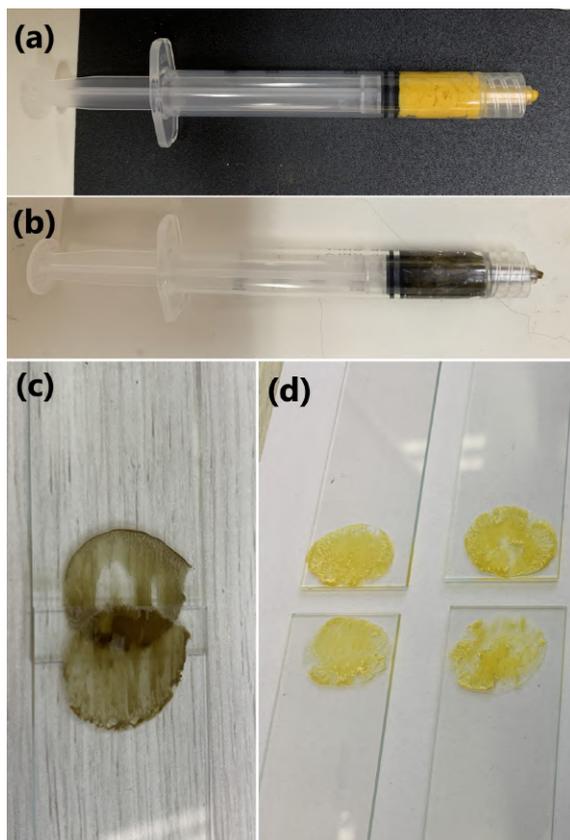


Figura 2: Adesivos (a) Zeína/DDS/Ca(II) e (b) Zeína/DDS/Fe(III); Corpos de prova com (c) adesivo Zeína/DDS/Fe(III) e (d) adesivo Zeína/DDS/Ca(II) pós ensaio de cisalhamento

## Conclusões

Dentre os adesivos trabalhados, o que foi composto de ferro aparenta maior potencial prático tanto pelos valores de resistência supracitados, quanto por sua maior ductilidade percebida visualmente após o ensaio de cisalhamento. Os adesivos à base de zeína apresentam resultados promissores em substratos diversos, bem como são biodegradáveis e possuem baixa toxicidade. Além disso, a zeína utilizada para obtenção desses adesivos é proveniente do farelo de glúten de milho, um subproduto da indústria do amido de milho, a partir de um processo de baixo custo e rendimento considerável. Desse modo, os adesivos de zeína destacam-se como uma alternativa sustentável e economicamente viável frente aos adesivos comerciais.

## Agradecimentos

As autoras agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo número 2022/16745-4) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (código de financiamento 001) pelo apoio financeiro.

## Referências

- [1] WEI, Yanxia et al. **Water-resistant zein-based adhesives**. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 8, n. 20, p. 7668-7679, 2020.
- [2] LUTZ, Theresa M. et al. **Bio-based and bio-inspired adhesives from animals and plants for biomedical applications**. Materials Today Bio, v. 13, p. 100203, 2022.
- [3] ASTM D2919-01. **Standard Test Method for Determining Durability of Adhesive Joints Stressed in Shear by Tension Loading**.

## DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS A BASE DE CARBETO DE NIÓBIO E ZIRCÔNIA

Gabrielli Yamakawa Yokota

Prof. Vera Lucia Arantes

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP)

gabriellyamakawa@usp.br

### Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o estudo dos efeitos da adição de zirconia parcialmente estabilizada com ítria ( $3Y.ZrO_2$ ) em compósitos de carbetos de nióbio ( $NbC$ ) nas propriedades de dureza e densificação do material após a sinterização, a fim de verificar a viabilidade da aplicação desse material na produção de ferramentas de corte. Além disso, procura-se analisar o efeito da temperatura de sinterização nessas mesmas características, com o objetivo de encontrar a combinação de parâmetros adequadas para as aplicações de engenharia.

### Métodos e Procedimentos

Primeiramente, foram formuladas 4 composições de carbetos de nióbio com diferentes adições de zircônia, sendo elas 5, 10, 15 e 20% em proporções molares. As composições foram pesadas e misturadas em moinho de bolas por 5 horas com esferas de carbetos de tungstênio em proporção bola:pó de 3:1.

Em seguida, foi realizada a prensagem uniaxial em molde com 12 mm de diâmetro com aplicação de 5 MPa de pressão. Foram preparadas 3 amostras homogêneas de cada composição e 6 heterogêneas com gradiente funcional: 3 na forma assimétrica, com 4 camadas diferentes de material, e 3 na forma simétrica, com 7 camadas com adição molar percentual de zircônia de 5/10/15/20/15/10/5.

Então, as amostras foram encaminhadas para a prensagem isostática a 200 MPa com o objetivo de minimizar gradientes de compactação causados pela prensagem uniaxial, aumentando sua resistência a verde e permitindo maior densificação do material na sinterização.

As amostras então foram divididas em 3 grupos, sendo que, cada um, continha 4 amostras homogêneas, 1 amostra heterogênea simétrica e 1 amostra heterogênea assimétrica. Cada grupo de amostras foi sinterizado a uma temperatura diferente, sendo elas 1400, 1500 e 1600°C, em forno de atmosfera controlada com vácuo realizado durante todo aquecimento e resfriamento. As taxas de aquecimento adotadas foram de 5 a 8°C/s e variaram de acordo com as especificações do fabricante do equipamento. Após sinterizadas, as amostras foram submetidas a ensaios de densidade e porosidade aparentes.

Em seguida, foi realizada a preparação dos corpos de prova para o ensaio de indentação Vickers, realizada a partir do lixamento e polimento das amostras. Então, foram realizadas indentações com 20 kg de carga nas amostras sendo que, nas amostras heterogêneas, foram realizadas marcações individuais em cada uma das camadas de material, com o objetivo de comparar as propriedades de cada uma delas.

## Resultados

Após a análise das amostras sinterizadas, foi nítido o efeito da temperatura de sinterização na densificação dos materiais com gradiente funcional, já que a densidade relativa foi crescente com o aumento desse parâmetro. Além disso, a temperatura de sinterização também teve grande efeito na dureza do material. Na figura 1 é possível observar como o aumento da temperatura de sinterização causa um aumento na dureza do material obtido.

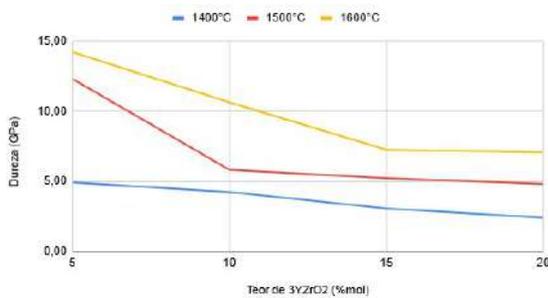


Figura 1: Perfil de dureza dos compósitos

A dureza e densificação máxima obtida neste trabalho foi medida no compósito com 5% mol de 3Y.ZrO<sub>2</sub> sinterizado a 1600°C, chegando a uma dureza comparável aos materiais tradicionais utilizados em ferramentas de corte como o compósito Co-WC, que variam de 6,86 a 22,54 GPa dependendo da granulometria do pó utilizado

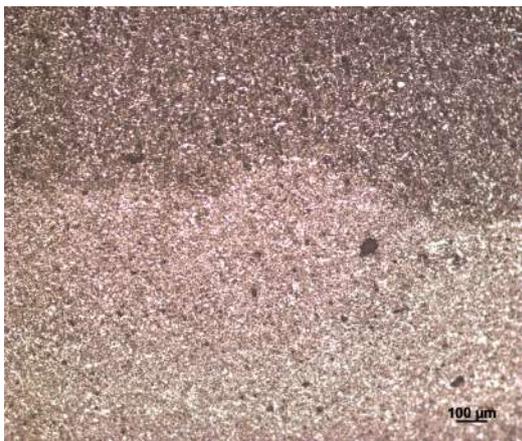


Figura 2: Interface NbC/5-10%ZrO<sub>2</sub> (1500°C)

Foi possível notar, também, que houve retração linear variando de 1,68 a 9,84%, crescendo com o aumento da proporção de zircônia na mistura, causando acúmulo de tensões residuais nas amostras heterogêneas. Apesar disso, com a análise microscópica, verificou-se a ausência de trincas nas interfaces do material durante a sinterização, conforme se observa na figura 2.

## Conclusões

Analisando os resultados, foi possível inferir que a dureza e a densificação de um material estão diretamente relacionadas com a temperatura de sinterização e com a composição química do material.

Para o sistema de NbC e ZrO<sub>2</sub>, observou-se um aumento na dureza e na densificação com aumento do teor de NbC na composição e com o aumento da temperatura de sinterização.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa concedida durante a pesquisa e a todo Departamento de Engenharia de Materiais e Manufatura (SMM) da USP São Carlos pelo suporte e estrutura.

## Referências

- [1] KRESSE, Thomas et al. Hardness of WC-Co hard metals: Preparation, quantitative microstructure analysis, structure-property relationship and modelling. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, v. 75, p. 287-293, 2018.
- [2] PIERSON, H. O. H. Carbides of group V: Vanadium, Niobium and Tantalum Carbides. Handbook of refractory carbides & nitrides. New Jersey: Noyes Publications, 1996. Cap. 5, p. 81-99.
- [3] SANTOS, C. *et al.* PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COMPÓSITO ZrO<sub>2</sub>-NbC OBTIDO POR PRENSAGEM À QUENTE. **CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, p. 1565-1573, 19 nov. 2006.

## Preparação de membrana cerâmica condutora superiônica para prospecção de lítio

**Estudante Autor: Pedro Lucas Vicentino**

**Orientadora: Juliana M. P. Almeida**

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

e-mail: pedro.vicentino@estudante.ufscar.br e juliana.almeida@ufscar.br

### Objetivos

Os materiais cerâmicos condutores superiônicos da família NASICON - (acrônimo do Inglês Na-Super Ionic Conductor), apresentam propriedades físicas e químicas que corroboram para aplicações atreladas à extração de lítio da água marinha. Nesse sentido, o presente projeto objetivou a síntese dos pós, através de reação de estado sólido e sinterização convencional do material cerâmico com a composição:



Denominada LATP. A motivação para a escolha do material ocorreu devido à sua seletividade de diferentes espécies iônicas, visto que a sua estrutura cristalina tem a presença de interstícios e que proporcionam a utilização desse material como membrana.

### Métodos e Procedimentos

Foram utilizados como precursores para gerar o Carbonato de Lítio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ), Óxido de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Dióxido de Titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e Fosfato Diamônico ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ).

Após a pesagem dos precursores, o material passou pela etapa de moagem em moinho de esferas, com meios de moagem de zircônia de 10mm de diâmetro e álcool isopropílico, seguindo para secagem em estufa e posteriormente a calcinação do pó. A calcinação foi realizada em cinco diferentes

temperaturas, em 700°C, 800°C, 850°C, 900°C e 950°C por 2 horas a fim de obter a fase seguinte livre de fases espúrias:



A formação da fase foi analisada a partir da obtenção de difratograma de raios x (Bruker AXS,  $\text{Cu K}\alpha = 1,54051 \text{ \AA}$ , passo de 0,20°/s). Em relação à conformação, o material calcinado foi levado à prensa isostática em 200MPa durante 2 minutos, formando amostras cilíndricas com 7 mm de diâmetro.

As amostras conformadas foram sinterizadas em 1000°C, 1050°C e 1100°C por 2 horas. A densidade relativa das amostras foi calculada utilizando o princípio de Arquimedes. Por fim, foi realizada a deposição de Au por sputtering nas superfícies das amostras para realização da caracterização por espectroscopia de impedância.

### Resultados

A figura 1 apresenta a difração de raios-x para diferentes condições de calcinação. Observa-se que o material calcinado à 950°C, a fase desejada do material cerâmico da família NASICON sem a presença de fases secundárias foi atingida.

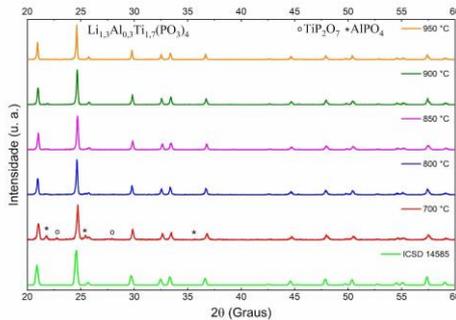


Figura 1: Difratoograma do material calcinado em 700°C, 800°C, 850°C, 900°C e 950°C.

Além disso, foi realizado teste de dilatométrica, que apontou a retração dessa mesma amostra em 1200°C. Concomitante a isso, o material apresentou densidade de 81% para amostra sinterizada em 1100°C e, por fim, teste de impedância apresentou que o material é um bom condutor iônico, visto que os resultados apontaram condutividade de  $6,8 \times 10^{-6} \text{ S/cm}$ ,  $1,9 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$  para amostra sinterizada em 1050°C e  $2,81 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$  em 1000°C.

## Conclusões

Nessa etapa do trabalho, foi possível preparar o material cerâmico de composição:



o qual apresenta estrutura NASICON, com densidade de 81% e condutividade de  $1,9 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$  para amostra sinterizada em 1050°C. Esse material é relevante para aplicações como membranas, cuja seletividade iônica será avaliada na próxima etapa do trabalho. A otimização da densidade e condutividade está sendo realizada utilizando diferentes precursores.

## Agradecimentos

Agradecimentos ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, à Universidade de São Paulo e aos órgãos de fomento a pesquisa, em especial ao CNPQ e Unidade EMBRAPII UFSCar.

## Referências

- YANG, Sixie et al. Lithium metal extraction from seawater. *Joule*, v. 2, n. 9, p. 1648-1651, 2018. [1]
- DIAS, Jeferson A.; SANTAGNELI, Silvia H.; MESSADDEQ, Younes. Methods for lithium ion NASICON preparation: from solid-state synthesis to highly conductive glass-ceramics. *The Journal of Physical Chemistry C*, v. 124, n. 49, p. 26518-26539, 2020. [2]
- EPP, Viktor et al. Very fast bulk Li ion diffusivity in crystalline  $\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{0.5}\text{Ti}_{1.5}(\text{PO}_4)_3$  as seen using NMR relaxometry. *Physical Chemistry Chemical Physics*, v. 17, n. 48, p. 32115-32121, 2015. [3]

## VIABILIDADE DO USO DE REJEITOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA FABRICAÇÃO DE ROCHAS ARTIFICIAIS

**Julia Morales Miranda**

**Vitor Augusto Silva Souza**

**Eduardo Bellini Ferreira**

**Paulo Giovany Quadros do Amaral**

Departamento Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo

juliam1956@usp.br

### Objetivos

A pesquisa visa avaliar a viabilidade técnica do reaproveitamento de rejeitos da indústria de rochas ornamentais como matérias-primas para o desenvolvimento de uma rocha artificial por meio da rota dos geopolímeros.

### Métodos e Procedimentos

Os materiais selecionados para estudo foram as rochas: Alpinus; Blue Shadow; White Shadow; Candelarius; Krystallus. A primeira fase do estudo envolveu reduzir o material abaixo de 600  $\mu\text{m}$  para teste da reação das rochas com solução alcalina de NaOH 12 M e NaSiO<sub>3</sub> 1:1 em peso. Foram confeccionadas argamassas contendo 70% do pó de cada rocha e 30% da solução alcalina. Antes, os pós das rochas foram secos em estufa à 90 °C. A segunda fase do projeto envolveu escolher a rocha alvo e acrescentar uma fonte de aluminossilicato (caulim e metacaulim), necessário para a formação de um geopolímero [1,2,3]. Para tanto, foram confeccionadas argamassas contendo 30% em massa de solução aquosa 10 M de hidróxido de sódio, 30% em peso de silicato de sódio e 40% da rocha precursora em pó de acordo com uma composição de referência escolhida da literatura [1].

### Resultados

Na escolha da rocha alvo, o mármore foi o único material *in natura* (sem adição de caulim ou metacaulim) que reagiu com o meio e solidificou, mas não alcançou a consolidação necessária para avançar no estudo. A formulação de geopolímero utilizando caulim como precursor não completou a solidificação, o que pode ser explicado pelo alto teor de água estrutural já presente no caulim, que impede a polimerização com formação de ligações cruzadas, e levando a um processo lento de cura.

Além disso, esse fator causou eflorescência na superfície das amostras, precedida pela separação de um líquido viscoso na placa de apoio e caracterizada pela formação de cristais secundários superficiais (Figura 1).

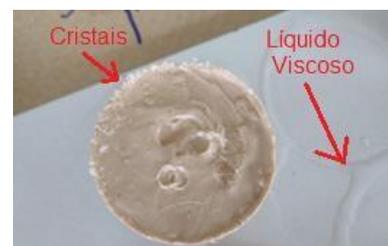


Figura 1: Processo de eflorescência.

Esse fenômeno pode ser explicado pelo excesso de silicato de sódio na formulação, que difunde para a superfície por capilaridade e provoca a recristalização do soluto à medida que a água evapora [3].

Nas formulações utilizando metacaulim, três conjuntos de amostras diferentes foram produzidos. O primeiro consistiu no uso de NaOH e o silicato de sódio. Nos conjuntos 2 e 3, no entanto, o silicato de sódio foi substituído, respectivamente, por pó de vidro de garrafas verdes e mármore.

Variou-se o preparo das amostras [2], com o objetivo de comparar as diferenças resultantes dos métodos direto (*one part-mix*) e indireto (*two part-mix*) de formulação do geopolímero. Na metodologia da mistura em duas partes o ativador alcalino é uma solução aquosa a qual é misturada ao precursor de aluminossilicato no estado sólido. Já no caso da sintetização de geopolímeros em uma única etapa, precursores e ativadores alcalinos em forma de material sólido são utilizados.

Foram observados que os corpos de prova com vidro e mármore como ativadores alcalinos apresentaram tempo de cura de aproximadamente 3 dias, significativamente menor que aqueles empregando o silicato de sódio no metacaulim. O conjunto 3 aderiu ao porcelanato em que estava apoiado.

Ademais, observou-se uma elevada presença de poros na superfície das amostras devido ao processo manual de moldagem e compactação, como pode ser visto na Figura 2.



Figura 2: Poros e cura desigual.

No mesmo registro, observa-se a presença de dois círculos de tonalidades diferentes

concêntricos, o que indica uma cura desigual, mais rápida no centro, enquanto as extremidades passam pelo processo de forma mais lenta.

Por fim, os resultados obtidos pelos métodos direto (*one part-mix*) e indireto (*two part-mix*) de preparação dos geopolímeros não apresentaram discrepância na avaliação do tempo de cura.

## Conclusões

Através dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização do metacaulim como fonte de aluminossilicato é viável juntamente com o mármore, a rocha alvo da pesquisa, apresentando uma propriedade colante por reação química, parecida com a das argamassas cimentícias. O uso do vidro como substituição de silicato de sódio precisa de mais estudos. Esse estudo serviu de base para o planejamento de uma massa de geopolímero com mármore que será caracterizada na segunda etapa da pesquisa.

## Agradecimentos

Ao convênio de pesquisa USP/ BRAMAGRAN/ CAJUGRAM/ MAGBAN/ FIPAI nº 1013613 pelo auxílio financeiro e à bolsa de iniciação científica (IC) da J.M. Miranda. Ao projeto PUB pela IC do V.A.S. Souza. Ao projeto CeRTEV da FAPESP 2013/07793-6, por parte do auxílio à pesquisa.

## Referências

- [1] OLIVEIRA, M; LAMEIRAS, F. **Mix Design Formulation Range for Metakaolin-Based Geopolymer Synthesis.** Metallurgy and Materials, v.75, p. 225-234, 2022.
- [2] GERALDO, Rodrigo; GONÇALVES, Jardel; CAMARINI, Gladis. **Production Process of an Eco-Friendly One-Part Alkali-Activated Binder.** Material Research, v. 25, p. e20210433, 2022.
- [3] BARBOSA, V; MACKENZIE, K. **Thermal behaviour of inorganic geopolymers and composites derived from sodium polysialate.** Materials Research Bulletin, v.38, p.319–331, 2003.

## **Aplicação da técnica de correlação de imagens digitais em um material modelo submetido à variação de temperatura**

**Bruno de Lima Vieira, Igor Paganotto Zago,  
Ricardo Afonso Angélico**

Escola de engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

brunolimavieira@usp.br

### **Objetivos**

A incompatibilidade das propriedades termomecânicas pode levar à falha do material quando esse é submetido a variações de temperatura [1, 2]. A investigação experimental de tais fenômenos é complexa, e o monitoramento por meio de técnicas não-invasivas é bem-vindo. Em particular, a técnica de correlação de imagens digitais (CID) permite a avaliação dos campos de deslocamento e deformação, fornecendo informações para uma melhor compreensão do comportamento do material. Nesse contexto, a presente pesquisa visa avaliar o comportamento de trincas de um compósito modelo submetido a variações de temperatura usando a técnica de CID.

### **Metodologia**

Para realizar os testes experimentais, Zago utilizou um forno instrumentado que possibilitou a aplicação da técnica de Correlação de Imagens Digitais (CID). Essa técnica foi essencial para visualizar e quantificar os campos de deslocamento e deformação nas amostras analisadas. A aplicação da técnica de CID foi realizada com o auxílio do software Correli 3.0 [3].

O corpo-de-prova testado consiste em uma inclusão de latão envolvida por uma matriz de alumina. O teste experimental foi conduzido a partir de 40 °C até 250 °C. Como o

coeficiente de expansão térmica da inclusão é maior do que o da matriz, são esperados padrões de trincas radiais nessa configuração.

Durante os experimentos, duas regiões de interesse específicas foram selecionadas dentro das amostras, conforme mostrado na Figura 1. Essas regiões foram escolhidas para a análise dos principais componentes de deformação, permitindo uma compreensão mais profunda do comportamento termomecânico de materiais heterogêneos bifásicos submetidos a variações de temperatura.

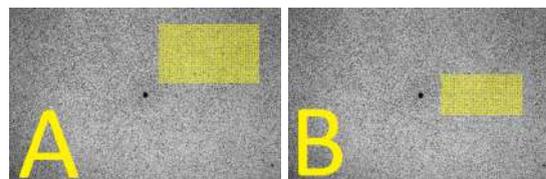


Figura 1: Região de interesse A e B

Para aprimorar as análises, foram utilizadas várias malhas com diferentes tamanhos de elementos, como visto na Figura 2. Essa abordagem permitiu uma análise detalhada, enriquecendo significativamente os resultados obtidos e proporcionando uma melhor compreensão dos fenômenos de nucleação e propagação de trincas nesses materiais.

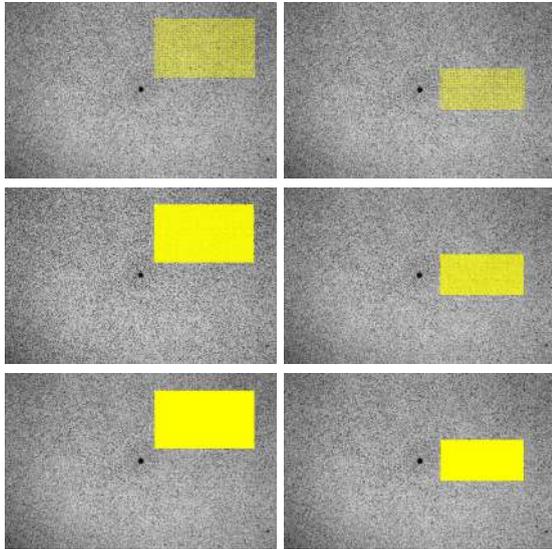


Figura 2: Malhas adotadas para a análise de correlação nas regiões A (esquerda) e B (direita).

## Resultados

Os campos de deformação principal máxima obtidos para as regiões A e B na última imagem analisada podem ser vistos na Figura 3 para as diferentes malhas. Na região A, o campo de deformação principal máxima permite destacar uma trinca radial que se inicia na interface inclusão/matriz. Não foram observadas trincas na Região B considerando os parâmetros de correlação adotados. Malhas menos refinadas proporcionam um melhor contraste entre a trinca e o fundo. No entanto, a trinca parece ter uma abertura maior. Malhas mais refinadas proporcionam uma trinca nítida, embora com um comportamento oscilatório no domínio da matriz. Os resultados demonstram que existe um equilíbrio entre a visualização da trinca e o tamanho do elemento adotado no procedimento de correlação.

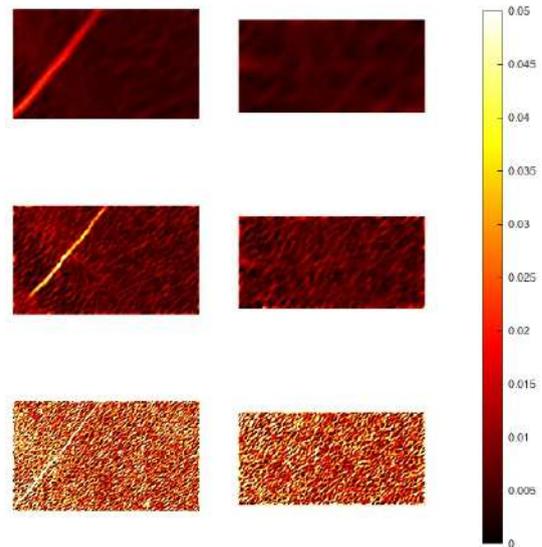


Figura 3: Deformação principal máxima nas regiões A (esquerda) e B (direita).

## Conclusão

Este projeto apresentou o uso da técnica de CID na avaliação do trincamento de um compósito modelo submetido à variação de temperatura. A técnica possibilitou a comparação da avaliação da trinca em duas regiões do corpo-de-prova. A combinação das propriedades termomecânicas da inclusão e da matriz resultou em um padrão de trinca radial quando o material foi aquecido.

## Referências

- [1] Davidge, R. W., e Green, T. D. (1998). A resistência de materiais cerâmicos/vítreos bifásicos. *Journal of Material Science*, 3:629-634.
- [2] Selsing, J. (1961). Tensões Internas em Cerâmicas. *International Journal of Solids and Structures*, 118-119, 213-223.
- [3] H. Leclerc, J. Neggens, F. Mathieu, S. Roux, F. Hild, Correli 3.0, IDDN.FR.001.520008.000.S.P.2015.000.31500 (2015)

## Estudo do Comportamento Dinâmico de Coletores Piezelétricos de Energia Multiestáveis: Modelagem Numérica e Experimentação

Lucas José Dantas Alcântara

Paulo Sergio Varoto

Escola de Engenharia de São Carlos - EESC USP

lucasjosedantas@usp.br

varoto@sc.usp.br

### Objetivos

O projeto de pesquisa consiste no estudo teórico e experimental do comportamento dinâmico de um gerador piezelétrico de energia não linear multiestável, com efeitos não lineares intencionais, i.e. causados por um mecanismo externo ao componente estrutural. O sistema consiste de uma *viga cantilever* fixada a um shaker, que gera excitação via base. Os efeitos não lineares serão implementados através da utilização de magnetos de neodímio. Dessa forma, é necessário formular um modelo eletromecânico do sistema, para que suas equações sejam resolvidas e sua resposta possa ser analisada. Além disso, será construído um protótipo físico do sistema, para que seja feita a validação do modelo eletromecânico.

### Métodos e Procedimentos

Com base na literatura existente sobre o assunto, foram formulados dois modelos eletromecânicos, um linear e um não linear. A partir deles foram desenvolvidos códigos no MATLAB, de modo que para o linear encontramos suas FRFs e para o não linear resolvemos as EDOs que descrevem o sistema, com isso, podemos representar sua resposta no tempo, diagramas de fase e mapas de Poincaré para diferentes excitações graficamente. Por fim, a partir do protótipo físico do sistema foram extraídos dados de resposta a diferentes excitações. Com isso, os resultados

encontrados a partir das simulações numéricas foram confrontados com os encontrados experimentalmente, de modo a validar o modelo desenvolvido. O sistema em estudo está mostrado na figura 1.

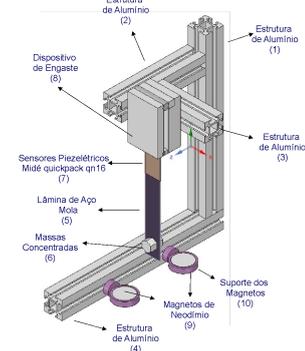


Figura 1: Sistema multi-estável em estudo

### Resultados

Com o código desenvolvido em MATLAB, encontramos as seguintes FRFs para a tensão elétrica do modelo linear, analisada para diferentes resistências de carga, como mostrado na figura 2.

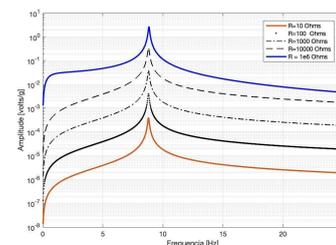


Figura 2: FRF da tensão elétrica para diferentes valores da resistência de carga  
Também encontramos as respostas da tensão elétrica no tempo e mapas de Poincaré para diferentes amplitudes de excitação do modelo não linear, como mostrado nas Figura 3 e 4.

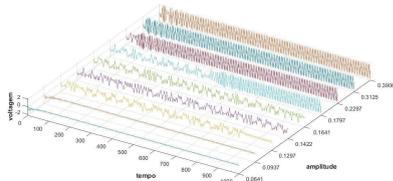


Figura 3: Respostas da tensão elétrica no tempo para diferentes amplitudes de excitação

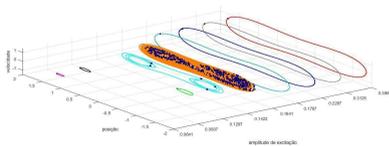


Figura 4: Diagramas de fase e mapas de Poincaré para diferentes amplitudes de excitação

São mostrados na figura 5 resultados experimentais para a tensão elétrica para diferentes condições de ensaio.

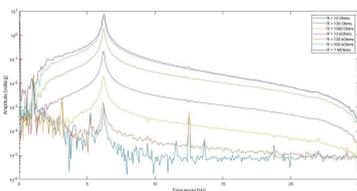


Figura 5: Resultados experimentais

## Conclusões

A partir do estudo da literatura já existente, foi possível formular modelos para a *viga cantilever*, tanto para o caso linear, quanto para o caso não linear, com os magnetos. Com os modelos é possível as respostas do sistema a diferentes condições e analisar sua influência. No modelo linear, observa-se que o aumento da resistência de carga desloca a FRF para cima, indicando um aumento na amplitude da tensão de saída, em relação à amplitude da entrada. No modelo não linear, é possível observar fenômenos tipicamente não lineares.

Em baixas amplitudes de excitação, observamos as órbitas de baixa energia, onde a viga oscila ao redor de um único ímã. Em médias amplitudes, observamos movimentos caóticos, caracterizados por serem aperiódicos em regime em um sistema determinístico, também observamos caos transitório, onde o sistema oscila de maneira caótica antes de entrar em um ciclo periódico. Por fim, em altas amplitudes de excitação, observamos órbitas de alta energia, onde a viga oscila ao redor dos dois ímãs.

O diagrama de fase e mapa de Poincaré também evidenciam os tipos de movimento, de modo que é possível observar claramente as órbitas de baixa e alta energia, além de uma nuvem de pontos no mapa de Poincaré, representando o movimento caótico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPESP (proc. 2022/12832-0) bem como do LabDin-EESC-USP.

## Referências

- [1] Erturk, A., Hoffmann, J., Inman, D. J. A piezomagnetoelastic structure for broad-band vibration energy harvesting. *Applied Physics Letter*, 94, (2009), 1-3, 254102.
- [2] Erturk, A.; Inman, D. Broadband piezoelectric power generation on high-energy orbits of the bistable duffing oscillator with electromechanical coupling. *Journal of Sound and Vibration*, v. 330, 2011.
- [3] Norenberg, J. P. C. Sensitivity Analysis und Uncertainty Quantification of (A)Symmetric Bistable Energy Harvesters, M.Sc. Dissertation, FEIS-UNESP, (2022), 1-114.
- [4] J. P. Norenberg, J. V. L. L. Peterson, V. G. Lopes, R. Luo, L. de la Roca, M. Pereira, J. G. Telles Ribeiro, A. Cunha Jr, STONEHENGE - Suite for Nonlinear Analysis of Energy Harvesting Systems, *Software Impacts*, 10:100161, 2021 <http://dx.doi.org/10.1016/j.simpa.2021.100161>

## Ferramenta computacional para deformar imagens a partir dos resultados de uma análise em elementos finitos

Felipe Lorenzo, Ricardo Afonso Angélico

Escola de engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo

felorenzo@usp.br

### Objetivos

Ensaio mecânicos são utilizados para avaliar propriedades mecânicas dos materiais e requer, ao menos, um instrumento de medida de força e outro de deformação. Para o segundo caso, é usual empregar técnicas não invasivas baseadas em princípios ópticos. Desta forma, a técnica de correlação de imagens digitais (CID) permite a medição do campo de deslocamentos entre duas imagens tiradas em diferentes condições de carregamento [1, 2]. A montagem de ensaios assistidos por correlação de imagens digitais é complexa, especialmente quando envolve pequenos níveis de deslocamentos ou variação de temperatura.

Esses experimentos podem ser melhor planejados se a aplicabilidade da técnica de correlação for verificada previamente à condução do ensaio. Sendo assim, a presente pesquisa objetiva desenvolver uma ferramenta computacional para deformar imagens a partir dos resultados de uma análise de elementos finitos. Este tipo de ferramenta auxilia na preparação de ensaios experimentais e na avaliação da influência das variáveis envolvidas na medição dos deslocamentos.

### Metodologia

O objetivo da ferramenta é gerar conjuntos de imagens deformadas, que corresponde ao domínio  $g$ , a partir de uma imagem de referência, domínio  $f$ , dadas informações sobre a malha computacional e o campo de deslocamentos obtidos da simulação em elementos finitos; isto é,  $g(\mathbf{x}) = f(\mathbf{x} + \mathbf{u})$ . Com isso, a ferramenta computacional reconstrói o

imagens que emulam ensaios reais, inclusive impondo uma textura artificial randômica.

A deformação de imagens segue as etapas: (i) iterar ao longo de cada pixel, construindo uma matriz de mapeamento de elementos; (ii) Implementar uma interpolação linear entre elementos triangulares, empregando funções de forma; (iii) obter uma lei de interpolação para a escala de cinza da imagem baseada na fração de área de cada pixel; (iv) aplicação destas funções sobre a matriz de mapeamento, compatibilizando a interpolação dos elementos. Este procedimento é ilustrado na figura 1 para um elemento triangular.

Na presente pesquisa, o campo de deslocamentos prescritos são obtidos a partir de simulações em *Abaqus*, um *software* de elementos finitos. Os resultados para cada *frame* são lidos, resultando em uma imagem para cada. Desenvolveram-se rotinas em *Python* para extração dos dados do *Abaqus* e para deformação das imagens. Para validação, empregou-se o *framework Correli* [3] para medição do campo de deslocamentos. O erro foi medido por meio da norma de *Frobenius*.

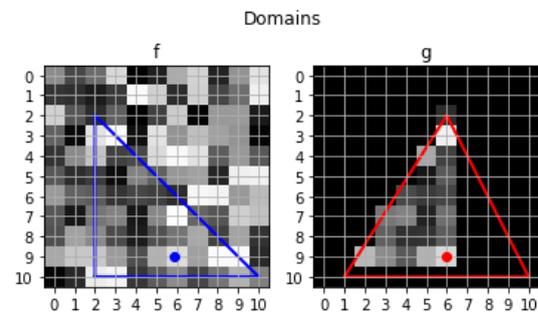


Figure 1: Interpolação para um elemento triangular. Pixels de  $g$  são coloridos a partir de  $f$ .

## Resultados

A aplicação desta ferramenta para um ensaio de flexão três pontos de uma imagem de 1000 x 300 píxeis é ilustrada na Figura 2. As simulações foram conduzidas usando uma malha de elementos triangulares lineares. O máximo deslocamento imposto foi de 10 píxeis no centro da barra. A textura artificial foi criada de forma randômica.

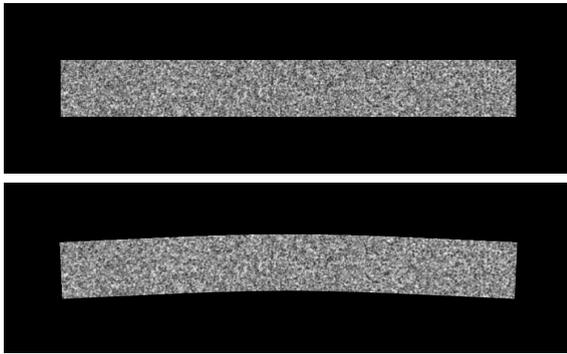


Figura 2: Imagens de referência (acima) e deformada (abaixo) com um máximo deslocamento vertical de 10 píxeis.

Após a geração do conjunto de imagens, o campo de deslocamentos foi avaliado empregando o *framework Correli*. A diferença entre o campo aplicado na simulação em elementos finitos e o medido via CID resultou na ordem de grandeza de 0.1. O campo de deslocamentos vertical é ilustrado na Figura 3.

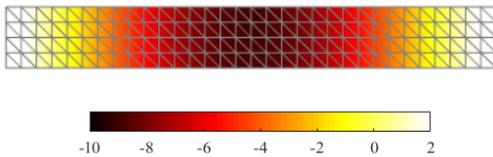


Figure 3: Campo de deslocamentos obtido do *Correli*. Unidades em píxeis.

Com esta metodologia, investigaram-se como os parâmetros da geração de imagens influenciam a norma de Frobenius, tal como limite de convergência, nível de *blur* e máximos deslocamentos. O erro máximo permanece

inferior a 0.1, excetuando o valor de *blur* de 2.5.

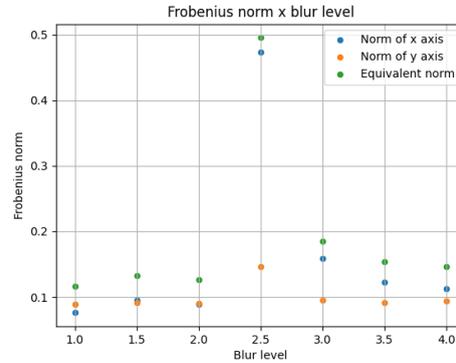


Figure 4: Análise da influência do nível de *blur*

## Conclusões

A ferramenta computacional desenvolvida permite um melhor planejamento de experimentos assistidos por correlação de imagens digitais, assim como possibilita avaliar a influência de parâmetros como a razão pixel / mm, textura e o alcance dinâmico. É útil também para planejar ensaios mecânicos para determinação de parâmetros de interesse via algoritmos de minimização entre resultados experimentais e computacionais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa Unificado de Bolsas da USP (Proc. 2021/3272).

## Referências

- [1] M. A. Sutton, W. J. Wolters, W. H. Peters, W. F. Ranson, S. R. McNeill, Determination of displacements using an improved digital correlation method, *Image and Vision Computing* 1 (3) (1983) 133 – 139.
- [2] F. Hild, S. Roux, *Digital Image Correlation*, Wiley-VCH, Weinheim (Germany), 2012, pp. 183–228.
- [3] H. Leclerc, J. Negggers, F. Mathieu, S. Roux, F. Hild, *Correli 3.0*, IDDN.FR.001.520008.000.S.P.2015.000.31500 (2015).

# ABLAÇÃO À LASER EM LIGAS METÁLICAS PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESES

**Autor: Gustavo Henrique Zambon**

**Colaboradores: Antonio Carlos Hernandez e Laís Pacheco Caminata**

**Orientadora: Juliana Mara Pinto de Almeida**

**Universidade Federal de São Carlos**

[gustavozambon@estudante.ufscar.br](mailto:gustavozambon@estudante.ufscar.br)

## Objetivos

A liga Ti-6Al-4V é amplamente utilizada para aplicações em implantes ortopédicos por apresentar resistência à corrosão, biocompatibilidade, bioadesão, módulo de elasticidade semelhante ao do osso e resistência à fadiga. Contudo, a adesão biológica pode ser melhorada através da modificação da superfície. O objetivo deste trabalho foi utilizar um laser pulsado para ablacionar a liga Ti-6Al-4V a fim de melhorar sua compatibilidade com o corpo humano para aplicação em próteses.

## Métodos e Procedimentos

Utilizou-se um laser de Nd-YAG, em 1064 nm focalizado na superfície da amostra, a qual foi colocada em uma mesa XY controlada por um microprocessador. Foram realizados estudos da influência da velocidade de varredura e da potência do laser em amostras de Ti-6Al-4V e Ti puro. A ablação foi realizada em ar, água, acetona e fluido corpóreo simulado (SBF), tanto em Ti puro quanto em Ti-6Al-4V, em geometria linear com espaçamento de 1 mm entre as linhas, a fim de analisar a influência do ambiente na ablação e comparar a composição química das amostras. Para caracterizá-las, utilizou-se um microscópio óptico Olympus, e um Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV XL30 FEG

acoplado com EDS Bruker, para a determinação da composição química.

