

# Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

3

Mariana Natale Fiorelli Fabiche  
Sabrina Aguiar da Silva  
(Organizadoras)

# Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

3

Mariana Natale Fiorelli Fabiche  
Sabrina Aguiar da Silva  
(Organizadoras)

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

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

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaia/TO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

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

Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

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

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

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

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

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

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

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

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

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

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

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

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

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

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Ellen Addressa Kubisty  
**Correção:** Jeniffer dos Santos  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadoras:** Mariana Natale Fiorelli Fabiche  
 Sabrina Aguiar da Silva

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
E57	<p>Engenharias em perspectiva: ciência tecnologia e inovação 3 / Organizadoras Mariana Natale Fiorelli Fabiche, Sabrina Aguiar da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-258-2744-5            DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.445241508">https://doi.org/10.22533/at.ed.445241508</a></p> <p>1. Engenharia. 2. Tecnologia. I. Fabiche, Mariana Natale Fiorelli (Organizadora). II. Silva, Sabrina Aguiar da (Organizadora). III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

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

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

É com grande entusiasmo e dedicação que apresentamos a você amigo leitor a continuação da coleção “Engenharias em perspectiva: ciência, tecnologia e inovação 3”.

A coleção atual é composta por oito capítulos categorizados e interdisciplinares que dissertam sobre diversos assuntos no âmbito da engenharia. Uma obra que se mostra de grande relevância para graduandos, graduados, alunos de pós-graduação, docentes, tecnólogos e profissionais da área, apresentando metodologias diversas e modernas, com estudos de caso reais de modo a facilitar o entendimento teórico/prático do assunto e sua aplicação fundamentada para as tomadas de decisões.

Além do mais, a obra busca incentivar a divulgação de novos trabalhos científicos e ressalta a importância dos pesquisadores em difundir seus sérios trabalhos por meio de plataformas confiáveis, como a Atena Editora.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

Sabrina Aguiar da Silva

**CAPÍTULO 1 ..... 1****CONTROLE PID TIPO PIDA PARA APLICAÇÃO EM MOVIMENTOS DA PERNA DO PACIENTE PARAPLÉGICO COM FES**

Ruberlei Gaino

Vitor Augusto Sborgi Lovo

Márcio Roberto Covacic

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415081>**CAPÍTULO 2 ..... 13****METODOLOGÍA PARA LA EXPLORACIÓN DE LA ZONA DE MENOR APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE UN ASPA EÓLICA**

Gabriel Adrián Romero Gómez

José Alfredo Manzo Preciado

Pedro Augusto Reséndiz Gonzales

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415082>**CAPÍTULO 3 ..... 21****REVIEW OF ENERGY HARVESTING TECHNIQUES FOR THE DEVELOPMENT OF SELF-POWERED SYSTEMS: METHODS AND APPLICATIONS**

Eder Andrade da Silva

Jorge Javier Gimenez Ledesma

Marco Roberto Cavallari

Oswaldo Hideo Ando Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415083>**CAPÍTULO 4 ..... 43****INSERÇÃO DAS PRAÇAS DENTRO DA MALHA URBANA DA CIDADE DE MANAUS/AM: UMA PERSPECTIVA PARA AUXILIAR NA GESTÃO DAS ÁREAS VERDES**

Brenna Paula Boaventura Corrêa Cavalcanti

Rodrigo Flemelly Peres Fermin

Yêda Maria Boaventura Corrêa Arruda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415084>**CAPÍTULO 5 ..... 58****ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE SEMENTE DE UVA EM ÓLEO DE SOJA**

Marlon Thiago de Carvalho

Cristiane Loiva Reichert

Luisa Caroline Schlemmer Kramer

Tatiana Shioji Tiunan

Clayton Antunes Martin

Paulo Rodrigo Stival Bittencourt

Ricardo Fiori Zara

Solange Maria Cottica

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415085>

**CAPÍTULO 6 .....77**

LAS INGENIERAS (Y) ARQUITECTAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN MÉXICO MEJOR, A 100 AÑOS DE LA ESCUELA TÉCNICA DE CONSTRUCTORES, ESIA IPN EN SUS INICIOS

María Guadalupe Valiñas Varela

Carolina Navarrete Salvador

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415086>

**CAPÍTULO 7 .....101**

PROPOSTA DE PREVISÃO DA CURVA CARGA-RECALQUE DE ESTACAS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO ESTRUTURA

Sabrina Aguiar da Silva

Mariana Natale Fiorelli Fabiche

João Henrique de Freitas

Jeselay Hemetério Cordeiro dos reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415087>

**CAPÍTULO 8 ..... 108**

DIVULGAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CAMPUS DE CACHOEIRA DO SUL NA COMUNIDADE ESCOLAR

Paulo César Vargas Luz

Vinícios Frigheto de Franceschi

Laura Lisiane Callai dos Santos

Larissa Melchioris Furlan

César Teixeira Pacheco

Matheus Vargas Linhares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4452415088>

**SOBRE AS ORGANIZADORAS ..... 119****ÍNDICE REMISSIVO ..... 120**

## CONTROLE PID TIPO PIDA PARA APLICAÇÃO EM MOVIMENTOS DA PERNA DO PACIENTE PARAPLÉGICO COM FES

*Data de aceite: 01/08/2024*

### **Ruberlei Gaino**

Universidade Estadual de Londrina,  
Centro de Tecnologia e Urbanismo,  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/7369026799800057>

### **Vitor Augusto Sborgi Lovø**

Universidade Estadual de Londrina,  
Centro de Tecnologia e Urbanismo,  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/5442477346358206>

### **Márcio Roberto Covacic**

Universidade Estadual de Londrina,  
Centro de Tecnologia e Urbanismo,  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Londrina – PR  
<http://lattes.cnpq.br/7604165210337250>

articulação do joelho, o qual pode ser obtido utilizando-se eletrogoniômetro. Neste trabalho, é apresentado um controlador Proporcional-Integral-Derivativo-Acelerativo (PIDA), visando variar o ângulo da articulação do joelho em pacientes paraplégicos em 45°, através de estimulação elétrica funcional. Pelas especificações de projeto, sabe-se como os polos do sistema podem variar dentro do plano complexo. Assim, ferramentas clássicas de controle podem ser utilizadas, tais como análise dos índices de desempenho, critério de estabilidade de Routh-Hurwitz, Controladores PI/PD/PID/PIDA, são utilizadas para projetar um controlador que atenda aos requisitos necessários. O procedimento da pesquisa foi realizado por simulações no ambiente MATLAB®, o qual possui todas as ferramentas matemáticas necessárias para simulação experimental dos conceitos utilizados para a realização deste trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teoria de Controle, Controlador PIDA, Índice de Desempenho, MATLAB®.

**RESUMO:** Sistemas de controle em malha fechada têm sido utilizados para controlar o movimento dos membros inferiores de pacientes paraplégicos. Utilizando um neuroestimulador aplicado ao músculo quadríceps, que provoca a contração muscular e promove o movimento da articulação do joelho, tem-se o sinal de realimentação relacionado ao ângulo da

## PIDA-TYPE PID CONTROL FOR APPLICATION ON PARAPLEGIC PATIENT LEG MOVEMENTS WITH FES

**ABSTRACT:** Closed Loop Control Systems are often used to control movement of patient paraplegic's lower limbs. Using a neurostimulator applied to the quadriceps muscle, which causes muscle contraction and causes the movement of the joint knee, one has the feedback signal related to the joint knee angle, which can be obtained using an electrogoniometer. In this text, a Proportional-Integrative-Derivative-Accelerative (PIDA) controller is designed, in order to vary the joint knee angle of patients paraplegics until  $45^\circ$ , by Functional Electrostimulation. By specification of project, it is known that the poles of the system can vary into the complex plan, so, classic methods of control, like Analysis of Performance Indexes, Routh-Hurwitz Stability Criterion, PI/PD/PID/PIDA controller, are used to develop a controller that meets the requirements. The procedure of search will be realized by simulations on MATLAB®, which has the necessary packages math tools for experimental simulation of the concepts used in this research.