## Resultados

A partir dos resultados de microscopia óptica, determinou-se uma maior eficiência de ablação em alta potência do laser e baixa velocidade de varredura. Assim, os parâmetros escolhidos foram correspondentes à velocidade de 100 mm/s e à potência do laser de 0,5 W. Nessas condições, as amostras foram irradiadas em ar, água, acetona e SBF, sendo, posteriormente, analisadas por MEV.

As figuras a, b, c e d mostram a superfície das amostras de Ti-6Al-4V após a ablação em ar, água, acetona e SBF, respectivamente. A composição química determinada por EDS está sumarizada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química da liga Ti-6Al-4V em diferentes condições estudadas

	Ti	Al	V	Outro
<b>Não irradiada</b>	91,5%	6,1%	2,4%	0,0%C
<b>Ar</b>	89,0%	5,9%	2,4%	2,7%C
<b>Água</b>	86,2%	7,2%	2,2%	4,4%C
<b>Acetona</b>	85,0%	6,4%	2,3%	6,3%C
<b>SBF</b>	74,9%	4,4%	2,8%	0,3%C 17,6%O

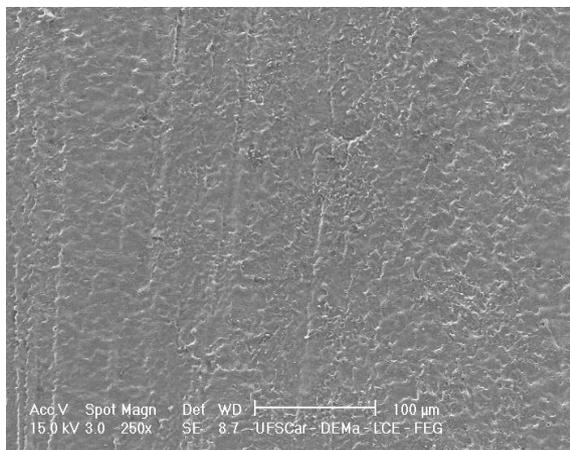


Figura a

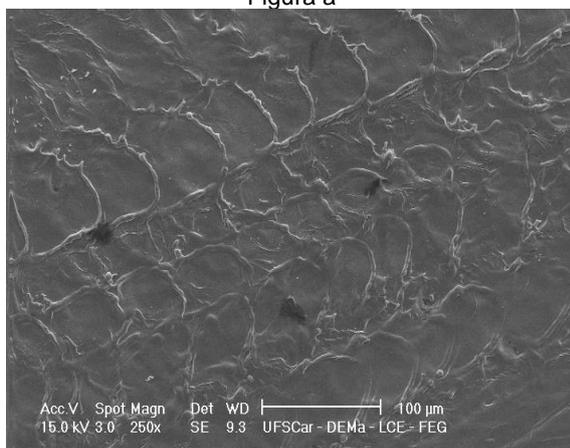


Figura b

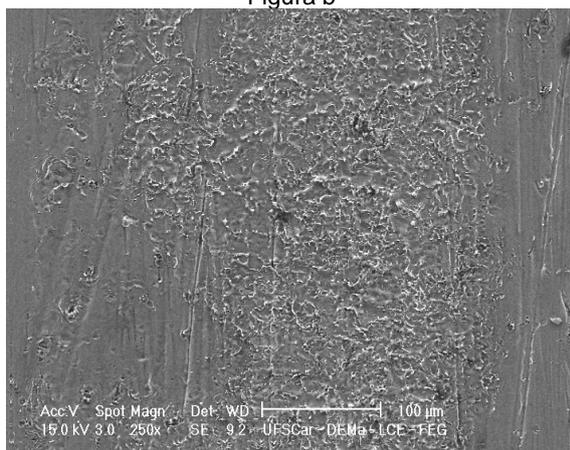


Figura c

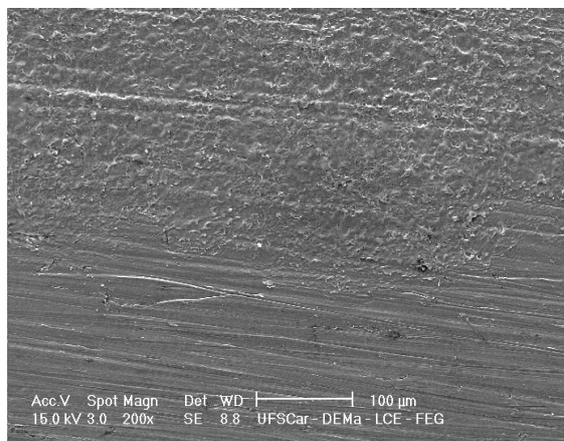


Figura d

As imagens revelaram que o ambiente químico em que a irradiação à laser é realizada afeta tanto a microestrutura quanto a composição da superfície da amostra. A irradiação em água resultou em uma textura grosseira, com padrão micrométrico, não observada nas demais condições. O uso de SBF teve maior impacto nas espécies químicas, evidenciado pela formação de óxidos e redução do teor de Ti e Al na região irradiada.

## Conclusões

Portanto, após a caracterização das amostras, foi possível observar, através do MEV, diferentes padrões estruturais em decorrência da incidência do laser e, pela análise da tabela 1, é perceptível a alteração na composição química, a qual é dependente do fluido em que a amostra é imersa durante a irradiação.

## Agradecimentos

A Unidade EMBRAP II UFSCar pela oportunidade e pela bolsa concedida.

## Referências

LEYENS, Christoph; PETERS, Manfred. Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications. Weinheim: Wiley-vch, 2003. 532 p.

## PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO AÇO DE ALTA ENTROPIA $\text{Fe}_{43}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{15}\text{Co}_{15}\text{Si}_4\text{Mo}_3$

**Guilherme Augusto Rossi**

**Prof. Marcelo Falcão de Oliveira**

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP)

[guirossi@usp.br](mailto:guirossi@usp.br)

### Objetivos

O projeto em questão teve como objetivo a produção de amostras metálicas do aço inoxidável de alta-entropia, de composição  $\text{Fe}_{43}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{15}\text{Co}_{15}\text{Si}_4\text{Mo}_3$  (at. %), a partir da fundição dos elementos componentes no interior de um forno elétrico à arco. Após a produção, as amostras foram embutidas para serem analisadas por meio da microscopia óptica. Em seguida, elas foram caracterizadas a partir do método da difração de raios-X (DRX) e submetidas a uma análise por microscopia de varredura (MEV) e EDS, a fim de verificar o arranjo microestrutural da liga e as composições das fases formadas. Por fim, foram produzidos corpos de prova da liga para serem submetidos aos ensaios mecânicos de tração e dureza, visando a análise e a discussão de todas as propriedades encontradas e possíveis aplicações.

### Métodos e Procedimentos

O processamento da liga foi efetuado a partir do preparo de cada elemento componente da liga, pesando-os com o auxílio de uma balança analítica de precisão  $\pm 0,0001$  g, de forma a se obter as respectivas massas pré-determinadas, seguindo a proporção atômica. Para alguns elementos, como Mo e Cr, buscou-se a adição de valores de massa que excedam um pouco a proporção exata para minimizar os efeitos de perda de material por evaporação durante a fusão. Em seguida, os elementos passaram por

um processo de limpeza em acetona e foram inseridos em uma cuba ultrassônica por 5 minutos, para garantir a ausência de impurezas que influenciariam no grau de pureza final da liga. A massa total do botão de liga produzido a partir das matérias-primas foi de aproximadamente 10g. As peças foram inseridas no interior do forno para a fundição da liga e após o fechamento do forno, fez-se vácuo na câmara de fusão e na pré-câmara três vezes, com valores de pressões próximos de  $1,0 \cdot 10^{-2}$  kPa,  $8,5 \cdot 10^{-3}$  kPa e  $8,0 \cdot 10^{-3}$  kPa, respectivamente. Entre os vácuos, houve a adição de gás argônio a partir da abertura de uma válvula que libera sua entrada na câmara até se alcançar uma pressão de 30 kPa por duas vezes, onde na terceira adicionou-se 70 kPa. As amostras foram embutidas em resina epóxi no interior de moldes cilíndricos para serem observadas no microscópio óptico. Antes de serem inseridas ao microscópio, foram lixadas com lixas de carbeto de silício de granulometrias que variaram entre 120 e 1500, seguido por polimento em óxido de cromo. Em seguida, cada amostra foi submetida a um ataque químico por água régia à temperatura ambiente por 10 e 20 segundos, a fim de observar os contornos de grão da liga. Então, as amostras foram retiradas da resina e colocadas no MEV e EDS para uma análise microestrutural mais detalhada e verificar as composições das fases formadas. Por fim, as amostras foram encaminhadas para uma análise cristalográfica por DRX, seguido por ensaios mecânicos de dureza Vickers para

uma comparação quantitativa com outros aços de alta entropia e aço tradicionais.

## Resultados

A partir das imagens obtidas por microscopia óptica, notou-se que a microestrutura da liga apresentou regiões de segregação interdendrítica durante o processo de solidificação. Em regiões próximas as paredes de molde, foi possível identificar a zona colunar do material composta por dendritas mais finas e alongadas, enquanto que na região central da amostra observou-se a zona equiaxial, com o crescimento de dendritas mais curtas e cheias. Os resultados obtidos a partir do DRX, cujo o intuito era determinar o parâmetro de rede da fase da matriz, os picos observados no difratograma situavam-se nos ângulos próximos dos padrões de picos para uma estrutura cristalina FCC, pois coincidem com os planos cristalinos (111), (200) e (220). Além disso, pelo EDS e MEV (Figura 1) verificou-se a composição tanto da matriz quanto da fase secundária, onde detectou-se altos teores de Cr, Si e Mo, sendo possivelmente uma fase  $\sigma$ . Por fim, os resultados dos ensaios de dureza Vickers mostraram que a liga produzida apresentou uma dureza média de 140 HV.

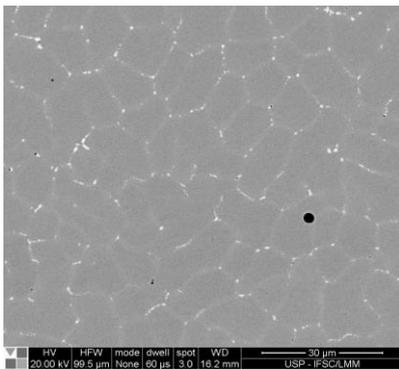


Figura 1: Imagem por MEV de uma amostra da liga  $\text{Fe}_{43}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{15}\text{Co}_{15}\text{Si}_4\text{Mo}_3$ .

## Conclusões

A partir dos dados, conclui-se que a liga apresenta uma estrutura cristalina FCC e uma microestrutura formada por uma matriz ferrítica e uma fase secundária com altos teores de Si e

Mo. Assim, com base na literatura e na análise dos tipos de fases encontradas em aços equivalentes, é possível que a fase secundária formada seja a sigma. Apesar dessa fase ser prejudicial em termos de propriedades mecânicas, os elevados teores de Si e Mo indicam que a liga tem potencial de apresentar boa resistência à corrosão em ambientes aquosos ácidos e salinos. Por fim, os ensaios de dureza Vickers apresentaram valores dentro da faixa de dureza característica para a classe das ligas de alta entropia (HEA), também apresentando um grande potencial de aplicação na Engenharia, pois podem ser comparados com alguns aços inoxidáveis comerciais, como o aço inox 316 recozido. No entanto, para que se tenham conclusões mais precisas em relação a capacidade mecânica do material, deve-se realizar os ensaios de tração para a coleta de importantes dados referentes ao limite de resistência à tração, bem como seu módulo de Young, por exemplo.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa PIBIT concedida, ao professor orientador Marcelo Falcão de Oliveira e ao aluno de doutorado João Gabriel da Cruz Passos por toda orientação e suporte e ao Departamento de Engenharia de Materiais (EESC/USP) por proporcionar toda estrutura laboratorial necessária para a execução do projeto.

## Referências

CANTOR, B. Multicomponent and High Entropy Alloys. *Entropy* 2014, 16, 4749.

MURTY, B.; YEH, J.; RANGANATHAN, S. High-Entropy Alloys. London: Elsevier, 2019.

RAABE, D.; TASAN, C.; SPRINGER, H.; BAUSCH, M. From High-Entropy Alloys to High-Entropy Steels. Germany: Steel Research, 2015.

YEH, J. W.; CHEN, Y. L.; LIN, S. J.; CHEN, S. K. High-Entropy Alloys – A New Era of Exploitation. *Materials Science Forum* 2007, 560, 1-9.

## SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO AÇO DE ALTA ENTROPIA $\text{Fe}_{43}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{15}\text{Co}_{15}\text{Cu}_4\text{Mo}_3$

Gabriel Ortolani Oliva

Prof. Marcelo Falcão de Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP)

[gabrio0011@usp.br](mailto:gabrio0011@usp.br)

### Objetivos

O projeto de iniciação científica em questão tem como objetivo a produção de amostras metálicas do aço inoxidável de alta-entropia, de composição  $\text{Fe}_{43}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{15}\text{Co}_{15}\text{Cu}_4\text{Mo}_3$  (at. %), a partir da fusão dos elementos componentes no interior de um forno elétrico a arco elétrico. Após a produção, as amostras serão embutidas a fim de serem analisadas através da microscopia óptica. Então, o aço será caracterizado a partir do método da difração de raios-X (DRX) e submetido a uma análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia por dispersão de energia (EDS), a fim de verificar a microestrutura da liga e as composições das eventuais fases formadas. Por fim, serão produzidos corpos de prova do aço para que sejam submetidos a ensaios mecânicos de tração e dureza, visando o estudo e a discussão das propriedades encontradas e possíveis aplicações.

### Métodos e Procedimentos

O processamento do aço deu-se através do preparo de cada elemento componente da liga, todos sendo pesados com o auxílio de uma balança analítica de precisão  $\pm 0,0001$  g, de forma a se obter as respectivas massas pré-determinadas, seguindo a proporção atômica. Para alguns elementos, como Mo e Cr, foram medidos valores de massa que excedessem em até 10% a proporção exata a fim de minimizar os efeitos de perda de massa por evaporação durante a fusão. Em seguida, os elementos já pesados passaram todos por

um processo de limpeza em acetona, sendo inseridos em uma cuba ultrassônica por 5 minutos, a fim de remover sujeiras da superfície, que prejudicariam o grau de pureza final da liga. A massa total do botão de liga produzido a partir dos elementos puros foi de aproximadamente 10g. As peças foram inseridas no interior do forno para a fundição da liga e após o fechamento do forno, fez-se vácuo na câmara de fusão e na pré-câmara três vezes, com valores de pressões próximos de  $1,0 \cdot 10^{-2}$  mbar,  $8,5 \cdot 10^{-3}$  mbar e  $8,0 \cdot 10^{-3}$  mbar, respectivamente. Entre os vácuos, foi inserido o gás argônio a partir da abertura de uma válvula a qual libera sua entrada na câmara até se alcançar uma pressão de 30 kPa nas duas primeiras vezes, já na terceira foi adicionado argônio até 70 kPa. As amostras foram embutidas em resina epóxi no interior de moldes cilíndricos e foram lixadas com lixas de carbetto de silício de granulometrias que variaram entre 120 e 1500, seguido por polimento em óxido de cromo, a fim de serem analisadas no microscópio óptico. Em seguida, cada amostra foi submetida a um ataque químico por água régia a temperatura ambiente com duração de 30 e 40 segundos, a fim de se observar os contornos e crescimentos de grão da liga. Depois, as amostras metálicas foram retiradas da resina e enviadas ao MEV e EDS para uma análise microestrutural mais detalhada, além da verificação das composições de eventuais fases formadas. Então, as amostras foram encaminhadas para uma análise cristalográfica por DRX, para que fossem checados os parâmetros de rede do aço. Por fim, foram realizados ensaios mecânicos de dureza Vickers para

uma comparação quantitativa com outros aços de alta entropia conhecidos e aços tradicionais.

## Resultados

A partir das imagens analisadas na microscopia óptica, foi perceptível que a microestrutura da liga apresentou regiões de segregação interdendrítica durante a solidificação. Em regiões próximas às paredes de molde, foi possível observar uma zona colunar do material, composta por dendritas mais finas e alongadas, enquanto que na região central da amostra, observou-se a zona equiaxial, com o crescimento de dendritas mais curtas e densas. Os resultados obtidos a partir do DRX, cujo o intuito era determinar o parâmetro de rede do aço, foram que os picos no difratograma estavam posicionados em ângulos próximos dos padrões de picos para uma estrutura cristalina CFC, visto que coincidiam com os planos cristalinos (111), (200) e (220). Também, pelo EDS e MEV (Figura 1) confirmou-se que o aço em questão se tratava de uma liga monofásica, apesar da microsegregação de Mo e Cu, a qual pode ser removida por tratamentos térmicos a 800°C por 100h. Por fim, os resultados dos ensaios de dureza Vickers e tração constataram que a liga produzida apresentou uma dureza média de 125 HV e fratura dúctil.

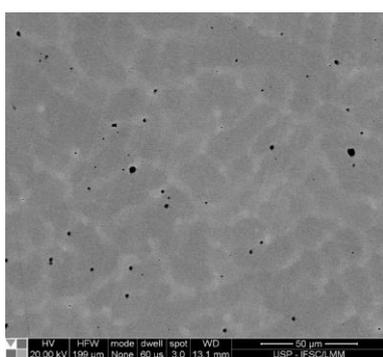


Figura 1: Microscopia eletrônica de varredura (MEV) da liga.

A partir dos dados, concluiu-se que as amostras apresentaram crescimento de grãos colunar próximo à borda e equiaxial na região central. Além disso, o aço apresentou uma

estrutura cristalina CFC e uma microestrutura monofásica, com regiões de segregação interdendrítica ricas em Mo e Cu, as quais puderam ser removidas por tratamento térmico em forno. Por fim, os ensaios de dureza Vickers foram considerados satisfatórios, visto que os valores, apesar de baixos, estão dentro da faixa de dureza característica para a classe das ligas de alta entropia (HEA), mostrando que a liga poderia ser aplicada em situações onde a dureza não seja um parâmetro essencial. No entanto, para que se tenham conclusões mais precisas em relação à capacidade mecânica do material, é necessário analisar as curvas e os dados provenientes dos ensaios de tração, para a coleta de importantes propriedades, como o limite de resistência à tração do material ou seu módulo de Young.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa PIBIC concedida, ao professor orientador Marcelo Falcão de Oliveira, ao aluno de doutorado João Gabriel da Cruz Passos por toda orientação e suporte e ao Departamento de Engenharia de Materiais (EESC/USP) por proporcionar toda estrutura laboratorial necessária para a execução do projeto.

## Referências

- CANTOR, B. Multicomponent and High Entropy Alloys. *Entropy* 2014, 16, 4749.
- MURTY, B.; YEH, J.; RANGANATHAN, S. *High-Entropy Alloys*. London: Elsevier, 2019.
- RAABE, D.; TASAN, C.; SPRINGER, H.; BAUSCH, M. *From High-Entropy Alloys to High-Entropy Steels*. Germany: Steel Research, 2015.
- YEH, J. W.; CHEN, Y. L.; LIN, S. J.; CHEN, S. K. High-Entropy Alloys – A New Era of Exploitation. *Materials Science Forum* 2007, 560, 1-9.

## Deposição do aço ferramenta AISI H13 em aços para confecção e reparo de moldes de baixo custo por meio de manufatura aditiva DED

Pablo Henrique da Silva, Fábio Edson Mariani,

Prof. Dr. Luiz Carlos Casteletti

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

pablo.eng@usp.br

### Objetivos

Depositar por meio de manufatura aditiva Directed Energy Deposition o aço ferramenta AISI H13 sobre substratos dos aços AISI 1045 e AISI 4140, visando a obtenção de informações técnicas a serem utilizadas na confecção ou reparo de moldes e matrizes para trabalho a quente.

### Métodos e Procedimentos

O estudo envolveu a deposição de camadas de aço AISI H13 pelo processo MA-DED powder-fed em substratos de AISI 1045 e AISI 4140. Os parâmetros de deposição incluíram uma potência de 750 W, velocidade de 400 mm/min e taxa de alimentação de pó de 5,2 g/min, com sobreposição de 0,75 mm. Após a deposição, as amostras passaram por um tratamento térmico de têmpera a 1030 °C, seguido por um duplo revenimento a 540 °C, com 2 horas de permanência no forno. A caracterização envolveu microscopia confocal a laser e ensaios de microdureza Vickers. A resistência ao desgaste foi avaliada com ensaios microabrasivos calotest, usando esferas de aço AISI 52100 temperadas e revenidas (25,4 mm de diâmetro, 400 RPM, carga de 1,5 N) e uma solução abrasiva aplicada a 4 gotas por minuto.

### Resultados

São apresentadas nas Figuras 1 a 4 as micrografias ópticas das secções transversais

das amostras de AISI H13 produzidas por DED sobre os aços AISI 1045 e AISI 4140.

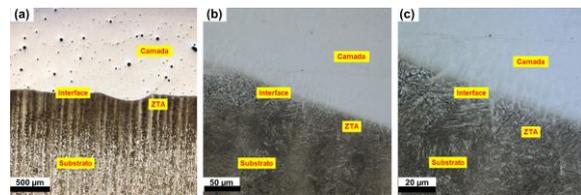


Figura 1 - Micrografia confocal a laser da amostra de aço AISI H13 depositada sobre AISI 1045, em diferentes ampliações.

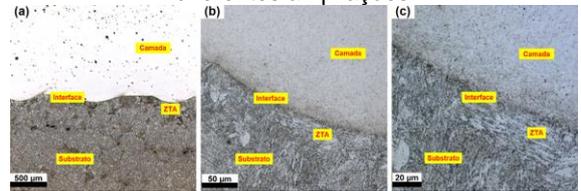


Figura 2 - Micrografia confocal a laser da amostra de aço AISI H13 depositada sobre AISI 1045, após tratamento térmico a 540 °C.

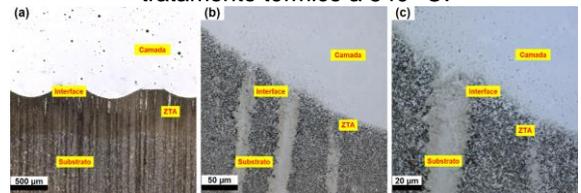


Figura 3 - Micrografia confocal a laser da amostra de aço AISI H13 depositada sobre aço AISI 4140.

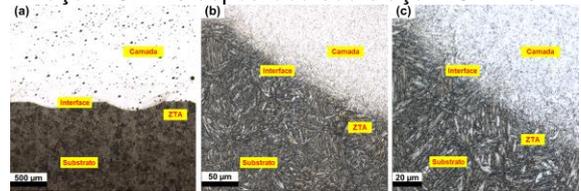


Figura 4 - Micrografia confocal a laser da amostra de aço AISI H13 depositada sobre AISI 4140, após tratamento térmico a 540 °C.

Apresenta-se na Figura 5 as micrografias ópticas (MO) da amostra depositada por meio do processo DED.

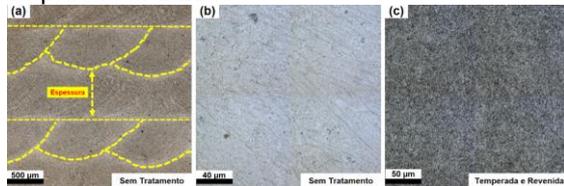


Figura 5 - (a) Micrografias ópticas do aço AISI H13, obtido por meio de DED. As linhas de construção dos cordões são indicadas por linhas amarelas tracejadas (b) AISI H13 como depositado e (c) AISI H13 depositado, temperado e revenido a 540 °C.

Apresenta-se na Figura 6 e 7 os perfis de microdurezas Vickers, a partir da superfície até o substrato.

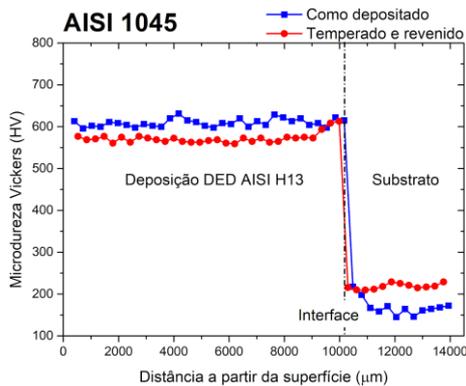


Figura 6 - Resultados de microdureza Vickers obtidos nos revestimentos e substrato aço AISI 1045.

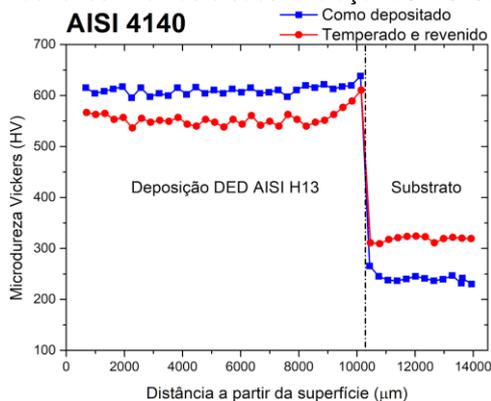


Figura 7 - Resultados de microdureza Vickers obtidos nos revestimentos e substrato aço AISI 4140.

Apresenta-se na Figura 8 os gráficos de desgaste obtidos para as amostras nas condições como depositadas e temperadas.

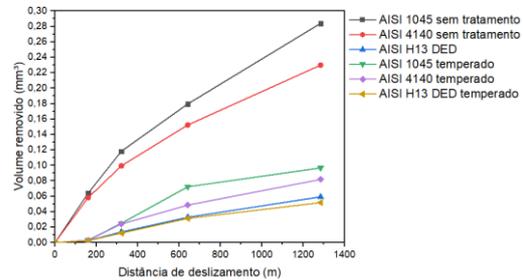


Figura 8 – Gráficos de desgaste microabrasivos obtidos para as amostras sem tratamento e temperadas.

## Conclusões

O estudo mostrou que as camadas depositadas mantiveram sua integridade e aderência aos substratos. O aço AISI H13, produzido pelo processo de DED, teve sua microestrutura dendrítica refinada após duplo revenimento a 540°C, transformando-se em uma microestrutura martensítica revenida refinada. Apesar da redução na dureza devido ao tratamento térmico, as camadas depositadas exibiram uma notável resistência ao desgaste em comparação com os substratos, superando-os em 4,9 vezes para o AISI 1045 e 4 vezes para o AISI 4140. O tratamento térmico também aumentou a resistência ao desgaste dos substratos em 2,9 vezes para o AISI 1045 e 2,8 vezes para o AISI 4140. Além disso, não foram observadas variações significativas nas perdas de massa entre as camadas nas condições de depositado e depositado tratado termicamente. Esses resultados indicam um grande potencial das camadas depositadas na produção ou reparo de moldes e matrizes a custos mais baixos, utilizando aço ferramenta adequado depositado sobre substratos de menor custo.

## Referências

ASM Handbook. Heat Treating. 1.ed. ASM International, 1991. 2173p.

ATILIO, I.; et al. Microstructural and mechanical aspects of laser metal deposited H13 powder for die repair. *Materials Today Communications*, v.29, 102945, oct. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102945>.

## TRATAMENTOS TÉRMICO A LASER DOS AÇOS AISI 1020, AISI 1045 E AISI 1095

Marcus Vinicius dos Santos da Silva

Fábio Edson Mariani,

Luiz Carlos Casteletti

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

marcussantos@usp.br

### Objetivos

Análise sistemática da influência do processo de tratamento de têmpera superficial a laser, juntamente com a variação dos parâmetros de potência do laser e velocidade de varredura, avaliando-se o acabamento superficial, dureza e resistência ao desgaste dos aços AISI 1020, AISI 1045 e AISI 1095.

### Métodos e Procedimentos

Amostras dos aços AISI 1020, AISI 1045 e AISI 1095 passaram pela têmpera superficial à laser. A potência variou de 250, 350, 450, 550 e 650 W. A velocidade de varredura variou de 300, 600, 1200 e 2400 mm/min. Foi utilizado argônio para a proteção do laser e da poça de fusão contra contaminação e oxidação, sendo aplicado coaxialmente a partir de 2 fluxos: nozzle (3,0 l/mm) e former (6,0 l/mm). As regiões temperadas foram caracterizados por meio de microscopia confocal a laser e ensaio de microdureza Vickers. As resistências ao desgaste das amostras foram avaliadas por meio de ensaios de desgaste microadesivo, do tipo calotest. Usou-se esferas do aço AISI 52100, temperadas e revenidas, com diâmetro de 25,4 mm, a 300 RPM e com carga de 0,3 N aplicada sobre a amostra.

### Resultados

Apresenta-se na Figura 1 as micrografias confocal a laser dos aços AISI 1020 T.T, AISI 1045 T.T e AISI 1095 T.T.

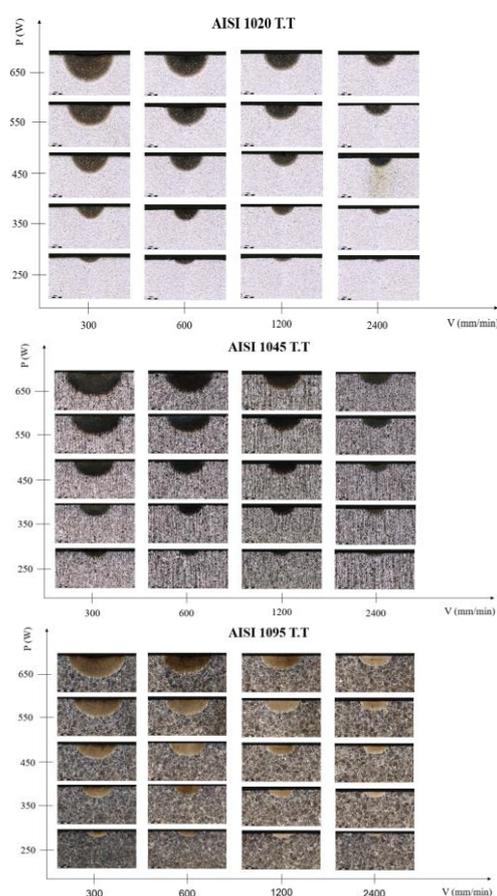


Figura 1 - Micrografias confocal a laser dos aços AISI 1020 T.T, AISI 1045 T.T e AISI 1095 T.T.

Nota-se que para altas potências do laser foi observada a produção de regiões carbonizadas. Faixas intermediárias de tratamento produziram cordões satisfatórios. Apresenta-se na Tabela 1 os resultados obtidos no ensaio de microdureza Vickers para as amostras analisadas.

Microdureza Vickers	AISI 1020	AISI 1020 T.T	AISI 1045	AISI 1045 T.T	AISI 1095	AISI 1095 T.T
Média	135	275	193	448	207	489
Desvio-Padrão	2	2	2	3	3	3

Tabela 1 - Microdureza Vickers dos substratos sem e com tratamento superficial

Verifica-se que em todos os casos a dureza aumentou duas vezes em relação aos aços sem tratamento superficial.

Na Figura 2 apresenta-se os gráficos de desgaste obtidos após os ensaios de desgaste microadesivo.

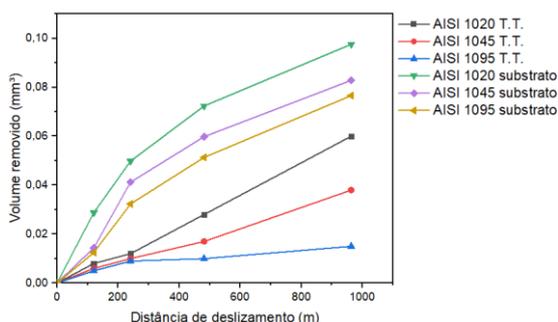


Figura 2 - Desgaste microadesivo realizado nos substratos e amostras temperadas à laser.

Nota-se que o substrato dos aços AISI 1020, AISI 1045 e AISI 1095 apresentaram os maiores volumes removidos, respectivamente. Os aços AISI 1020 T.T, AISI 1045 T.T e AISI 1095 T.T que passaram pelo tratamento térmico à laser apresentaram volumes removidos menores em relação aos seus pares sem tratamento térmico. Isso ocorre, devido a microestrutura martensítica formada na superfície após a passagem do laser que aumenta a dureza e consequente a sua resistência ao desgaste, o que resulta em volumes removidos menores.

## Conclusões

Após as análises dos resultados, pode-se concluir:

- O tratamento de têmpera a laser foi eficiente na produção de cordões temperados para algumas condições de ensaios.
- Para maiores potência de laser foi observada a produção de regiões carbonizadas que exibem uma coloração enegrecida, sendo inadequadas para o tratamento.
- Altas velocidades e potências menores de tratamento resultaram em cordões incipientes e insatisfatórios.
- Faixas intermediárias de tratamento produziram cordões satisfatórios.
- As durezas das camadas temperadas a laser nos aços carbonos foram duas vezes maiores em relação aos seus substratos sem o tratamento térmico a laser.
- As camadas temperadas a laser foram efetivas para o melhoramento da resistência ao desgaste dos substratos de aço carbono de diferentes teores de carbono, indicando que o tratamento superficial, indicando que o tratamento superficial desempenha um papel crucial na otimização das propriedades desses materiais.

## Referências Bibliográficas

- Zun Gahr, K. H. *et al.* **Microstructure and wear of materials.** v. 10. Amsterdã, Holanda. Elsevier Science Publishers B.V, 1943.
- Zhu, L.; Xue, P.; Lan, Q.; Meng, G.; Ren, Y.; Yang, Z.; Xu, P.; Liu, Z. **Recent research and development status of laser cladding: A review.** *Opt. Laser Technol.* 2021, 138, 106915.
- C, Mao *et al.*, **Effect of laser-discrete-quenching on bonding properties of electroplated grinding wheel with AISI 1045 steel substrate and nickel bond.** Science Direct., 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.09.010>
- W, Zhang *et al.*, **Enhancement of the strength-toughness balance in a quenched laser-additively-manufactured low alloy mild steel: Effect of grain refinement and nanotwin bundle formation.** Elsevier Science Publishers, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.144488>

## Detecção de anomalias em tubulações de transporte de petróleo e gás utilizando long short-term memory networks

Marcus da Silva Carr

Carlos Mauricio Ruiz Díaz

Oscar Mauricio Hernandez Rodriguez

Laboratório de Escoamento Multifásicos Industriais (LEMI) - EESC/USP

[marcus\\_carr@usp.br](mailto:marcus_carr@usp.br); [carlosruiz978@usp.br](mailto:carlosruiz978@usp.br); [oscarmhr@sc.usp.br](mailto:oscarmhr@sc.usp.br).

### Objetivos

As plataformas de petróleo offshore são monitoradas por operadores em centros de controle. Com o aumento contínuo do número de poços em exploração, há uma demanda crescente para otimizar as operações de gerenciamento e aumentar a robustez desses sistemas. Uma abordagem promissora para enfrentar esse desafio é a implementação de sistemas inteligentes, que podem oferecer ferramentas avançadas de análise para os operadores. Este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia das Long short-term memory networks (LSTM) na detecção de eventos indesejados em operações offshore. Utilizaremos dados de temperatura, pressão e vazão de um único poço real como base para este estudo.

### Métodos e Procedimentos

A base de dados 3W (VARGAS et al., 2019), fornecido pela Petrobras, foi escolhida como fonte de dados para este estudo. A versão 1.1.1 do dataset abrange um total de 1.978 eventos, categorizados em 1.019 de fonte real, 939 de fonte simulada e 20 desenhados manualmente. Cada evento consiste em uma série temporal composta por nove variáveis, oito delas representando características numéricas do escoamento (pressão, temperatura e vazão) e a nona servindo como

rótulo de classificação. Esse rótulo indica se o momento no tempo está em um regime normal, em um regime transitório de anomalia ou em um regime permanente de anomalia, abrangendo nove classificações distintas que capturam diferentes padrões de fluxo. O processo de extração de dados preservou as características autênticas da informação original, que inclui a presença de valores ausentes, congelados e discrepantes, atribuídos a problemas nos sensores instalados ou na comunicação com o sistema de controle.

A presença de dados nulos e a variação de amplitude entre diferentes variáveis e tipos de anomalias demandam um processo de pré-processamento para adaptá-los aos modelos de aprendizado de máquina a serem utilizados. Neste estudo, foram aplicadas quatro etapas para tratar os dados: (1) redução da taxa de amostragem, através da média, para filtrar e reduzir a quantidade de dados para a modelagem; (2) imputação mediante interpolação linear para lidar com valores nulos; (3) estandardização para aproximar os dados a uma escala semelhante; e (4) janelamento das séries temporais no formato adequado para alimentar o modelo de detecção.

O modelo preditivo foi estruturado com 3 camadas, a primeira denominada camada de entrada LSTM com 50 unidades (HOCHREITER; SCHMIDHUBER, 1997),

seguida por uma camada densa com 100 unidades, seguida por uma camada densa de saída com 9 unidades (número de classes). A função de perda foi a "categorical\_crossentropy" e o otimizador foi o "Adam". Esse modelo foi então treinado com dados de 1 único poço, que foi escolhido de modo a possuir boa disponibilidade de dados e equilíbrio entre as suas classes. 80% dos dados foram usados para treinamento, e 20% para validação. Ditos valores foram selecionados após o desenvolvimento de modelos preliminares.

Na etapa da validação do desempenho do modelo foram utilizados os dados escolhidos para validação para calcular a matriz de confusão, a fim de determinar o nível de exatidão do modelo desenvolvido para realizar a classificação de diferentes classes.

## Resultados

O poço escolhido para a realização da modelagem foi o de número identificador igual a 5. Esse poço tem disponível 119 arquivos para análise, onde 81 são da classe normal (272 horas de medidas) e 38 são da classe instabilidade de fluxo (75 horas de medidas). A escolha desse poço foi feita devido ao fato do poço 5 possuir uma grande quantidade de dados, e um melhor equilíbrio entre classes comparado aos outros.

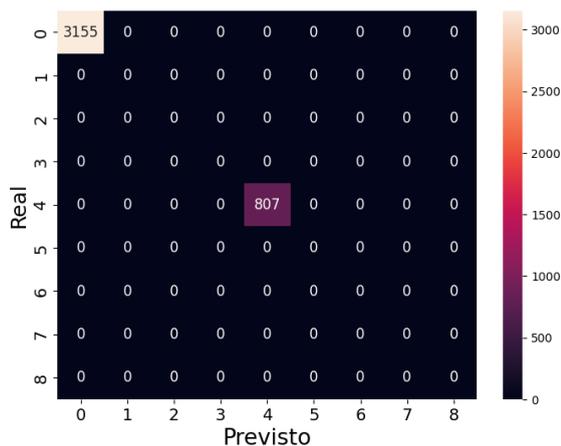


Figura 1: Matriz de confusão obtida. Em seguida, se aplicou as 4 etapas de processamento: redução da taxa de

amostragem, imputação, estandardização, janelamento das séries temporais. Esses dados transformados foram utilizados para treinar o modelo composto por camadas LSTM e densas.

Finalmente, os dados de validação foram usados para calcular uma matriz de confusão, visível na Figura 1. Os resultados indicam boa performance com acurácia de 100% para a classificação dos dados normais e com anomalia de instabilidade de fluxo.

## Conclusões

Este estudo alcançou seu objetivo ao avaliar o desempenho das long short-term memory networks (LSTM) na detecção de eventos indesejados em operações offshore, utilizando dados de temperatura, pressão e vazão de um único poço de petróleo real. Os resultados obtidos mostram que a LSTM conseguiu identificar as diferentes classes com êxito. Contudo, os dados analisados representam um cenário idealizado pela etapa de seleção, tendo em conta que a dinâmica dos eventos pode variar ao longo do tempo e ter nuances em sua intensidade que não foram representadas no dataset.

Para futuras pesquisas, está previsto aplicar esta metodologia em casos que envolvam tipos de anomalias mais complexas, buscando avaliar a sua capacidade de detecção em cenários com condições ainda mais críticas. Além disso, a exploração de diferentes modelos, como variações da LSTM, e a otimização dos hiperparâmetros podem ser estratégias para aprimorar ainda mais o desempenho do modelo.

## Referências

- VARGAS, Ricardo Emanuel Vaz et al. A realistic and public dataset with rare undesirable real events in oil wells. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 181, p. 106223, 2019.
- HOCHREITER, Sepp; SCHMIDHUBER, Jürgen. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, v. 9, n. 8, p. 1735–1780, nov. 1997.