**KEYWORDS:** Control Theory, PIDA Controller, Performance Indexes, MATLAB®.

### INTRODUÇÃO

Segundo Jung e Dorf (1996), o controlador Proporcional-Integral-Derivativo-Acelerativo (PIDA) pode ser aplicado com funções próprias de terceira ordem. O estudo para controlar a angulação do movimento da perna de pacientes paraplégicos através de estimulação elétrica é um assunto bastante importante na engenharia de reabilitação (Ferrarin e Pedotti, 2000). Assim, este trabalho utiliza do *software* MATLAB® para simulação das técnicas de controle utilizadas para o desenvolvimento do controlador, a fim de posicionar a perna do paciente paraplégico em uma posição desejada. Com o auxílio destas ferramentas, é possível obter as respostas temporais do sistema em malha fechada através das simulações. Assim, evita-se que os primeiros testes sejam feitos diretamente nos pacientes, preservando a integridade dos mesmos.

O modelo matemático de Ferrarin e Pedotti (2000) foi adotado, pois fornece uma expressão matemática que relaciona o torque produzido do membro inferior com a largura de pulso aplicada. A partir do modelo de Ferrarin e Pedotti (2000), o qual expressa uma equação não-linear, lineariza-se esta função matemática em torno do ponto de operação (Teixeira et al., 2007; Gaino et al., 2007). Este modelo produz uma função de transferência de terceira ordem, justificando, assim, a aplicação do controlador PIDA. Visando variar o ângulo da articulação do joelho em  $45^\circ$ , mediante estimulação elétrica no músculo quadríceps (Gaino, 2009; Gaino et al., 2011), é possível projetar controladores que atendam aos desempenhos necessários ao projeto. Em suma, este trabalho apresenta o desenvolvimento teórico de um Controlador PIDA que atenda aos requisitos do projeto, visando garantir o desempenho desejado.

Os autores têm publicado diversos trabalhos relacionados com a eletroestimulação de pacientes paraplégicos (Biazeto et al., 2014; Biazeto et al., 2016; Gaino et al., 2019;

Covacic et al., 2020; Gaino et al., 2020), com a cadeira de rodas acionada por sopro e sucção (Gentilho Junior et al., 2014; Mineo, Covacic e Gaino, 2021; Leôncio Junior, Covacic e Gaino, 2022) e com controle de braço robótico (Marques et al., 2016; Arruda, Covacic e Gaino, 2019; Covacic, Gaino e Capobianco, 2019; Freitas, Covacic e Gaino, 2019).

Pelo conhecimento dos autores, com relação ao projeto com controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID) modificado do tipo PIDA aplicado ao movimento angular da perna do paciente paraplégico não foram encontrados relatos publicados na literatura e no estado da arte.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Para o desenvolvimento do trabalho, foi utilizado o *software* MATLAB®.

### Métodos

Para o desenvolvimento do projeto, este foi dividido em duas partes: primeiramente, todo o estudo teórico necessário da teoria de controle contínuo clássica e depois a aplicação ao modelo paraplégico para simulação utilizando o *software* MATLAB®.

### Modelos Matemáticos da Junção do Joelho

No modelo biomecânico (Ferrarin e Pedotti, 2000) do membro inferior (perna), foram considerados apenas dois segmentos rígidos: a coxa e o complexo canela-pé, desconsiderando dessa forma o tornozelo, o que reduz o número de graus de liberdade. A coxa foi considerada fixa, o que restringe os movimentos somente à flexão e extensão do joelho. Portanto, para o modelo aqui considerado, tem-se um elemento rígido  $M_s$  e um elemento de amortecimento  $M_d$ , que estão relacionados com o ângulo do joelho  $\theta$  e com a sua velocidade angular  $\dot{\theta}$ . Também devem ser considerados os elementos de componente inercial  $M_i$ , gravitacional  $M_g$  e o torque ativo do joelho  $M_a$ , resultado da estimulação elétrica no músculo quadríceps. A Figura 1 ilustra o complexo canela-pé e seus respectivos parâmetros.

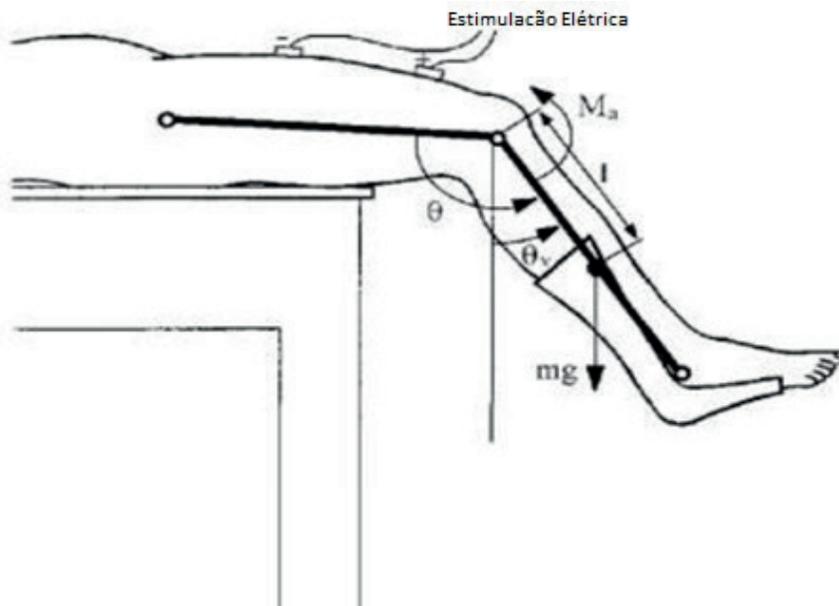


Figura 1 - Representação do complexo canela-pé (Carvalho Neto, 2008).

O equilíbrio dinâmico do conjunto é dado pelo equilíbrio das forças que agem no mesmo. Assim, pode-se obter uma equação diferencial ordinária de segunda ordem não-linear (1) (Ferrarin e Pedotti, 2000).

$$J\ddot{\theta}_v = -mgl \text{sen}(\theta_v) - M_s - B\dot{\theta} + M_a, \quad (1)$$

sendo:

$J$  → Momento Inercial do complexo canela-pé;

$\theta$  → Ângulo do joelho (ângulo entre a canela e a coxa);

$\dot{\theta}_v$  → Velocidade angular do joelho;

$\theta_v$  → Ângulo da canela;

$\ddot{\theta}_v$  → Aceleração angular da canela;

$m$  → Massa do complexo canela-pé;

$g$  → Constante da aceleração gravitacional;

$l$  → Distância entre o joelho e o centro de massa do complexo canela-pé;

$B$  → Coeficiente de atrito viscoso;

$M_s$  → Torque devido a componente de rigidez;

$M_a$  → Torque ativo do joelho devido à estimulação elétrica provocada no músculo quadríceps.

Linearizando (1), obtém-se a função de transferência que relaciona o ângulo da canela com o torque ativo do joelho devido à estimulação elétrica. A função de transferência (2) (Carvalho Neto, 2008) relaciona o ângulo da canela com o torque produzido pela estimulação elétrica.

$$N(s) = H(s).D(s) = \frac{G}{(\tau s + 1)(Js^2 + Bs + k)}. \quad (2)$$

Os valores utilizados para a modelagem das equações do joelho podem ser encontrados na Tabela 1 (Carvalho Neto, 2008).

Constantes	Valores	Dimensões
$I$	0.362	kg m <sup>2</sup>
$m$	4.370	kg
$l$	23.80	cm
$B$	0.270	Nm/rad
$\lambda$	41.208	Nm/rad
$E$	2.024	rad <sup>-1</sup>
$\omega$	2.918	rad
$G$	42500	Nm/s
$\tau$	0.951	–

Tabela 1 – Constantes adotadas para a modelagem das equações do paraplégico (Carvalho Neto, 2008).

Com os valores das constantes definidos, pode-se calcular o valor de  $k$ , utilizando como ponto de operação  $\theta_v = \pi/4$  rad ou 45°. Assim,  $k \cong 7.9622$ .

## Controle em Malha Fechada e Controlador PIDA

Projetos de controladores Proporcionais-Integrais-Derivativos (PID) para plantas de terceira ordem, geralmente, são complicados, pois a ordem da planta é maior que o número de zeros providos pelo controlador o que dificulta o seu desenvolvimento. Devido à larga utilização do controlador PID em indústrias, propõe-se, em seu lugar, a utilização do controlador PIDA quando é necessário projetar controladores para plantas de terceira ordem (Jung e Dorf, 1996).

O Controlador PIDA consiste em três zeros e três polos, sendo que dois desses polos podem ser suprimidos do sistema, por estarem muito distantes do eixo imaginário. A introdução desse zero a mais tem finalidade de alterar o *root locus* da planta de terceira ordem para regiões onde se torna mais fácil o projeto do controlador (Jung e Dorf, 1996).

O uso de controle em malha fechada (realimentação ou *feedback*) permite obter um sistema com estabilidade (Ogata, 2010). Desta forma, é possível obter um sistema de controle conforme mostrado pela Figura 2.

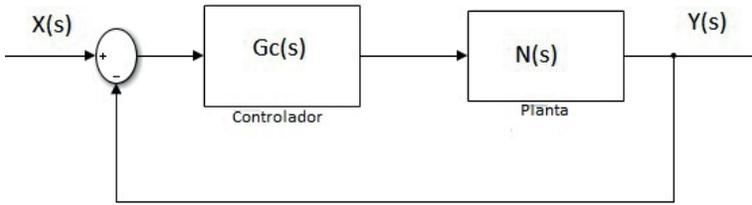


Figura 2 - Sistema de Controle em Malha Fechada

Neste sistema,  $N(s)$  a planta de terceira ordem e  $G_c(s)$  o controlador PIDA dado por (3)-(4).

$$G_c(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + \frac{Kd \cdot s}{(s+d)} + \frac{Ka \cdot s^2}{(s+d)(s+e)}, \quad (3)$$

$$G_c(s) = \frac{k(s+a)(s+b)(s+z)}{s(s+d)(s+e)}. \quad (4)$$

Admitindo-se  $a, b, z \gg d, e$ , os polos  $-d$  e  $-e$  podem ser considerados desprezíveis. Portanto, a função de transferência aproximada do controlador PIDA é:

$$G_c(s) = \frac{k(s+a)(s+b)(s+z)}{s}. \quad (5)$$

Para o desenvolvimento do controlador PIDA, devem ser seguidos os seguintes passos:

1º Passo: Determinar  $\zeta \omega_n$  a partir da expressão do tempo de estabelecimento ( $T_e$ ) dada em (6) (critério de 1%) e  $\zeta$  a partir da expressão do máximo valor de ultrapassagem ou potencial de overshoot (PO) dada em (7).

$$T_e \geq \frac{4.6}{\zeta \omega_n}, \quad (6)$$

$$\zeta \geq \frac{\left(\ln \frac{PO}{100}\right)^2}{\sqrt{\pi^2 + \left(\ln \frac{PO}{100}\right)^2}}. \quad (7)$$

2º Passo: A equação característica de manha fechada desejada é dada por (8).

$$1 + G_c(s) \cdot N(s) = (s+r)(s+R)(s+q)(s+\hat{q}) = 0, \quad (8)$$

sendo:

- $q = -\zeta \omega_n + j \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ ,
- $\hat{q} = -\zeta \omega_n - j \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ ,
- $R \leq -\zeta \omega_n$ ,
- $r \ll -\zeta \omega_n$ .

**3º Passo:** Encontre a equação característica do sistema a ser estudado, utilizando para o controlador a função de transferência apresentada em (5). Iguale o resultado obtido com o desejado obtido em (8). Através de resolução de sistemas de equações lineares encontre os valores para  $k$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $z$ .

**4º Passo:** Simule as respostas do sistema obtido para entrada degrau. Caso o potencial de overshoot não tenha sido atingido satisfatoriamente pode-se aumentar o ganho  $k$  ou diminuir ainda mais o valor do polo  $r$  até que se atinja um resultado satisfatório.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considere o sistema de malha fechada mostrado na Figura 2, com  $G_c(s)$  dado por (5) e  $N(s)$  dado por (9). Os critérios de desempenho são:  $PO \leq 5\%$  e  $t_o \leq 1s$  (critério de 1%). A partir dos índices de desempenho e das equações dadas em (6) e (7), obtêm  $\zeta \geq 0.6901$  e  $\zeta w_n \geq 4.6$ .

$$N(s) = \frac{42500}{0.3443s^3 + 0.6188s^2 + 7.842s^1 + 7.962} \quad (9)$$

Desta forma, é possível escrever a equação para os polos de malha fechada desejados dada em (8) conforme mostrado em (10) e (11), admitindo-se  $\zeta = 0.707$ ,  $\zeta w_n = 5$ ,  $w_n = 7.072$ ,  $R = -5$  e  $r = -200$ .

$$(s+200)(s+5)(s+5+j5)(s+5-j5) = 0, \quad (10)$$

$$s^4 + 215s^3 + 3100s^2 + 20250s^1 + 50000 = 0. \quad (11)$$

A equação característica da função de transferência de malha fechada, representada pela Figura 2, com o Controlador PIDA (5), é apresentada em (12).

$$0.3443s^4 + (42500k + 0.6188)s^3 + [42500k(a+b+z) + 7.8421]s^2 + [42500k(ab+az+bz) + 7.9622]s^2 + 42500kabz = 0. \quad (12)$$

Multiplicando os coeficientes de (11) por 0.3443, obtém (13).

$$0.3443s^4 + 74.0245s^3 + 1067.33s^2 + 6972.075s^1 + 17215 = 0 \quad (13)$$

Assim, igualando os coeficientes das equações (12) e (13), tem-se:

$$0.3443 = 0.3443 \quad (14)$$

$$(42500k + 0.6188) = 74.0245, \quad (15)$$

$$[42500k(a+b+z) + 7.8421] = 1067.33, \quad (16)$$

$$[42500k(ab+az+bz) + 7.9622] = 6972.075, \quad (17)$$

$$42500kabz = 17215. \quad (18)$$

Resolvendo o sistema de equações lineares dado pelas equações (15), (16), (17) e (18) obtêm-se os seguintes valores para k,a,b e z.

- $k = 1.7272 \cdot 10^{-3}$ ,
- $a = 4.795318 + j5.0427574$ ,
- $b = 4.795318 - j5.0427574$ ,
- $z = 4.8429842$ .

Portanto, tem-se o controlador PIDA (5) projetado, conforme mostrado em (19).

$$G_c(s) = \frac{0.001727s^3 + 0.0249s^2 + 0.1639s^1 + 0.4051}{s}. \quad (19)$$

Na Figura 3, observa-se a resposta obtida para a função de transferência de malha fechada (20) à entrada degrau unitária, utilizando-se o controlador projetado e a planta da perna do parapléxico. O código desta simulação é mostrado na Figura 4.

$$F.T.M.F = \frac{74.41s^3 + 1058s^2 + 6966s^1 + 1.722 \cdot 10^4}{0.3443s^4 + 74.02s^3 + 1066s^2 + 6974s^1 + 1.722 \cdot 10^4}. \quad (20)$$

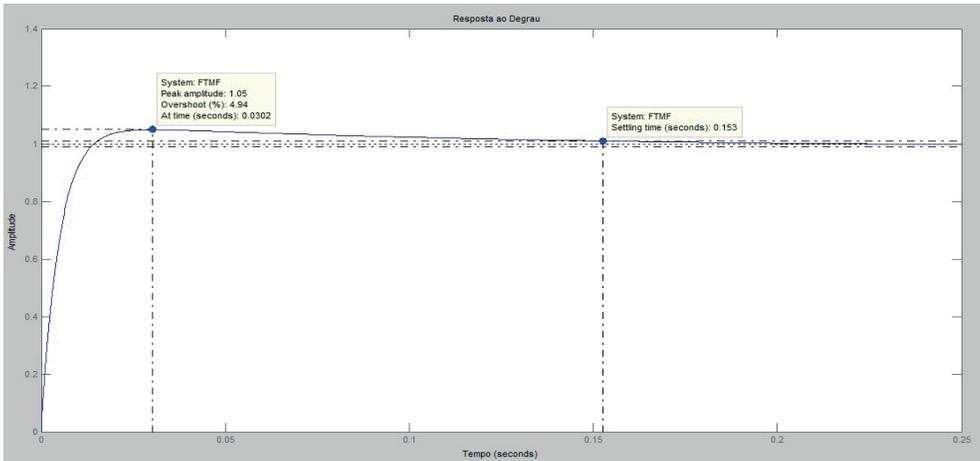


Figura 3 - Resposta ao degrau unitário da FTMF.

```

1 - clear all;
2 - syms k a b z d e s;
3 - format short;
4
5 - k = 1.7272e-3;
6 - a = complex(4.795318,-5.0427574);
7 - b = complex(4.795318,+5.0427574);
8 - z = 4.8429842;
9
10
11 - PIdA = tf([k 0.0249 0.1639 0.4051],[1 0]);
12
13 - Planta = tf([42500],[0.3443 0.6188 7.842 7.9622]);
14
15 - Sistema = (PIdA*Planta);
16
17 - FTMF = feedback(Sistema,1);
18
19 - step(FTMF)

```

Figura 4 - Código para simulação.