## Estudo da viabilidade técnica e prototipação de um sistema de visão computacional embarcado para avicultura de corte comercial

Mateus de Castro Duarte Cardoso<sup>1</sup>

Glauber da Rocha Balthazar<sup>2,3</sup>, Iran José Oliveira da Silva<sup>2</sup>

Thiago Luís Lopes Siqueira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IFSP Campus Piracicaba; <sup>2</sup>ESALQ/USP; <sup>3</sup>IFSP Campus Campinas

mateus.cardoso@aluno.ifsp.edu.br glauber.balthazar@usp.br iranoliveira@usp.br prof.thiago@ifsp.edu.br

### Objetivos

Fazendas inteligentes adotam o controle eletrônico e computacional da cadeia produtiva animal para analisar a ambiência, compreender os dados detectados, e gerenciar ameaças (MITKARI et al. 2019). Nessas fazendas, internet das coisas (IoT), visão computacional e aprendizagem de máquina vêm sendo adotados na captura de imagens e no treinamento de modelos para interpretar e compreender os dados. Contudo, identificar anormalidades com antecedência é um desafio intrínseco ao ambiente de produção animal. Diante do exposto, objetivou-se prototipar um software para identificação de objetos dentro de um aviário, avaliá-lo, testá-lo, e analisar seu potencial para ser embarcado em dispositivo móvel para monitoramento do aviário.

### Métodos e Procedimentos

Um conjunto de imagens foi capturado em um aviário comercial, retratando objetos existentes, e.g. comedouros, bebedouros e linhas de alimentação. Utilizou-se uma câmera digital de 24,1 MP, para capturar 230 fotografias. Adotou-se o programa de anotação online *Computer Vision Annotation Tool* (CVAT, 2023) para rotular objetos de interesse em cada fotografia resultando em arquivos contendo as coordenadas dos objetos de interesse e suas respectivas imagens. O comedouro foi selecionado como objeto principal devido a seu

papel fundamental na instalação: fornecer alimentação controlada. Em seguida, adaptou-se o modelo de detecção de objetos Ultralytics YOLOv8 (JOSHER; CHAURASIA; QIU, 2023). Os pares de imagens e rótulos foram utilizados como entrada para criar uma classe customizada dos comedouros pertencentes ao aviário. Assim, foi criada uma classe que não pertence à biblioteca padronizada (chamada COCO) dos objetos reconhecidos pelo modelo. Viabilizar a identificação de objetos da classe customizada exigiu duas etapas denominadas treinamento e validação. No treinamento foram extraídas características do comedouro e utilizado 56% do *dataset* (129 imagens). Na validação foram avaliadas as classificações e usado 21% do *dataset* (48 imagens). Avaliou-se o modelo incrementando-se a quantidade de iterações e por meio das métricas implementadas e disponibilizadas por Ultralytics YOLOv8. Como resultado foi gerado um arquivo contendo os pesos da classe customizada, permitindo ao YOLOv8 inferir o objeto comedouro. Posteriormente, foram implementadas funcionalidades de captura (fotografia e filmagem) e contagem de objetos detectados. Para tal, usou-se a linguagem de programação Python v3.9, as bibliotecas OpenCV v2 para manipulação de vídeo, Numpy para operações numéricas, Matplotlib e Seaborn para visualização de dados. Três plataformas foram testadas empiricamente. A primeira (LW) consistiu num *laptop* com sistema operacional

Windows 11, processador Core i7, 8GB RAM, e câmera via USB com sensor VGA, 1,3MP e 640x480. Na segunda (JL1), o software foi executado num dispositivo IoT Jetson Nano com sistema operacional Ubuntu versão 20.04.6, GPU NVIDIA com 128 núcleos, 4 GB de memória e a mesma câmera anterior. Na terceira (JL2), o Jetson Nano foi conectado a um hub USB ligado a duas câmeras: uma similar a webcam integrada e uma térmica (infravermelha) de resolução 160x120 pixels. Não foram realizados testes em campo. Para simular a presença do objeto no ambiente, 53 imagens inéditas foram mostradas às câmeras das três plataformas, a partir da tela de um *smartphone* (23% do *dataset* para teste).

## Resultados

Foram executadas 150 iterações de treinamento e validação e os melhores resultados foram obtidos na 101ª iteração, tal como mostrado na Tabela 1. As métricas *box loss* e *class loss* indicam os erros do algoritmo ao delimitar a área de contenção do objeto e ao inferir objetos da classe customizada, respectivamente. Seus valores diminuíram com o treinamento. Logo, o modelo tornou-se consideravelmente melhor na delimitação e na inferência. Já os aumentos na precisão e na revocação mostraram que o sistema foi capaz de classificar a classe customizada, inferindo objetos corretamente na maioria dos casos.

Tabela 1: Resultados da fase de validação

Iteração	Box Loss	Class Loss	Precisão	Revocação
1	3.4701	4.1405	0.0014	0.1944
101	1.1307	0.7818	0.8562	0.8055

Ensaio empíricos demonstraram que, em LW, todos os comedouros foram detectados com sucesso de forma instantânea. Em JL1, de modo similar ao teste anterior, foram detectados comedouros em todas as imagens, tal como exemplificado na Figura 1. A instalação das bibliotecas, o arquivo dos pesos da classe customizada e o código-fonte ocuparam apenas 70 MB adicionais de armazenamento. Por fim, em JL2, com a

webcam inferiu-se com sucesso os comedouros nas imagens e comprovou-se a compatibilidade da câmera térmica. Portanto, houve fácil adaptação e funcionamento nas diferentes plataformas, realçando-se a portabilidade da solução.



Figura 1: Sistema detectando comedouro a partir de uma imagem mostrada na tela de um *smartphone*

## Conclusões

O sistema descrito neste artigo foi prototipado e possibilitou capturar imagens, detectar e contar objetos em um aviário. A criação de uma classe customizada para YOLO viabilizou a detecção de comedouros, apesar da quantidade reduzida de imagens no treinamento. Além disso, sua portabilidade torna viável embarcá-lo em um dispositivo IoT para monitoramento de aviários. Como futuros trabalhos pretende-se: executar o software e aumentar o *dataset* de treinamento em campo, reavaliar a solução e implementar novos requisitos (e.g. com a câmera térmica).

## Agradecimentos

Ao PIBIFSP 2023 e à FAPESP (22/07442-8).

## Referências

- CVAT (comp.). **Open Data Annotation Platform**. 2023. Disponível em: <https://app.cvat.ai/>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- JOSHER, Glenn; CHAURASIA, Ayush; QIU, Jing. **Ultralytics YOLOv8**. 2023. Disponível em: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- MITKARI, Shubham et al.. IoT based smart poultry farm. **International Research Journal of Engineering and Technology**, Índia, v. 6, n. 3, p. 2380-2384. 2019.

# FERRAMENTAS PARA PRÉ-PROCESSAMENTO E REDUÇÃO DIMENSIONAL DE IMAGENS NO RECONHECIMENTO E DESVIO DE OBSTÁCULOS POR UM ROBÔ MÓVEL

Luís Eduardo de Souza Cintra

Luiz Afonso Batalha Marão

Prof. Dr. Glauco Augusto de Paula Caurin

Escola de Engenharia de São Carlos - USP

luis.cintradu@usp.br

## Objetivos

O tratamento de quantidades significativas de dados é um tema extremamente importante dentro do panorama tecnológico. Vale evidenciar que a tarefa de processar grandes volumes de informações pode ser facilitada por meio das técnicas de redução dimensional: um grupo de metodologias matemáticas e computacionais capazes de comprimir um campo de dados mediante uma perda informacional mínima.

Assim, o objetivo desse projeto é explorar e qualificar dois dos mais relevantes destes métodos: PCA - *Principal Component Analysis* - e os Autoencoders; através de suas implementações no sistema de um robô móvel autônomo [1]. Essas ferramentas atuam no processamento das imagens capturadas por uma câmera frontal, visando incrementar a eficiência da rede neural de controle tanto em sua fase de treinamento, quanto na sua aplicação em tempo real. Posteriormente, verificam-se os ganhos e perdas obtidos analisando-se a performance do robô durante a realização de um percurso em um campo de obstáculos.

## Métodos e Procedimentos

Com o intuito de ampliar o horizonte de possibilidades e construir um ambiente de análise completo, optou-se pelo uso de 4 *datasets*, cada um com 8076 imagens no formato *grayscale* nas

seguintes dimensões:  $32 \times 32$ ,  $64 \times 64$ ,  $128 \times 128$  e  $256 \times 256$ .

Para a implementação do PCA [2] foram determinados os componentes principais de cada *dataset* com base em uma variância de 99%, de forma que esses elementos são fixados e posteriormente aplicados na compressão de cada imagem individual obtida pelo Rover, fornecendo uma perspectiva de generalização para o método.

Para os Autoencoders [3], foram estipuladas padronizações durante a composição dos modelos, evitando irregularidades e mantendo o escopo do projeto bem delimitado. Consoante a essa determinação, as combinações de hiperparâmetros das redes neurais de convolução utilizadas foram investigadas por meio de um algoritmo de força bruta denominado *grid search*.

Em seguida, para que fosse possível reduzir o número de testagens, foi-se desenvolvido um algoritmo de pré-avaliação, o SCORE, com o objetivo de introduzir uma métrica de seleção que pudesse fornecer uma pontuação para cada rede com base em três variáveis: precisão da reconstrução, taxa de redução e número de FLOPS do decoder.

Como análise final, as experimentações foram comparadas com *baselines* visando analisar dois principais aspectos que foram condensados no Custo Performático (CP):

$$CP = \frac{\Delta \text{Taxa de sucesso}}{\Delta \text{Tempo de treinamento}} \quad (1)$$

## Resultados

Tabela 1: Custo Performático dos modelos em relação a seus respectivos baselines

DATASET 32	
MODELO	CUSTO PERFORMÁTICO
PCA	-1.21 ± 0.03
g32_2c_8b_128f_128a	-0.09 ± 0.29
g32_2c_8b_128f_128a	-0.25 ± 0.11
g32_2c_8b_128f_64a	-0.28 ± 0.10
g32_2c_4b_128f_32a	-0.34 ± 0.06
g32_2c_4b_128f_64a	-0.35 ± 0.08
g32_3c_8b_64f_128a	-0.41 ± 0.04
g32_3c_16b_64f_64a	-0.48 ± 0.04
g32_3c_8b_64f_64a	-0.59 ± 0.01
g32_3c_4b_64f_128a	-0.60 ± 0.01
g32_3c_4b_64f_16a	-0.67 ± 0.00

DATASET 64	
MODELO	CUSTO PERFORMÁTICO
PCA	-1.80 ± 0.03
g64_4c_32b_32f_64a	-0.17 ± 0.24
g64_2c_4b_128f_8a	-0.33 ± 0.10
g64_3c_8b_64f_128a	-0.45 ± 0.04
g64_3c_16b_64f_128a	-0.49 ± 0.05
g64_3c_8b_64f_64a	-0.50 ± 0.06
g64_2c_4b_128f_128a	-0.51 ± 0.03
g64_3c_16b_64f_16a	-0.52 ± 0.05
g64_3c_4b_64f_32a	-0.60 ± 0.01
g64_3c_4b_64f_128a	-0.70 ± 0.00
g64_4c_8b_32f_128a	-1.02 ± 0.04

DATASET 128	
MODELO	CUSTO PERFORMÁTICO
PCA	-0.92 ± 0.01
g128_4c_8b_32f_64a	-0.12 ± 0.22
g128_4c_16b_32f_32a	-0.15 ± 0.14
g128_4c_8b_32f_32a	-0.15 ± 0.15
g128_3c_4b_64f_128a	-0.18 ± 0.13
g128_2c_4b_128f_64a	-0.21 ± 0.11
g128_3c_8b_64f_128a	-0.22 ± 0.11
g128_3c_4b_64f_32a	-0.24 ± 0.10
g128_2c_4b_128f_32a	-0.32 ± 0.07
g128_4c_16b_32f_128a	-0.36 ± 0.05
g128_3c_8b_64f_8a	-0.41 ± 0.00

DATASET 256	
MODELO	CUSTO PERFORMÁTICO
PCA	-0.83 ± 0.01
g256_4c_8b_32f_32a	-0.17 ± 0.09
g256_3c_4b_64f_128a	-0.28 ± 0.05
g256_4c_16b_32f_64a	-0.30 ± 0.05
g256_4c_32b_32f_64a	-0.32 ± 0.05
g256_3c_8b_64f_64a	-0.33 ± 0.06
g256_4c_4b_32f_32a	-0.35 ± 0.05
g256_4c_4b_32f_128a	-0.37 ± 0.03
g256_2c_4b_128f_128a	-0.38 ± 0.05
g256_2c_4b_128f_32a	-0.45 ± 0.05
g256_4c_32b_32f_32a	-0.50 ± 0.03

Tabela 2: Significado dos elementos que compõe o código de descrição das redes

<b>g</b>	Dimensão da imagem grayscale
<b>c</b>	Quantidade de camadas
<b>b</b>	Número de neurônios no bottleneck
<b>f</b>	Número de filtros na camada mais interna
<b>a</b>	Número de neurônios na camada auxiliar

A Tabela 1 demonstra os resultados finais obtidos por uma série de 40 modelos que obtiveram maior SCORE. Nota-se que os Autoencoders apresentaram um CP menor em módulo quando comparados ao PCA, um indício que o uso de reduções lineares trazem um prejuízo maior ao sistema de controle.

Por fim, cabe ao experimentador estabelecer um limite máximo para o custo performático que respeite os parâmetros da aplicação final.

## Conclusões

É possível visualizar que os resultados obtidos foram positivos para a aplicação dos Autoencoders na tarefa de redução dimensional, obtendo em sua grande maioria um CP, em módulo, inferior a 1. Por outro lado, o PCA demonstrou ser um método mais custoso para esta aplicação, motivado principalmente por quedas significativas na taxa de sucesso.

Os modelos proporcionaram uma economia volumosa no tempo de treinamento quando comparados às linhas de base, demonstrando que o projeto foi bem-sucedido na geração de eficiência.

## Referências Bibliográficas

- [1] Marão, L.A.B. Deep Reinforcement Learning Multi-Sensor Based Navigation and Control. 82 p. Qualificação de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2020
- [2] JOLIFFE, Ian. Principal Component Analysis. 2 ed. Springer, 2002
- [3] GOODFELLOW, Ian. et al. Deep Learning. MIT Press, 2016. Disponível em: <http://www.deeplearningbook.org>

## HEURÍSTICA ALNS PARA O PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO EM MÁQUINA ÚNICA COM TEMPOS DE SETUP ENTRE FAMÍLIAS

Thiago Luiz de Hongoro

Marcelo Seido Nagano

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo

thiago.hg@usp.br

### Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma adaptação da heurística *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) para o problema de programação de máquina única, com tempo de *setup* entre as famílias e com o objetivo de minimizar o atraso total. Essa heurística é uma extensão da heurística *Large Neighborhood Search* (LNS), na qual uma solução inicial é gradualmente melhorada, destruindo e reparando alternadamente a solução. O ALNS permite que múltiplos métodos de destruição e de reparação sejam usados dentro da mesma busca. Para cada método de destruição e/ou reparação é atribuído um peso que controla a frequência com que o método é executado durante a busca. Os pesos são ajustados dinamicamente conforme a busca avança, para que a heurística se adapte à instância em questão e ao estado da busca. A busca em uma vizinhança grande visa encontrar um ótimo local de alta qualidade e, portanto, um algoritmo de busca em vizinhança grande pode retornar soluções melhores (PISINGER; ROPKE, 2010). A partir disso, a heurística desenvolvida terá seu desempenho avaliado com a melhor heurística presente na literatura.

### Métodos e Procedimentos

Este trabalho foi dividido em quatro etapas: revisão bibliográfica, desenvolvimento da heurística ALNS, calibração da heurística e avaliação de desempenho. A primeira etapa proporcionou uma maior compreensão sobre o

problema estudado. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os problemas de programação em máquina única, com ênfase naqueles que visam minimizar o atraso total e que consideram tempos de *setup* entre trocas de famílias. Além disso, foram pesquisadas referências bibliográficas acerca da heurística ALNS.

Na segunda etapa uma adaptação da heurística ALNS foi desenvolvida em *Python* para o problema especificado. Uma vez que a heurística foi desenvolvida, foram realizados testes computacionais. Nessa etapa os parâmetros foram calibrados visando obter o melhor desempenho possível. Por fim, a heurística desenvolvida teve seu desempenho comparado com a melhor heurística da literatura, a *Iterated Local Search* com *Path Relinking* e *Dynamic Perturbation* (ILS\_DP+PR), proposta por Arroyo e Jacob (2016). O critério para essa comparação foi o desvio relativo percentual médio (DRPM) das heurísticas em cada instância.

### Resultados

A Tabela 1 apresenta os desvios relativos percentuais médios (DRPM) para as duas heurísticas, agrupadas por  $n \times F$ . Nota-se que a heurística proposta obteve um desempenho pior apenas no grupo 100x3. Porém, obteve um DRPM geral de 2,42%, que é menor do que o DRPM de 3,39% do ILS\_DP+PR.

A partir das Tabelas 2 e 3 é possível observar que independentemente da quantidade de tarefas o ALNS proposto obteve um resultado

melhor do que o ILS\_DP+PR. O mesmo comportamento acontece de forma parecida com o número de famílias, sendo que o ALNS proposto teve um resultado pior apenas nos casos em que havia três famílias

Tabela 1: Desvios relativos percentuais médios de cada heurísticas agrupadas por nxF

Parâmetro	ALNS	ILS_DP+PR
60x2	0,42	0,45
60x3	2,25	2,78
60x4	1,48	2,71
60x5	1,92	2,22
80x2	1,10	2,42
80x3	1,25	2,78
80x4	1,68	3,09
80x5	2,78	4,88
100x2	1,93	2,02
100x3	7,09	4,68
100x4	3,18	6,36
100x5	3,98	6,24
Média	2,42	3,39

Tabela 2: Desvios relativos percentuais médios de cada heurísticas agrupadas por n

Parâmetro	ALNS	ILS_DP+PR
60	1,52	2,04
80	1,70	3,29
100	4,05	4,83
Média	2,42	3,39

Tabela 3: Desvios relativos percentuais médios de cada heurísticas agrupadas por F

Parâmetro	ALNS	ILS_DP+PR
2	1,15	1,63
3	3,53	3,41
4	2,11	4,05
5	2,89	4,45
Média	2,42	3,39

Para garantir que as diferenças observadas são estatisticamente significativas foi realizado um teste estatístico de ANOVA. A Figura 1 mostra o resultado desse teste, o qual indicou, com um intervalo de confiança de 95%, que há uma diferença estatisticamente significativa entre os resultados obtidos, uma vez que o  $p\text{-value} = 0,0182 < 0,05$ .

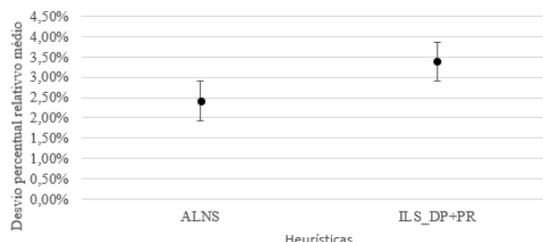


Figura 1: Desvios relativos percentuais médios de cada heurísticas

## Conclusões

A heurística ALNS mostrou ser melhor em 11 dos 12 agrupamentos realizados, obtendo um resultado geral melhor do que o ILS\_DP+PR. Dessa forma, o ALNS tem-se mostrado extremamente eficiente para os problemas estudados neste artigo. Pesquisas futuras podem abordar a utilização do ALNS para problemas de máquina única com outros objetivos (por exemplo, otimização de tempo total de fluxo) e outros elementos específicos (por exemplo, restrições de recursos).

## Referências

- PISINGER, D.; ROPKE, S. Large Neighborhood Search. In: Gendreau M., Potvin JY. (eds) Handbook of Metaheuristics. International Series in Operations Research & Management Science, v. 146, p. 399-419, 2010.
- JACOB, V. V.; ARROYO, J. E. C. ILS Heuristics for the Single-Machine Scheduling Problem with Sequence-Dependent Family Setup Times to Minimize Total Tardiness. Journal of Applied Mathematics, v. 2016, p. 1-15, 2016.

## Um Modelo de Otimização para a Determinação de Kits Cirúrgicos

Gabriel Vinicius Bacci

Maristela Oliveira dos Santos

Universidade de São Paulo

[gabriel.bacci@usp.br](mailto:gabriel.bacci@usp.br)

### Objetivos

O objetivo principal deste projeto é aplicar técnicas de programação matemática para otimizar a composição de kits cirúrgicos. Esses kits serão compostos por sub-kits ou pacotes que incluem itens e insumos necessários para procedimentos cirúrgicos de diversas especialidades médicas. O foco principal é melhorar a eficiência na devolução de itens utilizados nos kits e aprimorar o controle de estoque da farmácia do centro cirúrgico, incluindo o gerenciamento de baixas, devoluções e entradas de materiais.

### Métodos e Procedimentos

Iniciamos este estudo com uma revisão abrangente da literatura, explorando trabalhos relacionados, como o de Dias et al. (2021), como ponto de partida. Simultaneamente, em colaboração com o Hospital Universitário da UFSCar (HU-UFSCar), adaptamos um modelo de otimização inteira, baseado no trabalho de Dias et al. (2021), para acomodar restrições específicas de classe e a inclusão de itens cirúrgicos alternativos. O objetivo principal desse modelo é a minimização dos custos associados aos itens cirúrgicos. Para facilitar a implementação do modelo, desenvolvemos programas em Python que auxiliaram na coleta de dados necessários e na extração de informações sobre as classes dos itens cirúrgicos. Na Tabela 1, apresentamos os parâmetros e variáveis usados no modelo. A Figura 1 ilustra a estrutura final do modelo proposto.

Parâmetros	
$I$	Número de itens, $i \in I$ .
$P$	Número de Kits personalizados ou pacotes, $p \in P$ .
$J$	Número de Procedimentos, $j \in J$ .
$G$	Conjunto de Classes compatíveis, $g \in G$ .
$A_i$	Número de itens alternativos $a$ para o item $i$ , $a \in A_i$ .
$N_{ij}$	Número de itens $i$ necessários no procedimento $j$ .
$B_{ig}$	1, se o item $i$ pertence a classe $g$ . 0, caso contrário.
$C_i^a$	Custo associado ao item alternativo $a$ para o item $i$ .
$M$	Número real suficientemente grande.
$\gamma_j$	Peso associado ao tempo gasto para adicionar itens individuais a um procedimento $j$ .
$\beta^i$	Peso associado ao custo de armazenamento do item $i$ .
Variáveis	
$s_{gp}$	1, se o conjunto $g$ é usado no kit $p$ . 0, caso contrário.
$y_{pj}$	1, se o kit $p$ é usado para procedimento $j$ . 0, caso contrário.
$w_p$	1, se o kit $p$ é usado em um procedimento. 0, caso contrário.
$x_{igp}^a$	Número de itens alternativos $a$ para o item $i$ da classe $g$ no kit $p$ .
$z_{igj}^a$	Número de itens alternativos $a$ para o item $i$ da classe $g$ acrescentados individualmente para o procedimento $j$ .
$red_{igj}^a$	Número de itens alternativos $a$ para o item $i$ da classe $g$ em excesso para o procedimento $j$ .
$v_{igpj}^a$	Número de itens alternativos $a$ para o item $i$ da classe $g$ no kit $p$ usados no procedimento $j$ .

Tabela 1: Parâmetros e variáveis para o modelo

$$\text{Minimizar} \quad \sum_a \sum_i \sum_g \sum_p \sum_j (C_i^a * v_{igpj}^a) + \sum_a \sum_i \sum_g \sum_j (C_i^a * (\gamma_j * z_{igj}^a + \beta^i * red_{igj}^a)) \quad (2.1)$$

$$\text{Sujeito a:} \quad \sum_p w_p \leq |P| \quad (2.2)$$

$$w_p \geq y_{pj} \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in J \quad (2.3)$$

$$x_{igp}^a \leq s_{gp} * M \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall g \in G, \quad \forall p \in P \quad (2.4)$$

$$\sum_g s_{gp} \leq 1 \quad \forall p \in P \quad (2.5)$$

$$\sum_a \sum_g \sum_p v_{igpj}^a + \sum_a \sum_g B_{ig} * (z_{igj}^a - red_{igj}^a) = N_{ij} \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (2.6)$$

$$v_{igpj}^a \leq B_{ig} * x_{igp}^a \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall g \in G, \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in J \quad (2.7)$$

$$v_{igpj}^a \leq M * y_{pj} \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall g \in G, \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in J \quad (2.8)$$

$$v_{igp}^a \geq B_{ig} * x_{igp}^a - M + y_{pj} * M \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall g \in G, \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in J \quad (2.9)$$

$$y_{pj} \in \{0,1\} \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in J \quad (2.10)$$

$$w_p \in \{0,1\} \quad \forall p \in P \quad (2.11)$$

$$s_{gp} \in \{0,1\} \quad \forall g \in G, \quad \forall p \in P \quad (2.12)$$

$$x_{igp}^a \in \mathbb{N} \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall g \in G, \quad \forall p \in P \quad (2.13)$$

$$z_{igj}^a, red_{igj}^a \in \mathbb{N} \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall g \in G, \quad \forall j \in J \quad (2.14)$$

$$v_{igpj}^a \in \mathbb{N} \quad \forall a \in A_i, \quad \forall i \in I, \quad \forall g \in G, \quad \forall p \in P, \quad \forall j \in J \quad (2.15)$$

Figura 1: Modelo final

Neste modelo, a função objetivo (2.1) minimiza o custo total dos itens, estando eles localizados nos kits (primeiro termo), adicionados individualmente para um procedimento (segundo termo) ou que estejam em excesso (terceiro termo). As restrições (2.2) garantem que o número de kits não exceda o máximo disponível. As restrições (2.3) vinculam a utilização de um kit  $p$  ao procedimento  $j$  com a configuração correta. As restrições (2.4) garantem que um item de classe  $g$  só está no kit  $p$  se o kit contiver apenas classes compatíveis com  $g$ . As restrições (2.5) garantem que cada kit  $p$  contenha no máximo um conjunto de classes compatíveis. As restrições (2.6) garantem que o material necessário para cada procedimento  $j$  seja disponibilizado. As restrições (2.7) - (2.9) garantem que os itens utilizados, para um procedimento  $j$  sejam iguais ao número de itens existentes no kit  $p$ , caso ele esteja configurado. As restrições (2.10) - (2.15) são de domínio das variáveis.

## Resultados

Com o intuito de verificar a qualidade das soluções obtidas pelo modelo, foram consideradas 9 instâncias, cada instância engloba os mesmos 10 procedimentos utilizados no artigo de Dias et al. (2021), sendo diferenciados pelo número de grupos de classes e de kits cirúrgicos. Os testes foram realizados utilizando o solver Gurobi 10.0.2 acessado por meio de uma licença acadêmica. Os resultados obtidos são exibidos na Tabela 2

Instância	Melhor Solução	% Gap	Tempo de Execução (s)	Itens Avulsos
1	38804.4	0.00	59.19	334
2	38473.0	0.00	41.74	307
3	37958.7	0.00	52.30	179
4	40386.7	0.00	4.15	519
5	40055.3	0.00	6.23	492
6	39542.9	0.00	8.76	386
7	47909.1	0.00	0.40	1013
8	47577.7	0.00	0.72	986
9	47309.3	0.00	0.68	979

Tabela 2: Resultados das Instâncias

## Conclusões

Analisando os resultados, constatou-se que, para todas as instâncias, foram configurados todos os kits cirúrgicos disponíveis. Com isso, é possível perceber que a inclusão de um único kit cirúrgico não se mostrou eficaz para reduzir os custos e, nesse caso, a maioria dos itens foram adicionados de forma avulsa. Porém, a inclusão de pelo menos 3 kits (instâncias 4 - 9) proporcionou uma melhora na solução, fazendo com que mais da metade dos itens utilizados estejam presentes nos kits. Além disso, observou-se que o número de classes não influenciou de forma significativa o valor da melhor solução, mas afetou consideravelmente o número de itens avulsos gerados. Assim, conclui-se que, a fim de maximizar a abrangência dos kits cirúrgicos para os procedimentos, minimizando o custo total para o hospital, a opção mais adequada consiste em identificar o menor número possível de conjuntos de classes compatíveis e a maior quantidade possível de kits disponíveis.

## Agradecimentos

Apoio da FAPESP no Proc. n° 2022/15104-5. Convênio 1008867, Proc. 18.1.00779.55.4 parceria Santa Casa de Misericórdia de São Carlos com USP e apoio do HU-UFSCar - Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH).

## Referências

DIAS, L.; SANTOS, M. O.; OKANO, Y. NASCIMENTO, M. C. V. Modelo matemático para a determinação de kits cirúrgicos padronizados. in: Anais do , 2021,. anais eletrônicos... campinas, galoá, 2021. In: LIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, LIII. João Pessoa, 2021.

## **Integração de Sistemas Microprocessados para a Conexão de Inversores Inteligentes à Internet da Energia**

**Ana Julia Aguiar Tagliassachi**

**Augusto Matheus dos Santos Alonso**

Universidade de São Paulo

naju2020@usp.br

**Palavras-chave: Internet da Energia, Inversores Inteligentes, Fontes de Energias Renováveis**

### **Objetivos**

O trabalho tem como objetivo aprofundar a aplicação de Inversores Eletrônicos de Potência (IEPs) nas redes elétricas inteligentes, com foco na conectividade com a internet. Isso envolve atividades teóricas e práticas, incluindo uma revisão bibliográfica sobre a topologia computacional dos IEPs e a avaliação do uso de inversores inteligentes nas redes elétricas inteligentes. O estudo avalia as abordagens de comunicação serial utilizadas para gerenciar os IEPs e como essas alternativas podem ser integradas a sistemas microprocessados, como uma Raspberry Pi, que possui capacidade de conexão com a internet e com o DSP. O trabalho também inclui a implementação de um protótipo em laboratório que integra um IEP controlado por DSP a uma plataforma microprocessada para a extração de informações em tempo real de bases de dados online.

### **Métodos e Procedimentos**

A Internet da Energia (IE) é uma rede que abrange eletricidade, gás e armazenamento de energia para facilitar a produção e consumo distribuídos de energia, impulsionada pela demanda por energias renováveis [1]. Caracterizada por fontes renováveis,

integração de energia distribuída, fluxo bidirecional de energia e eletrificação dos sistemas de transporte [2], a IE envolve a integração de dispositivos como painéis solares e turbinas eólicas em uma rede descentralizada, com conectividade à internet e inteligência artificial para monitoramento em tempo real. Os IEPs desempenham um papel crucial na conversão de corrente contínua para alternada [3] e em funções adicionais, como controle de potência e detecção de falhas [4]. O projeto se concentra na integração de um IEP controlado por DSP à internet por meio de comunicação serial SPI com uma Raspberry Pi, simulando um sistema real de interface de comunicação.

### **Resultados**

Segue alguns dos resultados parciais obtidos através do estudo independente do DSP. Vale ressaltar que tais resultados são apenas de utilidade exemplificativa para essa fase do projeto. Destaca-se também que este projeto encontra-se em desenvolvimento.

Neste experimento, simulou-se a operação de um inversor ao medir grandezas como corrente ou tensão, que são sinais alternados, a partir de um gerador de sinais. A montagem do experimento pode ser vista na Figura 1. O processamento desses sinais é fundamental

para o controle do inversor, e no contexto do projeto, essas grandezas precisam ser processadas antes de serem transmitidas para a interface de comunicação, aproveitando a capacidade de troca de dados bidirecional entre o DSP e a interface. O resultado obtido pode ser observado na Figura 2. Note que, como era esperado, o DSP conseguiu efetivamente processar o sinal imposto pelo gerador no ADC. Portanto, os estudos experimentais conduzidos até esta fase do projeto fornecem evidências sólidas de que é viável analisar os dados do inversor em um contexto de aplicação real.

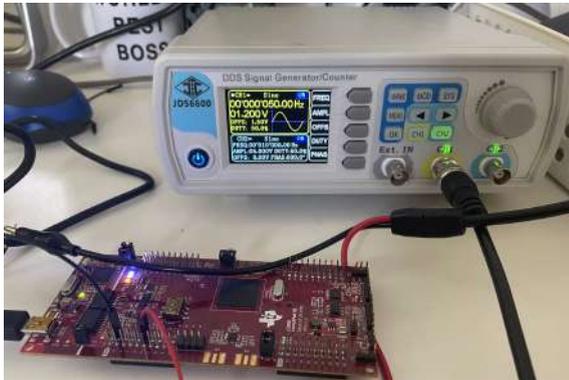


Figura 1: Montagem para o teste do software desenvolvido. Fonte: autora.

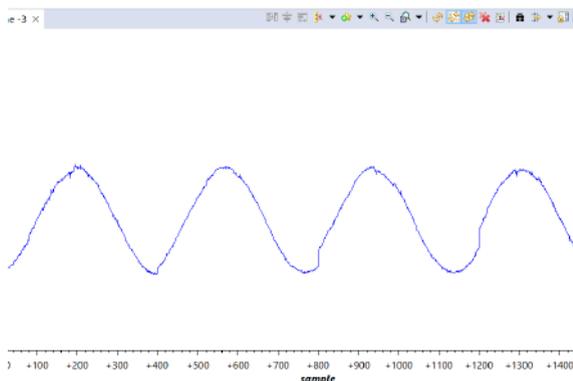


Figura 2: Sinal amostrado no conversor ADC. Fonte: autora.

## Conclusões Parciais

A IE é um conceito emergente impulsionado pela evolução da integração de dispositivos e pela crescente demanda por fontes de energia sustentáveis. Ela promete uma produção descentralizada de energia, incentivando a participação ativa dos consumidores nas redes elétricas e facilitando a geração de energia mais limpa e econômica. A integração de dispositivos controlados por DSPs à Internet viabiliza a IE e otimiza a produção, distribuição e monitoramento de energia. Isso possibilita a obtenção de informações adicionais e vantagens significativas para o público em geral. Portanto, é essencial aprofundar a pesquisa nesse campo em constante evolução, visando a adoção generalizada de práticas que promovam a sustentabilidade energética e contribuam para um mundo mais sustentável no futuro.

## Agradecimentos

A autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento (Processo 2023/00361-5).

## Referências Bibliográficas

1. Lefeng Cheng et al. "Energy Internet Access Equipment Integrating Cyber-Physical Systems: Concepts, Key Technologies, System Development, and Application Prospects". Em: IEEE Access 7 (2019).
2. Jeremy Rifkin. The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World Hardcover. St. Martin's Press, 2011.
3. Sachin Angadi et al. "Comprehensive review on solar, wind and hybrid wind-PV water pumping systems-an electrical engineering perspective". Em: CPSS Transactions on Power Electronics and Applications 6.1 (2021).
4. Babak Arbab-Zavar et al. "Smart Inverters for Microgrid Applications: A Review". Em: Energies 12.5 (2019).

## Aplicação do algoritmo autoral de deposição variável para manufatura aditiva e publicação em plataforma aberta

Daniel Marcos Souza do Couto

MSc Henrique Takashi Idogava

Profa. Dra. Zilda de Castro Silveira

Universidade de São Paulo

couto0@usp.br

### Objetivos

A Manufatura Aditiva (MA) é caracterizada como um processo digital que envolve a adição organizada de matéria-prima. Esse método é empregado na produção de peças com diferentes níveis de complexidade, proporcionando uma grande flexibilidade para a customização desses componentes. O presente trabalho representa a última etapa de um ciclo desenvolvido ao longo da graduação a partir do projeto de Iniciação Científica. As primeiras observações partiram do equacionamento da quantidade de material depositado no processo FFF. Com o desenvolvimento das equações foi possível alterar parâmetros suficientes para resultar em flexibilidade em partes antes rígidas. Esse achado guiou novas possibilidades do estudo e caminharam para a necessidade de desenvolvimento de um algoritmo próprio e não uma adaptação de algo já existente. O objetivo principal deste trabalho visa dar continuidade a um novo método de fatiamento e deposição para MA que seja de fácil aplicação ao usuário. Como objetivos secundários tem-se a publicação dos resultados em repositório aberto e utilização da pesquisa em aplicações reais.

### Métodos e Procedimentos

Os métodos utilizados neste trabalho foram divididos em três segmentos: o Desenvolvimento do código, a organização e publicação do código, e a

adaptação do firmware da impressora dupla rosca. A seguir é detalhado cada um deles.

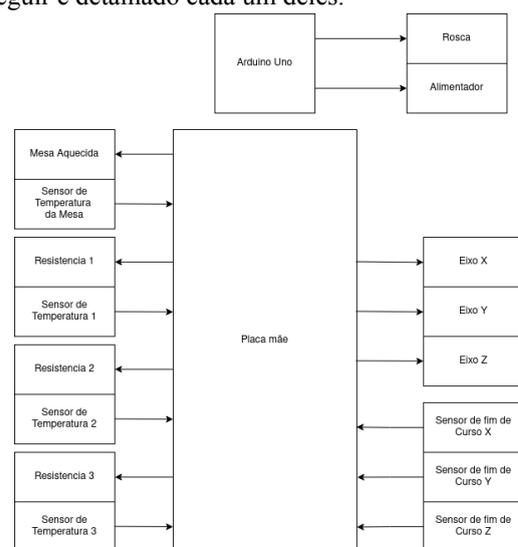


Figura 1: Diagrama de Entradas e Saídas da Impressora Dupla Rosca. (Próprio Autor).

O código proposto foi implementado utilizando a linguagem de programação Python, no formato de biblioteca e publicado na plataforma PyPI. O código proposto teve sua documentação disponibilizada num repositório virtual, na plataforma GitHub, contendo a descrição de suas classes e métodos, guias de instalação, utilização e solução de problemas e uma galeria de potenciais aplicações. O sistema de versionamento utilizado foi o Git. A atualização da eletrônica da impressora dupla rosca foi feita através do levantamento dos requisitos

elétricos e eletrônicos da impressora, presentes na Figura 1.

## Resultados

Durante a pesquisa, um artigo científico foi escrito demonstrando as capacidades do código e propostas de implementação do algoritmo para estratégias de deposição variável, apresentando aplicações em um mecanismo do tipo snap-fit e ensaios mecânicos cíclicos. O artigo foi publicado na revista Rapid Prototyping Journal, sob o título AltPrint: new filling and slicing process planning based on deposited material with geometry variation (DOI 10.1108/RPJ-06-2022-0208). Nas melhorias do código, temos a padronização dos módulos e submódulos do algoritmo em classes, seguindo uma arquitetura de Programação Orientada a Objeto. Classes abstratas foram usadas para definir os padrões de implementação dos módulos, generalizando a forma e padronizando o fluxo de dados entre as classes. Também temos a organização dos scripts e módulos em supermódulos Printables, classes que contém toda a funcionalidade necessária para gerar um arquivo de impressão a partir de um arquivo tridimensional e conjuntos de parâmetros. Para cada proposta ou estratégia de impressão, pode ser criada uma classe Printable diferente, e assim a utilização final obtém maior simplicidade, não sendo necessário alterar e rever todas as subrotinas durante as etapas de aplicação.

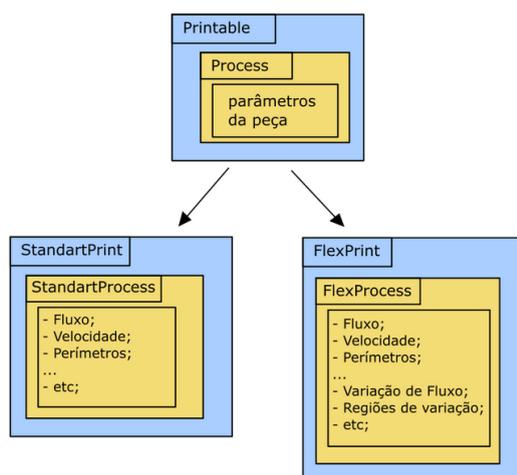


Figura 2: Estrutura das classes do código proposto. (Próprio Autor).

Durante a pesquisa, em colaboração com o grupo de pesquisa do Lab3D, foi feita a atualização da placa mãe da impressora de dupla rosca. Para o projeto, foi utilizada uma placa mãe da marca Makerbase modelo MKS Monster8. O firmware foi configurado de acordo com a implementação física da impressora dupla rosca. O sistema de movimentação foi configurado como CoreXY, e os sensores de fim de curso de acordo com a direção definida na máquina.

## Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a relevância da pesquisa tratada. A inovação do tema e das técnicas propostas são demonstradas através da publicação do artigo em uma revista de fator de impacto 4. O objetivo principal foi alcançado, com a disponibilização, manutenção e melhoria do algoritmo desenvolvido, publicado em plataforma de código livre, além dos exemplos de código disponíveis no repositório. A plataforma aberta e de código livre permite a colaboração e a disseminação do conhecimento gerado, permitindo que futuras pesquisas sejam desenvolvidas, contribuindo para o desenvolvimento da comunidade. Ainda existem possíveis melhorias no código a serem feitas, bem como a implementação de automação de teste e distribuição, das quais podem ser desenvolvidas em futuros trabalhos. Os conhecimentos adquiridos pelo candidato durante a pesquisa permitiram a contribuição para a melhoria da eletrônica da impressora dupla rosca, usada como ferramenta pelo grupo de pesquisa. Tais conhecimentos, de natureza interdisciplinar, integram diferentes áreas da engenharia, envolvendo mecânica, eletrônica, computação e engenharia de materiais. A melhoria na eletrônica desta impressora contribui para o desenvolvimento de diversos trabalhos do grupo de pesquisa, bem como para o uso da máquina pela comunidade universitária.