Pode-se perceber, na Figura 3, que os critérios de desempenho para o projeto foram atendidos:  $PO(\max) = 4.94\%$  e  $t_g = 0.153s$ . Contudo, deve-se utilizar uma entrada degrau de  $\pi/4$  rad ou  $45^\circ$ , pois foi para este ponto de operação que foi desenvolvida a função de transferência do complexo canela-pé. Assim, as Figuras 5 e 6 mostram o código e o resultado obtido, respectivamente.

```

1 - clear all;
2 - syms k a b z d e s;
3 - format short;
4
5 - k = 1.7272e-3;
6 - a = complex(4.795318,-5.0427574);
7 - b = complex(4.795318,+5.0427574);
8 - z = 4.8429842;
9
10
11 - PIdA = tf([k 0.0249 0.1639 0.4051],[1 0]);
12
13 - Planta = tf([42500],[0.3443 0.6188 7.842 7.9622]);
14
15 - Sistema = (PIdA*Planta);
16
17 - FTMF = feedback(Sistema,1);
18
19 - t = 0:0.001:1;
20 - [aa,a] = size(t);
21 - u = (pi/4)*ones(1,a);
22 - lsim(FTMF,u,t);
23 - ylim([0 1.2]);

```

Figura 5 - Código do sistema com entrada degrau de  $45^\circ$ .

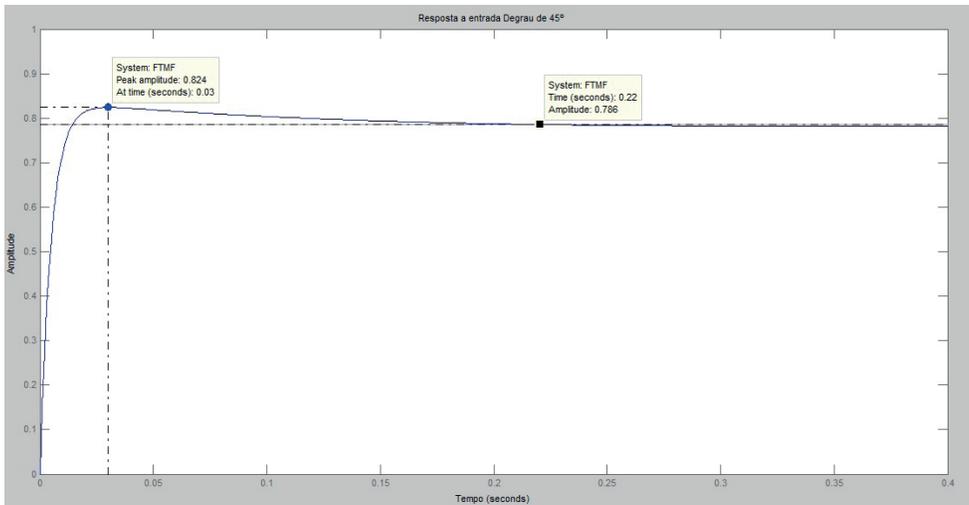


Figura 6 - Resposta do sistema compensado a entrada degrau de 45°.

Vale resaltar que, para este sistema, conforme mostrado na Figura 6, o potencial de overshoot máximo foi o mesmo mostrado na Figura 4. Assim, o projeto atende às exigências. Pode-se observar que para este sistema a amplitude estabiliza-se em um ângulo de 0.786 radianos, isto é,  $\pi/4$  rad ou 45°, conforme esperado.

## CONCLUSÕES

Devido à dificuldade de projetar Controladores PID para plantas de terceira ordem, é proposto o Controlador PIDA, devido a sua facilidade de implementação e boa resposta. Por utilizar mais um zero, diferentemente do Controlador PID, pode-se transpor facilmente o lugar das raízes de seu sistema para regiões em que se possa projetar o controlador utilizando apenas os critérios de desempenho.

Por ser de simples metodologia, o projeto do Controlador PIDA pode ser utilizado para plantas de terceira ordem, as quais se deseja controlar, pois fica simples alterar variáveis e parâmetros para que se atinjam os critérios de desempenho.

Como é possível observar pelas Figuras 3 a 6, todos os critérios foram atendidos. As respostas mostradas pelas Figuras 3 a 6 podem ser melhoradas conforme algumas mudanças sejam feitas no desenvolvimento do projeto, tais como: alterar o valor de  $R$  e  $r$  para valores menores que os estipulados ou aumentar o valor do ganho  $k$ . Estas alterações variam conforme os critérios de desempenho que o projetista estipula como objetivo para seu projeto.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e aos meus colegas de laboratório.

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, L. A.; COVACIC, M. R.; GAINO, R.. Modelagem dinâmica e controle PID de manipuladores robóticos com aplicação no robô Denso VP6242G. In: Bonatto, F. (Org.); Holzmann, H. A. (Org.); Dallamuta, J. (Org.). Impactos das Tecnologias nas Engenharias 4. . Ponta Grossa-PR: Atena Editora, v. 4, p. 61-80, 2019.
- BLAZETO, A. R.; GENTILHO JUNIOR, E.; COVACIC, M. R.; GNANN, B. A.; GAINO, R.. Controle paralelo distribuído com rastreamento aplicado ao modelo não linear do movimento do complexo canela-pé do paciente paraplégico. In: Gongora, V. L.; Faria, D. R.; Leite, A. G. (Org.) et al.. Profissionais da Indústria. 1ed. Londrina-PR: Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, v. 1, p. 116-128, 2014.
- BLAZETO, A. R.; CARVALHO, A. A. DE; GENTILHO JUNIOR, E.; TEIXEIRA, M. C. M.; JUNQUEIRA, M. V. N., SANCHES, M. A. A.; COVACIC, M. R.; KOZAN, R. F.; GAINO, R.. Controle do Movimento da Articulação do Joelho com Controlador Adaptativo Indireto com Fuzzy Takagi-Sugeno. In: Gongora, V. L. (Org.); Nunes, W. R. B. M. (Org.); Broniera Junior, P. et al.. Inovação e Tecnologia. Londrina-PR: Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, v. 2, p. 257-279, 2016.
- CARVALHO NETO, J. B. (2008). Modelagem de músculo esquelético para controle da posição da perna. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.
- COVACIC, M. R.; GAINO, R.; CAPOBIANCO, C.. Estudo de um controlador de um braço robótico com dois graus de liberdade com base em LMIs. In: Bonatto, F. (Org.); Holzmann, H. A. (Org.); Dallamuta, J. (Org.). Impactos das Tecnologias nas Engenharias 4. . Ponta Grossa-PR: Atena Editora, v. 4, p. 25-32, 2019.
- COVACIC, M. R.; TEIXEIRA, M. C. M.; DE CARVALHO, A. A.; CARDIM, R.; ASSUNÇÃO, E.; SANCHES, M. A. A.; FUJIMOTO, H. S.; MINEO, M. S.; BLAZETO, A. R.; GAINO, R. Robust T-S Fuzzy Control of Electrostimulation for Paraplegic Patients considering Norm-Bounded Uncertainties. *Mathematical Problems in Engineering (Online)*, v.2020, p.1 - 28, 2020.
- FERRARIN, M. E PEDOTTI, A. (2000). The relationship between electrical stimulus and joint torque: A dynamic model. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 8(3), 342–352.
- FREITAS, G. A. L.; COVACIC, M. R.; GAINO, R.. Modelagem cinemática e simulação 3D do manipulador industrial Denso VP6242G. In: Bonatto, F. (Org.); Holzmann, H. A. (Org.); Dallamuta, J. (Org.). Impactos das Tecnologias nas Engenharias 4. . Ponta Grossa-PR: Atena Editora, v. 4, p. 81-102, 2019
- GAINO, R.; Controle de Movimentos de Pacientes Paraplégicos Utilizando Modelos Fuzzy TS. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) — Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

GAINO, R., SILVA, T. I., SANCHES, M. A. A., FREITAS, R. L. B., SATO, F. H., SANTOS, E. A., CARVALHO, A. A., TEIXEIRA, M. M., ASSUNÇÃO, E. & MACHADO, E. R. M. D. (2007). Controle digital para FES no estímulo do músculo quadríceps em pacientes paraplégico. In: VI Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações (Dincon), São José do Rio Preto-SP, 2007, 764–771.

GAINO, R., TEIXEIRA, M. C. M., CARVALHO A. A., E. ASSUNÇÃO, CARDIM, R., SANCHES, M. A. A., COVACIC, M. R. (2011) Realimentação derivativa e modelos Fuzzy Takagi-Sugeno para controle da articulação do joelho de pacientes paraplégicos com uso de acelerômetros. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, 27(2), 67-78.

GAINO, R.; COVACIC, M. R.; CAUN, R. P.; MANTOVANI, P. H. B.. Controle do conversos Buck para módulos da cadeira de rodas com uso de LMIs. In: Abdala, M. R. W. S. (Org.). A Aplicação do Conhecimento Científico nas Engenharias 2. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, v. 2, p. 173-185, 2019.

GAINO, R.; COVACIC, M. R.; CARDIM, R.; SANCHES, MARCELO A. A.; DE CARVALHO, A. A.; BIAZETO, A. R.; TEIXEIRA, M. C. M. Discrete Takagi-Sugeno Fuzzy Models Applied to Control the Knee Joint Movement of Paraplegic Patients. IEEE Access, v.8, p.32714 - 32726, 2020.

GENTILHO JUNIOR, E.; BIAZETO, A. R.; KAYAMORI, H. K.; COVACIC, M. R.; GAINO, R.. Controle implementado em DSP para cadeira de rodas acionada por sopro e sucção. In: Gongora, V. L.; Faria, D. R.; Leite, A. G. (Org.) et al.. Inovação e Tecnologia. 1ed. Londrina-PR: Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, v. 1, p. 236-248, 2014.

JUNG, S. E DORF, R. C.. Analytic PIDA controller design technique for a third order system, In: Proceedings of the 35<sup>th</sup> IEEE Conference of Decision and Control, Kobe, Japão, 1996, pp. 2513-2518.

LEÔNICIO JUNIOR, A. P.; COVACIC, M. R.; GAINO, R. Wheelchair with high performance three-phase motor applied control in D.F.O.C mode, anti-collision safety and double handling: Joystic and Blow and suction In: IX Latin American Congress on Biomedical Engineering - XXVIII Brazilian Congress on Biomedical Engineering, 2022, Florianópolis-SC. Anais do IX Latin American Congress on Biomedical Engineering e do XXVIII Brazilian Congress on Biomedical Engineering. , 2022. p.1 – 6.

MARQUES, M. F.; GAINO, R.; COVACIC, M. R.; DJURIC, A.. Modelagem Cinemática e Dinâmica e Projeto de Controle para um Dispositivo Robótico com 2 Graus de Liberdade. In: Gongora, V. L. (Org.); Nunes, W. R. B. M. (Org.); Broniera Junior, P. et al.. Inovação e Tecnologia. Londrina-PR: Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina, v. 2, p. 346-365, 2016.

MINEO, M. S.; COVACIC, M. R.; GAINO, R. Variable Structure Control for a Simplified Linear Model of a Wheelchair In: IEEE IFAC International Conference on Automation / XXIV Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático, 2021, Chile (conferência online). Proceedings of the IEEE IFAC International Conference on Automation, XXIV Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático. , 2021. p.202 – 209.

OGATA, K. (2010). Engenharia de Controle Moderno, 5ª ed. São Paulo: Pearson Brasil.

TEIXEIRA, M. C. M., DEAECTO, G. S., GAINO, R., ASSUNÇÃO, E., CARVALHO, A. A., MACHADO, E. R. M. D. & SILVA, T. I. (2007). Projeto de um controlador linear para variar o ângulo de articulação do joelho de um paciente paraplégico. In: VI Congresso Temático de Dinâmica, Controle e Aplicações (Dincon), São José do Rio Preto-SP, 2007, 950–956.

# METODOLOGÍA PARA LA EXPLORACIÓN DE LA ZONA DE MENOR APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE UN ASPA EÓLICA

*Data de aceite: 01/08/2024*

### **Gabriel Adrián Romero Gómez**

Profesor de Física en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y Alumno del Posgrado del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Querétaro, México

### **José Alfredo Manzo Preciado**

Professor y Investigador del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, México

### **Pedro Augusto Reséndiz Gonzales**

Técnico y Trabajador del Centro de Ingeniería industrial, México

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con (Lassig, et al, 2022), la tendencia actual es construir aerogeneradores de mayor tamaño para incrementar el área de captación de energía del viento y por ende producir más energía, reduciendo así los costos de producción de los mismos. Aunque dichos costes se redujeron con esta medida, también surgieron desafíos mayores, como el transporte de materiales de gran tamaño para construir las torres y el transporte de las grandes palas eólicas para el ensamble de las turbinas en los parques eólicos. Sin embargo, otra forma de contribuir al incremento de la captación de energía es a través de nuevas palas aerodinámicas que aprovechen mejor la energía cinética del aire y aproxime el factor de potencia de la turbina lo más posible al límite termodinámico descubierto por Betz en condiciones de funcionamiento no optimizadas. Los autores (Burton et al, 2001, pág. 187) afirman que la velocidad de arranque de una turbina depende del

**RESUMEN:** El presente documento expone el planteamiento matemático de acuerdo al enfoque BEM y procedimiento de resolución numérico para la búsqueda de la región de menor eficiencia de aspas de turbinas eólicas utilizando el enfoque llamado “*Blade Element Moment*” o conocido como (BEM) por sus siglas en inglés. El procedimiento fue aplicado para el análisis aerodinámico de la turbina eólica mexicana MEM-B30 y del cual se consiguió la posición en su aspa con la menor extracción de energía del viento.

**PALABRAS CLAVE:** BEM, Menor extracción de energía, Aspa eólica, Procedimiento, Resolución Numérica

par requerido para operar el rotor y de las pérdidas de transmisión en el tren de potencia del aerogenerador y en su generador eléctrico. Si el par ejercido por el rotor por causa del viento vence la inercia del tren de transmisión y del generador eléctrico, este mantendrá el movimiento de las palas. Por lo que hallar las zonas con menor producción de momento sobre el aspa puede brindar conocimiento de zonas específicas para la implementación de dispositivos para su optimización y de esta manera llegar a nuevos diseños de aspas que aprovechen un mayor abanico de velocidades de viento. Por lo que el artículo presente muestra el procedimiento para hallar las zonas de menor eficiencia en un aspa eólica, procedimiento que fue aplicado al rotor del aerogenerador mexicano MEM-B30.