## Referências

IDOGAVA, H.T.; COUTO, D.S.; SANTANA, L.; ALVES, F.J.L.; SILVEIRA Z.C. (2023) AltPrint: New filling and slicing planning based on deposited material with geometry variation. Rapid Prototyping Journal. DOI 10.1108/RPJ-06-2022-0208.

## Estudo da viabilidade celular em implantes de titânio produzidos por manufatura aditiva e texturizados por microfresamento

Geovana Eloizi Ribeiro

Vincent Edward Wong Diaz

Alessandro Roger Rodrigues

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

geovana\_rib@usp.br

### Objetivos

A liga de titânio é amplamente utilizada em aplicações biomédicas, como implantes e próteses, e sua fabricação tem sido realizada cada vez mais por manufatura aditiva metálica, por exemplo, empregando o método de Deposição de Energia Direcionada por Pó a Laser (LP-DED). As superfícies geradas por este método são ásperas (Selcuk, 2011) e essa rugosidade pode ser relacionada à fixação de implantes (Wong et al., 1995). Este artigo visa estabelecer a relação entre a rugosidade da peça, a morfologia do pó e a potência do laser ao imprimir Ti6Al4V por LP-DED.

### Métodos e Procedimentos

Os pós de Ti6Al4V Carpenter Additive (grau 23) e AP&C (grau 5) foram utilizados na máquina LP-DED BeAM Modulo 250 para imprimir 8 cubos com dimensões 15 x 15 x 6 mm em um substrato de titânio puro com potências do laser de 300, 315, 330 e 345 W para amostras 1 a 4 (Carpenter Additive) e 5 a 8 (AP&C). A velocidade de varredura de 2000 mm/min, a taxa de alimentação de pó de 5,4 g/min e o gás de proteção argônio foram mantidos constantes. Após as amostras terem sido limpas com acetona e água deionizada sob vibração ultrassônica, os parâmetros de rugosidade  $S_a$  (média),  $S_z$  (pico-vale),  $S_{sk}$  (Skewness) e  $S_{ku}$  (Kurtosis) foram analisados utilizando o microscópio laser confocal Olympus OLS4100.

### Resultados

A Figura 1 mostra a caracterização dos pós Carpenter e AP&C.

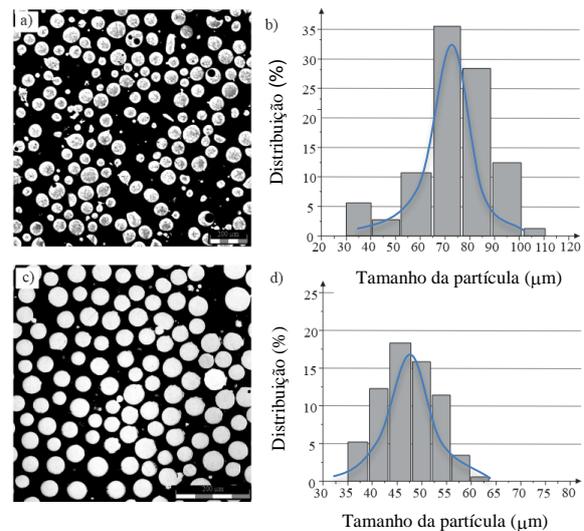


Figura 1. Microscopia ótica e distribuição de tamanho do pó Carpenter (a e b) e AP&C (c e d).

O pó Carpenter apresentou tamanho de partículas variando de 35 a 105  $\mu\text{m}$ , com morfologia predominantemente esférica e presença de partículas satélites. O pó AP&C apresentou tamanho de partículas variando de 37,5 a 62,5  $\mu\text{m}$ , também com morfologia predominantemente esférica. A Figura 2

apresenta a imagem de um exemplar impresso AP&C 345 W e suas respectivas superfícies obtidas via microscopia laser confocal.

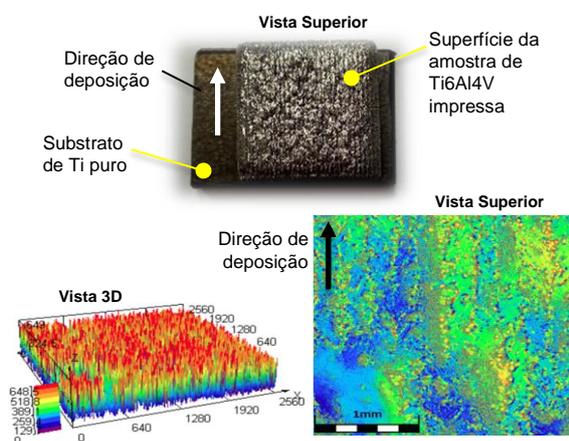


Figura 2: Amostra AP&C 345 W (rugosidade máxima de 648,5  $\mu\text{m}$ ).

A Figura 3 revela a tendência de ambos os parâmetros de rugosidade média ( $S_a$ ) e máxima ( $S_z$ ) diminuírem com o incremento da potência do laser devido ao aumento do grau de fusão tornando o pó mais densamente fundido. Por fim, as rugosidades Skewness ( $S_{sk}$ ) e Kurtosis ( $S_{ku}$ ) de ambos os pós revelaram que as superfícies produzidas pelo processo LP-DED apresentam concentração de material em vales ( $S_{sk} > 0$ ), com picos e/ou vales pontiagudos ( $S_{ku} > 3$ ).

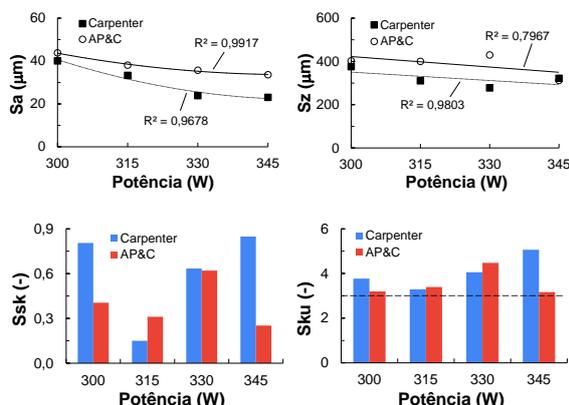


Figura 3. Rugosidades  $S_a$ ,  $S_z$ ,  $S_{sk}$  e  $S_{ku}$  em função da potência do laser e do fornecedor de pó de Ti.

## Conclusões

O tamanho e a morfologia das partículas dos pós influenciam a rugosidade da superfície devido à interação das partículas durante o processo de deposição. O pó AP&C reduziu a rugosidade média ( $S_a$ ) e máxima ( $S_z$ ) entre 8,5 e 31,3%, e 0 e 35,4%, respectivamente, quando comparado ao pó Carpenter. A potência do laser também contribuiu para a diminuição da rugosidade devido ao aumento na densidade global de energia e na eficiência de captura do pó. A rugosidade média ( $S_a$ ) diminuiu, aproximadamente, 42,4% e 23,3%, respectivamente, para o pó da Carpenter e AP&C ao aumentar a potência do laser. As rugosidades Skewness ( $S_{sk}$ ) maiores que zero e Kurtosis ( $S_{ku}$ ) maiores que 3 revelaram uma prevalência de picos e/ou vales agudos, e concentração de material nos vales, o que é útil para a viabilidade celular.

## Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica (PIBIC) que tornou este estudo possível. Ao professor orientador, Alessandro Roger Rodrigues, pelo comprometimento, orientação e conhecimento que foram essenciais para a condução deste projeto. Ao doutorando Vincent Edward Wong Diaz, cuja experiência e assistência técnica contribuíram para a realização deste estudo.

## Referências

- Selcuk C. 2011. Laser metal deposition for powder metallurgy parts, **Powder Metallurgy**, Vol. 54(2), p. 94-99.
- Wong M., Eulenberger J., Schenk R., Hunziker E. 1995. Effect of surface topology on the osseointegration of implant materials in trabecular bone. **Journal of Biomedical Materials Research**, Vol. 29(12), p. 1567-75.

## PROJETO E FABRICAÇÃO DE ROCHAS ARTIFICIAIS COM CONTROLE DE POROSIDADE

**Bianca da Silva Soares**

**Mateus Mota Morais**

**Prof. Assoc. Dr. Carlos Alberto Fortulan**

Departamento de Engenharia Mecânica - EESC/USP

biancasoares@usp.br

### Objetivos

O presente projeto de iniciação científica tem por objetivo o planejamento e a implementação de uma técnica para a fabricação de *core plugs* sintéticos produzidos com carbonato de cálcio com porosidade variada em escalas micro e milimétricas, a fim de mimetizar rochas naturais. *Core plugs*, são amostras cilíndricas rochosas utilizadas para análise e caracterização de uma formação geológica e suas propriedades, tais como, porosidade, permeabilidade e densidade. Esses exemplares possuem uma vasta aplicação na engenharia e na geologia, sendo utilizados para o desenvolvimento e validação de modelos e simulações, bem como, para estudos na área petrolífera no qual o presente projeto se insere. Entretanto, a obtenção de amostras de rochas naturais de carbonato de cálcio enfrenta diversos empecilhos, uma vez que tais materiais são comumente heterogêneos e possuem elevados custos para extração, além de tal processo frequentemente provocar graves impactos ao meio ambiente ou ainda que, em alguns casos, são considerados patrimônios geológicos sendo submetidos a restrições de extração. Uma maneira de contornar tais adversidades e assegurar a realização de experimentos fidedignos e exploratórios é a utilização de *core plugs* sintéticos produzidos artificialmente que

reproduzem as características das rochas naturais com possibilidade adicional do controle da porosidade, da composição química e adição seletiva de impurezas.

### Métodos e Procedimentos

Para a fabricação dos *core plugs*, utilizou-se como matriz o Carbonato de Cálcio ( $CaCO_3$ ) em pó e como agente porogênico Bicarbonato de Amônio ( $NH_4HCO_3$ ) em pó.

Os pós foram misturados, adicionados de ligantes orgânicos e amostras foram conformadas através de prensagem uniaxial e prensagem isostática para posteriormente serem pré-queimadas a 500°C com fluxo de ar comprimido e sinterizadas a 840°C em forno com atmosfera controlada de gás carbônico ( $CO_2$ ).

Foram fabricadas bateladas com aproximadamente 20 amostras com diferentes graus de porosidade, de 10%, 15% e 20% do volume total, com poros grandes medindo entre 180µm e 300µm e poros pequenos com tamanho aproximado de 90µm.

Os *core plugs* e demais geometrias produzidas foram então caracterizados e submetidos a diversos experimentos, entre os quais: medição de densidade por imersão (método baseado no princípio de Arquimedes), ensaios mecânicos de compressão e flexão e ressonância magnética nuclear.

## Resultados

Através dos ensaios efetuados determinaram-se importantes parâmetros para as amostras, como densidade, porosidade, módulo elástico e tensão de ruptura em compressão e flexão (Tab. 1).



Figura 1: Exemplo de grupo de amostras produzidas

Batelada	Tensão de Ruptura na compressão (MPa)	Tensão de Ruptura na Flexão (MPa)
15% P e 15% G	36,1 +/- 4,72	28,6 +/- 0,54
10% P e 20% G	24,15 +/- 3,50	10,43 +/- 2,08
20% P e 10% G	53,42 +/- 16,10	20,55 +/- 3,10
20% P e 20% G	22,51 +/- 4,24	15,52 +/- 0,90

Tabela 1: Tensões de ruptura das amostras produzidas

## Conclusões

Os *core plugs* preparados, alcançaram resultados satisfatórios para distribuição de sua porosidade. As amostras apresentaram valores de resistência mecânica e porosidade coerentes com os valores encontrados nas rochas naturais, além disso, o método de fabricação mostrou-se eficiente e adequado para a pesquisa, sendo possível a reprodução

de diversos exemplares e suas análises em variadas circunstâncias, o que reduz a probabilidade de inconsistências em estudos futuros e assegura a possibilidade de aplicação do método desenvolvido em trabalhos futuramente, sobretudo de interesse da indústria petrolífera.

## Agradecimentos

Ao CNPq pelas bolsas CNPq- PIBIC - 2022 código 2401 e produtividade processo: 307143/2022-8 e, ao Laboratório de Tribologia e Compósitos da USP, que forneceu todos os aparatos necessários para a pesquisa.

## Referências

- [1] JW Anthony, RA Bideaux, KW Nichols, CM Bladh, Handbook of Mineralogy. Volume V - Borates, Carbonates, Sulfates, Mineralogical Society of America, Chantilly, VA, 2003.
- [2] Alyafei, N. 2021. Fundamentals of Reservoir Rock Properties - 2nd edition, Fundamentals of Reservoir Rock Properties. Hamad bin Khalifa University Press (HBKU Press). [https://doi.org/10.5339/Fundamentals\\_of\\_Reservoir\\_Rock\\_Properties\\_2ndEdition](https://doi.org/10.5339/Fundamentals_of_Reservoir_Rock_Properties_2ndEdition)
- [3] Baker RO, Yarranton HW, Jensen JL, 2015a. Practical Reservoir Engineering and Characterization. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128018118/practical-reservoir-engineering-and-characterization>
- [4] Morais MM, et al. Fabrication and Petrophysical Characterization of Artificial Carbonate Rocks with Multiscale Porosity Sintered in a CO2 Atmosphere. Preprint available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4308133> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4308133>
- [5] Morais MM, Salomão RD, Fortulan CA. Successful and failed attempts to obtain bulk calcium carbonate parts through sintering and carbonation. University of São Paulo.
- [6] Morais MM, Fortulan CA, 2021. Fabrication of ceramic core lugs with multiscale porosity. Partial scientific report. University of São Paulo.
- [7] Marassi AGM, et al. 2022. Estudo de Rochas Reservatório por Ressonância Magnética Nuclear - 1. Universidade de São Paulo.

## Desenvolvimento de modelos em elementos finitos para ressonadores e caracterização de materiais.

**Henri Miranda Magalhães**

**Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Pisanelli R. de Oliveira**

Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos

henri30036@usp.br

### Objetivos

O projeto possui o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de ressonadores locais visando atenuação de vibração em estruturas periódicas. Para isso são desenvolvidos modelos de elementos finitos para simulação dos ressonadores e seus componentes, que são submetidos a validação experimental, tendo em vista a identificação das propriedades físicas dos materiais utilizados.

### Métodos e Procedimentos

Os experimentos realizados numa primeira parte da pesquisa consistem em determinar características físicas de polímeros amplamente utilizados em processos de manufatura aditiva e a validação destas características através de modelos construídos no COMSOL (figura 1), a partir disto pode-se determinar qual material seria o ideal a ser utilizado para criação dos ressonadores. Os ressonadores consistem em uma mola linear, estudada analiticamente (BEER & JOHNSTON, 2015) como uma estrutura da figura 2 e experimentalmente, através de ensaio de tração estático. Por fim, o conjunto completo (não linear) também é submetido ao ensaio de tração e os dados obtidos analiticamente, que nortearam o projeto inicial, e os dados experimentais são utilizados para construção do modelo completo no COMSOL.

### Resultados

As características dos diversos materiais poliméricos foram determinadas e validadas experimentalmente como mostrado na figura 1 e a fase atual do projeto consiste na construção do conjunto do ressonador para que possa haver a produção em grandes quantidades para teste de redução de vibrações em baixa frequência em diversas estruturas (RAO, 2008, GATTI *et al.*, 2022).

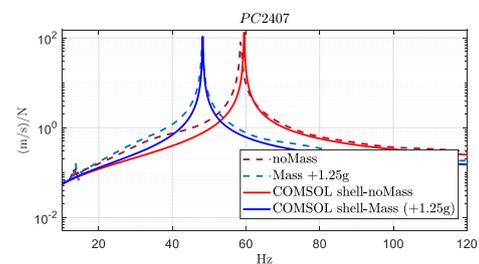


Figura 1-Validação das características do PC2407 experimentalmente e por simulações

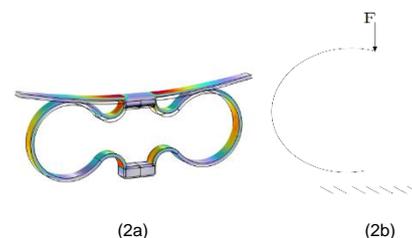


Figura 2 - (a) Modelo COMSOL da mola linear e viga utilizada no ressonador e (b) modelo analítico de flexão da mola linear

## Conclusões

O estudo permitiu a validação experimental das propriedades dos materiais selecionados, bem como o projeto refinado do ressonador. Os próximos passos incluem testes dinâmicos com a estrutura periódica completa.

## Referências

BEER, Ferdinand P.; E. JOHNSTON, Russell Jr., DEWOLF, John T.; *Mecânica dos Materiais*. 7. ed. McGraw-Hill, 2015

RAO, Singiresu S. *Vibrações Mecânicas*. Pearson-Prentice Hall, 2008.

GATTI, G.; SHAW, A.D.; GONÇALVES, P.J.P.; BRENNAN, M.J.. On the detailed design of a quasi-zero stiffness device to assist in the realisation of a translational Lanchester damper. *Mech. Sys. Sig. Processing*, v. 164, p. 108258, 2022.

## Desenvolvimento de sistema de monitoramento de temperatura *in line* para um cabeçote miniaturizado vertical para impressão 3D

Gabriel Kenji Gushiken

Dávila Moreira Lopes Silva

Zilda de Castro Silveira

Departamento de Engenharia Mecânica - SEM

gabrielkenji18950@usp.br

### Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo a estimativa do perfil térmico e o desenvolvimento de um sistema de monitoramento *in line* de temperatura aplicados a um cabeçote de extrusão vertical miniaturizado. De forma complementar, um sistema de arrefecimento também será proposto na região de transição entre a rampa de alimentação e a zona de alimentação do barril do cabeçote vertical

### Metodologia

As principais etapas metodológicas para o desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle de temperatura ao longo do cabeçote monorosca são: Simulações térmicas para levantamento do perfil de temperatura; Definição dos requisitos para monitoramento da temperatura; Determinação dos softwares e hardwares computacionais aplicados; Escolha dos tipos de sensores empregados; Calibração dos sensores de temperatura; Desenvolvimento do sistema de aquisição e do sistema de processamento de dados; Proposta preliminar do sistema de arrefecimento.

### Resultados

Os principais resultados das simulações térmicas são mostrados na tabela 1.

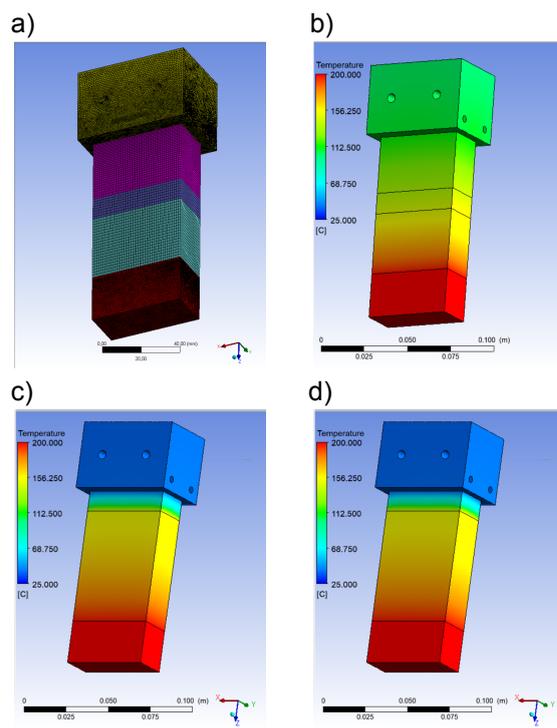


Figura 1: a) Malha utilizada nas simulações; b) Barril metálico sem arrefecimento; c) Barril com separador de PTFE sem arrefecimento; d) Barril metálico com arrefecimento.

O software desenvolvido para a aquisição dos dados é capaz de ler oito sensores paralelamente, apresentar e gravar seus dados de forma independente. A figura 1 apresenta somente dois dos oito canais disponíveis para coleta de dados.

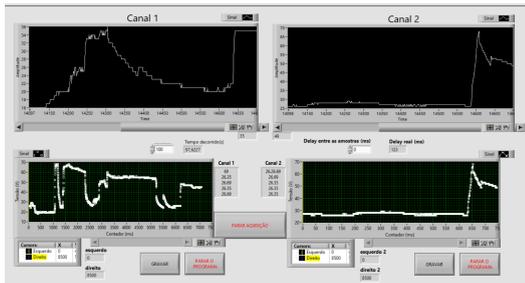


Figura 1: Interface do programa de aquisição.

O hardware foi o Arduino Nano. O sensor escolhido (termistor) já é utilizado em um projeto similar: Sean W (2018) e trabalha bem na faixa de temperatura desejada. Utilizando o modelo de resistência para semicondutores de Steinhart-Hart, o sensor apresentou um erro máximo de 1,66% e média de 0.55% em toda a faixa de operação, valor aceitável para os requisitos do projeto, como visto na figura 2.

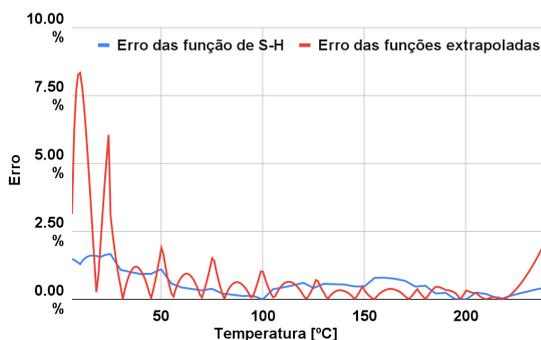


Figura 2: Comparação do erro da função de S-H com funções extrapoladas dos dados empíricos do termistor.

O sistema de arrefecimento foi inspirado em Sean W (2018), baseado no sistema de *liquid cooling* utilizado em computadores de alta performance. A figura 3 apresenta como o sistema de resfriamento seria construído envolta do subsistema de bombeamento e

plastificação da impressora 3D desenvolvida por SILVA (2023).

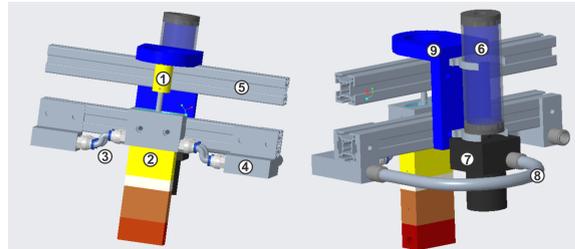


Figura 3: Modelagem geométrica do sistema de arrefecimento com a extrusora de SILVA (2023);(1)Rosca simples;(2)Barril;(3)Tubulação e conectores pneumáticos;(4)Adaptador impresso em ABS 2xm6-G1/4;(5)Perfil de alumínio básico;(6)Reservatório frio;(7)Bomba de água;(8)Mangueira de PVC e conectores G1/4;

## Conclusões

O sistema de aquisição, apresentação e gravação do perfil térmico de uma impressora 3D baseada em extrusão de rosca simples foi desenvolvido e testado. Da simulação é evidente a necessidade de um sistema de resfriamento a fim de evitar a formação de grânulos no material extrudado para o barril de aço. O sistema proposto apresenta ser uma opção viável. Para o barril com separador de PTFE, a temperatura na rampa pode ser adequada, porém a falta de rigidez do material em altas temperaturas pode ser prejudicial para a qualidade de impressão.

## Referências

SILVA, D. M. L. Desenvolvimento, calibração e validação de um equipamento de manufatura aditiva com foco em cabeçote de mini extrusão por rosca simples. 2023. 152 p. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023

Sean W, Arif KM, Potgieter J. (2018) Design and development of an extrusion system for 3D printing biopolymer pellets. Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature 2018.

## IDENTIFICAÇÃO DE LACUNAS NAS LINHAS DE CULTIVO UTILIZANDO ALGORÍTMOS COMPUTACIONAIS

Emanuel Percinio Gonçalves de Oliveira - EESC e ICMC - USP

Prof. Assoc. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Universidade de São Paulo

emanueloliveira@usp.br

### Objetivos

O presente projeto tem como principal objetivo a identificação de lacunas em linhas de cultivo. Para tal, é feita a coleta de dados com o sensor LiDAR com o intuito de identificar padrões utilizando os algoritmos estatísticos e de aprendizado de máquina propostos. Finalmente, para a escolha da melhor solução, serão utilizadas métricas de validação de modelos e de desempenho de algoritmos.

### Métodos e Procedimentos

O desenvolvimento desse projeto de pesquisa se deu por meio de 4 etapas principais. As duas primeiras foram o estudo teórico do sistema operacional ROS e dos algoritmos de análise estatística, de processamento de imagens e de aprendizado de máquina cogitados para a implementação da solução; a terceira e a quarta etapas foram realizadas a partir da implementação e validação dos CAs escolhidos para a identificação das lacunas, respectivamente. Para isso, foi utilizada a linguagem Python para realização das etapas de implementação dos CAs. Neste projeto de pesquisa, utilizou-se o robô TerraSentia da empresa EarthSense, uma plataforma de 30cm de largura e 14,5 kg de massa. Seu uso no cultivo costuma ser na coleta de dados do solo com o auxílio de suas 3 câmeras e sensor LiDAR. O sensor LiDAR em questão consiste de um 2D UST-10LX da empresa Hokuyo, com capacidade de fornecer a uma velocidade de 25 ms, a distância de objetos em uma

varredura de 270° e distância máxima de 10 m com precisão de  $\pm 40$  cm. A coleta de dados foi feita em ambiente simulado no laboratório com canos PVC e folhas secas formando uma “linha de cultivo” (Figura 1), onde o robô era direcionado para percorrer e fazer a coleta com o LiDAR. As nuvens de pontos obtidas foram, então, processadas com o auxílio de algoritmos como o DBSCAN para exclusão de *outliers* e técnicas de geração de novos dados (*data augmentation*). Em seguida, são aplicados os algoritmos propostos, sendo eles: Estatística de Moran Local por meio de Diagramas de Voronoi; algoritmos clássicos de Aprendizado de Máquina; e técnicas de Deep Learning.

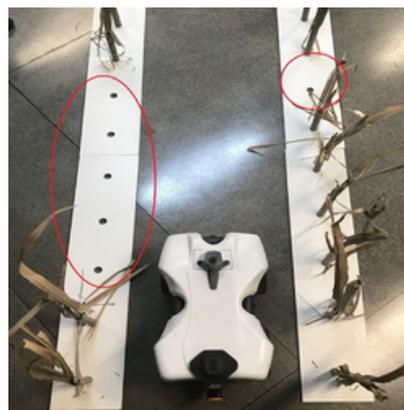


Figura 1: Teste Indoor para coleta de dados.

### Resultados

A princípio, a aplicação da Estatística de Moran Local não apresentou resultados satisfatórios

para a identificação das lacunas. Então as imagens geradas pelos Mapas de Moran foram aproveitadas para o treinamento de uma Rede Neural Convolutiva apresentando um desempenho de 99,16% de acurácia na identificação de lacunas. Com relação clássicas de Aprendizado de Máquina, quatro foram estudadas mais a fundo sendo elas: Árvores de Decisão; *Gradient Boosting*; Redes Neurais Artificiais rasas; e *Random Forest*. Apresentando, respectivamente, 98,09%, 98,09%, 97,47% e 97,02% de acurácia na identificação de lacunas no cultivo (Figura 2).

Algoritmo Computacional	Acurácia
CNN	99.16%
Decision Tree	98.09%
Gradient Boosting	98.09%
ANN	97.47%
Random Forest	97.02%

Figura 2: Resultado obtido para cada algoritmo.

## Conclusões

Com os resultados obtidos por meio das implementações realizadas nesse projeto de pesquisa é possível concluir a gama possibilidade de algoritmos para a identificação de lacunas no cultivo com grande eficiência. Apesar da inconsistência no uso da Estatística de Moran Local, essa ainda se mostrou útil como ferramenta de construção dos Mapas de Moran que, por si, foram úteis nas tarefas de aprendizado. O projeto abre, então, a possibilidade de estudo e implementação dos algoritmos diretamente no robô para validação da identificação em tempo real e escolha da melhor solução.

## Agradecimentos

Agradeço imensamente ao professor Marcelo Becker por ter aberto as portas da pesquisa científica para mim e me oferecido essa oportunidade. A conclusão desse projeto também não seria possível sem o auxílio do atual Dr. Leonardo Bonacini que terminou seu doutorado e me ajudou durante o

desenvolvimento da pesquisa, me guiando nos estudos e sanando eventuais dúvidas.

## Referências

- A. Ahmadi, M. Halstead and C. McCool, "Towards Autonomous Visual Navigation in Arable Fields," 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Kyoto, Japan, 2022, pp. 6585-6592, doi: 10.1109/IROS47612.2022.9981299.
- ANSELIN, Luc. Local indicators of spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, [S. l.], v. 27, p. 93–115, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
- AURÉLIEN GÉRON. Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow concepts, tools, and techniques to build intelligent systems. [s.l.] : O'Reilly Media, Inc., 2019.
- BELLELLI, Francesco S. The fascinating world of Voronoi diagrams. 2021. Disponível em: <https://fbellelli.com/posts/2021-07-08-the-fascinating-world-of-voronoi-diagrams/>.
- Breiman, L. Random Forests. *Machine Learning* 45, 5–32 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>.
- Chen, J., Qiang, H., Wu, J., Xu, G., & Wang, Z. (2021). Navigation path extraction for greenhouse cucumber-picking robots using the prediction-point Hough transform. *Computers and Electronics in Agriculture*, 180, 105911. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105911>.
- HIGUTI, V. A. H. 2D LiDAR-based Perception for Under Canopy Autonomous Scouting of Small Ground Robots within Narrow Lanes of Agricultural Fields. 2021. 118p. Ph.D. Thesis - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.
- Velasques, Andres E. B.; AKIHIRO HISANO HIGUTI, VITOR; GASPARINO, Valverde; SIVAKUMAR, Narenthiran; BECKER, Marcelo; CHOWDHARY, Girish. Multi-sensor fusion based robust row following for compact agricultural robotsarXiv e-prints. [s.l.: s.n.].

## **Metodologia de seleção de materiais para aplicações voltadas a tecnologia assistiva**

**João Victor Cassole Aguiar**

**Alina de Souza Leão Rodrigues**

**Zilda de Castro Silveira**

Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos, USP

jaguiar@usp.br

### **Objetivos**

A seleção de materiais é uma etapa de grande importância no desenvolvimento de um projeto de engenharia, já existindo métodos de seleção validados para tais casos. No entanto, tratando-se de projetos interdisciplinares e que requerem certo grau de customização ou personalização, as necessidades e preferências do usuário devem ser consideradas em conjunto com os requisitos mecânicos para garantir uma boa usabilidade da solução (3). O campo da Tecnologia Assistiva (TA), por exemplo, busca desenvolver produtos e serviços para promover a funcionalidade, a independência e a qualidade de vida de pessoas com deficiência (3), mas ainda é caracterizado por elevadas taxas de descontinuidade de uso. Nesse contexto, fatores associados à incorporação do produto na rotina do usuário e à viabilidade econômica de aquisição e manutenção também exercem influência direta na utilização contínua. Dessa maneira, o principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um método de seleção de materiais focado em tecnologia assistiva, que possa ser aplicado sistematicamente no desenvolvimento de produtos que se

enquadrem nessa categoria e precisem de maior preocupação com a interação entre o material e o usuário, garantindo acima de tudo sua usabilidade e o não abandono do mesmo. Como estudo de caso, o método foi aplicado em um produto já definido: uma cadeira de banho dobrável,, cujo projeto conceitual foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa em conjunto com um grupo de usuários e profissionais da saúde (RODRIGUES, 2022)

### **Métodos e Procedimentos**

Este trabalho utiliza-se de outros métodos de seleção de materiais como referência para o desenvolvimento do método, aplicando diferentes técnicas de seleção para o caso do projeto da cadeira e comparando resultados, de maneira a utilizar as melhores características de cada abordagem para o resultado final. Além disso, foi utilizado o software estudantil de seleção de materiais Granta Edupack para produção de gráficos de propriedades de diferentes tipos de materiais durante o desenvolvimento do método.

Para definição dos requisitos mecânicos da cadeira de banho foram utilizadas as análises por elementos finitos realizados durante o desenvolvimento do projeto da cadeira[1]. Já para a definição dos requisitos do usuário e das condições de uso do produto foram utilizadas informações coletadas durante a

pesquisa e desenvolvimento do produto, levando em consideração o uso cotidiano e algumas vezes prolongado da cadeira.

## Resultados

O trabalho teve dois principais resultados palpáveis: a seleção dos materiais mais adequados para os principais componentes da cadeira (espuma do assento, revestimento da espuma, estrutura da cadeira e apoio de pé) e o desenvolvimento do método.

O método desenvolvido assemelha-se ao método de Ashby na não linearidade, ou seja, não apenas os materiais que se mostravam inicialmente promissores eram submetidos a análises posteriores de compatibilidade com os requisitos de usuário. Por fim, a estrutura do método baseia-se nas seguintes etapas, ilustrados na figura 1.

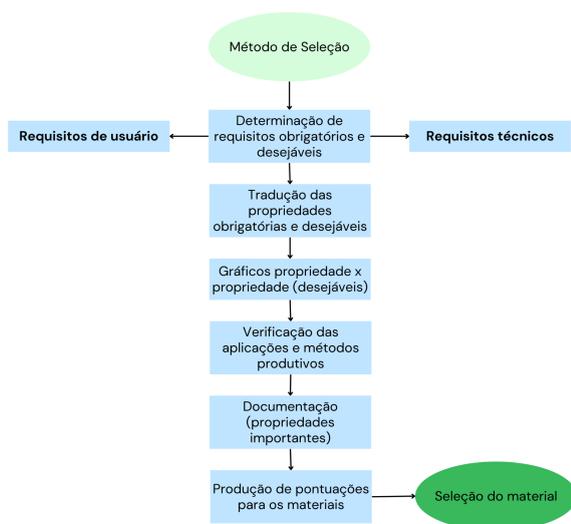


Figura 1: Etapas do método desenvolvido

O processo aplicado ao projeto da cadeira de banho definiu as melhores opções de materiais de acordo com os critérios definidos para cada um dos componentes. Os critérios mecânicos são extensos e não valem ser citados aqui, no entanto com relação aos critérios de utilização do usuário vale a pena citar o critério financeiro, estética, durabilidade e rigidez em contato com a pele do usuário. Os resultados são mostrados a seguir:

- Assento: espumas de polipropileno
- Revestimento do assento: poliuretano\*
- Estrutura: liga de alumínio (6262)
- Apoio de pé: polipropileno com 40% de reforço de fibra de vidro.

\* mais de uma opção disponível com desempenho semelhante

## Conclusões

O método de seleção de materiais desenvolvido facilitou a tomada de decisões de forma sistemática, especialmente nas etapas finais. Além disso, os resultados obtidos foram próximos ao efetivamente utilizado no dia a dia, visto que na maioria dos casos o material selecionado já era utilizado em aplicações análogas ou materiais que são utilizados nessa aplicação chegaram ao final da seleção como bons candidatos, mas foram eliminados por preço e/ou eficiência. Nesses casos, também devemos levar em consideração a disponibilidade no mercado (algumas vezes difícil de encontrar). No entanto, vale ressaltar que o trabalho teve como foco a etapa conceitual de projeto e para uma validação mais assertiva do método e da eficiência dos materiais selecionados para as aplicações, é necessário o desenvolvimento de protótipos funcionais, analisando seu desempenho e interações com o usuário final.

## Referências

- [1] RODRIGUES, Alina de Souza Leão. **Refinamento de uma metodologia de projeto direcionada para Tecnologia Assistiva, com abordagem participativa dos usuários**. 2022. Dissertação (Mestrado em Projeto, Materiais e Manufatura) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. doi:10.11606/D.18.2022.tde-19042023-141630.
- [2] ASHBY, M. F. *Materials selection in mechanical design*. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2017.
- [3] PINHEIRO LIMÃO, I. **ANÁLISE DO ASSENTO E ENCOSTO DE CADEIRAS DE RODA DOBRÁVEIS, NA PERSPECTIVA TRIBOLÓGICA DE MATERIAIS TÊXTEIS**. Dissertação —Universidade federal do Rio Grande do Norte: [s.n.].

## ECOTOXICIDADE E INGESTÃO DE MICROPLÁSTICOS DE POLIETILENO POR *DAPHNIA SIMILIS* EM DOIS CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO

Matheus Dias Rezende

Evaldo Luiz Gaeta Espindola, Allan Pretti Ogura

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos

matheusdrez@usp.br

### Objetivos

A presente pesquisa buscou avaliar os efeitos letais e subletais de microplásticos de polietileno para microcrustáceos da espécie *Daphnia similis*, considerando cenários de exposição contínua e pontual.

### Métodos e Procedimentos

Os efeitos tóxicos de microplásticos (MPs) de polietileno com tamanho entre 34 e 50  $\mu\text{m}$  para cladóceros da espécie *D. similis* foram testados por meio de ensaios de ecotoxicidade aguda e crônica. Os testes de ecotoxicidade aguda foram feitos com cinco concentrações de MPs (10, 20, 40, 80 e 160  $\text{mg L}^{-1}$ ) e seguindo as diretrizes da NBR 12.713 (ABNT, 2016), com duração de 48 h, a  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e fotoperíodo de 16L:8E. Em béqueres de 100 mL, 10 organismos foram adicionados em cada réplica, de forma que cada concentração foi testada em triplicata. Os *endpoints* avaliados foram a mobilidade e a ingestão de MPs, verificada mediante a contagem de partículas plásticas no trato intestinal em microscópio com aumento de 100x. Os testes de ecotoxicidade crônica foram feitos em condições análogas aos testes anteriores, mas com três concentrações de MPs (10, 20 e 40  $\text{mg L}^{-1}$ ), considerando dez réplicas para cada tratamento e contendo um organismo cada. A metodologia para os ensaios crônicos foi adaptada da NBR 12.713 para 15 dias, conforme feito por Gallo *et al.* (2023). Os *endpoints* avaliados foram a reprodução, verificada por meio da contagem

de organismos neonatos em cada frasco a cada 48 h, e o tamanho, determinado por medição do comprimento de cada organismo adulto exposto. Além disso, para analisar a ocorrência e os efeitos da eliminação de plásticos do trato intestinal, o ensaio de ecotoxicidade crônica foi realizado em cenários de exposição contínua, na qual a contaminação perdurou por todo o período do teste, e de exposição pontual, sem contaminação a partir do segundo dia. O tratamento estatístico contou com os ensaios de Shapiro-Wilk e Levene para verificar a homogeneidade e a normalidade dos dados, e ANOVA, seguida de post-hoc de Tukey, e Kruskal-Wallis para analisar a significância estatística dos dados ( $p < 0,05$ ).

### Resultados

Não ocorreu imobilização dos organismos expostos aos MPs nos ensaios de ecotoxicidade aguda. No entanto, houve ingestão de microplásticos em 48 h, especialmente nas maiores concentrações, conforme observado em microscópio (Figura 1).



Figura 1: Ingestão de microplástico por *D. similis* apontados por seta no tratamento controle (A), a 10  $\text{mg L}^{-1}$  (B) e a 160  $\text{mg L}^{-1}$  (C).

Os ensaios de ecotoxicidade crônica atestaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre a reprodução dos organismos expostos às maiores concentrações (20 e 40 mg L<sup>-1</sup>) em relação ao controle para a exposição contínua, mas não para a exposição pontual (Figura 2).

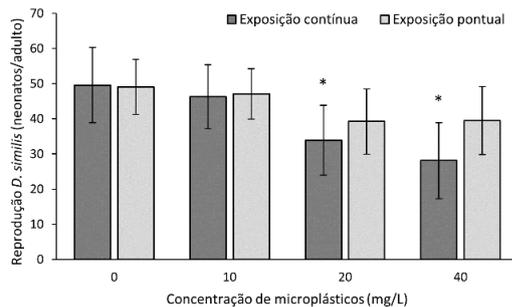


Figura 2: Reprodução de *D. similis* sob exposições contínua e pontual a microplásticos. Os asteriscos indicam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) do controle.

Em relação ao comprimento dos organismos adultos, a inibição do crescimento foi observada para ambos os tipos de exposição, considerando a maior concentração testada, de 40 mg L<sup>-1</sup> (Figura 3). Assim, observa-se que, mesmo em caso de exposição pontual, os efeitos ecotoxicológicos podem se estender ao longo do ciclo de vida dos organismos expostos.

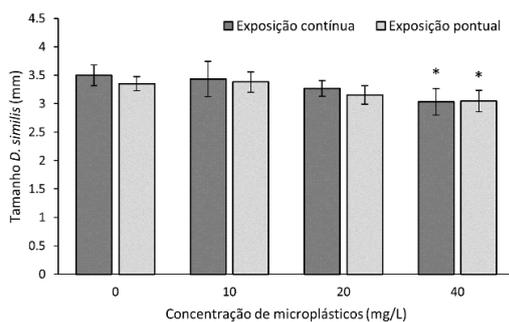


Figura 3: Comprimento de *D. similis* sob exposições contínua e pontual a microplásticos. Os asteriscos indicam diferenças estatísticas ( $p < 0,05$ ) do controle.