## METODOLOGÍA

### Procedimiento

La localización de la zona con menor eficiencia se hizo a través de la teoría BEM utilizando el factor de inducción axial, que relaciona la velocidad de entrada de la corriente de aire al rotor y la de salida del mismo. Dicho factor se calculó para una de las condiciones de funcionamiento del rotor no optimizadas y, en el caso particular, bajo influencia de las condiciones de la velocidad del viento que produce el arranque de la turbina y su velocidad angular que origina la mayor cantidad de momento. Un parámetro relacionado con el factor de inducción axial es el coeficiente de potencia de la turbina, el cual se obtuvo con tres diferentes esquemas de solución, dos utilizando la teoría BEM y resolviendo las siguientes ecuaciones diferenciales y otro que utiliza un análisis de flujos potenciales llamado “*Lifting Line Free Vortex Wake*”.

$$dT = F\rho V_1^2 4a(1-a)\pi r dr \quad (1)$$

$$dT = F\rho V_1(1-a)a'4\Omega\pi r^3 dr \quad (2)$$

$$dC_p = (8\lambda^2/R^2)Fa'(1-a)[1 - \text{Cot}(\varphi)/\eta]r^3 dr \quad (3)$$

Auxiliándose del “*strip theory*” se encuentran las siguientes relaciones de igualdad, véase en (Manwell et al, 2009).

$$a' = \frac{\sigma' C_L}{-\sigma' C_L + 4F \text{Cos}(\varphi)} \quad (4)$$

$$a = \frac{\sigma' C_L}{\sigma' C_L + 4F \text{tan}(\varphi) \text{Sen}(\varphi)} \quad (5)$$

La ecuación (1) corresponde al empuje del rotor, la expresión (2) la del torque, la ecuación (3) la ecuación para el coeficiente de potencia y las expresiones (3) y (4) las ecuaciones del factor de inducción angular y axial correspondientemente. El cotejo de los tres esquemas de solución se realizó con el objetivo de comparar los resultados a través de un análisis estadístico “*t student*” para la prueba de las medias del coeficiente de potencia de cada procedimiento de solución y así validar los resultados de manera estadística. De forma posterior se obtuvo el coeficiente de inducción axial en diferentes ubicaciones del aspa para los dos esquemas de solución de la teoría BEM, los cuales son una interpretación del método descrito por Manwell, ver Figura 1, y otro bajo el algoritmo de solución del software Qblade®. La distribución obtenida se comparó con otra distribución ideal del coeficiente de inducción axial, que brinda la máxima eficiencia en el rotor, esto tomando en cuenta la rotación de la estela y las pérdidas energéticas por los efectos de los vórtices en la punta del aspa. A través de las comparaciones se obtuvo los máximos de las diferencias entre el factor de inducción axial obtenido y el ideal, hallando así las regiones del aspa con menor eficiencia.

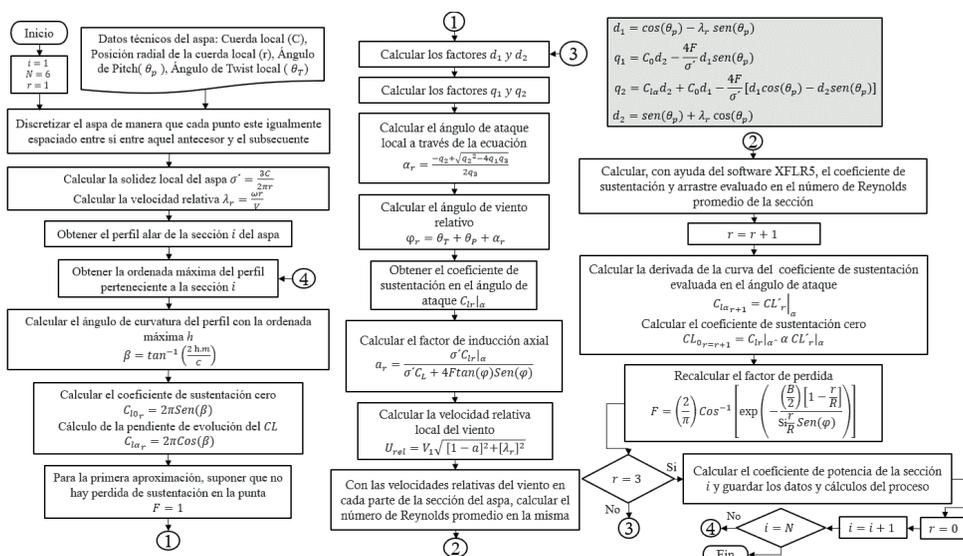


Figura 1. Procedimiento para la resolución de la teoría BEM para un aerogenerador horizontal y tripala a través del modo descrito por Manwell y con algunas modificaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Distintos autores han realizado una diversidad de análisis de los efectos de los dispositivos hipersustentadores incorporados a las aspas de las turbinas eólicas con el objetivo de utilizarlos como controles pasivos de carga, maximizar el coeficiente de potencia del rotor o mejorar las condiciones de arranque de la turbina. Por ejemplo, con el fin de incrementar el coeficiente de potencia y mejorar las condiciones de arranque de la turbina, (Aguilar Quispe, 2017) sostiene que, mediante la utilización de flaps Gurney en el aspa, se ha logrado un incremento del 7% en el coeficiente de potencia máximo de un aerogenerador de 0.3 kilowatts. En un estudio similar (Bacchi y Scarabino, 2014), efectuaron un estudio de un aspa con flaps Gunery, los cuales, en sus conclusiones, afirman que la incorporación de los flaps Gurney brinda beneficios en el coeficiente de sustentación y mejoran las condiciones de arranque en el rotor. Incluso estudios más recientes, como el hecho por (A. García y P. Verdin, 2022) se logró el incremento del coeficiente de potencia en una razón de 2.5 veces mayor al original para turbinas de eje horizontal con flaps. En estudios encaminados a la producción de energía y mejora en el arranque, trabajos como el de (Tan, 2020), afirman que los diseños de aspas de turbinas eólicas con flaps resultan ser una promesa para el futuro de la eólica.

Aunque existen unos cuantos estudios más respecto al tema relacionado con los beneficios que brinda el uso de dispositivos hipersustentadores en el aspa, pocos trabajos han proporcionado una explicación detallada de cómo se seleccionó la zona de incorporación de dichos dispositivos, con el fin del aumento del coeficiente de potencia o el beneficio del arranque del rotor.

## RESULTADOS

El análisis del rendimiento de la turbina MEM-B30 se efectuó para diversos valores de "TSR". Debido a que se toman números de Reynolds promedio en todas las diferentes secciones del aspa durante la resolución de la teoría BEM con el procedimiento mostrado en la Figura 1, que solo se efectúan tres iteraciones y que no se toman en cuenta las correcciones empíricas hechas por Glauert, existen diferencias entre los resultados obtenidos por el software Qblade® y el método LLFVW, sin embargo, estas no son significativas de manera estadística y pueden corregirse atendiendo los anteriores puntos mencionados. Los resultados se muestran en el Cuadro 1 y Cuadro 2.

TSR	Manwell	QBLADE®	LLFVW
1	0.04	0.02	0.03
2	0.11	0.08	0.1
3	0.22	0.19	0.2
4	0.36	0.32	0.31
5	0.47	0.41	0.39
5.3	0.49	0.43	0.4
Promedios por columna	0.28	0.24	0.24
Numeros de datos por columna	6.00	6.00	6.00
Varianza muestral por columna	0.04	0.03	0.02

Cuadro 1. Resultados, medidas de tendencia central y dispersión del coeficiente de potencia utilizando las diferentes herramientas de análisis.

Comparación entre los tratamientos Manwell y Qblade®	
Herramienta estadística " $t_0$ "	0.38
Grados de libertad	12
"t de student" crítico	2.17
Comparación entre los tratamientos Manwell y LLFVW	
Herramienta estadística " $t_0$ "	0.44
Grados de libertad	12
"t de student" crítico	2.17
Comparación entre los tratamientos Qblade y LLFVW	
Herramienta estadística " $t_0$ "	0.06
Grados de libertad	12
"t de student" crítico	2.17

Cuadro 2. Prueba "t student" con varianzas desconocida para la media con un nivel de confianza del 95%.