Por fim, a ingestão de microplásticos também foi verificada após 15 dias de exposição por

meio da visualização em microscópio no caso da exposição contínua, mas não foi percebida após a exposição pontual, o que pode indicar a eliminação de MPs pelos indivíduos. No entanto, a ingestão de MPs, mesmo que temporária, pode resultar no carreamento de outros contaminantes para o interior dos organismos e assim causar outros efeitos ecotoxicológicos (MENÉNDEZ-PEDRIZA; JAUMOT, 2020)

## Conclusões

Dessa forma, conclui-se que os organismos da espécie *D. similis* foram capazes de ingerir microplásticos de polietileno com tamanho entre 34 e 50  $\mu$ m em diferentes períodos de exposição. Apesar de não terem sido observados efeitos de ecotoxicidade aguda (imobilização em 48 h) para essa espécie, houve ingestão de micropartículas de plástico que podem impactar a saúde dos organismos. A reprodução somente foi prejudicada em exposição contínua, fato possivelmente associado à eliminação das partículas. No entanto, o comprometimento do crescimento em exposição contínua e pontual pode estar relacionado ao preenchimento e a danos ao trato intestinal do organismo pela incorporação de microplásticos. Dessa maneira, é evidente que a ingestão de MPs, mesmo que temporária, pode causar efeitos ecotoxicológicos.

## Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* spp. (Crustacea, Cladocera). NBR 12713, 2016.
- GALLO, N. C. et al. Toxicity of fipronil and 2,4-D pesticides in *Daphnia similis*: a multiple endpoint approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 23, p. 63479–63490, 13 abr. 2023.

- MENÉNDEZ-PEDRIZA, A.; JAUMOT, J. Interaction of Environmental Pollutants with Microplastics: A Critical Review of Sorption Factors, Bioaccumulation and Ecotoxicological Effects. **Toxics**, v. 8, n. 2, p. 40, 2 jun. 2020.

## MAPEAMENTO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS EM RECURSOS HÍDRICOS

**Autora: Dafne Fernanda Alves e Silva**  
**Contributor: Sabrina Anício de Oliveira**  
**Orientador: Tadeu Fabricio Malheiros**

Escola de Engenharia de São Carlos/USP  
dafnefernanda@usp.br

### Objetivos

O projeto buscou compreender a interação entre as demandas das bacias PCJ (Piracicaba-Capivari-Jundiaí) em relação aos serviços de recursos hídricos com as ações em andamento nas bacias no que se diz respeito à inovação tecnológica. Dessa forma, o projeto foi fundamentado em realizar o mapeamento de demandas por inovações e tecnologias no setor de recursos hídricos, com foco em saneamento básico no contexto que aborda o convênio com o Consórcio de Bacias PCJ e as Câmaras Técnicas pertencentes aos Comitês das Bacias PCJ, no sentido de inovar produtos e processos, na busca por melhoria do desempenho dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, de acordo com as necessidades identificadas. Além disso, o projeto busca compreender ações que já vêm sendo empreendidas nas Bacias PCJ, seja pelas empresas atuantes no setor de recursos hídricos ou pelas iniciativas das instituições de pesquisas, indicando a presença e caráter da inovação tecnológica. Como objetivo secundário do projeto, buscou-se conciliar as informações das instituições que atuam nas Bacias PCJ, bem como a maior aproximação com universidades da região, buscando-se, também, entender qual o cenário enfrentado pelas instituições presentes nas Bacias PCJ.

### Métodos e Procedimentos

Para obter informações sobre as Bacias PCJ, foram conduzidas pesquisas diretas com representantes de instituições parceiras do

Consórcio de Bacias PCJ e das Câmaras Técnicas dos Comitês das Bacias PCJ. Os dados coletados foram tratados qualitativamente usando o 'Discurso do Sujeito Coletivo'. Para a coleta de dados, foi empregado um formulário online pela plataforma Google Forms, em um link disponibilizado.

Em março de 2023 foi realizada a busca na literatura, com auxílio de ferramentas de consulta como Scielo, Scopus e FAPESP. Isso permitiu a identificação de atividades na região que fazem uso de recursos hídricos, sendo elas: abastecimento público; atividades industriais; agropecuárias; geração de energia; transporte; navegação; mineração; turismo; e lazer. Além disso, foram identificadas as demandas que interferem no desdobramento dessas pesquisas, classificadas em: sociais, ambientais, organizacionais, legislativas, tecnológicas, econômicas, culturais e governamentais. Para classificar os usos dos recursos hídricos, seguiu-se a classificação encontrada no Boletim do SNIRH n°1, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, e para identificar as demandas, considerou-se as variações regionais do uso da água nos municípios das Bacias PCJ.

Os dados fornecidos pelos Comitês PCJ, órgão responsável pela gestão das Bacias PCJ, também foram investigados. Assim, o estudo documental foi fundamentado no mais recente Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, que estabelece metas e objetivos para os anos de 2020-2035.

## Resultados

A Tabela 1 é resultado da busca de artigos (realizada no dia 23 de março de 2023), no qual foram encontrados 59 trabalhos, a partir do *string* de buscas “Bacias PCJ”.

Tabela 1. Resultados para caracterização de serviços e demandas - Número de pesquisas encontradas em cada base versus serviços e demandas

		TOTAL
S E R V I Ç O	Abastecimento público	44
	Atividade agropecuária	5
	Atividade industrial	1
	Outro	3
Social		7
D E M A N D A	Ambiental	25
	Tecnológica	21
	Econômica	7
	Governamental	11
	Organizacional	18
Legislativo		2

Fonte: Autores (2023).

Quanto à aplicação do formulário aos representantes dos Comitês PCJ, os participantes enfatizaram a urgência de avanços tecnológicos na gestão dos recursos hídricos. As pesquisas atuais se concentram no abastecimento público, mas a demanda por inovação tecnológica engloba várias outras áreas dos serviços de recursos hídricos. Isso ressalta a importância de expandir as investigações para abordar desafios como tratamento de água, monitoramento da qualidade, distribuição eficiente e reúso de água, entre outros.

## Conclusões

Os dados resultantes da aplicação do formulário e as informações encontradas na revisão literária revelam que a maior parte das pesquisas existentes está voltada para o abastecimento público, mas destaca a necessidade de inovação tecnológica em

outras áreas dos serviços de recursos hídricos, como tratamento de água, monitoramento de qualidade, eficiência na distribuição e reúso de água. Isso se alinha com a prioridade de pesquisa em abastecimento hídrico encontrada na bibliografia e com o escopo de atividades dos Comitês PCJ.

Os Comitês de Bacias PCJ são financiados pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) e pelas tarifas cobradas pelo uso da água nos estados de São Paulo e Minas Gerais. No entanto, o Plano de Recursos Hídricos das Bacias PCJ prevê a alocação de apenas 0,45% do investimento total para as temáticas da CT-ID (Câmara Técnica de Integração e Difusão de Pesquisas e Tecnologias) no período de 2020 a 2035, o que representa uma proporção relativamente baixa. Embora os objetivos do Plano de Bacias tenham um enfoque de longo prazo, as demandas atuais destacam a necessidade de agir com urgência diante desses desafios.

## Agradecimentos

Essa pesquisa foi financiada pelas iniciativas em prol de inovações tecnológicas partindo do Consórcio de Bacias PCJ, com apoio da Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo - FUSP. O presente trabalho também foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Boletim do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. 1ª Edição. 2022.

COMITÊS PCJ. **Relatório Final do Plano das Bacias PCJ 2020 a 2035**. 2020.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ.

## Aplicação de métodos ablativos em redes neurais para navegação robótica em campos acidentados

Gianluca Capezzuto Sardinha e Marcelo Becker

Universidade de São Paulo (USP)

[gianlucacapezzuto@usp.br](mailto:gianlucacapezzuto@usp.br)

### Objetivos

A navegação autônoma é tipicamente considerada como um problema geométrico, no qual o mesmo deve identificar a geometria do ambiente para planejar uma trajetória sem colisões. Porém, uma visão puramente geométrica do ambiente pode ser insuficiente para muitas situações na robótica. Assim, fazendo-se o uso de métodos que possibilitam o aprendizado sobre a navegabilidade de ambientes a partir das experiências prévias do robô e de dados sensoriais, é possível desenvolver a percepção espacial e contribuir para a navegação ótima do robô com redes neurais. Contudo, a criação de um mapa semântico para prever a atravessabilidade ainda é algo desafiador, visto que existem dificuldades e erros na associação e segmentação do significado dos obstáculos. Com isso, busca-se investigar e aperfeiçoar, por meio de estudos ablativos, os modelos de aprendizado profundo, visando uma melhora de resultados e o aumento na velocidade de processamento da rede. Assim, observa-se que por meio destes estudos é possível atingir de forma única a causalidade das redes. Nesse contexto, o **objetivo principal** deste projeto é a aplicação de métodos ablativos em modelos de navegação preditiva de travessia para robôs, mais especificamente na rede *TravNet* (GASPARINO, M. V. et al, 2022).

### Métodos e Procedimentos

Com a evolução das pesquisas no reconhecimento, análise e classificação de imagens, diversos métodos de predição de navegação surgiram por conta das redes neurais convolucionais, assim como a rede presente no modelo WayFAST. A *TravNet* é uma rede neural convolucional que tem como



Figura 1: Representação da percepção do Terrasentia no ambiente.

função de estimar coeficientes no espaço da imagem. Esses coeficientes representam o quanto de esforço será necessário para alcançar uma localização pré-definida, tentando fazer um planejamento ótimo da trajetória local. A rede tem como entrada imagens RGB e de profundidade, ambas de tamanho 424x240, obtendo como saída um único canal que prediz a transponibilidade, vide Figura 2 (GASPARINO, M. V. et al, 2022).

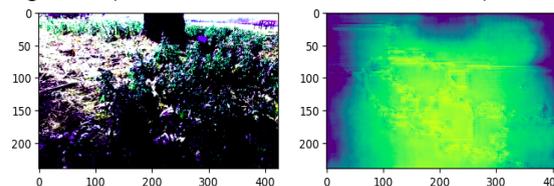


Figura 2: Entrada e saída da *TravNet* com *data augmentation*.

Porém, para garantir que o caminho dado como saída é o melhor para o sistema naquele instante é de suma importância garantir que a rede neural esteja na melhor configuração possível, surgindo a necessidade de um estudo aprofundado. Com isso, é crucial o seguimento de uma investigação mais intensa na

arquitetura da rede, aplicando o estudo ablativo. Inicialmente, métodos como a diferenciação em grupo de filtros semelhantes com proporções distintas e a verificação de camadas mais significativas podem evoluir o desempenho da rede (MEYES, R. et al, 2019). Porém, algumas aplicações são específicas à *TravNet* como: uma reavaliação da fusão entre os dados RGB e de profundidade no codificador, como também o uso de técnicas *data augmentation*, *batch-size training* e pré-processamento (I. Kanellopoulos et al, 1997).

Para viabilizar o projeto, foram utilizados os serviços da *Amazon Web Services* (AWS). Para este projeto, adotou-se uma instância da máquina “g5.xlarge”. Além disso, as imagens utilizadas foram obtidas pelo robô agrícola móvel *TerraSentia* em diversos ambientes semi-urbanos e florestais, totalizando em um dataset de 16.000 imagens. Ele foi desenvolvido por pesquisadores do Laboratório de Robótica Móvel (LabRoM – EESC/USP) e da Universidade de Illinois (UIUC) e está retratado na Figura 1.

## Resultados

É possível observar na Figura 3 o desempenho da *TravNet* com os resultados da perda de treinamento e validação obtidos para os mais diversos testes efetuados, sendo eles: **a) original**; **b) pré-estudo ablativo**; **c) sem o ramo de profundidade**; **d) com proporções distintas nos grupos de filtros** e **e) sem a presença de um dos blocos de codificação**. A função de perda utilizada foi a L1, calculada como a soma das diferenças absolutas entre os valores previstos e os valores reais.

Em todos os testes é perceptível o aprendizado da rede. Primeiramente, é importante observar a semelhança nos gráficos **a)** e **b)**, visto que não houve nenhuma alteração na rede, apenas a aplicação de técnicas para aumentar a diversidade dos dados. No que tange ao comparativo de **a)** com **c)**, é possível identificar que por mais que a perda de treinamento esteja melhor, a perda de validação parece estagnar em certo ponto, mostrando a significância do ramo de profundidade retirado. Já observando **a)** e **d)**, tem-se um perfil parecido para ambos, mas é notável um desvio menor dos valores da perda de validação em

**d)**. Por fim, investigando **a)** e **e)**, tem-se que a retirada do bloco 1 de codificação da rede aparenta afetar na validação dos dados, estagnando e obtendo a pior perda dos testes.

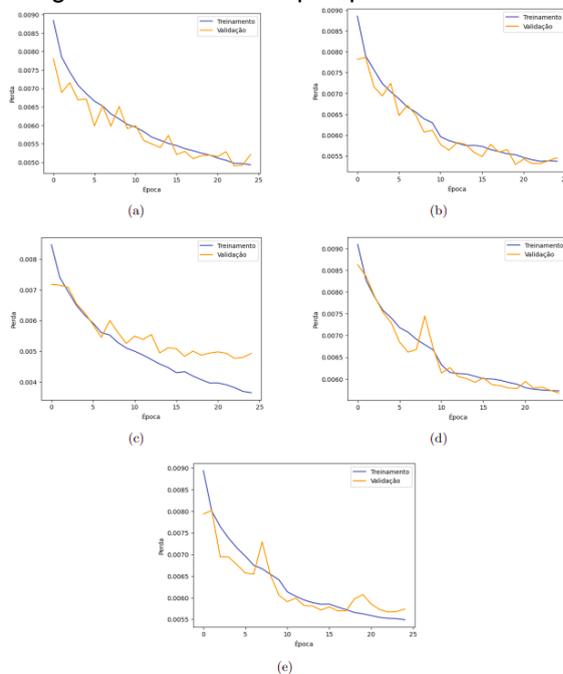


Figura 3: Gráfico da função de custo para diferentes situações.

## Conclusões

No desenvolvimento de estudos ablativos em redes neurais, este projeto propôs a simplicidade da rede sem perda de eficiência na navegação robótica. Os resultados mostram que o modelo *TravNet* realizou a tarefa de predição de transponibilidade em todos os testes com sucesso.

Este projeto foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Robótica do SEM-EESC-USP - Grupo de Robótica Móvel (LabRoM). O bolsista teve apoio da FAPESP (processo nº 2022/08433-2).

## Referências Bibliográficas

- GASPARINO, M. V. et al. **WayFAST: Traversability Predictive Navigation for Field Robots**. arXiv, 2022.
- MEYES, R. et al. **Ablation Studies in Artificial Neural Networks**. arXiv, 2019.
- I. Kanellopoulos; et al. **Strategies and best practice for neural network image classification**. International Journal of Remote Sensing, Taylor Francis, v. 18, n. 4, p. 711–725, 1997.

## Avaliação da qualidade da água em um riacho urbano de São Carlos (SP) durante eventos de precipitação: caracterização da poluição difusa e influência das características da vegetação ripária

Cecilia Loretti de Paiva<sup>1</sup>

João Miguel Merces Bega

Davi Gasparini Fernandes Cunha

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

cecilialoretti@usp.br

### Objetivos

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar a qualidade da água de um riacho urbano do município de São Carlos (SP) ao longo de eventos de precipitação. Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (1) analisar a ocorrência da poluição difusa e do fenômeno da primeira carga de lavagem (PCL) em relação aos sólidos suspensos totais (SST) (e suas frações fixa [SSF] e volátil [SSV]) no riacho; e (2) verificar a influência da estrutura e do grau de conservação da vegetação ripária sobre os resultados obtidos.

### Métodos e Procedimentos

Foram monitorados cinco eventos de precipitação entre os anos de 2022 e 2023, nos quais foram estudados o comportamento de curvas massa(volume) [M(V)], os polutogramas e as respectivas concentrações médias do evento (CME) para SST, SSV e SSF no exutório da bacia Santa Maria do Leme (11,18 km<sup>2</sup>), localizada na área urbana de São Carlos (SP) e contribuinte do rio Monjolinho, importante manancial de abastecimento público. As concentrações de sólidos foram obtidas por método gravimétrico (APHA, 2017). O diagnóstico ambiental do trecho foi realizado com a aplicação de duas versões de protocolos de avaliação rápida (PARs), propostos por

Barbosa *et al.* (2017) e Espíndola (2022). Além disso, analisou-se os índices RV (*Riparian Vegetation*; variáveis: densidade arborea, área basal por hectare e média DAP [diâmetro à altura do peito]) e RFS (*Riparian Forest Structure*; variáveis: largura da vegetação ripária, disponibilidade de luz e percentagem de tipologia de vegetação [presença de árvores, gramíneas, cipós e bambus, serrapilheira e solo exposto]), adaptados por Souza *et al.* (2013). Os PARs e os índices apresentados foram analisados em ambas as margens de cinco transectos ao longo do riacho Santa Maria do Leme, distantes 100 m entre si, com aproximadamente 100 m<sup>2</sup> de área. Os PARs foram aplicados em dois períodos (chuvoso e de estiagem) e a análise das variáveis de RV e RFS apenas durante o período de estiagem.

### Resultados

Os eventos de precipitação monitorados abrangeram características hidrológicas distintas e variações nas CMEs de SST (Tabela 1). A partir da análise das curvas M(V), observou-se que houve poluição difusa e ocorrência da PCL para sólidos suspensos nas chuvas 1 e 2. O elevado volume pluvial escoado (devido às maiores intensidades pluviométricas e durações) para o riacho nas chuvas 3, 4 e 5 pode ter sido responsável pela diluição dos sólidos suspensos em suas águas.

Tabela 1: Características dos eventos chuvosos monitorados.

	Intensidade da Chuva		Pico de Vazão		Duração (min)	Dias antecedentes de chuva (d)	Cargas	
	(mm/h)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)			CME SST (mg L <sup>-1</sup> )	Mássicas (ton/dia)
Chuva 1 (30/11/2022)	4,20	1,35	1,93	51,00	0,75	74,46	144,70	
Chuva 2 (06/12/2022)	10,90	1,84	2,64	21,00	0,38	103,22	273,22	
Chuva 3 (20/12/2022)	17,50	4,20	10,23	152,00	0,83	204,88	1.239,68	
Chuva 4 (16/01/2023)	22,80	4,94	10,23	41,00	2,40	1.053,30	7.497,00	
Chuva 5 (30/05/2023)	19,00	3,31	5,40	100,00	18,63	131,00	624,90	

Righetto, Gomes e Freitas (2017) obtiveram, no deflúvio superficial de uma bacia urbana brasileira com baixa permeabilidade, CMEs de SST entre 15,7 e 129,9 mg L<sup>-1</sup>. No presente trabalho, o intervalo obtido foi superior ao encontrado pelos autores. Os resultados apontaram que o aumento do número de dias antecedentes sem chuva pode estar associado ao maior volume de sólidos carregados na bacia durante eventos chuvosos. Houve predominância da fração fixa (matéria inorgânica) nos SST, possivelmente relacionado com o processo moderado a intenso de erosão do solo presente na bacia [provavelmente exposto em razão das larguras da mata ciliar identificadas na bacia abaixo das normas legislativas vigentes ou influenciado pelo tipo de vegetação predominante no transecto: em áreas com predomínio de serrapilheira e solo exposto foram identificadas feições erosivas mais graves]. Esse processo faz com que os minerais do solo arenoso da região sejam carregados, fomentando o grave quadro de enchentes presentes em São Carlos (SP) (PERES; SCHENK, 2021), devido ao fenômeno de assoreamento. Nos períodos de

estiagem e chuvoso, em ambos modelos de PARs avaliados, o riacho foi classificado, predominantemente, como “impactado”.

## Conclusões

O estudo identificou impactos antrópicos e a influência da sazonalidade na bacia do Riacho Santa Maria do Leme, enfatizando a importância da vegetação ripária no controle da entrada de sólidos suspensos no riacho monitorado ao longo de eventos de precipitação. Tendo em vista que o aporte de sólidos contribui diretamente para o assoreamento do Rio Monjolinho, agravando o problema de inundações em São Carlos (SP) e gerando outros impactos negativos, é imperiosa a adoção de medidas que visem a preservação da bacia e da mata ciliar dos cursos d’água, a fim de mitigar os efeitos da poluição difusa.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências

- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23. ed. Washington: American Water Works Association, 2017.
- BARBOSA NETO, V. C.; CABRAL, J. J. S. P.; OLIVEIRA, A. L.. Protocolo de avaliação rápida do estado de conservação de um trecho de mata ciliar do rio Sirinhaém (PE). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.3, p.64-77, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0007>
- RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. In: Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 1109–1120, 2017. DOI: [10.1590/S1413-41522017162357](https://doi.org/10.1590/S1413-41522017162357).
- PERES, R.B., SCHENK, L.B.M. Landscape planning and climate changes: a multidisciplinary approach in São Carlos (SP). **Ambiente & Sociedade**, v. 24, 2021

## DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO RESPIROMÉTRICO PARA MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM EM ESCALA REDUZIDA

Isadora Skorupski Barros

Guilherme Henrique Duarte de Oliveira

Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo

isadora.skorupski@usp.br; ghdoliveira@usp.br

### Objetivos

Este trabalho almejou desenvolver um método respirométrico para o monitoramento do processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos por meio da determinação da velocidade de consumo de oxigênio.

### Métodos e Procedimentos

O sistema de compostagem em escala de laboratório foi montado a partir de frascos Duran (Figura 1). O sistema é constituído por um frasco reacional (2 L) no qual os resíduos orgânicos são aerados por um compressor de aquário; uma câmara de saturação (1 L), que garante que os resíduos não percam umidade e um selo hídrico (0,25 L). O sistema foi montado em triplicata e mantido em uma câmara de controle de temperatura a 37° C.



Figura 1: Sistema de compostagem montado em laboratório.

Para a verificação inicial da viabilidade do sistema, optou-se por trabalhar com um meio orgânico sintético, de composição facilmente controlável e que fosse reprodutível. O meio escolhido foi uma mistura de bagaço de maçã (M) e serragem (S), de forma que alterando a proporção entre M e S controla-se a porosidade e umidade do meio reacional, conforme Malinska (2016). O meio foi inoculado com biomassa de uma composteira doméstica ativa, assegurando a presença de microrganismos decompositores. Os ensaios foram monitorados até que fosse verificada a estabilização da atividade biológica. A determinação da atividade biológica foi realizada por meio do instrumento comercial *OxiTop Control*, um medidor de pressão amplamente utilizado para a realização de ensaios de demanda bioquímica de oxigênio. O *Oxitop* é acoplado no bocal dos frascos Duran e realiza medições de pressão em intervalos pré-determinados. Para o monitoramento da compostagem, o frasco de 2 L era periodicamente removido do sistema de aeração periodicamente e acoplado ao *Oxitop* por um total de 4 horas. O consumo de oxigênio pela biomassa era então verificado pelo decréscimo de pressão no frasco, medido a cada 40 segundos. Os dados coletados permitiram a elaboração de perfis temporais de pressão, a partir dos quais são obtidos a velocidade de consumo de oxigênio, um indicador direto da atividade biológica no reator. Até o momento, foram realizadas duas

etapas experimentais: a primeira etapa avaliou a influência da proporção entre M e S no comportamento da compostagem. Testou-se três proporções mássicas dos componentes: M:S (1:0,25), M:S (1:0,125) e M:S (1:0,0625).

Na segunda etapa, fixou-se a proporção M:S (1:0,0625) e avaliou-se a inserção de uma camada drenante de fundo para isolar o meio reacional dos líquidos gerados no processo de digestão da matéria, garantindo a aeração adequada do meio (Figura 2).



Figura 2: Etapa 2: Avaliação da inserção de uma camada drenante de fundo.

## Resultados

Os experimentos de compostagem do meio sintético duraram cerca de 35 dias, desde a montagem até a estabilização da atividade. O monitoramento respirométrico permitiu a elaboração dos perfis temporais da velocidade de consumo de oxigênio (atividade biológica) ao longo da compostagem.

Os ensaios realizados na primeira etapa demonstraram que a mistura de sólidos mais adequada para a proposta deste trabalho era a com a menor proporção de serragem: M:S (1:0,0625). Isso se deve ao fato de tal proporção ter resultado em uma maior e mais duradoura atividade biológica, em relação às demais condições. Os resultados obtidos na segunda etapa indicam que a adoção da camada drenante foi benéfica ao processo de compostagem, resultando em uma estabilização da atividade biológica mais

rápida, quando comparada à mesma condição operacional na Etapa 1 (Figura 3).

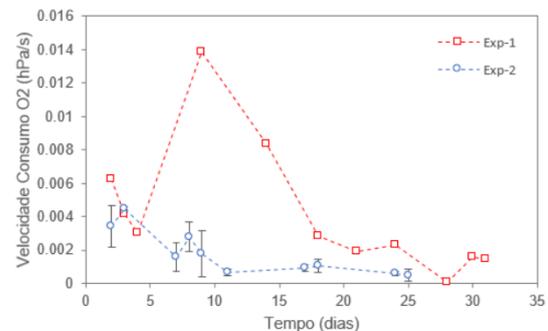


Figura 3: Evolução da atividade biológica durante o processo de compostagem nas Etapas 1 e 2. (M:S (1:0,0625).

## Conclusões

Os resultados obtidos até o momento permitem concluir que o sistema desenvolvido é adequado determinar a velocidade do consumo de oxigênio durante a compostagem, sendo, portanto, uma ferramenta promissora para o monitoramento do processo. Na etapa seguinte, a metodologia será validada com amostras reais provenientes de uma composteira em escala comercial.

## Agradecimentos

Agradeço meu orientador e professor Guilherme pelo acompanhamento impecável e apoio em todos os meses de trabalho e parceria, e os funcionários e usuários do Laboratório de Processos Biológicos (LPB) da Escola de Engenharia de São Carlos pelo suporte e convívio amigável.

## Referências

Malinska, K. (2016) Application of a modified Oxitop respirometer for laboratory composting studies. Archives of Environmental Protection, v. 42, n. 1, pp. 56-62.

# DESENVOLVIMENTO DE ROTINAS DE PROGRAMAÇÃO PARA PLATAFORMA DIGITAL DE TOMADA DE DECISÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ECONOMIA CIRCULAR EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

**Autor: João Alexandre Ferraz**

**Colaboradora: Sabrina de Oliveira Anício**

**Orientador: Prof. Dr. Tadeu Fabrício Malheiros**

Universidade de São Paulo - EESC/ICMC

j.aferraz@usp.br

## Objetivos

O objetivo desse projeto de Iniciação Científica foi tornar operacional uma plataforma de suporte de tomada de decisão para a adoção de práticas mais sustentáveis em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

## Métodos e Procedimentos

Esse projeto de iniciação científica deu continuidade ao desenvolvimento de uma plataforma de tomada de decisão que possuía algumas funcionalidades que foram implementadas no período de iniciação científica anterior (2021-2022). Essa plataforma, como citado em Ferraz (2022):

[...] faz parte de um projeto em andamento do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Sustentabilidade e Saneamento (NUPS). Essa ferramenta está hospedada na plataforma *Microsoft Excel*, fazendo o uso de uma planilha desenvolvida na pesquisa de doutorado a que esse projeto está vinculado. Assim, a planilha contém as fórmulas e valores necessários para calcular parâmetros financeiros de diferentes combinações de tecnologias de recuperação e reciclagem do lodo. Essas tecnologias podem ser implementadas em estações de tratamento de esgoto a fim de promover a economia circular nesses sistemas e trazer benefícios ao longo do tempo. Então, a partir dessa planilha, foram desenvolvidas rotinas de programação

para adaptar a coleta de dados e a apresentação dos resultados ao usuário, para um formato mais interativo (Ferraz, 2022, p.1).

Assim, foram incorporadas atualizações para a plataforma com ferramentas já utilizadas durante o desenvolvimento inicial, como o *Excel Userform* para a criação do formulário de inserção de dados, a criação de rotinas de programação em *Visual Basic for Applications*, além de outras ferramentas nativas do excel como formas e gráficos para criação de botões e do layout da ferramenta.

## Resultados

Na plataforma citada anteriormente foram adicionadas algumas atualizações para incorporar novas funcionalidades e aprimorar a experiência do usuário. A primeira delas foi uma alteração no layout, adicionando uma nova página "Iniciar" que contém algumas informações úteis, como um manual de como utilizar a plataforma, um botão para acessar a plataforma como desenvolvedor e o botão iniciar que abre o formulário para inserção dos dados da estação.

O formulário também obteve atualizações, contendo agora abas para coleta de dados referentes ao biogás e ao efluente secundário, que contaram com o auxílio de rotinas de programação que habilitam a inserção de certos dados de forma condicional.

Além disso, foi desenvolvida uma aba para medir os gastos referentes ao transporte do lodo que requereu o desenvolvimento de rotinas de programação para tornar a inserção dos dados dos veículos utilizados mais intuitiva (Figura 1).

Figura 1: Formulário de inserção de dados

Na janela de apresentação dos resultados foram feitas algumas modificações; inicialmente a plataforma possuía apenas coleta de dados e apresentação dos resultados referentes ao lodo; com a adição do biogás e do efluente secundário foram desenvolvidas janelas para apresentar esses resultados também. Na sua última versão, a apresentação dos resultados possui um menu no canto superior esquerdo que permite ao usuário escolher o resíduo da estação a ser analisado. Esse botão abre a respectiva apresentação de resultados e permite que o usuário visualize as tecnologias que estão sendo analisadas utilizando um menu na lateral esquerda, conforme a Figura 2.

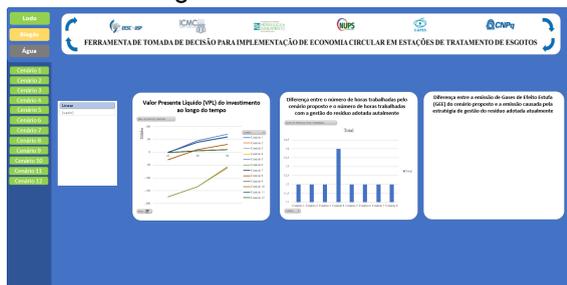


Figura 2: Janela de apresentação

Para que a mudança de ambientes entre as janelas fosse feita da forma mais intuitiva e visualmente agradável, foram desenvolvidas rotinas de programação em *Visual Basic for Applications* que permitem a mudança de ambientes através dos botões e a

captação dos dados da planilha para que o usuário possa fazer a análise que deseja.

## Conclusões

Acredita-se que a plataforma aprimorada nesse projeto de iniciação científica será de extrema importância no que tange à tomada de decisão por parte de ETEs para a aplicação de estratégias circulares em seus sistemas. De maneira a aprimorar a ferramenta, essa ainda continuará a ser modificada e testada, de maneira que possibilitará aos usuários uma análise precisa de caminhos tecnológicos possíveis para a aplicação de práticas de economia circular nas Estações de Tratamento de Esgoto, contribuindo para a difusão desse tipo de estratégia.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Universidade de São Paulo (USP), e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

ANÍCIO, Sabrina de Oliveira. **Implementação de economia circular em Estações de Tratamento de Esgoto**. 2022. Trabalho de qualificação de Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022. Defendido em 08/03/2022.

FERRAZ, João Alexandre; ANÍCIO, Sabrina de Oliveira; MALHEIROS, Tadeu Fabrício. **Desenvolvimento de rotinas de programação para plataforma digital de tomada de decisão para implementação de economia circular em estações de tratamento de esgoto**. 2022, Anais.. São Carlos, SP: EESC/USP, 2022. Disponível em: <http://soac.eesc.usp.br/index.php/siicusp/30siicusp/paper/viewFile/3552/2411>. Acesso em: 11 set. 2023.

## Efeitos ecotoxicológicos da vinhaça biodigerida em reator anaeróbio com o invertebrado *Chironomus sancticaroli*

Milena Rosa de Sousa

Dr. Mayara C. Felipe

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC / USP

milena.sousa@usp.br

### Objetivos

O objetivo principal desta pesquisa é o monitoramento de reatores anaeróbios, aplicados ao processamento da vinhaça de cana-de-açúcar, por meio de ensaios ecotoxicológicos de toxicidade aguda e crônica utilizando o invertebrado aquático nativo *Chironomus sancticaroli*.

### Métodos e Procedimentos

Foram realizados testes de ecotoxicidade aguda com a vinhaça *in natura* e vinhaça biodigerida em dois reatores anaeróbios UASB, reator acidogênico (RA) e dois reatores metanogênicos (RM1 e RM2). Para a realização dos testes foram utilizadas as diluições: 0,1; 0,4; 1,56; 6,25; 25 e 100%. Já para os testes de ecotoxicidade crônica, foram realizados testes com a vinhaça *in natura* e com a vinhaça com a qual foi obtida a menor imobilidade nos testes de toxicidade aguda. Para a realização dos testes foram utilizadas as diluições: 0,6; 0,9; 1,35; 2,0; e 3,0%.

Os testes com a espécie *C. sancticaroli* foram realizados de acordo com metodologia adaptada de Dornfeld et al. (2019). Os dois testes foram realizados em triplicata, com um volume de 250 mL de solução-teste (sendo essas as diferentes diluições das vinhaças) e 50g de sedimento. No teste de toxicidade aguda foram utilizadas 6 larvas com exposição de 96 h. Já nos testes de toxicidade crônica foram utilizadas 6 com exposição de 10 dias. Nos testes de toxicidade aguda a resposta

analisada foi a mortalidade. Para os testes de toxicidade crônica as respostas analisadas foram mortalidade, crescimento corporal.

A concentração de efeito (CE<sub>x</sub> – concentração da amostra que causa efeito a uma porcentagem  $x=10$ , 50% dos organismos-teste) foram calculadas com auxílio do software R.

### Resultados

Para a análise dos resultados do teste de ecotoxicidade aguda, foi feito um gráfico de mortalidade por concentração de vinhaça (Figura 1) utilizando o software PAST.

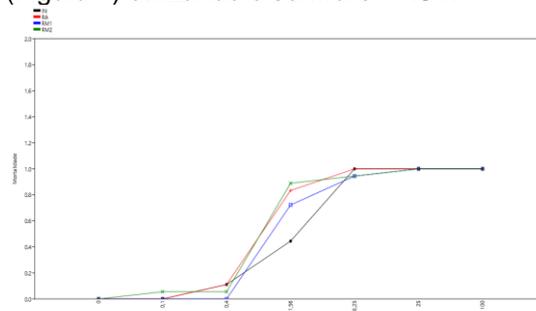


Figura 1: Gráfico de Mortalidade x Concentração para cada tipo de vinhaça utilizando o organismo *Chironomus sancticaroli*.

A partir desses resultados foi possível calcular os valores de CE<sub>50</sub> e CE<sub>10</sub> para cada tipo de vinhaça e seus respectivos erros (Tabela 1).

Tabela 1: Valores de CE50 e CE10 para *C. sancticaroli*.

Vinhaça	CE50	CE10
<i>in natura</i>	1,70 ± 0,19	0,51 ± 0,09
Reator Acidogênico	0,94 ± 0,12	0,39 ± 0,04
Reator Metanogênico I	1,22 ± 0,26	0,57 ± 0,31
Reator Metanogênico II	0,90 ± 0,07	0,46 ± 0,04

Para os testes de ecotoxicidade crônica, foi analisado o impacto da vinhaça no crescimento das larvas do organismo. Então, a Figura 2 mostra a relação entre o crescimento (em cm) do organismo em estágio larval e a concentração de vinhaça.

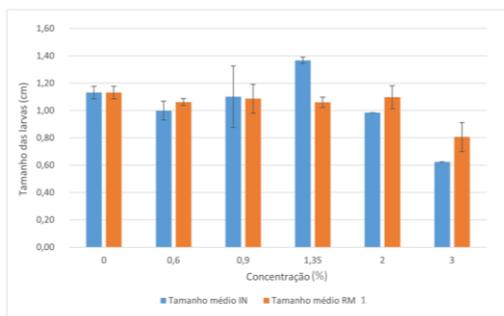


Figura 2: Relação entre crescimento larval e diluição das vinhaças.

Nesta análise, foram desconsiderados os organismos em estágio de pupa ou que haviam se tornado adultos. Encontrou-se adultos nas concentrações de 1,35, 2 e 3% da vinhaça *in natura*, e a presença de organismos no estágio larval se tornou mais escassa, sendo encontradas apenas 5 larvas no total a partir da diluição de 2%. Já para as réplicas com a vinhaça RM1 o número de adultos encontrados foi menor, entretanto, a partir da diluição de 2%, em média, metade dos organismos se encontravam em estágio de pupa. Esse fator se difere do que foi observado nas soluções controle, onde todos os organismos foram encontrados no estágio larval.

Os estágios adulto e de pupa do organismo, que foram encontrados ao final do teste, podem ser observados nas Figuras 3.a e 3.b, respectivamente.



Figura 3.a: Organismo retirado do teste no estágio adulto. Figura 3.b Organismo retirado do teste no estágio pupa.

É importante ressaltar esse fato porque é possível que a vinhaça, principalmente a *in natura*, tenha acelerado o desenvolvimento dos organismos. Isso porque, o ciclo de vida esperado é de 13 a 16 dias, sendo a fase adulta de apenas 2 dias de duração (CARRASCOSSI, 2021).

## Conclusões

Analisando os testes de efeito agudo, pode-se concluir que, para o invertebrado *C. sancticaroli*, a vinhaça mais tóxica foi a RA, já que essa teve efeito de imobilidade em 50% dos organismos a partir de 0,94% de diluição. Já as menos tóxicas foram as vinhaças IN e RM1 que apresentaram CE50 de 1,7% e 1,22% e EC10 de 0,51% e 0,57%, respectivamente.

No que diz respeito aos testes de efeito crônico, a variável analisada no teste "tamanho das larvas (cm)" não sofreu uma modificação brusca com a presença da vinhaça. Entretanto, devem ser feitos estudos posteriores a respeito da influência dos compostos presentes na vinhaça, *in natura*, principalmente, que possam alterar o ciclo de desenvolvimento desse organismo.

## Referências

- CARRASCOSSI, Maria Helena Viana. Alterações no ciclo de vida de *Chironomus sancticaroli*, expostos a sedimentos de córregos localizados em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DORNFELD, Carolina Buso et al. *Chironomus sancticaroli* (Diptera, Chironomidae) as a sensitive tropical test species in laboratory bioassays evaluating metals (copper and cadmium) and field testing. Archives of environmental contamination and toxicology, v. 76, n. 1, p. 42-50, 2019.

## MAPEAMENTO DE PRÁTICAS E INFORMAÇÕES GERAIS DE ESTRATÉGIAS DE ECONOMIA CIRCULAR APLICADAS A ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NO MUNDO

**Autora: Andrêina Custódio da Silva**

**Colaboradora: Sabrina de Oliveira Anício**

**Orientador: Tadeu Fabricio Malheiros**

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)/Universidade de São Paulo (USP)

e-mail: andreinacustodio@usp.br

### Objetivos

O objetivo do projeto a que esse resumo se refere foi realizar um mapeamento de práticas de economia circular em Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) a nível mundial, a partir da observação de estudos de caso apresentados na literatura científica, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), dispondo os resultados geoespaciais em mapa.

### Métodos e Procedimentos

A metodologia foi baseada no processo de revisão bibliográfica da RSL, tendo como base adaptada as estruturas apresentadas por Brizola e Fantin (2017) e Sampaio e Mancini (2007). Primeiramente, foi definida a pergunta de pesquisa para estimar a importância do tema tratado, sendo essa: Quais aspectos gerais estão relacionados à adoção de práticas de economia circular em ETEs? Depois, foram feitas pesquisas em 4 bases de dados como fonte para os estudos: Scielo; ScienceDirect; Scopus; e Web of Science. Nelas, palavras chaves foram empregadas para as buscas (feitas no dia 01/12/2022), em 3 idiomas (português, inglês e espanhol), com o objetivo de obter uma amostragem maior de artigos; essas, para cada um dos idiomas relacionadas aos subprodutos lodo, efluente líquido e biogás,

foram, respectivamente<sup>1</sup>: “lodo de esgoto” AND (“agricultura” OR “construção civil” OR “indústria”); “reúso de esgoto” OR “reúso de águas residuárias”; “biogás” AND (“recuperação de energia OR “recuperação energética”).

Como limitação, estabeleceu-se que os estudos participantes fossem aqueles que relatassem prática de economia circular e recuperação de recursos em ETEs, sendo as pesquisas escolhidas os estudos de caso que tivessem sido publicados nos últimos 5 anos (a partir de 2018). Tendo os artigos em mãos, foram feitas filtragens: a 1ª por meio da exclusão dos duplicados; a 2ª a partir da retirada dos documentos que, em seus títulos e resumos, não apresentavam práticas de economia circular; e, a última, pela exclusão por meio da avaliação global dos artigos remanescentes (desconsideração por falta de acesso ao artigo, de projetos de revisão, de artigos que apenas criavam cenários e projeções para as ETEs estudadas, dentre outros).