Ya validados los resultados, se obtiene la distribución ideal del coeficiente de inducción axial ideal para las condiciones de la velocidad de viento de arranque y RPM necesarias para el máximo torque (TSR=4.55). Para adquirir la distribución ideal del coeficiente de inducción axial, se debe satisfacer la relación dada por la ecuación (6), que proviene de una optimización dada a través de máximos y mínimos del coeficiente de potencia. Subsecuentemente, se compara con las distribuciones dadas por el método de Manwell y el software Qblade® y se ejecutan a cabos las diferencias entre las distribuciones dadas del coeficiente de inducción axial y su distribución ideal, ver Figura 3 y Figura 4.

$$\frac{1}{\lambda_r} = \tan\left(\frac{3}{2}\varphi\right) \quad (6)$$

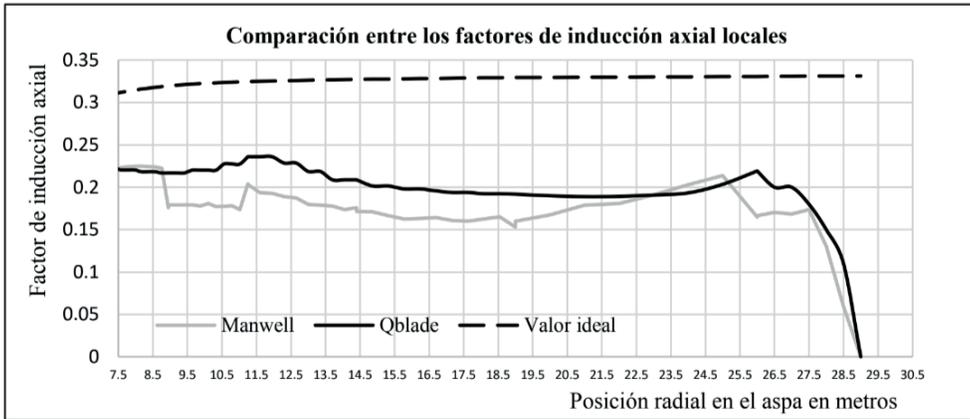


Figura 3. Comparativas entre la distribución ideal del coeficiente de inducción axial y las obtenidas por el método de Manwell y el software Qblade®

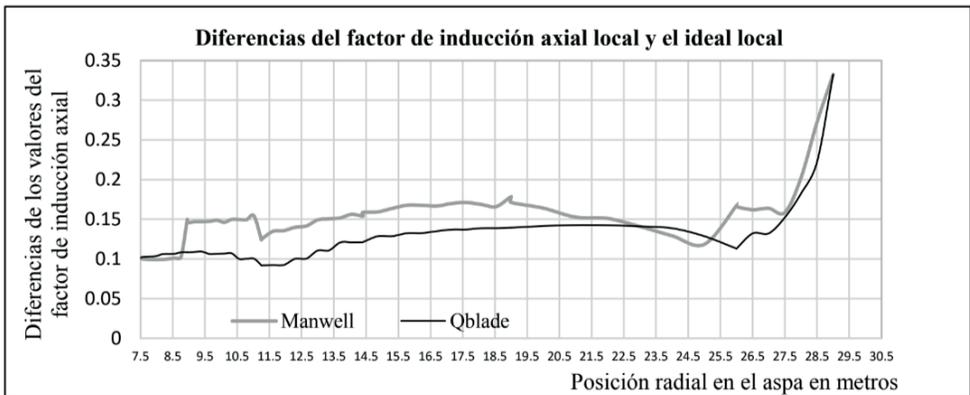


Figura 4. Curvas de las diferencias entre los valores ideales y obtenidos del coeficiente de inducción axial

## Análisis

Tal como se aprecia en la Figura 4, la diferencia máxima del factor de inducción axial sobre el aspa es donde se ubican las crestas de cada una de las curvas y, para turbina MEM-B30, el análisis hecho para su velocidad de viento de arranque y un TSR de 4.55, que son las condiciones que brinda el mayor torque en el rotor. La región de menor eficiencia es entre los 19 hasta los 24 metros, pues son aquellas posiciones donde las diferencias son “mayores”, por lo que pueden amenguar las diferencias si se implementa dispositivos hipersustentadores en las zonas con menor eficiencia del aspa.

Aunque la diferencia más grande del coeficiente de inducción axial se da en la punta del aspa, no se toma en cuenta, pues debido a la fuga de aire de la zona de presión hacia la zona de succión de la hoja, el aspa pierde sustentación por efecto del viento cruzado y generación de vórtices en la punta. Por lo que para disminuir este efecto se debe hacer uso de “*winglets*” el cual debe ser enfocado a aspas eólicas.

De acuerdo a al Cuadro 2, los resultados obtenidos por el método de Manwell son estadísticamente iguales a aquellos resultados obtenidos por el software Qblade® y el método LLFVW, sin embargo, su exactitud puede ser menor por la escasez en la cantidad de iteraciones, el uso de número de Reynolds promedios y el uso nulo de la corrección de Glauert.

Si es cierto que los dispositivos hipersustentadores logran mejorar la eficiencia en el aspa, podría ser complicado llevar la región a sus condiciones de máxima eficiencia solo con estos mecanismos, pues los coeficientes de sustentación que debe generar el aspa para operar con la distribución ideal de las magnitudes del factor de inducción axial son altas, ver Figura 5.

## CONCLUSIONES

Durante el proceso de investigación anterior, se logra un procedimiento para la localización de la zona con una menor eficiencia del aspa de la turbina MEM-B30 y del cual es aplicable para cualquier condición de operación en la que el aerogenerador trabaje, sin embargo, la exactitud de los resultados se puede mejorar con datos experimentales o simulación CFD del coeficiente de sustentación y el arrastre del perfil aerodinámico, lo cual podría ser una base para proyectos futuros.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 5, la distribución de los coeficientes de sustentación ideales a lo largo del aspa son complicados de alcanzar, pues su magnitud es bastante alta para conseguir con perfiles aerodinámicos e incluso flaps, por lo que esto plantea la necesidad de nuevas estrategias para la generación de sustentación en el aspa.

## LIMITACIONES

El estudio se llevó a cabo bajo un análisis de flujo estacionario, algo que no sucede durante el arranque de la turbina; sin embargo, la suposición resulta útil para la simplificación del proceso y una aproximación de la zona de menor eficiencia en el rotor.

El uso de números de Reynolds promedio ayuda a la disminución de la base de datos requerida para el análisis sacrificando exactitud.

La falta de datos experimentales reduce la exactitud de la localización de las regiones de menor eficiencia.

## REFERENCIAS

Roy Guillermo A. Quispe. "Mejora de la eficiencia aerodinámica en turbinas eólicas mediante dispositivos hipersustentadores," Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (en línea), consultada por Internet el 22 de febrero del 2024. Dirección de internet: 1Library.Co - plataforma para compartir documentos.

F. Bacchi y Ana Scarabino. "Estudio aerodinámico del efecto de un flap gurney en una pala de aerogenerador en posiciones fijas," La Plata, Universidad Nacional de La Plata, 2014.

Antonio García Auyanet y Patrick G. Verdin "Numerical Study of the Effect of Flap Geometry in a Multi-Slot Ducted Wind Turbine," Sustainability, 23 September 2022.

J. Lassig, et al. "Desarrollos e Innovaciones Tecnológicas Para Turbinas eólicas," Academia (en línea), consultada el 21 de febrero de 2024. Dirección de internet: <https://www.academia.edu>.

Manwell, et al. "Wind energy explained," Wiley. 2009.