### Resultados

Conforme a Figura 1, os artigos que, inicialmente, somavam 2122, 1954 e 1302 para lodo, efluente líquido e biogás, reduziram para

<sup>1</sup> As palavras chave nas outras duas línguas são a tradução dessas.

7, 14 e 10, respectivamente. Na avaliação desses, obteve-se que a maioria das ETEs é de grande porte e apresentam como maior destino dos efluentes líquidos a irrigação. Ainda, a tecnologia de recuperação mais aderida é a desinfecção, por vezes com cloro; de acordo com Lazarova *et al.*(1999), apesar de ser um método eficiente para remoção de vírus e bactérias, a cloração é um processo menos atraente para a desinfecção, uma vez que um processo de desinfecção avançada, como a irradiação UV, é altamente eficiente e tem custo competitivo.

Para o biogás, a maioria das ETEs é de médio porte e o tipo mais utilizado de tratamento de afluente é secundário; isso se deve ao fato de que é a partir do tratamento biológico que se obtém o subproduto gasoso. 7 dos 10 artigos reportam o uso para a geração de energia elétrica; um dos artigos apresenta também a destinação do gás para a geração de calor. Com relação ao lodo, esse tem como finalidade principal a compostagem e o uso na agricultura. Apenas 1 dos artigos demonstrou um destino para o lodo diferente dos demais, sendo esse para uso como biocombustível sólido; a produção desse subproduto visa reduzir a massa de lodo e alterar suas propriedades físicas e mecânicas para utilização como componente de combustível em usinas termelétricas e de condensação ou como combustível para produção de cimento e suplementos energéticos (MAKISHA; GULSHIN, 2020).

	Biogás				Efluente líquido				Lodo			
	Science Direct	Scopus	Scielo	Web of Science	Science Direct	Scopus	Scielo	Web of Science	Science Direct	Scopus	Scielo	Web of Science
Resultado por base de dados	267	702	4	329	371	974	26	583	463	1048	33	558
Resultado total das bases de dados	1302				1954				2122			
Exclusão dos duplicados	748				1080				1312			
Exclusão a partir da leitura de títulos e resumos	33				54				25			
Exclusão após avaliação global dos artigos	10				14				7			

Figura 1: Resultado de cada etapa da RSL

Na Figura 2 pode-se perceber que, para essa RSL, os estudos de caso se concentram em regiões da Europa e Ásia. Em contrapartida,

não foram encontrados artigos referentes à África e Oceania, carecendo de pesquisas sobre o tema nessas partes do mundo nos últimos 5 anos.

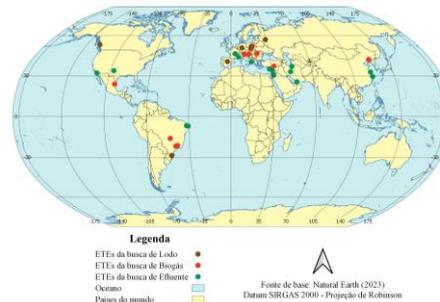


Figura 2: Distribuição geoespacial das ETEs dispostas nos artigos obtidos pela RSL

## Conclusões

Houve uma drástica redução no número de artigos a partir das etapas de exclusão. Nesses remanescentes, dentre as práticas de destinação usuais para o lodo se destacaram a compostagem e o uso na agricultura, para o biogás a geração de energia e para o efluente líquido, práticas de irrigação. Ainda, evidenciou-se a necessidade de mais artigos que relatem práticas de economia circular ao redor do mundo.

## Referências

- BRIZOLA, Jairo; FANTIN, Nádia. Revisão Da Literatura E Revisão Sistemática Da Literatura. Revista de Educação do Vale do Arinos - RELVA, [S. l.], v. 3, n. 2, 2017.
- LAZAROVA *et al.* Advanced Wastewater Disinfection Technologies: State of the Art and Perspectives, Water Sci. Technol., 1999.
- MAKISHA, Nikolay; GULSHIN, Igor. Solid bio-fuel production at Moscow wastewater treatment plant. E3S Web of Conferences, [S. l.], 2020.
- SAMPAIO, RF; MANCINI, Mc. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. Brazilian Journal of Physical Therapy, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007.

## Toxicidade da exposição combinada de tetrabromobisfenol A e microplásticos polietileno em duas espécies nativas de águas doces brasileiras

Gabriel Botelho de Souza

Aline Christine Bernegossi, Gleyson Borges Castro

Prof. Dr. Juliano J. Corbi

Escola de Engenharia de São Carlos - EESC / USP

gabriel.botelho02@usp.br

### Objetivos

O objetivo geral desse projeto foi avaliar o efeito tóxico da mistura: retardador de chama Tetrabromobisfenol A (TBBPA) e microplástico polietileno (MP de tamanho de partículas de 40 - 48  $\mu\text{m}$ ) nas espécies nativas de águas doces do Brasil, *Allonais inaequalis* e *Ceriodaphnia silvestrii*. Foram realizados testes de ecotoxicidade aguda para ambas as espécies e de ecotoxicidade crônica para a espécie *C. silvestrii*. Os objetivos específicos dos testes contidos neste resumo foram: avaliar os efeitos da mistura TBBPA+MP na mortalidade das espécies (efeito agudo) e na reprodução da espécie *C. silvestrii* (efeito crônico).

### Métodos e Procedimentos

Para garantir que os organismos estavam aptos para os experimentos, foram realizados testes de sensibilidade para a espécie *A. inaequalis*, de acordo com a metodologia de Corbi, Gorni e Correa (2015), e de acordo com a norma ABNT NBR 13373 para *C. silvestrii*. O teste de ecotoxicidade aguda da espécie *A. inaequalis* foi realizado em béqueres de 100 ml, utilizando 6 organismos por réplica, seguindo a metodologia de CORBI; GORNI; CORREA, (2015). Foram utilizadas seis concentrações de MP (0, 20, 40, 80, 160 e 320 mg/L) e seis de TBBPA (300, 450, 675, 1000 e 1500  $\mu\text{g/L}$ ), totalizando 36 combinações, conduzidas em triplicata com tempo de exposição de 96h.

O teste de ecotoxicidade aguda utilizando *C. silvestrii* foi realizado em béqueres de 50 ml, utilizando 5 organismos por béquer. Foram utilizadas as mesmas concentrações de MP, e

diferentes concentrações de TBBPA (0, 300, 600, 1200, 2400, 4800  $\mu\text{g/L}$ ). Os organismos foram expostos aos contaminantes por 48h.

O teste de ecotoxicidade crônica com *C. silvestrii* seguiu a NBR 13373 e foi realizado em tubos de ensaio de 15 ml, contendo 1 organismo por tubo. Foram utilizadas as concentrações de 0 e 20 mg/L MP e 0, 7.5, 15 e 30  $\mu\text{g/L}$  TBBPA, e cada combinação foi realizada com 10 réplicas. Os organismos foram expostos aos contaminantes por 7 dias.

### Resultados

Para os testes de ecotoxicidade aguda, por meio da contagem dos organismos vivos, observamos um efeito dependente da dose, de modo que, conforme a concentração de TBBPA aumentou, de modo independente da concentração de MP utilizada, a taxa de mortalidade dos organismos também aumentou (Figuras 1 e 2).

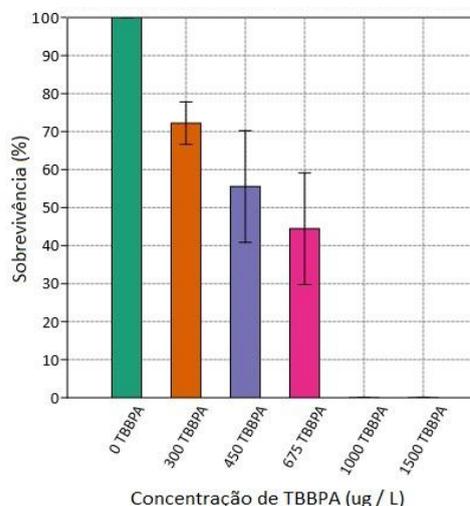


Figura 1: Sobrevivência *A. inaequalis* em relação às diferentes concentrações de TBBPA (sem a influência de Microplástico)

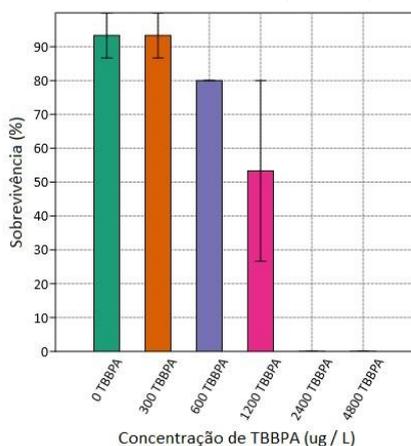


Figura 2: Sobrevivência *C. silvestrii* em relação às diferentes concentrações de TBBPA (sem a influência de Microplástico)

A aplicação do teste estatístico *Two-way ANOVA* (Análise de variância com dois fatores) nos resultados em organismos vivos do teste determinou para ambas as espécies que o TBBPA influenciou na mortalidade ( $p$ -valor < 0,05; indicando diferença estatística do controle) (tabela 1). Segundo o teste estatístico, o MP isoladamente não foi prejudicial para os organismos. A mistura TBBPA+MP, entretanto, foi prejudicial para a sobrevivência da espécie nativa *A. inaequalis*

	TBBPA	MP	INTERAÇÃO
p-valor <i>A. inaequalis</i>	$3,7 \cdot 10^{-36}$	0,09847	0,00964
p-valor <i>C. silvestrii</i>	$5,2 \cdot 10^{-40}$	0,5457	0,8975

Tabela 1: p-valores para os contaminantes e a interação entre eles. ( $p$ -valor < 0,05 indica diferença estatística do controle)

O teste de ecotoxicidade crônica com a espécie *C. silvestrii* indicou que a partir da concentração de 7,5 ug/L TBBPA, a reprodução da espécie já foi prejudicada. Isso se provou com a aplicação de um pós-teste de Dunn, após um teste de Kruskal-Wallis que indicou p-valor de 0,03. A presença ou ausência de

Microplástico não interferiu na reprodução da espécie (tabela 2).

	0 ug/L TBBPA	7,5 ug/L TBBPA	15 ug/L TBBPA	30 ug/L TBBPA
0 ug/L TBBPA		0,0394	0,0252	0,0031
7,5 ug/L TBBPA	0,0394		0,8264	0,2728
15 ug/L TBBPA	0,0252	0,8264		0,3804
30 ug/L TBBPA	0,031	0,2728	0,3804	

Tabela 2: p-valores resultantes do teste de Dunn, aplicado aos resultados de reprodução de ecotoxicidade crônica da espécie nativa *C. silvestrii* ( $p$ -valor < 0,05 indica diferença significativa)

## Conclusões

Ambas as espécies nativas foram afetadas negativamente pelo contaminante TBBPA. Os resultados dos testes de ecotoxicidade aguda indicam que a taxa de mortalidade para *A. inaequalis* foi maior a partir do tratamento de 675 ug TBBPA/L e para *C. silvestrii*, a partir de 1200 ug TBBPA/L. O MP isolado não causou mortalidade dos organismos, mas a mistura mostrou-se prejudicial para a espécie *A. inaequalis*. No teste de ecotoxicidade crônica, a reprodução da espécie *C. silvestrii* mostrou ser negativamente afetada pelo TBBPA a partir da concentração de 7,5 ug/L, sendo que o MP isolado e a mistura não se mostraram estatisticamente prejudiciais. Os resultados obtidos indicam que esses poluentes emergentes, presentes em nossos rios, podem causar impactos na biodiversidade brasileira.

## Referências Bibliográficas

- CORBI, J. J.; GORNI, G. R.; CORREA, R. C. An evaluation of *Allonais inaequalis* as a toxicity test organism. ABNT NBR 13373: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp. (Crustacea, Cladocera). FELIPE, M. C. et al. The use of an *Allonais inaequalis* reproduction test as an ecotoxicological bioassay. *Ecotoxicology*, v. 29, n. 5, p. 634–638, 2020.

## **AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DOS PROBLEMAS DE SANEAMENTO BÁSICO NO ASSENTAMENTO SANTA HELENA (SÃO CARLOS, SP) E ANÁLISE DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES**

**Mariana Saraiva Urbano**

**Prof. Dr. Marcelo Zaiat**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

marisaraivaurbano@usp.br

### **Objetivos**

O trabalho teve como objetivo avaliar os problemas de saneamento no Assentamento Santa Helena em São Carlos, focando na disponibilidade, captação, tratamento e distribuição de recursos hídricos. Com base nessa avaliação, buscou-se propor soluções para melhorar a gestão da água na região. Para isso, pretende-se elaborar uma cartilha informativa visando compartilhar os resultados e informações relevantes com os assentados.

entrevistas semiestruturadas, observação ativa e anotações em caderno de campo para a coleta de dados. Os dados coletados foram submetidos a um processo de categorização, diagnóstico e análise.

Com a identificação do cerne do problema relacionado ao saneamento básico no assentamento, foi conduzida uma pesquisa bibliográfica específica sobre os meios tecnológicos a serem adotados como solução para o problema. Como resultado, foi produzida uma cartilha ilustrada.

### **Métodos e Procedimentos**

A metodologia adotada nesta pesquisa foi estruturada em etapas que visam a abordagem integrada das questões de saneamento e segurança hídrica. Inicialmente, foi realizada uma revisão sistemática da literatura focada no Assentamento Santa Helena para que fossem verificadas as lacunas de informações e necessidade de atualizações.

Em seguida, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre os temas de saneamento e recursos hídricos. A partir dessas análises, um questionário foi elaborado para a caracterização da área de estudo, concentrando-se na identificação das tecnologias associadas à captação e uso de água. Dessa forma, durante o período de maio a fevereiro, foram realizadas três visitas domiciliares, empregando os métodos de

### **Resultados**

Primeiramente, a revisão sistemática apontou que o Assentamento Santa Helena, criado em 2005, busca ser um modelo de desenvolvimento sustentável, abrigando doze famílias em São Carlos - SP (Menezes, Andrade, & Carvalho, 2017). Universidades locais também desempenharam um papel importante tanto em pesquisas quanto em ações de extensão universitária (Vaz et al., 2019). O acesso à água é um desafio persistente, com problemas relacionados à manutenção das ferramentas de captação e bombeamento desde 2012 (Lopes et al., 2014; Khalil & Carvalho, 2018). Além disso, foram implementadas alternativas como cisternas, fossas sépticas e sistemas de tratamento de água, com destaque para a adoção de fossas sépticas biodigestoras (Arruda, 2017).

Dessa forma, nove de quatorze lotes foram investigados. Os dados coletados foram organizados em gráficos e tabelas para facilitar a compreensão. A categorização das informações permitiu uma análise mais precisa, abordando aspectos como população, criação de animais, cultivos, métodos de irrigação, origem da água para consumo e condições dos poços. A maioria dos moradores utiliza água da represa, mas alguns contam com poços artesianos. Foi constatado que muitos compram água na cidade de São Carlos, revelando dificuldades no acesso à água potável. A falta de manutenção de poços é notável, evidenciando a necessidade de orientação sobre sua preservação. Além disso, a técnica de irrigação por gotejamento é predominante, indicando a importância da informação para práticas mais eficientes. A cisterna é adotada em apenas um lote, apresentando condições precárias. Fossas sépticas também foram observadas, destacando a relevância da manutenção adequada das tecnologias existentes.

A análise dos dados revelou a necessidade de capacitar os moradores para a manutenção das tecnologias existentes e a implementação de políticas públicas e sistemas de captação de água mais eficazes.

Foi criada uma cartilha ilustrada baseada em recomendações profissionais, destacando a importância da manutenção regular de fossas sépticas, poços artesianos, bombas adutoras e cisternas para garantir o funcionamento eficaz desses sistemas (Desentupidora no bairro, 2022; Carlos, 2020; Perfugel, 2019; ALPGREM, 2022; Teodoro, 2023).

## Conclusões

O projeto de avaliação dos problemas de saneamento no Assentamento Santa Helena em São Carlos resultou em avanços significativos. A análise minuciosa da área revelou desafios na disponibilidade, captação, tratamento e distribuição de água. A pesquisa adaptou sua abordagem, centralizando-se na

criação de uma cartilha informativa para capacitar os moradores a adotarem práticas sustentáveis em relação à água. A falta de disseminação de conhecimento sobre a manutenção de tecnologias foi identificada como um desafio, assim como a necessidade de políticas públicas robustas e sistemas eficientes de água. A cartilha ilustrada surge como uma solução, capacitando os assentados para a manutenção responsável das tecnologias e contribuindo para melhorias na distribuição e tratamento de água.

## Referências

- MANUTENÇÃO Preventiva da Fossa Séptica. Desentupidora no Bairro, 2022. Disponível em: <https://encurtador.com.br/JMNRY>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- CARLOS. PERIODICIDADE: DE QUANTO EM QUANTO TEMPO PRECISO FAZER A LIMPEZA DA FOSSA SÉPTICA?. Saniville Empresas, 2020. Disponível em: <https://www.saniville.com.br/periodicidade-de-quanto-em-quant-o-tempo-preciso-fazer-a-limpeza-da-fossa-septica/>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- OS CUIDADOS PREVENTIVOS E DE MANUTENÇÃO COM POÇOS ARTESIANOS. Perfugel, 05 nov. 2019. Disponível em: <https://www.perfugel.com.br/os-cuidados-preventivos-e-de-manutencao-com-pocos-artesianos/>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- MANUTENÇÃO preventiva das Bombas Hidráulicas em condomínios. ALPGREM, 2022. Disponível em: <https://encurtador.com.br/oswKT>. Acesso em: 28 de agosto de 2023.
- TEODORO, Miguel A. Como fazer a limpeza da sua Caixa de Água? Aprenda o passo-a-passo. SAAE Guaçuí, 2021. Disponível em: <https://encurtador.com.br/jqsOW>. Acesso em: 30/08/2023.
- MENEZES, L.; ANDRADE, T. H.; CARVALHO, J. G.. Disputas entre conhecimento científico e saber local: o caso do Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) Santa Helena em São Carlos. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v. 13, n. 1, p. 128 – 151, jan.-abr. 2017.
- VAZ, Renata M. G. F. C.; Figueiredo, Rodolfo A.2; Fialho, Amanda M.3; Grilli, Víctor M.3; Morales, Lucas S. (2019). Resiliência socioecológica no Assentamento Rural Santa Helena: experiências no âmbito da extensão universitária [Social-ecological resilience in Santa Helena rural settlement: experiences in the scope of university extension].
- LOPES, P. R. et al. Problematização participativa da realidade local do assentamento agroecológico PDS SANTA HELENA – São Carlos / SP. Cadernos de Agroecologia, v. 9, n. 4. fev. 2015.
- ARRUDA, T. P. (2016). Desenvolvimento territorial e meio ambiente: um estudo sobre o papel das organizações locais na gestão ambiental em comunidades rurais. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente, Universidade de Araraquara, São Paulo, Brasil.

## **AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE LOGÍSTICA REVERSA EM SÃO CARLOS**

**Arthur Manfrin do Bem**

**Prof. Dr. Valdir Schalch**

Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo

arthurmdobem@usp.br

### **Objetivos**

Realizar um levantamento a partir de dados fornecidos pelos setores envolvidos na Logística reversa em São Carlos, escolher um material como objeto de estudo e coletar informações referentes ao seu sistema de logística reversa.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Listar as indústrias e/ou comércios de São Carlos vinculados com resíduos passíveis de Logística Reversa;
- Listar os pontos de coleta de resíduos de Logística Reversa em São Carlos;
- Verificar quais entidades gestoras estão envolvidas na logística reversa do município e avaliar a gestão e destinação final;
- Definir um material passível de logística reversa como objeto de estudo e obter dados quantitativos referentes ao seu processo
- Apontar falhas e alternativas para o material de logística reversa escolhido.

### **Métodos e Procedimentos**

#### **1. LEVANTAMENTO DOS DADOS**

O processo de levantamento de dados referente a logística reversa do município será separado em duas etapas. Primeiramente,

serão catalogadas quais indústrias e comércio de São Carlos -SP, fabricam, comercializam e geram resíduos passíveis de logística reversa. Os dados serão obtidos na Secretaria da Fazenda de São Carlos. Também será realizado um levantamento das entidades gestoras envolvidas na logística reversa e das ações realizadas pelo poder público.

Na segunda etapa, as indústrias e comércios presentes no levantamento, do material escolhido, serão contactadas para verificar a conformidade com a lei municipal nº 17.412/2015. E fornecer informações referentes a produção e comercialização dos produtos, a quantidade vendida mensalmente dos produtos passíveis de logística reversa, se possuem pontos de coleta, a quantidade coletada e a destinação dada a esses resíduos. O número de pontos de coleta presentes em São Carlos serão quantificados e por meio de visita sua adequabilidade será verificada.

#### **2. SELEÇÃO DO ESPAÇO AMOSTRAL**

A partir da seleção dos CNAE'S das empresas as quais fazem parte da logística reversa, serão catalogados todos os agentes participantes da cadeia de logística. Os dados obtidos junto a Secretaria da Fazenda, referente à localização das empresas e os resíduos gerados, auxiliará na escolha do espaço amostral do projeto. Concentrar o estudo em um único objeto suscetível à logística reversa permite um maior nível de detalhamento e possibilita a realização de pesquisas em campo.

No caso desse estudo, o material escolhido será os resíduos de embalagens de agrotóxicos. Existe uma falta de comunicação entre a Prefeitura de São Carlos e o órgão responsável pela logística reversa desse material (Inpev).

### 3. ENFOQUE DA PESQUISA - AGROTÓXICOS

Com a melhor visualização proporcionada, escolheu-se os Agrotóxicos para o enfoque do projeto. A decisão se baseia na necessidade latente da cidade em organizar e entender a cadeia reversa do produto.

A nível nacional, a coleta de embalagens de agrotóxicos costuma ter números acima da média, sendo 94% delas com destinação ambientalmente adequada. Todavia, São Carlos tem se mostrado exceção à regra. A falta de pontos de coleta na cidade pode desestimular o produtor a descartar corretamente ou reinserir à cadeia. O ponto de coleta mais próximo, segundo a entidade gestora, é em Araraquara – SP.

## Resultados

### INDÚSTRIAS E COMÉRCIOS VINCULADOS À LOGÍSTICA REVERSA

Com os CNAIS das empresas obtidos, compilou-se uma visualização interativa, via Power BI, para o tratamento dos dados. A pesquisa forneceu cerca de 799 empresas que podem fazer parte da cadeia de logística reversa em São Carlos.

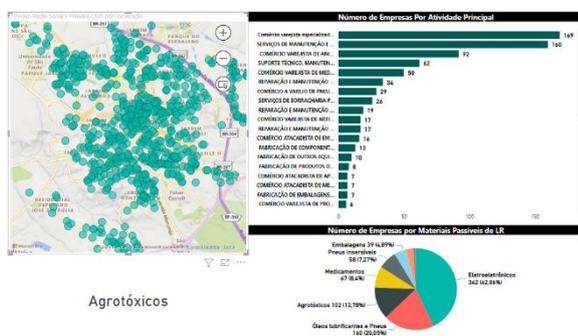


Figura 1: CNAIS utilizados para a pesquisa de empresas relacionadas a logística reversa em São Carlos

### OBJETOS PASSÍVEIS DE LOGÍSTICA REVERSA – ENTIDADES GESTORAS

Cada material passível de logística reversa é controlado por uma entidade gestora, a qual se responsabiliza integralmente por organizar e administrar a logística de seu produto. Abaixo, um quadro com as principais gestoras, separados por resíduo.

Material	Regulamentação	Entidade Gestora
Agrotóxicos, seus Resíduos e Embalagens	Resolução ANTT nº 5947/2021	Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias - <b>inpEV</b>
Pilhas e Baterias	Instrução Normativa Ibama nº 8, de 30 de setembro de 2012	Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional – <b>Green Eletron</b>
Pneus Inservíveis	Resolução Conama nº 416/2009, Instrução Normativa Ibama nº 1, de 18 de março de 2010	<b>Reciclanip</b>
Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados (OLUC)	Resolução Conama nº 362, de 23 de junho de 2005, Portaria Interministerial nº 475, de 19 de dezembro de 2019.	empresa coletora regularmente autorizada junto ao órgão regulador da indústria do petróleo (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP)
Lâmpadas Fluorescentes, de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista	Acordo Setorial para implantação do Sistema de Logística Reversa de Lâmpadas Fluorescentes, de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista.	<b>Reciclus</b>
Eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico	Acordo Setorial de Eletroeletrônicos, Decreto nº 10.240	Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos - <b>Abree</b> , Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional – <b>Green Eletron</b>
Medicamentos, seus Resíduos e Embalagens	Lei 12.305/2010 Decreto Nº 10.388, de 5 de junho de 2020	Grupo de Acompanhamento e Performance

Figura 2: Regulamentações e entidades gestoras dos resíduos passíveis de logística reversa

### AGROTÓXICOS – DETALHAMENTO DA CADEIA DE LOGÍSTICA REVERSA

Fazendo um recorte dos Cnais, indicou-se uma estimativa das empresas as quais participam da logística reversa de embalagens de agrotóxicos em São Carlos.

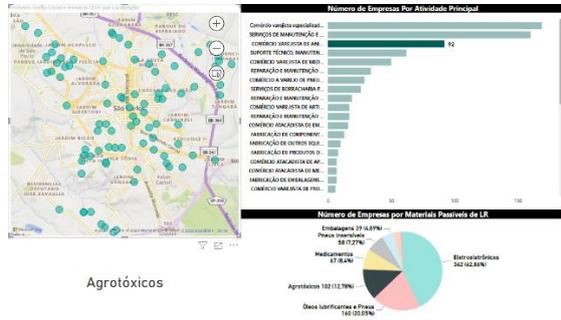


Figura 3: Visão geral das empresas participantes de logística reversa de Agrotóxicos na cidade de São Carlos

Ao consultar a empresa Inpev, responsável por essa logística, apurou-se os seguintes dados:

- Em 2018 e 2022, cerca de **22.917,24 KG** de resíduos foram coletados em São Carlos
- Apenas o comércio e representação Manelli e a Souagro agropecuária LTDA estavam cadastradas no programa da Inpev

### PROPOSTA DE MELHORIAS – EMBALAGENS DE AGROTÓXICOS

Como primeira proposta, melhor comunicação entre entidades gestoras e prefeituras. Com esse trabalho de pesquisa, averiguou-se que não existia um contato direto entre prefeitura e INPEV. A prefeitura deve conhecer o funcionamento da cadeia de logística reversa, para assim poder fiscalizar e seu funcionamento. E ser peça chave para o progresso do sistema. Ao fim deste trabalho, esse contato entre instituições demonstra-se iniciado.

Organização de recebimentos itinerantes em São Carlos. O recebimento itinerante consiste em eventos de coleta de resíduos em cidades distantes de centro de recebimento. Ele está previsto na legislação brasileira (Resolução CONAMA 465 de 2014). Os principais critérios técnicos para definir a sua realização são:

- A quantidade de embalagens vazia na região é pequena (média de 300

por propriedade, como em comunidades de pequenos agricultores ou regiões de assentamento);

- Não há unidade fixa em funcionamento nas proximidades (fonte: INPEV – recebimentos itinerantes)

Centro de recebimento de embalagens de agrotóxicos em São Carlos. Como solução permanente, será de extremo interesse a construção de um centro de recebimento de embalagens da INPEV em São Carlos. O fluxo municipal é sempre mais fácil de fiscalizar e controlar do que o intermunicipal, assim como a conscientização da população sobre a necessidade do descarte adequado do resíduo em questão. Essa decisão exigem um projeto de dimensionamento e um investimento por parte da INPEV. Apesar da maior burocracia de dificuldade da solução, esta deve ser mencionada devido a sua profunda importância.

### Conclusões

Diferentes métodos de coletas de dados foram utilizados a fim de chegar a um objetivo comum. Foram eles: pesquisa a campo, por CNAIS e por contato com entidades gestoras. Devido a defasagem de informações sobre o funcionamento da logística reversa na cidade, o melhor método comprovado foi pelo contato direto com as entidades gestoras, pela quantidade de dados e o tempo hábil de projeto.

Os resultados do trabalho cumpriram o objetivo de explicar, citar os pontos de coleta e mapear as empresas da logística reversa de cada tipo de resíduo. Além de pontuar soluções para melhorar a cadeia e detalhar a cadeia de um resíduo (agrotóxicos), com 22.917,24 Kg coletados entre 2018 e 2022 em São Carlos.

Esse projeto se propôs a ser uma ponte entre as empresas e o órgão público. Unir o fiscalizador com o responsável. Conclui-se que não apenas os resultados dessa iniciação foram satisfatórios, mas também os caminhos traçados e os métodos testados servirão de base para futuros projetos.

## Agradecimentos

Ao meus pais, pelo amor incondicional, aos meus orientadores: Prof. Dr Valdir Schalch e Doutoranda Júlia Fonseca Colombo Andrade, por todo auxílio e apoio durante essa jornada.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, 2022. 16 p.

BRASIL 2010. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, Brasil: Diário Oficial da União, de 03 ago. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA E APLICADA. A Organização Coletiva de Catadores de Material Reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária. Rio de Janeiro, 56 p. SÃO CARLOS. Lei nº 15.828, de 21 de setembro de 2011. Dispõe sobre o sistema de logística reversa no âmbito da prefeitura municipal e na câmara municipal, e dá outras providências. Prefeitura Municipal de São Carlos, 2011.

SÃO CARLOS. Lei nº 17.412, de 8 de abril de 2015. Dispõe sobre a destinação de resíduos sólidos através da logística reversa do Município, e dá outras providências. Prefeitura Municipal de São Carlos. Disponível em:

<http://www.nbsnet.com.br/pdoc/documentos/15/93/2015/04/70A3C3E25A1A2699E690F3F0EA32BD41.pdf> Acesso em: 21 de abr. 2019.

SÃO CARLOS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. São Carlos, Prefeitura Municipal de São Carlos, 484 p.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. São Paulo, 2006.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 54.645, de 05 de agosto de 2009. Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.300 de

2006, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e altera o inciso I do artigo 74 do Regulamento da Lei nº 997, de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 1976. Diário Oficial: São Paulo, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA nº 045 de 23 de junho de 2015. Define as diretrizes para implementação e operacionalização da responsabilidade pós-consumo no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Diário Oficial, 24 de junho de 2015.

caderno de educação ambiental, governo do estado de são paulo

MARQUES, Claudia Scoton Antonio; AGUIAR, Edson Martins de. A importância da logística reversa no gerenciamento de resíduos sólidos. [ICTR, 2004]

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS - SINIR. Relatórios municipais. Disponível em <https://www.sinir.gov.br/relatorios/municipal/>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS - INPEV. Relatório de Sustentabilidade 2020. Disponível em: <https://relatoriosustentabilidade2021.inpev.org.br/inpEV-RS2020.pdf>. Acesso em: 05 de julho de 2023.

FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS AMBIENTAIS - FIPAI. Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Carlos - SP. 2020.



---

## Portal de Eventos Científicos da Escola de Engenharia de São Carlos

Anais eletrônicos do 31º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP & 37º Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia  
Disponível em: <http://eventos.eesc.usp.br/siicusp2023>

 Serviço de Biblioteca  
Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes

## ESTUDO E MAPEAMENTO DE PRÁTICAS DE ECONOMIA CIRCULAR EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NAS BACIAS PCJ

**Autora: Louise da Silveira**

**Colaboradora: Sabrina de Oliveira Anicio**

**Orientador: Tadeu Fabricio Malheiros**

SHS/EESC/USP

e-mail: loh.s@usp.br

### Objetivos

- Identificar as alternativas de economia circular em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) existentes no contexto das Bacias do PCJ, ampliando assim, o banco de dados direcionado ao campo de atuação da economia circular aplicada a esse contexto.
- Mapear e analisar conjunto de variáveis que facilitam ou dificultam a implementação e dissipação das técnicas de reaproveitamento de recursos inseridas no contexto da economia circular em sistemas de saneamento.

### Métodos e Procedimentos

O primeiro passo foi realizar uma revisão bibliográfica, o que permitiu uma abordagem mais detalhada do tema do projeto e dos métodos científicos. Em seguida, partiu-se para a pesquisa proposta, realizada a partir da técnica *Survey*, um método de pesquisa baseado na indagação direta de indivíduos pertencentes à um grupo de interesse, que serve como base para a análise quantitativa do problema, permitindo a projeção de áreas que estejam em uma situação semelhante. A pesquisa é rápida e direta, sem grandes gastos econômicos, o que torna possível o agrupamento de dados e a correlação de fatores associados (GIL, 2008).

As informações requeridas foram obtidas por meio do preenchimento de um formulário no Google Forms. Esses dados incluíram informações relacionadas às atividades já estabelecidas em alguns dos municípios pertencentes às Bacias PCJ, bem como as implicações que relacionam os benefícios advindos da economia circular com os investimentos necessários em várias áreas (econômica, social, cultural) para que as práticas adotadas se mostrem eficazes.

Parte dos resultados obtidos reflete do contato estabelecido com profissionais atuantes nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), o que foi realizado em grande parte por meio do uso de seus e-mails institucionais, obtidos a partir dos sites das Companhias de Saneamento que operam nas Bacias PCJ. Além disso, para complementar os contatos fornecidos pelas Companhias, conduzimos uma pesquisa paralela para obter informações a partir do contato direto com os profissionais através da rede social profissional LinkedIn.

A partir do processo de coleta de dados, as informações obtidas foram compiladas, realizando-se, então, a categorização por resíduo e por destino adotado, obtendo-se conclusões acerca do cenário atual de práticas de economia circular inseridas nos processos de tratamento de esgoto em ETEs de municípios das Bacias do PCJ.

### Resultados

As indagações delineadas no questionário "Mapeamento de Práticas Circulares em Estações de Tratamento de Esgoto", que se divide nos formatos 1 e 2 para fornecer informações complementares, abordam aspectos abrangentes relacionados à descrição dos profissionais que participaram deste estudo. Essas questões têm como base os princípios e métodos para o tratamento de águas residuais delineados por Von Sperling. (1996). Foram recebidas 39 respostas de profissionais que estão envolvidos no campo do saneamento e desempenham funções diretamente relacionadas ao setor, sendo que a maioria das perguntas estão concentradas em aspectos técnicos e, conseqüentemente, não requerem que todos os itens sejam obrigatoriamente respondidos.

O resíduo sólido resultante do processo de tratamento biológico de esgoto, conhecido como lodo, possui uma quantidade significativa de matéria orgânica em sua composição, o que o torna adequado para ser usado como fertilizante agrícola, conforme destacado por Quintana (2006). Entre as 14 respostas obtidas para a questão sobre o destino do lodo, 12 unidades mencionam que realizam a compostagem do lodo, visando posterior utilização na agricultura (municípios de Campinas, Jaguariúna, Jundiá e Nova Odessa). As outras 6 unidades relatam que encaminham o lodo para disposição em aterros sanitários (municípios de Louveira e Vinhedo).

A prática de reúso de água (para fins não potáveis) encontra aplicação em partes das estações de tratamento, onde é usada para a higienização de pátios, em jardins e em equipamentos relacionados ao processo de tratamento de esgoto. Entre as 14 respostas recebidas acerca do destino da água de reúso, 6 unidades afirmam utilizá-la em suas instalações (municípios de Jundiá, Vinhedo e Nova Odessa), enquanto nas demais o recurso é devolvido aos corpos hídricos (municípios de Jaguariúna, Louveira e Campinas).

O biogás resultante do tratamento anaeróbio do esgoto tem sua capacidade poluidora reduzida ao ser queimado em flares (VON SPERLING, 1996) nas próprias ETEs. A pesquisa não retornou dados que se referem à utilização do biogás para a produção de energia. Conforme a Figura 1, é possível observar a distribuição de práticas de economia circular nos municípios identificados.

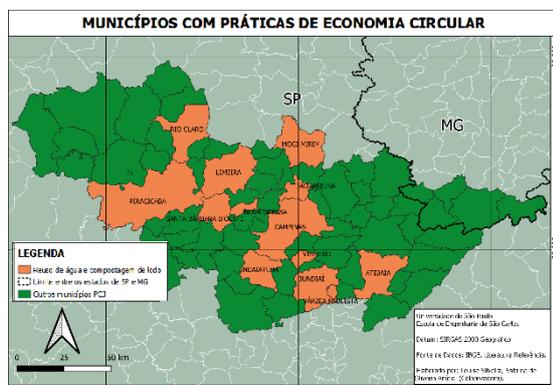


Figura 1: Municípios identificados pela pesquisa.  
Fonte: Autores (2023).

## Conclusões

A aplicabilidade da economia circular exige uma análise multiescalar, considerando o cenário atual onde os investimentos ainda são deficientes, em contraponto ao crescente desenvolvimento de pesquisas na área. As respostas obtidas por meio do formulário condizem com os dados já publicados e conhecidos de unidades como as presentes nos municípios de Campinas, Jundiá e Nova Odessa, onde os processos de compostagem do lodo e de reúso de água interno (nas próprias ETEs) já são consolidados. Os demais municípios identificados trazem cenários mais recentes e ainda pouco conhecidos, representando a crescente difusão de tecnologias de economia circular aplicadas às ETEs no contexto dos municípios pertencentes às Bacias PCJ.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Dow Química, da USP e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos também à equipe do Núcleo de Pesquisa e Extensão em Sustentabilidade e Saneamento (NUPS), da USP.

## Referências Bibliográficas

QUINTANA, N. R. G. **Análise econômica da aplicação de biossólido na agricultura**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

GIL, A. C.. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª ed.; São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008.

VON SPERLING, M.. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2ª ed., Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.

## MONITORAMENTO DE TECNOLOGIAS SOCIAIS APLICADAS PELO GEISA NO ASSENTAMENTO COMUNIDADE AGRÁRIA NOVA SÃO CARLOS, SÃO CARLOS, SP

Lima, D.C.M.; Silva, M.G.

Cardeal, M.J.A.

Ribeiro, R.P.

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)

danielacmarqueslima@usp.br; mimillenegomessilva@usp.br; majucardeal@usp.br;  
rogerioprx@sc.usp.br

### Introdução e objetivos

No âmbito da área ambiental, as práticas de monitoramento podem ser aplicadas de diversas formas. De acordo com EMBRAPA (2022), o monitoramento envolve etapas como coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais, com o objetivo de identificar e avaliar as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo. No âmbito das tecnologias sociais, medidas paliativas que contribuem com a melhora do saneamento em comunidades, o monitoramento se faz necessário. Isso porque, esse tipo de tecnologia necessita de uma análise temporal, para que sua funcionalidade seja avaliada de forma efetiva.

Sob estas perspectivas, se insere o presente trabalho onde se apresenta, de modo expedito, avaliações da viabilidade e efetividade por meio do monitoramento de tecnologias sociais (banheiro seco, fossa biodigestora, tanque de evapotranspiração, tanque séptico, filtro anaeróbico e sistema de captação de águas pluviais) implementadas no Assentamento Comunidade Agrária Nova São Carlos, São Carlos (SP) e que ficaram estagnadas pelas restrições impostas pela pandemia da COVID-19. Cabe destacar que estas ações, dentro outras tantas, constituem práticas extensionistas que vêm sendo desenvolvidas há

anos pelo Grupo de Estudos e Intervenções Socioambientais (GEISA), formado por discentes do curso de graduação em Engenharia Ambiental da EESC/USP.

### Métodos e Procedimentos

No presente resumo, dá-se ênfase à etapa metodológica “A” do projeto constante no edital PUB 2022-2023, levando-se em conta a perspectiva de continuidade destas ações extensionistas. As atividades envolveram consultas a literaturas específicas para identificar os procedimentos padrões para cada parâmetro definido segundo o contexto de cada lote, nos quais foram implantadas as tecnologias.

A primeira visita ao assentamento ocorreu dentro da etapa “A”, juntamente com o restabelecimento da comunicação entre os moradores e os discentes da USP, que foi interrompida durante os dois primeiros anos de pandemia.

A visita aos lotes teve como objetivo a identificação do terreno e breve análise do estado dos recursos hídricos e pedológicos e, também, a realização de entrevistas semiestruturadas com os moradores, com o intuito de se estabelecer um diálogo acerca do acompanhamento do momento pós-instalação das tecnologias.

## Resultados

De modo inicial, o projeto realizou alguns feitos essenciais nessa etapa de elaboração e revisão da literatura, listados de forma sucinta a seguir:

**a) Etapa A.1- Planejamento estratégico do projeto**

Nessa primeira etapa, foi realizado o planejamento estratégico do projeto como um todo, através de um plano de ação, tendo por objetivo guiar as atividades a serem realizadas temporalmente, separando as atividades por: identificação da atividade (O que fazer?), descrição (Por que fazer?), prazos (Onde/Quando fazer), responsável pela atividade (Quem vai fazer?), e observações extras sobre a parte operacional.

**b) Etapa A.2- Revisão de literatura**

Nessa etapa foram realizadas formações e fichamentos sobre as tecnologias sociais a serem estudadas, com o objetivo de entender o funcionamento das mesmas antes de poder elaborar um monitoramento. Em especial foi dada atenção às seguintes tecnologias: Tanque de evapotranspiração e Banheiro Seco.

**c) Etapa A.3- Primeira Visita aos lotes**

Nessa terceira etapa, foi elaborado um organograma e estudo sobre o Assentamento em si, e em seguida foi realizada a primeira visita ao assentamento (Figura 1), o que permitiu às bolsistas conhecer os moradores, o líder atual do local e, notadamente, a vivência, experiência, dificuldades e modo de vida das famílias.



Figura 1- Visita ao Assentamento Nova São Carlos pelo grupo de extensão GEISA

Além disso, foi possível retomar contato com a família do lote 75, que foi beneficiada com a tecnologia social denominada banheiro seco, permitindo assim que seja possível a criação de um monitoramento para essa tecnologia na continuação do projeto.

## Considerações finais

Levando em consideração o andamento do projeto no ano de 2022/2023, pode-se inferir que os principais feitos voltados para o resgate da literatura acerca das tecnologias e, principalmente, o resgate do contato entre o grupo de extensão GEISA e as famílias do Assentamento Comunidade Agrária Nova São Carlos, foram de muita importância nessa etapa inicial para que o projeto possa ter uma continuidade futura. Com um maior repertório e contato mais estável com os moradores, se faz assim possível caminhar para o produto final esperado, que é um escopo de monitoramento para as tecnologias.

Por conseguinte, fica indicada a necessidade de continuidade do projeto por parte dos alunos interessados, bolsistas e membros do GEISA, seguindo para as próximas etapas do projeto. Sendo assim, destaca-se aqui a importância do suporte a projetos de extensão por parte da universidade, já que esses demandam tempo e voluntários a colaborar com o prosseguimento do projeto.

## Agradecimentos

As autoras agradecem pelas bolsas disponibilizadas pelo edital PUB/USP, projeto nº3340, vigência 2022/2023.

## Referências

MONITORAMENTO Ambiental. EMBRAPA, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/pre-producao/meio-ambiente/monitoramento-ambienta>. Acesso em: 06 setembro, 2023.

## **Análise de desempenho de semicondutores no contexto de alta tensão em para-raios**

**Leonardo Aldana Rocha**

**Orientador**

**Rogério Andrade Flauzino**

**Escola de Engenharia de São Carlos / Universidade de São Paulo**

Leonardo.aldana.rocha@usp.br

### **Objetivos**

Este estudo tem como principal objetivo realizar uma análise abrangente do desempenho dos semicondutores em para-raios de óxido de zinco (ZnO) em condições de alta tensão e corrente, com base na revisão da literatura científica disponível. Os para-raios desempenham um papel crucial na proteção contra sobretensões em sistemas elétricos, desviando as descargas atmosféricas e impedindo danos aos equipamentos e linhas de transmissão. O foco desta pesquisa está na avaliação da capacidade dos semicondutores, como varistores de ZnO e diodos de avalanche, em lidar eficazmente com altas tensões e correntes transitórias, visando aprimorar a segurança e a confiabilidade dos sistemas elétricos. Além disso, este estudo considera a aplicação de um método eficaz de substituição de para-raios, com base nas conclusões de pesquisa recente sobre esse tema. O conhecimento adquirido por meio desta análise contribuirá para o desenvolvimento de sistemas de proteção mais eficazes contra sobretensões transitórias.

### **Métodos e Procedimentos**

A pesquisa adotou uma abordagem abrangente para investigar a eficácia dos para-raios de óxido de zinco (ZnO) e contribuir para sistemas de proteção contra descargas atmosféricas mais eficientes. Inicialmente, foi conduzido uma pesquisa bibliográfica abrangente e consultado normas técnicas para estabelecer uma base sólida. Desenvolvido um modelo computacional representativo de para-raios de ZnO e realizado simulações para avaliar o desempenho em cenários de descargas atmosféricas simuladas. Simultaneamente, a análise dos semicondutores utilizados nos para-raios, comparando o desempenho com estudos anteriores. Foi investigado o impacto do campo magnético e correntes parasitas, coletando e comparando dados de pesquisa existentes. Por fim, foi avaliado métodos de apoio à decisão relacionados à substituição de para-raios em sistemas de distribuição de energia elétrica, visando melhorar a segurança.

### **Resultados**

Resultados revelaram valiosas percepções sobre a eficácia dos para-raios de óxido de zinco (ZnO) em diversas situações, no entanto, vale ressaltar que a área de pesquisa em proteção contra descargas atmosféricas continua a carecer de dados quantitativos substanciais. Embora tenhamos obtido resultados promissores quanto ao desempenho dos semicondutores em para-raios de ZnO e tenhamos identificado algumas tendências

relacionadas à interferência do campo magnético e correntes parasitas, a ausência de um conjunto abrangente de dados numéricos ainda é evidente

## Conclusões

A pesquisa oferece uma visão abrangente e significativa da eficácia dos para-raios de óxido de zinco (ZnO) em condições diversas, destacando a necessidade contínua de dados quantitativos robustos para apoiar os avanços na proteção contra descargas atmosféricas. É evidente que essa área carece de um aprofundamento mais substancial na academia, e a futura construção de um protótipo de teste seria benéfica, uma vez que não foi possível realizar essa etapa neste trabalho devido a restrições de tempo. Nossos resultados ressaltam a importância de investir em pesquisas e desenvolvimentos adicionais para aprimorar ainda mais a segurança das instalações elétricas em face das ameaças das descargas atmosféricas, visando estabelecer métodos eficazes de substituição de para-raios que garantam a continuidade e a confiabilidade do sistema de proteção

## Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão ao meu orientador, Rogério Andrade Flauzino, juntamente ao apoio da EESC-USP, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo — Brasil. Por fim, gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — Brasil, pelo financiamento e apoio técnico fornecido durante este projeto de pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

## Referências

MENDES, L. A. S. et al. Study of the Influence of Parasitic Currents in Zinc Oxide Surge Arresters Protection Efficiency. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 4,

p. 1054-1059, Apr. 2018. doi: 10.1109/TLA.2018.8345132.

ZANETTA JR., M. M. et al. Electromagnetic interference from transmission lines on distribution lines and electric power equipment. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 19, n. 4, p. 1634-1641, Oct. 2004. doi: 10.1109/TPWRD.2004.832401.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR, C.; UMANS, S. D. Electric Machinery. McGraw-Hill, 1983.

FUCHS, E. F.; CIGRÉ BRASIL. Fundamentos de sistemas de energia elétrica. Cigré Brasil, 2014.

GLOVER, J. D.; SARMA, M. S. Power system analysis and design. Cengage Learning, 2010.

BATISTA, Gabriel Henrique de Aguiar. Modelagem de Para-Raios Baseada em Ensaios Elétricos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2019.

ARAUJO, Marcel Ayres de. Estudo de metodologia para modelagem e simulação.

## Análise da Representação de Geradores Eólicos em Ferramentas de Análise de Estabilidade de Tensão

Lucas Carnevalli de Almeida, Matheus Rosa Nascimento

Rodrigo Andrade Ramos

Universidade de São Paulo

lucas\_almeida@usp.br

### Objetivos

A inserção da geração eólica vem crescendo anualmente no Brasil e no mundo. Contudo, a representação do vento incidente nos aerogeradores é um dos desafios nas análises de estabilidade dos sistemas elétricos de potência. Em vista deste problema, este trabalho tem como o objetivo a avaliação da representação dos geradores eólicos nas ferramentas de análise de estabilidade de tensão em redes elétricas, tendo como foco principal observação da Margem de Estabilidade de Tensão (MET) do sistema.

### Métodos e Procedimentos

Para atingir a proposta apresentada, primeiramente, foi estabelecida uma representação da curva de distribuição de probabilidade do vento para a determinação da potência gerada pelos *Doubly-Fed Induction Generators* (DFIG), onde, dada a incerteza da geração e a necessidade da avaliação de cenários críticos a curto prazo, optou-se pela utilização da distribuição de probabilidade Beta como alternativa a Normal (BOUFFARD; GALIANA, 2008). Sob essas condições, foram desenvolvidos códigos em software MATLAB que possibilitassem a caracterização da potência gerada pelos DFIG, em diversos cenários de operação. Assim, subsequentemente, um processo iterativo é estabelecido (Figura 1), onde, a partir do valor de potência ativa (P) e reativa (Q) captada pelo DFIG e respeitada a sua curva de capacidade

estabelecida pela ONS, é realizado um fluxo de potência (FC) e fluxo de potência continuado (FCC), para a determinação da MET do caso gerado (CHIANG et al., 1995).

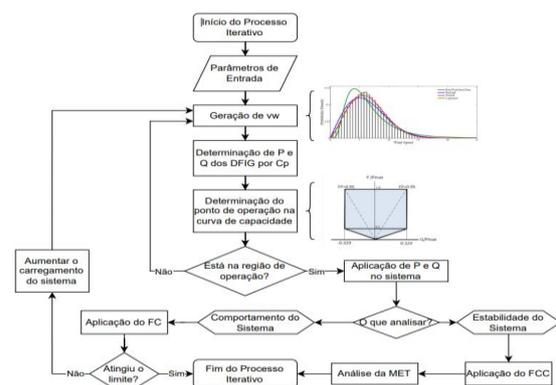


Figura 1: Representação do Processo iterativo

Por fim, para tornar o experimento mais condizente com a realidade, foi considerado um Sistema Teste Brasileiro de 107 Barras, onde 6 parques eólicos são inseridos em barramentos distintos do modelo, com o objetivo de se ter ao menos uma usina eólica em cada área e que no total eles representassem 25% da injeção de potência ativa no sistema presente nas suas 3 grandes áreas (ALBURGUETTI, 2018). Os resultados obtidos foram comparados aos do programa da ferramenta de análise de estabilidade, Anarede da CEPEL. Com isso, foi possível mensurar a influência dos DFIG sobre os barramentos mais críticos da rede, obtendo como resultado as suas respectivas curvas PV (Figuras 2 e 3) e MET do modelo.

Ademais, em virtude do tamanho do sistema analisado, foram escolhidas 4 barras de maior relevância, segundo os seguintes critérios: 1) por ser uma barra de carga no intercâmbio entre as regiões; 2) por agrupar uma carga de alta relevância; 3) por proximidade com os geradores eólicos; 4) e a barra mais crítica do sistema base, ou seja, a que sofreu a maior queda de tensão, será também avaliada.

## Resultados

Com o resultado do processo iterativo, foram gerados mais de 50 casos possíveis de geração, destacando-se três casos: o caso médio, extremos positivo e negativo.

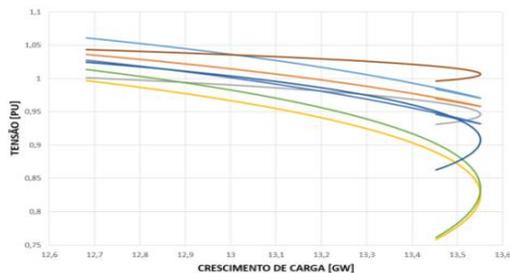


Figura 2: Curvas PV do caso extremo positivo

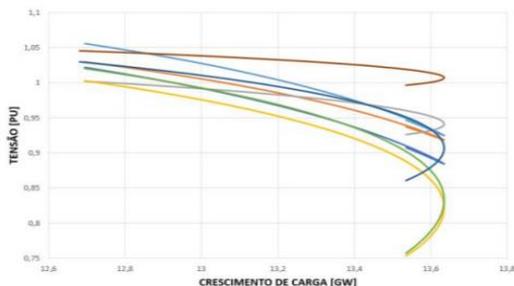


Figura 3: Curva PV do caso extremo negativo

Primeiramente, para o caso médio, verificou-se que nos barramentos de interligação a variação de tensão verificada foi superior a 15% em relação ao caso base. Em contrapartida, os barramentos próximos aos aerogeradores apresentaram um aumento inferior a 5% e, em muitos casos, tiveram um ganho de 2% na tensão sobre alto carregamento. A barra crítica, por sua vez, pouco variou no caso médio e, além disso, a MET melhorou mais de 3%.

Já para o caso extremo positivo, os barramentos de interligação sofreram um aumento na variação de tensão, cerca de 9%. Além disso, tanto a barra crítica e as próximas

aos geradores eólicos resultaram em uma elevação em sua tensão de até 18% comparado ao caso base. Neste caso, a melhor estabilização da tensão foi devido ao maior suporte reativo fornecido pelas DFIG.

Por fim, para o caso extremo negativo verificou-se que o abaixamento da tensão foi agravado em mais de 10% para todos os barramentos analisados, chegando a quase 30% na barra crítica e numa das principais cargas do sistema. Tal comportamento deve-se a diminuição da capacidade de inserção de reativo que os DFIG sofreram neste caso.

## Conclusões

Portanto, foi possível concluir que a representação adequada do vento é de extrema relevância para a avaliação da estabilidade de tensão do sistema, visto que a variação da potência ativa e reativa dos aerogeradores, de acordo com a distribuição de probabilidade do vento, influenciam significativamente na MET.

De maneira satisfatória, verificou-se que a participação dos aerogeradores, através do seu redespacho de potência, possibilitou, na maioria dos casos, a melhoria da MET. Entretanto, quanto à variação da tensão nos barramentos, percebeu-se que as eólicas são capazes de melhorar a tensão das barras próximas, com crescimento de carga, porém, podem também agravar o  $\Delta V$  de locais críticos, assim como nas áreas de interligação e em grandes consumidores da rede.

## Referências

ALBURGUETTI, L. M. **Assessment of Critical Scenarios for Voltage Stability**. [s.l: s.n.].

BOUFFARD, F.; GALIANA, F. D. Stochastic security for operations planning with significant wind power generation. **IEEE Transactions on Power Systems**, v. 23, n. 2, p. 306–316, maio 2008.

CHIANG, H.-D. et al. **CPFLOW: A Practical Tool for Tracing Power System Steady-State Stationary Behavior Due to Load and Generation Variations** **IEEE Transactions on Power Systems**. [s.l: s.n.].

## **ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE UM CICLO RANKINE ORGÂNICO SUPERCRÍTICO COM FONTE SOLAR E INTEGRAÇÃO COM UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**João Vitor S. Colnago**  
**Michel Giroto de Oliveira**  
**Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior**

EESC - USP

jvscolnago@usp.br

### **Objetivos**

Este projeto teve como objetivo principal a modelagem em regime estacionário e a análise de um sistema gerador de energia elétrica que utiliza um ciclo Rankine Orgânico supercrítico empregando energia solar como fonte quente.

O primeiro objetivo específico foi a modelagem termodinâmica no *software* EES (Engineering Equation Solver) e no Python do sistema térmico operando segundo um ciclo Rankine. O segundo objetivo foi a análise de um modelo de um sistema elétrico de baixa tensão no OpenDSS para simular a produção de energia elétrica e avaliar os impactos do gerador na rede elétrica. Finalmente, o objetivo da última parte do projeto foi o desenvolvimento de uma interface em Python para simular a interação entre o sistema térmico e a rede elétrica e a validação por meio de simulações de fluxo de carga.

### **Métodos e Procedimentos**

O projeto foi dividido em etapas. Inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica para familiarização com os tópicos a serem abordados durante o trabalho. Após isso, foi modelado um ciclo Rankine orgânico de CO<sub>2</sub> supercrítico no EES, em regime permanente para cada hora do dia, considerando um ciclo secundário de óleo térmico aquecido por coletor solar como fonte de energia. Depois, esse ciclo foi adaptado para um código em Python com o uso de pacotes e métodos que aproximam as funções específicas do EES.

Realizaram-se testes e comparações entre os dois sistemas (EES e Python), para verificar se os resultados são compatíveis, com o EES utilizado como referência. Foi então iniciada a modelagem da parte elétrica. Esse processo começou com um estudo de um sistema elétrico de baixa tensão de seis linhas, no *software* OpenDSS. Após isso foi definida uma curva de carga e, com o pacote *py-dss-interface*, foi feita a interação entre o sistema térmico em Python e o código em OpenDSS. Assim, avaliou-se a influência direta dos parâmetros térmicos sobre os resultados no sistema elétrico com um vetor de valores de potência mecânica (térmica) relacionados ao valor de irradiação em cada hora do dia em que o sistema está ativo. Esse vetor foi incorporado no sistema elétrico como a forma de injeção de potência elétrica de um gerador.

Com o código e a interface funcionando, foram analisadas as bases de dados de irradiação solar, eficiência dos componentes na turbina e outros fatores no sistema e estudados como variações nesses parâmetros afetam o sistema elétrico.

### **Resultados**

Foram gerados gráficos para cada parte do processo. Na Figura 1 estão apresentados os estados do ciclo térmico no gráfico de propriedades do fluido de trabalho, CO<sub>2</sub>. Os estados são 1) entrada do fluido na bomba; 2) saída da bomba e entrada no aquecedor intermediário; 3) saída do aquecedor intermediário e entrada no aquecedor principal; 4) entrada do fluido

aquecido na turbina para geração de energia; 5) saída do fluido despressurizado da turbina e resfriamento no trocador de calor intermediário, e 6) entrada no sistema de resfriamento, para ser condensado e então bombeado novamente.

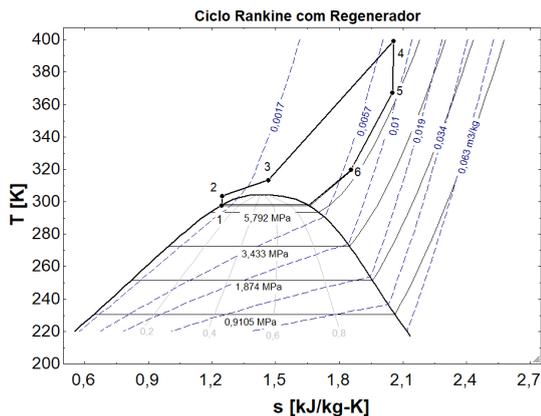


Figura 1: Estados do ciclo térmico na curva Temperatura x Entropia do CO2

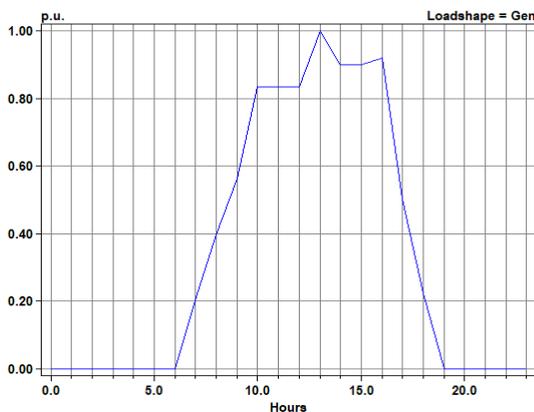


Figura 2: Potência da turbina geradora

Também foi gerado um gráfico da energia gerada pelo ciclo para cada hora do dia. Na Figura 2 é visível que a geração de energia se inicia por volta das 6h, e termina perto das 19h, com seu máximo perto das 13h, valores consistentes com a fonte de energia solar utilizada. Também é notável na Figura 3, que foi estudada uma curva de carga de uma área residencial, ou seja, os maiores picos são ao anoitecer, resultados condizentes com o esperado baseado na realidade.

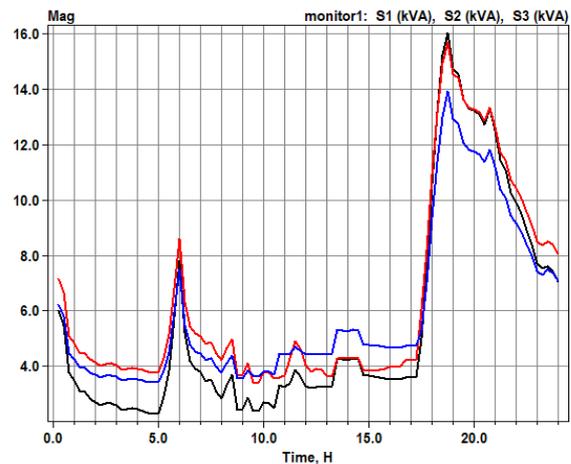


Figura 3: Curva de carga do sistema elétrico

## Conclusões

A integração do ciclo térmico com o sistema elétrico teve sucesso e, com o código desenvolvido, é possível alterar os parâmetros para obter resultados diferentes. O processo também pode ser adaptado para funcionar com outras redes elétricas, porém seria necessário um estudo mais a fundo das necessidades energéticas de outras áreas. Além disso, foi notado ao longo do processo que esta solução energética talvez não seja ótima para uma área residencial, visto que o principal horário de necessidade é ao anoitecer, quando o ciclo térmico já não produz mais. O sistema analisado seria mais adequado para uma área comercial, que opera ao longo do dia, aproveitando melhor a energia gerada.

## Referências

1. DE OLIVEIRA, M. G.; DE MELO VIEIRA, J. C. **Methodology for Impact Analysis of Electric Vehicles Charging Stations in Low Voltage Distribution Networks**. 2022 Workshop on Communication Networks and Power Systems (WCNPS). Anais...nov. 2022.
2. NELLIS, G.; KLEIN, S. **Heat Transfer**. Cambridge University Press. 2008.
3. INMET :: **Tempo**. Disponível em: <<https://tempo.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 6 set. 2023.

## Instalação de Sistemas Fotovoltaicos nos Campi da USP São Carlos

Rafael Bastos Duarte, Rafael Viana Brant, Lucca Barbosa Borges, Polick Chen Zhanpeng, Prof. Elmer Pablo Tito Cari

Escola de Engenharia de São Carlos

[rafaelb.duarte@usp.br](mailto:rafaelb.duarte@usp.br), [rvbrant@usp.br](mailto:rvbrant@usp.br), [polickzhanpeng@usp.br](mailto:polickzhanpeng@usp.br), [lucbarbosabg@usp.br](mailto:lucbarbosabg@usp.br), [elmerpab@sc.usp.br](mailto:elmerpab@sc.usp.br)

### Objetivo

A Universidade de São Paulo a fim de diminuir as emissões de carbono e minimizar os impactos nas mudanças climáticas está desenvolvendo um projeto a fim de instalar sistemas fotovoltaicos em todos os campus da USP. Para isso, determinou-se que seja gerado com sistemas fotovoltaicos 20% da energia consumida por cada campus. Para esse trabalho, o objetivo é projetar, dimensionar e executar a instalação de sistemas fotovoltaicos nos campi da USP de São Carlos, sobre coordenação do Prof. Elmer Cari.

### Métodos e Procedimentos

O projeto foi dividido em fases separadas, que consistem em: I. Determinação da Energia Fotovoltaica Necessária a fim de gerar 20% da Energia Consumida: Nesta fase é feita uma análise do consumo anual a partir das contas de energia. Foram tomadas como referência as contas de energia de 2019 antes da pandemia para evitar cálculos diferentes à realidade. II. Escolha dos prédios selecionados: Foi feita uma análise visual utilizando drones para encontrar os lugares de menor índice de sombreamento, e maior facilidade de instalação e manutenção. III. Dimensionamento preliminar: A partir dos lugares selecionados foi feito um dimensionamento preliminar para saber a potência instalada em cada lugar segundo a área disponível e material necessário (quantidade de módulos fotovoltaicos, inversores, estrutura de fixação) e ter uma estimativa da energia fotovoltaica

gerada. IV. Visita aos lugares escolhidos: os lugares definidos para as instalações foram visitados com a intenção de obter informações necessárias para o andamento do projeto. V. Análise estrutural: verificar se a estrutura dos telhados suporta o peso dos módulos fotovoltaicos. VI. Licitação dos projetos: A partir de memoriais preparados dos lugares selecionados e com os orçamentos, é feito a licitação. VII. Execução e operação: A execução é realizada a partir da licitação. Como referência foi estimado em 9 meses após a aprovação da licitação.

### Energia Fotovoltaica Necessária

Com os dados obtidos, foi determinada a energia necessária a ser gerada para o campus da USP de São Carlos Áreas I e II :

Tabela 1: Energia consumida no Campus Área I da USP São Carlos.

	Nome Alimentação	Unidade Consumidora	Energia Total (kWh/ano)	Energia Fotovoltaica	Potência Lado CC	Potência Lado CA	Potência Contratada
				E <sub>EV</sub> - 20% (kWh/ano)	P <sub>EV</sub> (kWp)	P <sub>CA</sub> (kW)	P <sub>CONT</sub> (kW)
Campus I	Área Norte	2569973	4.032.563,7	806.512,7	555,74	483,3	1150
	Área Sul	2095874	5.208.959,0	1.041.791,8	717,86	624,2	1250
	IFSC - I	2364182	2.272.959,0	454.591,8	313,24	272,4	740
	IFSC - II	30934931	612.187,2	122.437,4	84,37	73,4	220
			12.126.668,8	2.425.333,8	1671,21	1453,2	

Tabela 2: Energia consumida no Campus área II da USP São Carlos.

	Nome Alimentação	Unidade Consumidora	Energia Total (kWh/ano)	Energia Fotovoltaica	Potência Lado CC	Potência Lado CA	Potência Contratada
				E <sub>EV</sub> - 20% (kWh/ano)	P <sub>EV</sub> (kWp)	P <sub>CA</sub> (kW)	P <sub>CONT</sub> (kW)
Campus II	Campus II	38213605	2.588.343,5	517.668,7	356,71	254,8	240

## Locais Escolhidos

Preliminarmente, foram escolhidos 23 locais de instalação na Área I do Campus, principalmente nos telhados dos prédios disponíveis e apenas uma grande instalação no estacionamento da Área II, como pode ser visto nos mapas das figuras I e II, respectivamente:

Figura 1: Locais de instalação escolhidos no campus Área I da USP São Carlos.

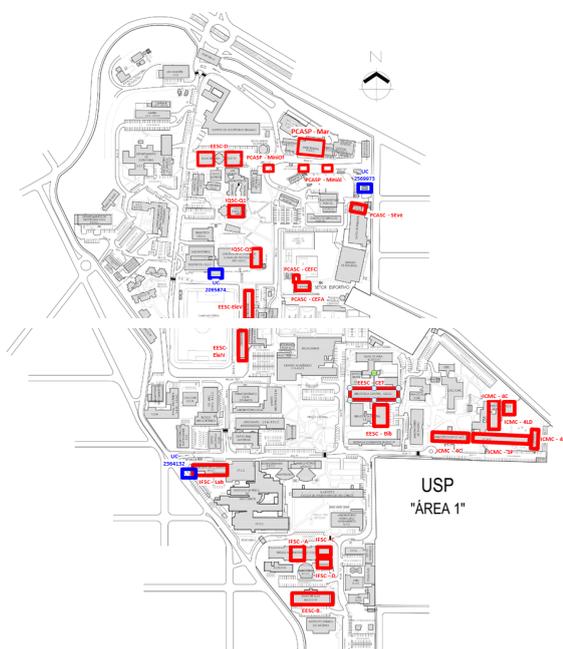


Figura 2: Local de instalação escolhido no campus Área II da USP São Carlos.



## Conclusões

Na USP-Área I: É necessária uma potência instalada no lado CC de 1671,21kWp para produzir 20% da energia consumida. Até o momento foi dimensionado 1030,71kWp que produz 12,3% da energia consumida. Portanto, numa segunda fase, serão escolhidos novos lugares na área I, a fim de atingir o objetivo definido.

Na USP-Área II: Era necessária uma potência instalada no lado CC de 356,71 kWp que produz 20% da energia consumida. Como nesse lugar já tem uma mini-usina fotovoltaica de 60kWp, ficaria necessário apenas 296,71kWp. Foi recomendado instalar apenas 264,0kWp no lado CC, com potência do lado CA em 180kW para não ultrapassar a potência contratada desse lugar que é 240kW (já existe um inversor com 60kW no lado CA).

O andamento das outras fases do projeto pode ser consultado em: <http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/>

## Referências

CARI, E. P. T. Estudo de sistemas fotovoltaicos off grid: Apostila Módulo 1 e 2 do Curso Solar Fotovoltaico da USP - São Carlos. SEL-EESC-USP, 2020. Disponível em: <http://www.sel.eesc.usp.br/cursosolar/>

## Modelagem de Relé Baseado em Tensão para a Proteção de Microrredes

Estudante: Amanda Tsutsumi

Coautora: Gabriella Pinheiro dos Santos

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Melo Vieira Júnior

EESC/USP

amandatsutsumi@usp.br

### Objetivos

Com a crescente inserção de Recursos Energéticos Distribuídos (RED) na rede elétrica, observa-se que métodos convencionais de proteção podem não mais serem adequados. Nos últimos anos, tem-se estudado as microrredes (MR), caracterizadas como a junção de cargas e RED agindo de forma unificada. Dentro destas, a proteção por sobrecorrente usual é insuficiente, visto que a MR pode operar isolada da rede maior, situação na qual as correntes de falta medidas são relativamente baixas ou podem apresentar direcionalidades distintas, dentre outros fatores complicantes. Frente a tal desafio, foi proposto como alternativa um método de proteção baseado em tensão. Neste trabalho, tal relé foi modelado para avaliação de seu desempenho, e é proposta a utilização de um algoritmo de otimização para reduzir seu tempo de atuação.

### Métodos e Procedimentos

A etapa inicial do projeto foi a realização de uma revisão bibliográfica, com estudo das estratégias de proteção de MRs comumente utilizadas e as propostas, de modo a comparar seu desempenho. Em seguida, foi montada uma MR teste no *software* Alternative Transients Program (ATP) via interface do ATPDraw, para verificação de uma estratégia baseada em tensão, de maneira a comprovar que mantém os critérios necessários de coordenação e seletividade entre os relés. A MR em média tensão modelada foi baseada no

sistema CIGRÉ de 14 barras, e contém carga total de 24,16 MW e 6,07 Mvar, além de um Gerador Síncrono (GS), um Sistema Fotovoltaico (SFV), e um Sistema de Armazenamento de Energia a Bateria (SAEB). A MR em si é a região correspondente ao Alimentador 1, que engloba os RED junto a carga total de 4,32 MW e 1,43 Mvar. A Figura 1 representa o diagrama unifilar do sistema, onde a disposição das cargas e RED pode ser vista.

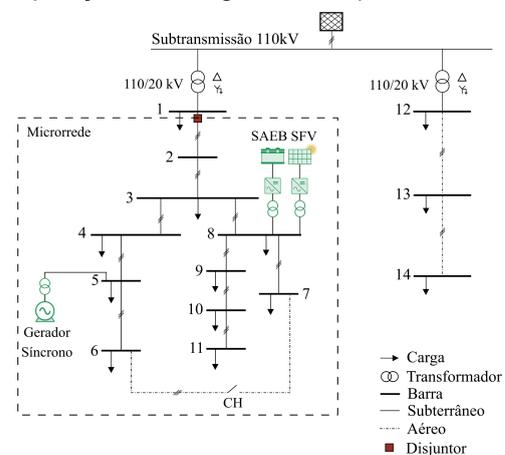


Figura 1: Diagrama unifilar da microrrede

A fim de avaliar como as tensões do sistema comportam-se frente a um curto-circuito, foi realizado um mapeamento dessas no sistema. Foram aplicadas faltas diversas, com resistências variadas, de maneira a analisar a variação em magnitude das tensões. Em seguida, o relé baseado em tensão foi modelado no MATLAB. Seu funcionamento toma por princípio a queda de tensão devido a

falta, mensurável mesmo com a variação da magnitude da corrente de curto-circuito. Sua atuação é determinada conforme a Figura 2:

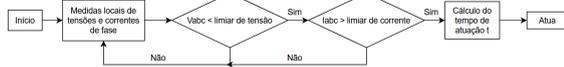


Figura 2: Fluxograma indicando atuação ou não do relé baseado em tensão

Sua característica é dada pelas seguintes relações:

$$t = TDS \left( \frac{A}{\left(\frac{1}{K}\right)^p - 1} \right) \log_2 \left( \frac{1}{K} \right) \cdot \left( \frac{1}{K} \right) + D \quad (1)$$

$$K = \left( \frac{V_{sc}}{2} \cdot \left( 1 - \frac{V_{sc}}{2} \right) \right)^m \quad (2)$$

Onde  $V_{sc}$  é a tensão de falta medida, TDS o ajuste de tempo do relé, D o tempo mínimo para atuação. A, m, p são parâmetros da curva, ajustados, a priori, manualmente. Propõe-se o uso do algoritmo microgenético para os ajustes TDS e m, mantendo A e p com os valores apresentados no estudo de Santos (2021). Assim, objetiva-se a minimização da soma dos tempos de atuação dos relés, respeitando o intervalo de coordenação entre relés de retaguarda e primários, dentro das limitações de valores conhecidas dos parâmetros, isto é:

$$\min \sum t_{rele} \quad (3)$$

$$t_{backup} - t_{primário} > 200ms \quad (4)$$

$$0 < m < 3 \quad (5)$$

$$D = 30ms \quad (6)$$

## Resultados

O resultado principal deste trabalho foi a modelagem da MR, com todos os RED necessários para sua operação, e de um relé baseado em tensão, mais adequado à proteção da MR que os usuais, de sobrecorrente.



Figura 3: Taxas de atuação correta do relé para cada cenário da MR

O desempenho do relé modelado, no tocante a taxa de atuações consideradas corretas, pode

ser visto na Figura 3. Para comparação, Santos (2021) apresenta em seu trabalho índices de erro de um relé convencional, que mostram-no pouco apropriado à utilização em uma MR.

## Conclusões Parciais

Os RED mostram-se soluções eficazes a diversas problemáticas relacionadas à rede de potência e à geração e uso responsável de energia elétrica. Contudo, sua implementação gera desafios distintos dos clássicos, para os quais soluções inovadoras devem ser propostas a fim de explorar todas suas vantagens, sem efeitos nocivos ao sistema.

A partir da microrrede modelada, é possível verificar o efeito de uma falta na tensão do sistema como um todo, que abre espaço para a utilização da estratégia de proteção aqui discutida. Além disso, apresentou-se o equacionamento para aplicação de um algoritmo de otimização, com o intuito de verificar o efeito deste na eficácia do relé.

## Referências

BARRA, P.; COURY, D.; FERNANDES, R. A survey on adaptive protection of microgrids and distribution systems with distributed generators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 118, 2020.

CIGRE. *Benchmark Systems for Network Integration of Renewable Energy Resources*. 2014.

JAMALI, S.; BORHANI-BAHABADI, H. Protection Method for Radial Distribution Systems with DG Using Local Voltage Measurements. *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 34, n. 2, p. 651–660, 2019

NASCIMENTO, J. P. Um sistema de proteção de sobrecorrente adaptativa aplicado a sistemas de distribuição de energia elétrica. *Dissertação (Doutorado)*. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2020. p. 95.

SANTOS, G. P. Análise e Desenvolvimento de uma Proteção Baseada em Tensão Contra Curtos-Circuitos em Microrredes de Corrente Alternada. *Dissertação (Mestrado)*. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2021. p. 113.

# REPRESENTAÇÃO DE INCERTEZAS DA GERAÇÃO EÓLICA NOS ESTUDOS DE PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO ELÉTRICA E ANÁLISES DE SEGURANÇA

Pedro Lucas Betarelo dos Santos <sup>(1)</sup>

Dr. Luís Fernando Costa Alberto <sup>(2)</sup>

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

pedrobetarelo@usp.br <sup>(1)</sup>; lfcalberto@usp.br <sup>(2)</sup>

## Objetivos

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo a representação de incertezas em sistemas elétricos de potência com alta penetração de geração eólica. Para isso, busca-se uma metodologia sólida para lidar com as flutuações da velocidade dos ventos, a compreensão dos parâmetros que afetam essa velocidade em regiões específicas e a criação de um modelo que facilite o planejamento da operação elétrica e a análise de segurança. Esses objetivos visam mitigar os desafios da integração de fontes de energia eólica no sistema elétrico [1], garantindo confiabilidade, qualidade do fornecimento e contribuindo para a transição energética sustentável.

## Métodos e Procedimentos

No âmbito deste projeto de pesquisa, foram estabelecidos materiais e procedimentos essenciais para a execução dos objetivos propostos, que busca avaliar as incertezas da geração eólica [2]. O primeiro passo foi a obtenção de dados meteorológicos por meio das Estações Meteorológicas Automáticas (EMA), esses dados incluem informações como umidade, temperatura, pressão e rajadas de ventos, que serão as variáveis independentes para a análise estatística. Sob essa ótica,

empregou-se a técnica de Regressão Linear Múltipla, apresentada pela equação (1), para modelar a relação entre as variáveis independentes e a velocidade dos ventos [3].

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon \quad (1)$$

Após uma cuidadosa seleção das variáveis independentes ( $X_i$ ), para a obtenção dos coeficientes ( $\beta$ ), usa-se o Método dos Mínimos Quadrados, que busca minimizar a soma dos quadrados dos resíduos e expressa, por consequência, os coeficientes em forma matricial. Por fim, contou-se com o suporte do Laboratório de Análise Computacional em Sistemas Elétricos de Potência (LACo – SEP) da Universidade de São Paulo, que disponibilizou recursos computacionais para a análise de dados e modelagem. Esses materiais e procedimentos foram determinantes para a condução eficaz deste estudo, permitindo a compreensão das influências na velocidade dos ventos e o desenvolvimento de modelos para estimar essa variável com maior precisão, contribuindo, assim, para o planejamento seguro e eficiente da operação de parques de geração eólica e aprimorando a estabilidade do sistema elétrico.

## Resultados

Após uma aprofundada análise sobre os parâmetros que influenciam na velocidade dos ventos na cidade de São Gonçalo do Amarante – RN, exploramos a interferência das variáveis independentes, umidade, temperatura, pressão e rajadas de vento, na variável dependente vento. Esta análise foi conduzida com base em dados reais obtidos da Estação Meteorológica Automática (EMA) instalada no local e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por meio de seu site oficial. Isso nos permitiu estimar de forma precisa os coeficientes das variáveis independentes da equação (1), os quais explicam as variações na velocidade do vento observadas na região. Para um conjunto de dados com 2442 amostras, os resultados desta análise são extremamente promissores, já que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) atingiu valores próximos de 1, indicando que o modelo de regressão linear múltipla se ajusta de maneira excepcional aos dados observados. Além disso, ao calcular o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado), levamos em consideração o número de variáveis independentes no modelo, o que nos forneceu uma avaliação ainda mais precisa da capacidade preditiva do modelo. Isso demonstra a forte relação entre as variáveis independentes e a velocidade do vento, contribuindo para uma compreensão mais profunda dos padrões meteorológicos locais. Os valores obtidos desses coeficientes podem ser consultados na tabela 1 que segue abaixo.

Tabela 1: Coeficientes obtidos pelo método empregado

Coeficientes	
Linear ( $\beta_0$ )	12,0878
Umidade ( $\beta_1$ )	-0,0207
Temperatura ( $\beta_2$ )	0,0174
Pressão ( $\beta_3$ )	-0,0102
Rajadas ( $\beta_4$ )	0,5184
$R^2$	0,9550
$R^2$ ajustado	0,9545

## Conclusões

Destarte, é evidente que o método utilizado demonstrou uma excelente convergência, uma vez que os coeficientes de determinação obtidos estiveram muito próximos de 1. Esses resultados destacam a eficiência do método empregado para abordar o problema proposto, que buscava uma maneira de prever a geração de fontes intermitentes de energia em um curto período de tempo, fornecendo ferramentas importantes para o planejamento de operações e a garantia da segurança do sistema energético. A excelência do ajuste do modelo às variáveis independentes indica que este método pode ser uma ferramenta valiosa para a previsão e compreensão das condições meteorológicas que impactam a geração de energia, contribuindo significativamente para tomadas de decisão informadas e estratégias de gestão mais eficazes em diferentes contextos.

## Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro disponibilizado (processos 2022/15138-7 e 2018/20104-9).

## Referências

- [1] BICALHO, F. S. Integração de Turbinas Eólicas às Redes Elétricas. Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, janeiro de 2013.
- [2] LIRA; A. G. Análise de Incertezas na Estimativa da Produção de Energia em Parques Eólicos. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, janeiro de 2012.
- [3] PEREIRA; A. S.; Regressão Linear Múltipla - Como simplificar por meio do Excel e SPSS? Apostila. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2019.

## Sistema de identificação de cartas colecionáveis com processamento de imagem

Thales Gomes Maurin

Matheus José Bernardi Costa

Maíra Martins da Silva

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

thalesmaurin@usp.br

### Objetivos

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um sistema de reconhecimento de cartões colecionáveis, com foco específico no jogo "Pokémon Trading Card Game". Mais especificamente, almeja-se criar um aplicativo com visão computacional que seja capaz de distinguir entre as milhares de cartas presentes no jogo. Além disso, o projeto incluirá a integração de um sistema de gerenciamento de estoque e a capacidade de verificar os preços desses cartões em marketplaces especializados.

### Métodos e Procedimentos

A primeira etapa do projeto baseou-se na pesquisa bibliográfica para identificar algoritmos relevantes de reconhecimento de textos e imagens, além da pesquisa da existência e uso de bancos de dados relacionados às cartas Pokémon.

A segunda etapa envolve o desenvolvimento do algoritmo principal. Isso incluiu a aquisição de imagens, detecção e isolamento das cartas, detecção das características principais e classificação das cartas com base nessas características. Para isso, foram utilizados algoritmos em Python de visão computacional clássica, como reconhecimento ótico de caracteres (OCR) e template matching, implementados nas bibliotecas Tesseract e

OpenCV, assim como a aplicação dos filtros necessários para a aplicação. Durante essa fase, foram conduzidos testes extensivos e realizados ajustes para aprimorar a precisão da detecção, uma vez que as posições das características podem variar dependendo da edição da carta. Além disso, foi implementado um banco de dados SQL para otimizar os processos de armazenamento offline e recuperação de informações.

A terceira e última etapa concentra-se no desenvolvimento do aplicativo móvel que implementa essa ferramenta. Este aplicativo também permitirá aos usuários acessar informações detalhadas sobre as cartas, além do gerenciamento do estoque de suas coleções e a capacidade de verificar os preços dos cartões em marketplaces especializados.

### Resultados

É esperado que o algoritmo possa reconhecer corretamente a maioria das milhares de cartas do jogo "Pokémon TCG", em um tempo compatível com seu uso. Também espera-se que o aplicativo construído traga outras funcionalidades, como controle de estoque, guia informativo e acesso aos sites de precificação dos cartões colecionáveis.

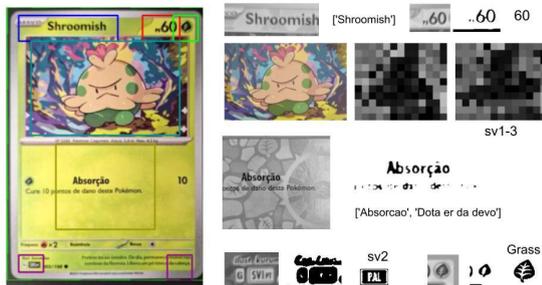


Figura 1: Características extraídas da carta  
Pokémon

4 TRADING Card Game Industry - From the T to the C to the G. SuperData Research Inc., Tech. Rep. Version 1.2, 2010. 2010.

## Conclusões

Através das técnicas de visão computacional empregadas será possível identificar cartas em uma imagem e extrair suas principais características para sua correta identificação no banco de dados. Dessa maneira, será possível construir uma ferramenta prática para a comunidade de vendedores e colecionadores de cartas colecionáveis.

## Agradecimentos

Agradeço a Andrew Backes e seus colaboradores pelo desenvolvimento da API para aquisição de dados do Pokémon TCG.

## Referências

- 1 GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. C. Processamento digital de imagens. Tradução: Cristina Yamagami; Tradução: Leonardo Piamonte. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.
- 2 Pokémon TCG API. Andrew Backes. Disponível em: <<https://pokemontcg.io>> Acesso em: 09/09/2023.
- 3 MANENTI, A. R. Magic: The Gathering, do Hobbie ao Lucro. TCC (Graduação) Centro Socioeconômico. Curso de Ciências Contábeis — Universidade Federal de Santa Catarina, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/193028>>.

## Desenvolvimento de algoritmo em Python para cálculo de forças fotoforéticas em espalhamento eletromagnético

Beatriz Helena Dias Rocha

Leonardo André Ambrosio

Universidade de São Paulo

beatrizhdr@usp.br

### Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consiste na análise do comportamento da força fotoforética, uma força ótica de origem térmica, por meio do estudo do vetor de assimetria denotado como  $\hat{I}$  conforme descrito na Eq. 1 [2, 3].

$$\hat{I} = \frac{\varepsilon_{r''}}{2} I_{\lambda} [J_x \hat{x} + J_y \hat{y} + J_z \hat{z}] \quad (1)$$

$$\widehat{F}_{ph} = -C_{Kn} \hat{I} \quad (2)$$

Sendo  $\varepsilon_{r''}$  a permissividade relativa do meio,  $I_{\lambda}$  a intensidade da onda incidente,  $C_{Kn}$  uma constante que engloba as propriedades térmicas e hidrodinâmicas do meio e da partícula, e  $J_x, J_y$  e  $J_z$  as quantidades escalares do vetor de assimetria em seus respectivos eixos. O vetor de assimetria é uma grandeza vetorial que transporta informações eletromagnéticas relacionadas à interação da partícula com a luz, descrito em Eq. 2 e surge em situações não ideais, quando a partícula está em movimento e não se encontra necessariamente no eixo óptico do feixe. Isso resulta na geração de um componente transversal ao eixo  $z$  da força fotoforética, calculada a partir da Eq. 2.

O estudo e compreensão desta grandeza tornam-se cruciais em aplicações que envolvem a manipulação de partículas, como as armadilhas fotoforéticas, uma vez que a direção da força fotoforética depende da orientação de  $\hat{I}$ .

A previsão precisa dessas forças térmicas representa um desafio significativo, uma vez que requer o uso de algoritmos capazes de calcular numericamente funções especiais de alta complexidade. Estas incluem funções de Bessel, esféricas de Bessel, funções de Riccati-Bessel, polinômios associados de Legendre e suas generalizações, bem como os *Beam Shape Coefficients* (BSC) [4], que encapsulam o perfil espacial de campo da onda incidente sobre a partícula esférica. Tais cálculos demandam recursos computacionais de alta precisão, sem margem para a propagação de erros ao longo das funções estimadas.

Neste contexto, este projeto desenvolveu um algoritmo confiável e altamente preciso numericamente para simular o comportamento do vetor de assimetria em casos de feixes de Bessel de ordem arbitrária  $\nu$  e polarização na direção  $x +$ .

### Métodos e Procedimentos

O algoritmo empregado neste estudo foi desenvolvido utilizando a linguagem *Python*, com uso de bibliotecas especializadas em cálculos de alta precisão numérica e funções especiais previamente mencionadas. Com o intuito de assegurar resultados com um elevado grau de precisão, foi adotada a biblioteca *mpmath*, configurada com uma precisão binária de 30 bits em números de ponto flutuante e 30 casas decimais significativas.

Através do algoritmo desenvolvido, procedeu-se à simulação das componentes  $x$ ,  $y$  e  $z$  do vetor de assimetria, considerando tanto o caso do feixe de Bessel alinhado ou desalinhado com o eixo óptico. No cenário em que o feixe se encontra alinhado com o eixo óptico, somente a componente  $\hat{I}_z$  apresenta valor distinto de zero. Em contrapartida, quando o feixe está fora do eixo, todas as componentes do vetor de assimetria assumem valores distintos de zero. Os parâmetros adotados nas simulações foram estabelecidos com base em estudos previamente validados por Mackowski, para o caso de incidência de ondas planas, conforme referenciado na literatura [1].

## Resultados

Para o caso em que o feixe de Bessel está alinhado com o eixo óptico, a Figura 1 apresenta o comportamento de  $\hat{I}_z$  em relação aos parâmetros de tamanho de partícula  $x = ka$ . Nota-se na Figura 1 que uma faixa mais ampla de valores positivos de  $\hat{I}_z$  é obtida quando a permissividade tem uma parte imaginária pequena, o que sugere partículas com baixa absorção. Da mesma forma, observa-se que valores negativos de  $\hat{I}_z$ , indicativos de uma força fotoforética positiva, surgem em partículas altamente absorventes, ou seja, aquelas com permissividade que possui uma parte imaginária relativamente alta em comparação com sua parte real.

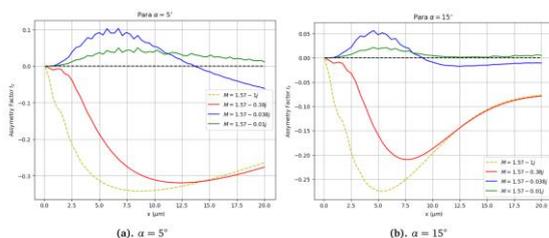


Figura 1:  $I_z$  em relação ao parâmetro de tamanho  $x$ , para diferentes índices de refração e ângulos de âxicon. Fonte: Autora.

Na situação fora do eixo, onde o vetor de assimetria possui componentes longitudinais e transversais, realizamos simulações do comportamento das componentes  $\hat{I}_z$  e  $\hat{I}_x$ . Identificamos posições ao longo do eixo  $x$  onde as partículas ficam aprisionadas. O perfil

resultante revela a existência de dois tipos de equilíbrio: estáveis e instáveis. Os pontos de **equilíbrio instável** são aqueles em que a intensidade do feixe de Bessel é máxima, indicados pelas setas verdes, como indicado na Fig. 2. Por outro lado, os pontos de **equilíbrio estável** são aqueles em que a intensidade do feixe de Bessel é mínima, indicados pelas setas azuis.

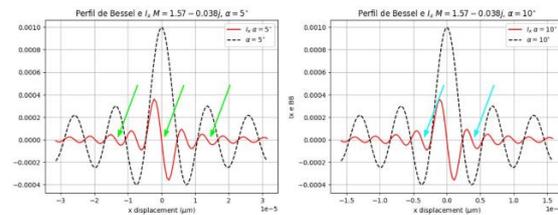


Figura 2:  $I_x$  e o perfil de Bessel para  $\alpha = 5^\circ$  e  $10^\circ$ . Fonte: Autora.

## Conclusões

Neste estudo, concentramos nossa análise exclusivamente em feixes de Bessel com polarização linear em  $+x$ . Apesar dessa restrição, emergem conclusões promissoras no que concerne à capacidade de aprisionamento de partículas. Quando exploramos cenários fora do eixo, identificamos pontos em que a componente  $\hat{I}_x$  do vetor de assimetria age como uma força restauradora. Esse comportamento cria as condições ideais para um equilíbrio estável das partículas sob sua influência, facilitando seu aprisionamento. Além disso, ao analisarmos a atuação da força fotoforética em partículas micro esféricas, é crucial considerar as propriedades térmicas e hidrodinâmicas do fluido e da própria partícula. Essas informações estão encapsuladas no coeficiente  $C_{Kn}$ , conforme detalhado na Eq. 2.

Assim, graças ao desenvolvimento do algoritmo e das técnicas computacionais desse trabalho, pudemos expandir o escopo das pesquisas conduzidas pelo grupo do orientador e realizar as primeiras previsões teóricas formais das forças fotoforéticas não limitadas a ondas planas, em configurações espaciais arbitrárias entre o feixe de luz incidente e a microesfera.

## Referências

[1] D. W. Mackowski, "Photophoresis of aerosol particles in the free molecular and slip-flow regimes", 1983.

[2] **Leonardo André Ambrosio**, Jiajie Wang, Gérard Gouesbet, Towards photophoresis with the generalized Lorenz-Mie theory, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Volume 288, 2022, 108266, ISSN 0022-4073,

<https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2022.108266>.

[3] Sun Y, Wang J, Yu Q, Wang H, Briard P, **Ambrosio LA**, Gouesbet G. Longitudinal and transverse photophoretic force on a homogeneous sphere exerted by a Bessel beam with selective polarizations. Appl Opt. 2022 Sep 10;61(26):7632-7643. doi: 10.1364/AO.463914. PMID: 36256363.

[4] Gouesbet, Gerard \& Gréhan, G.. (2011). Generalized Lorenz-Mie Theories. 10.1007/978-3-642-17194-9.

# Implementação de algoritmo em Julia para simulação de ondas acústicas não difrativas a partir de expansão em ondas parciais e fatores de forma

**Autor: Felipe de Alcântara Tomé**

**Orientador: Leonardo André Ambrosio**

Universidade de São Paulo - USP

E-mail: felipe0@mit.edu

## Objetivos

No estudo de espalhamento de ondas acústicas é possível, através de considerações termodinâmicas como a equação de Euler para fluxo não viscoso, a equação de continuidade e a equação de estado [1], utilizar o teorema da superposição para compor as soluções lineares da equação de ondas acústicas nas coordenadas esféricas  $(r, \theta, \phi)$  para os potenciais de velocidade acústica de acordo com a série [1-4]:

$$\psi(r, \theta, \phi) = \psi_0 \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n g_n^m P_n^m(\cos \theta) j_n(kr) e^{im\phi} \quad (1)$$

Dentre os componentes da Eq. 1  $g_n^m$  são chamados Beam Shape Coefficients (BSCs), seguindo o padrão estabelecido pela teoria generalizada de Lorenz-Mie [5],  $P_n^m$  são polinômios associados de Legendre segundo a convenção de Robin [2,5-7] e  $j_n$  são funções esféricas de Bessel [2].

É plausível inferir que os BSCs carregam informações sobre o perfil espacial de fase e amplitude do potencial de velocidade e, consequentemente, do campo de pressões acústicas.

Destarte, a determinação destes coeficientes é de grande utilidade para a reconstrução de

potenciais de velocidade de feixes acústicos de Bessel e seus respectivos campos de pressão. As simulações realizadas, na linguagem de programação Julia, atendem às necessidades do grupo de pesquisa e servirão de base teórico-computacional para construção de feixes mais complexos, podendo ser estendidas a fim de formar as chamadas Frozen Waves acústicas [8], as quais possuem aplicações na manipulação de partículas e na construção de displays volumétricos [9].

## Métodos e Procedimentos

Como a construção de FWs se faz através da composição de feixes de Bessel de ordem nula, dados em sua forma ideal pela equação nas coordenadas cilíndricas  $(\rho, \phi, z)$ :

$$\psi_{\text{Bessel}}(\rho, \phi, z) = \psi_0 J_\nu(k_\rho \rho) e^{i\nu\phi} e^{ik_z z} \quad (2),$$

buscou-se a descrição deste feixe de acordo com as Eqs. (1) e (2). A Eq. (2) possui convenção temporal da forma  $e^{-i\omega t}$  e apresenta a função de Bessel cilíndrica  $J_\nu$  de ordem  $\nu$  e o módulo das projeções do vetor de propagação do feixe  $k_z$  e  $k_\rho$ . Inicialmente, foi utilizado o método da quadratura, explorando as relações de ortonormalidade dos polinômios de Legendre e das funções exponenciais [2], com o objetivo de determinar os BSCs para os feixes de Bessel centralizados

na posição  $(x_0, y_0, z_0)$ , espalhados por uma partícula esférica localizada na origem de um sistema cartesiano de coordenadas  $(x, y, z)$ , resultando em:

$$g_n^m = i^{n-m} (2n+1) \frac{(n-m)!}{(n+m)!} J_{m-v}(k_\rho \rho_0) P_n^m(\cos \alpha_q) e^{-i(m-v)\phi_0} e^{-ik_z z_0}, \quad (3)$$

onde  $\phi_0$  e  $\rho_0$  são as transformações em coordenadas cilíndricas da posição cartesiana do feixe de Bessel e  $\alpha_q$  é o ângulo de axicon do feixe espalhado.

Como é perceptível, todas as equações utilizadas tem consigo funções especiais e fatoriais, as quais apresentam um custo computacional elevado durante simulações. Sendo assim, foi utilizada não somente uma linguagem de programação pioneira e de alto desempenho, Julia [10,11], mas também foi explorado o algoritmo de Miller para aproximação das funções de Bessel [12-14], o qual se baseia nas relações de recorrência inerente das funções especiais expostas [2], assim como conceitos em programação dinâmica no cálculo dos fatoriais [15] e o deslocamento referencial das coordenadas associado ao truncamento em  $n$  da série exposta para redução do tempo de simulação, como estabelecido por Wiscombe [16].

## Resultados

Uma das inúmeras simulações realizadas está exposta na Fig. 1, que contém padrões de intensidade transversais a propagação do feixe de Bessel espalhado por uma partícula esférica deslocada da origem, calculado através das Eqs. (1) e (2), e o erro percentual associado, principalmente, ao truncamento em  $n$  da série utilizada em escala logarítmica.

Identicamente, foram realizadas simulações de padrões de intensidade paralelos a propagação e com espalhadores não deslocados da origem. As demais simulações estão disponíveis [neste link](#). Vale ressaltar que o erro

máximo relativo quando comparadas as simulações foi de aproximadamente  $10^{-9}$  %.

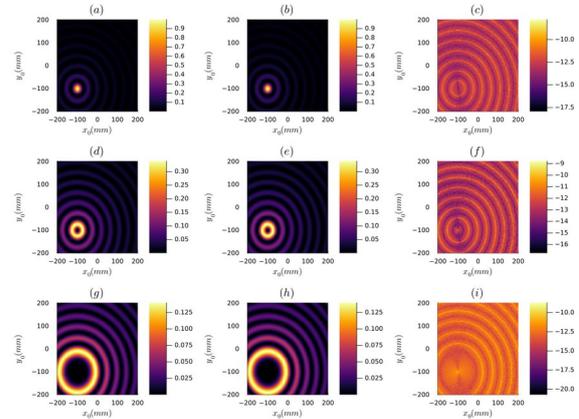


Figura 1: Padrões transversais de intensidade de feixes de Bessel simulados pelo algoritmo estabelecido [(a), (d) e (g)], através do método direto [(b), (e) e (h)] e o erro percentual relativo em escala logarítmica associado a cada um deles [(c), (f) e (i)], para feixes de Bessel de diferentes ordens e ângulos de axicon. Fonte: Autor.

## Conclusões

Tendo em vista as simulações realizadas, o método algorítmico demonstra sucesso em suas aplicações, assim como as técnicas aproximadas utilizadas, como o truncamento da expansão em ondas parciais e o algoritmo de Miller para aproximação de funções especiais. Estes códigos podem ser estendidos para tornar possível o estudo de Frozen Waves acústicas a partir dos feixes estudados, servindo como etapa inicial a fim de construir um display volumétrico acústico. Ademais, foi atestada a facilidade de uso e velocidade de execução de cálculos da linguagem de programação Julia.

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos pesquisadores do grupo de pesquisa JuliaLab (responsáveis pela criação da linguagem utilizada) do Massachusetts Institute of Technology (MIT), em especial a Julian Samarro e Evelyne Ringoot, os quais ampliaram meus conhecimentos da linguagem durante a pesquisa e me auxiliaram constantemente.

## Referências

- [1] Kinsler, L. E. (2000). *Fundamentals of Acoustics*. Wiley.
- [2] Arfken, G. B., & Weber, H. J. (2001). *Mathematical Methods for Physicists*. Burlington, MA, USA: Harcourt/Academic Press.
- [3] Baresch, D., Thomas, J., & Marchiano, R. (2013). Three-dimensional acoustic radiation force on an arbitrarily located elastic sphere. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(1), 25–36. doi:10.1121/1.477025.
- [4] Silva, G. T. (2011). An expression for the radiation force exerted by an acoustic beam with arbitrary wavefront (L). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(6), 3541–3544. doi:10.1121/1.3652894.
- [5] Gouesbet, G., & Gréhan, G. (2017). *Generalized Lorenz-Mie Theories* (2nd ed.). Springer International Publishing.
- [6] Abramowitz, M., & Stegun, I. A. (2013). *Handbook of Mathematical Functions with formulas, graphs, and mathematical tables*. Dover Publ.
- [7] Robin, L. (09 1959). Fonctions Sphériques de Legendre et Fonctions Sphéroidales Louis Robin (Tome I 1957, 201 pp. + xxxv 4,000 FF. Tome II 1958, 384 pp. + viii 5,000 FF. Gauthier-Villars, Paris). *Geophysical Journal International*, 2(3), 259–260. doi:10.1093/gji/2.3.259.
- [8] L. A. Ambrosio. (2022). Exact partial wave expansion and beam shape coefficients of acoustic (ultrasonic) frozen waves. *To Be Published (Ultrasonics, Elsevier)*.
- [9] Hirayama, R., M. Plasencia, D., & Masuda et al., N. (2019). A volumetric display for visual, tactile and audio presentation using acoustic trapping. *Nature*, 575, 320–323.
- [10] Bezanson, J., Edelman, A., Karpinski, S., & Shah, V. B. (2017). Julia: A fresh approach to numerical computing. *SIAM Review*, 59(1), 65–98. doi:10.1137/141000671.
- [11] Song, R., Song, X., Zhang, Y., & Ma, Y. (2020). Experiment in parallel computing for the julia programming language. *2020 3rd International Conference on Algorithms, Computing and Artificial Intelligence*. Doi:10.1145/3446132.3446166.
- [12] Olver, F. W. (1964). Error analysis of Miller's recurrence algorithm. *Mathematics of Computation*, 18(85), 65. doi:10.2307/2003406
- [13] Scraton, R. E. (1972). A modification of Miller's recurrence algorithm. *BIT*, 12(2), 242–251. doi:10.1007/bf01932818.
- [14] AI, W. G. B. et. (1953). Mathematical tables, vol. X. Bessel functions, part II. functions of positive integer order. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 116(2), 207. doi:10.2307/2981069.
- [15] Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009). *Introduction to algorithms*. Mit Press.
- [16] Wiscombe, W. J. (1980). Improved Mie scattering algorithms. *Appl. Opt.*, 19(9), 1505–1509. doi:10.1364/AO.19.001505.

## EDUCAÇÃO AMBIENTAL PARA O ENSINO FUNDAMENTAL NA ESCOLA ESTADUAL BENTO DA SILVA CÉSAR, SÃO CARLOS-SP

Alves, S.; Salazar, B.F.C.

Cardeal, M.J.A.

Ribeiro, R.P.

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)

saraalves@usp.br; brenda.condor.salazar@usp.br; majucardeal@usp.br; rogerioprx@sc.usp.br

### Introdução e objetivos

O projeto de educação ambiental na região do bairro Santa Felícia se iniciou em 2010, com atividades de extensão desenvolvidas por discentes do curso de graduação em Engenharia Ambiental da EESC/USP, vinculados ao Grupo de Estudos e Intervenções Socioambientais (GEISA). Desenvolveu-se ações mais pontuais, destacando a limpeza das margens dos cursos d'água da região juntamente com a comunidade, como o córrego do Mineirinho; a realização de palestras na escola e, em especial, a atuação através dos editais dos programas de Cultura e Extensão da USP. No período de restrição de atividades presenciais imposta pela pandemia (2020-2021), desenvolveu-se a Cartilha de Práticas Pedagógicas em Educação Ambiental: Diálogos entre ciência, política e sustentabilidade do Projeto Escola. O documento contém uma série de atividades pedagógicas com temáticas voltadas às questões socioambientais para auxílio dos educadores no ensino de estudantes do 6º ao 9º ano escolar, sendo que exemplares físicos da referida cartilha foram entregues aos gestores da Escola Estadual Bento da Silva César (EEBSC) e também a bibliotecas (EESC, IAU, UFSCAR e Biblioteca Municipal) ONGs (Veracidade e Formiga Verde) e, também, à Escola Estadual Doutor Álvaro Guião, visto a

importância social destes setores para o município de São Carlos.

Considerando a retomada das atividades presenciais no pós-pandemia, destacam-se alguns dos principais objetivos deste projeto de extensão: 1) Promover diálogos efetivos com os alunos da Escola Estadual Bento da Silva César, a respeito de sustentabilidade, importância e disponibilidade de recursos naturais, saúde pública e bem estar atrelados a preservação ambiental e 2) Conscientizar os estudantes a respeito do conceito de pertencimento ao local e à comunidade onde vivem e de seu vínculo com a natureza.

### Métodos e Procedimentos

As principais etapas de trabalho consistiram de: 1) Alinhamentos administrativos entre bolsistas PUB, representantes do GEISA e Diretoria e Coordenação EEBSC; 2) Familiarização do conteúdo programático da Cartilha de Práticas Pedagógicas em Educação ambiental e 3) Planejamento e ministração de aulas para 6º e 9º anos (2022/2) e 3º anos (2023/1).

### Resultados

As atividades presenciais mantidas com as turmas dos 6º e 9º anos totalizaram 6 salas em responsabilidade das duas bolsistas, com frequência de atividades quinzenal, previamente planejada, mas que não foi possível cumprir a rigor, devido a alta demanda

de tarefas exigidas e o baixo número de bolsistas. Nos 6<sup>os</sup> anos foram trabalhadas a percepção dos estudantes em relação ao conceito de meio ambiente e o reconhecimento de biomas previamente discutidos em aula, como exemplificado na Figura 1A. Nos 9<sup>os</sup> anos as temáticas abordadas foram as consequências de ações transformadoras do ser humano no meio ambiente, usando músicas que tratam de problemáticas ambientais. Também foram realizadas rodas de conversa com a temática de sociedade, atividades econômicas, economia circular e desenvolvimento sustentável. Já no acolhimento dos 3<sup>os</sup> anos (Figura 1B), os temas trabalhados foram bacias hidrográficas, quais elementos as compõem, como funcionam; recursos hídricos, seus usos, ciclo e importância e, ainda, as relações entre ações antrópicas e problemas de abastecimento e contaminação das águas.



Figura 1: Aulas e atividades didáticas desenvolvidas nos 6<sup>o</sup> anos (A) 3<sup>o</sup> anos (B) da Escola Estadual Bento da Silva César, Santa Felícia, São Carlos/SP.

## Considerações finais

As atividades desenvolvidas exigiram muitas horas de estudo e preparação, acreditando-se que teriam sido melhor distribuídas com um grupo maior de bolsistas, devido ao fato de por vezes não ter sido possível cumprir prazos estipulados, pois a carga horária requerida excedia a capacidade e disponibilidade das bolsistas do projeto, não havendo o auxílio de voluntários.

Levando-se em conta as vivências obtidas dentro e fora das salas de aula, o projeto mostrou-se de grande valor e retorno inestimável à comunidade e às bolsistas participantes do projeto. Ao provocar o pensamento crítico, surge naturalmente a conscientização e a sensibilização dos indivíduos que, inseridos em um contexto urbano vulnerável, retomam o poder de mudar sua realidade, exercendo a sua cidadania. Além de evitar o distanciamento e desconexão com a natureza, cada vez mais comum nas novas gerações, abrem-se perspectivas de se restaurar laços primordiais com o meio ambiente, em sinergia com a valorização dos recursos naturais e respeito às outras espécies.

## Agradecimentos

As autoras agradecem pela bolsas disponibilizadas pelo edital PUB/USP, projeto nº3290, vigência 2022/2023.

## Referências

FANTIN, M.; DE SOUZA, E. R.; DA FROTA, N. V. "Projeto Escola: Cartilha de práticas pedagógicas em Educação Ambiental". Diálogos entre ciência, política e sustentabilidade. Universidade de São Paulo, 2021.

Importância da educação ambiental. Disponível em: [www.unicef.org/brazil/blog/importancia-da-educacao-ambiental](http://www.unicef.org/brazil/blog/importancia-da-educacao-ambiental).

UNESCO. "Em preparação para o clima: um guia para escolas em ação climática". 2017. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260418>.

## Avaliação da codigestão de resíduos da indústria cafeeira e cervejeira em reator EGSB visando a produção de biogás

Leonardo Matias de Oliveira Filho

Dra. Caroline Varella Rodrigues

Profa. Dra. Maria Bernadete Amâncio Varesche

Universidade do Estado de São Paulo – USP

4822898@usp.br

### Objetivos

Avaliar a codigestão dos resíduos cafeeiros (polpa, casca e água residuária) e cervejeiros (água residuária) na presença de consórcio microbiano misto formado por dejetos bovinos e lodo granular em reator EGSB, objetivando a produção de biogás utilizando diferentes TDHs.

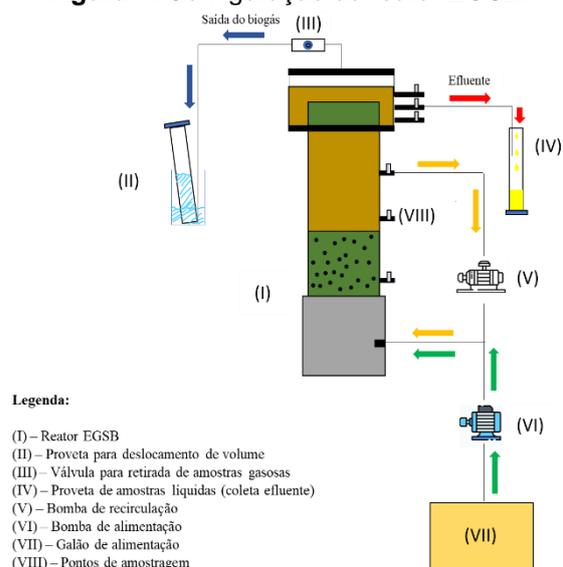
### Métodos e Procedimentos

Os substratos utilizados foram os resíduos de cafeicultura (polpa, casca e água residuária), coletados da fazenda “Da lagoa” (Pedregulho – SP/Brasil) e da cervejaria (água residuária coletada em Araraquara-SP/Brasil). Os inóculos utilizados foram o dejetos bovino (DB), coletado de uma fazenda local da cidade de Araraquara – SP/Brasil e o lodo granular (LG) mesofílico, obtido na cidade de Tietê-SP/Brasil.

10% (v/v) (relativo ao leito do reator – 1.14L) da mistura de inóculos (40% LG e 60% DB) foram adicionados ao reator EGSB com 1 g L<sup>-1</sup> da polpa e casca do café (Figura 1). 5 g DQO L<sup>-1</sup> de água residuária de café e 0,5 g DQO L<sup>-1</sup> de água residuária de cervejaria foram misturadas para compor a alimentação do reator, operado em 3 diferentes TDHs: 72 (1<sup>a</sup> fase), 48 (2<sup>a</sup> fase) e 24 (3<sup>a</sup> fase) horas. A adição de alcalinizante (NaHCO<sub>3</sub>) foi utilizada na fase de adaptação e nas 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> fases.

Análises de DQO e pH foram realizadas de acordo com APHA, 2017, fenóis totais foram mensurados de acordo com Michel Buchanan and Nicell (1996), alcalinidade foi determinada segundo Ripley et al. (1986), a quantificação de ácidos graxos voláteis e álcoois segundo Adorno et al. (2014), a composição de biogás foi determinada de acordo com Penteado et al. (2013) e a análise da comunidade microbiana foi feita por meio da biologia molecular.

Figura 1: Configuração do reator EGSB.



## Resultados

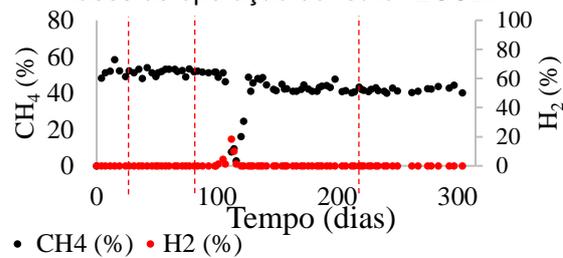
Na 1ª fase de operação do reator foram verificadas remoções de matéria orgânica e fenóis totais em 97,41% e 75%, respectivamente. Ainda nesta fase foi verificado pH médio de 8,11 e 0,3 de razão Al/AP (alcalinidade intermediária/parcial). A composição do biogás foi de 52% de metano, tendo um valor máximo de 201,00 mL CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> DQO<sub>removida</sub>. Os ácidos, valérico (43,52%), butírico (41,09%), isovalérico (9,35%) e acético (8,99%) compuseram a maior parte do efluente. As bactérias *Paludibacter* (33,15%) e *Dysgonomonadaceae* (10,39%), e as archaeas *Methanoregula* (37,59%), *Methanosaeta* (29,86%) e *Methanomassiliicoccus* (10,67%) apresentaram as maiores abundâncias relativas ao longo da 1ª fase do reator.

Para a 2ª fase do reator, a remoção de matéria orgânica foi de 96,04% e de fenóis totais foi de 50%. O pH foi estabilizado em 8,0 após 13 dias da reinserção de agente tamponante, apresentando um valor médio de 0,6 da relação Al/AP após a estabilização da geração de biogás (Figura 2). Durante esta fase foi detectada uma variação na composição do biogás de 1,1% de H<sub>2</sub> 39,7% de CH<sub>4</sub>, apresentando um valor máximo de geração de CH<sub>4</sub> de 157,00 mL g<sup>-1</sup> DQO<sub>removida</sub>. Os ácidos, acético (49,65%) e propiônico (31,52%) foram quantificados em maiores concentrações. Em relação ao domínio Bacteria foram verificadas as maiores abundâncias relativas de *AUTHM29* (27,58%) e *Spirochaetaceae* (12,49%), já para o domínio Archaea, *Methanobacterium* (42,17%), *Methanomassiliicoccus* (28,61%) e *Methanospirillum* (11,97%).

Na 3ª fase foram verificadas remoções de matéria orgânica média de 95,63% e de fenóis totais de 45,6%. O pH e a relação Al/AP apresentaram valores médios de 7,86 e 0,66, respectivamente. A composição do biogás foi de 41,7% de CH<sub>4</sub>, verificando um valor máximo de 132,00 mL CH<sub>4</sub> g<sup>-1</sup> DQO<sub>removida</sub>. Os ácidos em maiores concentrações foram acético (74,43%) e propiônico (16,30%). Os indivíduos do domínio Bacteria com maior abundância relativa foram *AUTHM297* (14,32%) e *Spirochaetaceae* (12,04%), já para o domínio Archaea foram

*Methanomassiliicoccus* (28,51%), *Methanospirillum* (21,34%) e *Methanobacterium* (18,88%).

**Figura 2:** Composição do biogás para as 3 fases de operação do reator EGSB.



## Conclusões

O TDH em 72 horas (1ª fase) apresentou melhores rendimentos de CH<sub>4</sub>, contribuindo para as elevadas remoções de matéria orgânica, compostos fenólicos advindos dos materiais sólidos, além de apresentar um bom equilíbrio hidrodinâmico. A elevada geração de CH<sub>4</sub> pode estar atrelada a maior presença de archaeas acetoclásticas (*Methanosaeta*) quando comparada as outras fases de operação.

## Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa concedida, à CAPES (Finance Code 001), à Fapesp (2020/15988-5) e ao LPB (Laboratório de Processos Biológicos).

## Referências

- APHA, A. and W., 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater., 20th editi. ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Buchanan, I.D., Nicell, J.A., 1996. Model Development for Horseradish Peroxidase Catalyzed Removal of Aqueous Phenol.
- Penteado, E.D., Lazaro, C.Z., Sakamoto, I.K., Zaiat, M., 2013. Influence of seed sludge and pretreatment method on hydrogen production in packed-bed anaerobic reactors. *Int. J. Hydrogen Energy* 38, 6137–6145. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.067>
- Ripley, L.E., Boyle, W.C., Converse, J.C., 1986. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion wastes of high-strength wastes. *Water Environ. Fed.* 58, 406–411.

## **CRIAÇÃO DE BANCO DE DADOS DE IMAGENS DE CAMINHÕES PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA**

**Autor: Miguel José Sertori**

**Orientador: Prof. Dr. André Luiz Cunha**

**Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo**

miguelsertori@usp.br

### **Objetivos**

A pesquisa tem como objetivo principal analisar a viabilidade da aplicação de inteligência artificial (IA) no reconhecimento dos eixos de caminhões. Esta etapa é essencial para o desenvolvimento posterior de algoritmos que permitam a classificação automática das categorias desses veículos, que é baseada na configuração de seus eixos. Foram comparados o desempenho de diferentes redes neurais, o número de imagens utilizadas para treiná-las e a interferência do posicionamento da câmera que captura as imagens.

### **Métodos e Procedimentos**

O método proposto é composto de oito etapas: 1) Revisão bibliográfica; 2) Coleta de dados em campo; 3) Rotulação dos eixos dos caminhões nas imagens coletadas; 4) Atualização dos algoritmos de detecção de eixos; 5) Treinamento dos algoritmos; 6) Avaliação do impacto da amostra no desempenho das redes neurais; 7) Disponibilização do banco de imagens e; 8) Divulgação dos resultados no SIICUSP e em demais eventos de divulgação científica.

Foram utilizadas três redes neurais disponíveis na literatura: YOLO, SSD e Faster R-CNN. Para avaliar a influência do número de imagens empregadas nos treinamentos no desempenho das redes neurais, utilizou-se um banco de

dados com 346 imagens que foi dividido em quatro categorias, variando-se o percentual de imagens utilizadas nessa etapa em 25%, 50%, 75% e 90%. Além disso, foi criada a categoria 90.1, que utiliza nos testes apenas imagens em que a proximidade da câmera e dos veículos é maior, de modo a proporcionar a verificação do impacto do posicionamento do instrumento de captura na assertividade dos algoritmos.

A análise de resultados foi realizada por métricas de desempenho: taxa de verdadeiros positivos, falsos positivos, falsos negativos e detecções duplicadas, e o uso do mAP (*Mean Average Precision*), métrica usualmente utilizada na avaliação de modelos de detecção de objetos.

### **Resultados**

A Tabela 1 apresenta os percentuais de verdadeiros positivos, falsos negativos, falsos positivos e detecções duplicadas para cada treinamento. A Figura 1, por sua vez, contém as curvas dos percentuais de verdadeiros positivos para cada rede neural.

Tabela 1: Compilação dos resultados de cada treinamento

Treinamento	Verdadeiro Positivo	Falso Negativo	Falso Positivo	Duplicado
YOLO 25	61,27%	24,76%	0,87%	13,10%
YOLO 50	82,00%	12,15%	1,38%	4,46%
YOLO 75	79,62%	14,97%	1,27%	4,14%
YOLO 90	75,29%	10,59%	1,18%	12,94%
YOLO 90.1	96,12%	3,88%	0,00%	0,00%
SSD 25	84,34%	10,16%	0,11%	5,40%
SSD 50	86,42%	7,41%	0,15%	6,02%
SSD 75	84,08%	9,87%	0,00%	6,05%
SSD 90	89,19%	9,46%	0,00%	1,35%
SSD 90.1	88,50%	0,88%	0,00%	10,62%
FRCNN 25	64,60%	0,14%	34,90%	0,36%
FRCNN 50	60,26%	0,00%	39,05%	0,69%
FRCNN 75	66,14%	0,22%	32,74%	0,90%
FRCNN 90	58,06%	0,81%	40,32%	0,81%
FRCNN 90.1	59,89%	0,00%	38,98%	1,13%

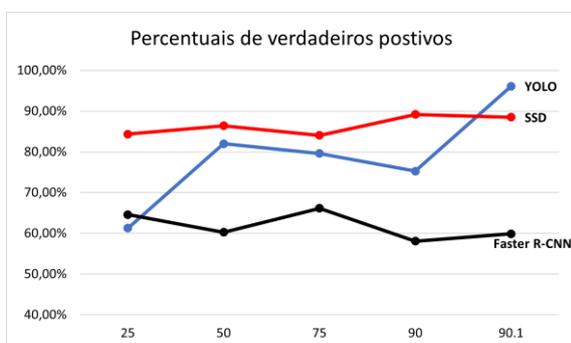


Figura 1: Gráfico dos percentuais de verdadeiros positivos para cada rede neural

Os valores na Tabela 1 e Figura 1 evidenciam que o SSD foi a rede neural mais estável, mantendo a taxa de verdadeiros positivos entre 85% e 89%. Além disso, esse algoritmo apresentou um desempenho satisfatório no treinamento mesmo com número reduzido de imagens.

Por outro lado, o YOLO se mostrou a rede neural mais sensível às mudanças no banco de dados de treinamento, com desvio padrão no percentual de verdadeiros positivos de 12,55%. O aumento de acertos com a diminuição da distância entre a câmera e os veículos, por sua vez, foi de 20,82%.

Por fim, o Faster R-CNN apresentou resultados inferiores aos demais, devido à grande quantidade de detecções de eixos onde eles não existem, de modo que os falsos positivos atingiram o valor de 40,32% para o treinamento

no qual foi aplicado 90% das imagens no treinamento.

## Conclusões

Esta pesquisa corrobora a viabilidade do uso de redes neurais para detectar eixos de caminhões, como etapa prévia ao desenvolvimento de mecanismos para a classificação automática desses veículos, uma vez que apresentou taxas de detecções corretas superiores a 96%.

A rede neural que se mostrou mais adequada para essa finalidade nos cenários avaliados foi o SSD, que teve mais de 84% de acertos quando treinado com apenas 25% do banco de imagens. Ademais, para essa rede, a quantidade de imagens de treinamento não teve grande interferência em seu desempenho.

Por mais que seja o algoritmo detentor da maior taxa de verdadeiros positivos, o YOLO oscilou muito com as mudanças no banco de dados, em especial o posicionamento da câmera de captura, indicando algumas limitações para sua aplicação.

Por fim, a rede Faster R-CNN mostrou desempenho inferior para o reconhecimento de eixos de caminhões, haja vista que essa rede gerou muitos falsos positivos, especialmente na região do tanque de combustível dos veículos, o que pode ser explicado pelo fato desse elemento se encontrar próximo aos eixos e, portanto, na região demarcada pelo algoritmo como de provável ocorrência.

## Referências

MARCOMINI, Leandro Arab. **Método de Detecção e Classificação de Eixos de Caminhões baseado em Imagens de Vídeo**. Tese (Doutorado) - Área de Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

FACELI, Katti. et. al. **Inteligência Artificial: uma abordagem de Aprendizado de Máquina**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.