Heyou Tan, H. "Analysis of a Wind Turbine Airfoil with Flap,"

## APÉNDICE

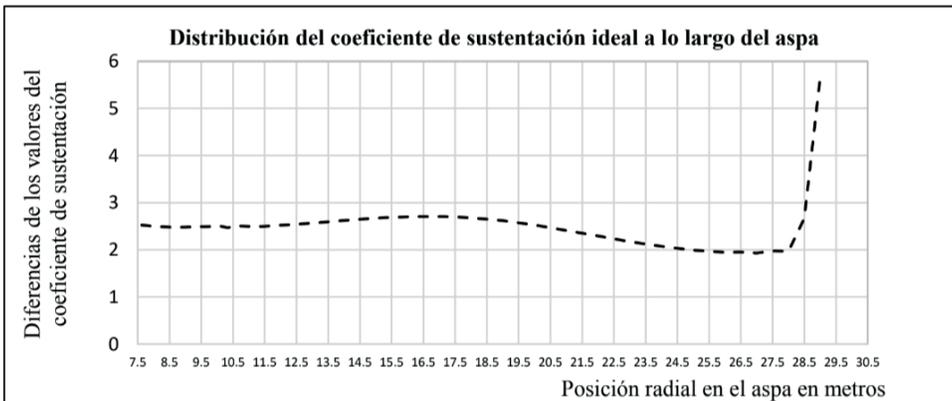


Figura 5. Distribución del coeficiente de sustentación ideal para un TSR igual a 4.55 en la velocidad de viento de arranque del rotor tomando como base la distribución ideal del coeficiente de inducción axial

# REVIEW OF ENERGY HARVESTING TECHNIQUES FOR THE DEVELOPMENT OF SELF-POWERED SYSTEMS: METHODS AND APPLICATIONS

Data de aceite: 01/08/2024

### **Eder Andrade da Silva**

Universidade Federal da Integração  
Latinoamericana – UNILA  
Programa de Pos-graduação  
Interdisciplinar em Energia e  
Sustentabilidade – PPGIES  
Foz do Iguaçu, PR

### **Jorge Javier Gimenez Ledesma**

Universidade Federal da Integração  
Latinoamericana – UNILA  
Programa de Pos-graduação  
Interdisciplinar em Energia e  
Sustentabilidade – PPGIES  
Foz do Iguaçu, PR

### **Marco Roberto Cavallari**

Universidade Estadual de Campinas  
(UNICAMP)  
Faculdade de Engenharia Elétrica e de  
Computação (FEEC)  
Campinas, SP

### **Oswaldo Hideo Ando Junior**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco - UFRPE  
Grupo de Pesquisa em Energia &  
Sustentabilidade Energética - GPEnSE  
Cabo de Santo Agostinho – PE

**RESUMO:** Este capítulo apresenta uma breve revisão do potencial das técnicas de captação de energia residual (*Energy Harvesting*) para o desenvolvimento de sistemas autoalimentados (*self-powered*) que abrangem microgeradores, sensores autônomos e Internet das Coisas (IoT). Inicialmente, discute-se a importância da conservação e da eficiência energética, destacando a necessidade de aprimorar técnicas eficazes para o aproveitamento de energias residuais, com foco em eficiência, conservação e sustentabilidade. Posteriormente, são exploradas as principais formas de aproveitamento baseadas em *Energy Harvesting*, incluindo métodos como piezoelectricidade, termoelectricidade, acoplamento magnético, radiofrequência e solar. Finalmente, são apresentados exemplos de aplicações que ilustram o potencial dessas técnicas para o desenvolvimento de sistemas autoalimentados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Piezoelectricidade, Termoelectricidade, Acoplamento magnético, Radiofrequência, Solar, Microgeração, Captação de Energia, Sensores autônomos.

**ABSTRACT:** This chapter presents a brief review of the potential of energy harvesting techniques for the development of self-powered systems that include micro-generators, autonomous sensors and the Internet of Things (IoT). Initially, the importance of energy conservation and efficiency is discussed, highlighting the need to improve effective techniques for harnessing residual energy, with a focus on efficiency, conservation and sustainability. Subsequently, the main forms of utilization based on Energy Harvesting are explored, including methods such as piezoelectricity, thermoelectricity, magnetic coupling, radiofrequency and solar. Finally, examples of applications are presented which illustrate the potential of these techniques for the development of self-powered systems.

**KEYWORDS:** Piezoelectricity, Thermoelectricity, Magnetic coupling, Radiofrequency, Solar energy, Microgeneration, Energy harvesting, Autonomous sensors.

## INTRODUÇÃO

O aumento das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), especialmente nos setores energético e de transporte, tem sido um ponto crítico destacado por organizações como a *Comisión Económica para América Latina y el Caribe* (2022) e o *World Population Review* (2022). Desde 1990, as emissões globais cresceram 41%, sendo o setor de energia responsável por 73% dessas emissões, destacando-se a importância e a necessidade de buscar alternativas e adotar tecnologias sustentáveis alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 e aos compromissos do Acordo de Paris para a neutralização das emissões de GEE até 2050 (SACHS et al., 2022). Destaca-se que o Brasil, comprometido com o Acordo de Paris, visa reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> em 37% até 2025, com perspectiva de alcançar uma redução de 43% até 2030 (IEA et al., 2022; RUCKS et al., 2023).

O constante desenvolvimento do setor industrial global, aliado ao aumento do uso de equipamentos eletrônicos, tem provocado um crescimento exponencial na demanda por eletricidade nas últimas décadas, resultando em obstáculos nos sistemas de geração de energia (SUTIKNO et. al., 2023). Neste contexto, o desenvolvimento e a implementação de técnicas avançadas de *Energy Harvesting* (EH), não apenas buscam maximizar a eficiência energética e reduzir custos operacionais, mas também desempenham um papel crucial na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ao transformar energia residual, que de outra forma seria dissipada, em energia elétrica utilizável, a EH contribui para a diminuição da dependência de fontes tradicionais de energia e do uso de baterias frequentemente associadas a altas emissões de GEE. Essa abordagem não só se alinha com os compromissos globais de mitigação climática, mas também impulsiona a transição para um futuro mais sustentável e resiliente.

*Energy Harvesting* consiste na captura e na conversão de energia que normalmente seria perdida em formas úteis de energia elétrica, utilizando transdutores especiais capazes de transformar grandezas físicas como pressão, temperatura ou luz em energia elétrica (FARMER & JUSTIN, 2007). EH surge da necessidade de melhorar a eficiência energética

e buscar soluções de autoalimentação para microsistemas isolados, visando reutilizar energia desperdiçada e transformá-la em oportunidades de reaproveitamento, ou seja, a captação de energia residual (ANDO JUNIOR et al., 2014).

A crescente demanda energética impulsiona o desenvolvimento tecnológico global, incluindo métodos de aproveitamento de energia. Este cenário promove a criação e o aprimoramento de métodos destinados a reduzir perdas nos processos industriais, diminuir custos e aumentar a produção. É com o avanço dos dispositivos eletrônicos nas últimas décadas, houve uma tendência de miniaturização e melhoria das funcionalidades, resultando em significativa redução no consumo de energia em comparação com dispositivos mais antigos. Este progresso, aliado a outros fatores, permitiu o desenvolvimento de tecnologias capazes de aproveitar energia residual de diversas fontes (ANDO JUNIOR et al., 2014).

A pesquisa e aplicação de novas formas de captação de energia residual continuam a expandir-se, impulsionadas por considerações ambientais e sociais, visando mitigar os impactos adversos da má gestão energética e potenciais crises.

O capítulo está estruturado em quatro seções que abordam diferentes aspectos do desenvolvimento de técnicas de EH para o desenvolvimento de sistemas autoalimentados (*self-powered*). Na Seção 1, apresenta uma breve introdução sobre o assunto e sua importância para o desenvolvimento de sistemas autoalimentados e promoção da sustentabilidade energética. Enquanto na seção 2, tem-se um breve relato histórico abordando a origem das principais alternativas para captação de energia, começando pela termoeletricidade, seguida pela piezoeletricidade, eletromagnetismo, radiofrequência e finalizando com energia solar, destacando seus avanços e contribuições para a ciência. Na Seção 3, apresentam-se os principais métodos para captação de energia, destacando seu potencial para o desenvolvimento e a aplicação em sistemas autoalimentados. Finalmente, a Seção 4 apresenta as principais considerações para uso em futuras pesquisas, explorando potenciais melhorias para o desenvolvimento de sistemas autoalimentados em distintos cenários.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção do capítulo, apresenta-se um breve relato histórico sobre a origem das principais alternativas para captação de energia. Inicia-se com a termoeletricidade, seguida pela piezoeletricidade, eletromagnetismo, radiofrequência e conclui-se com a energia solar, destacando seus avanços e contribuições.

## Termoeletricidade

A termoeletricidade refere-se à conversão direta de uma diferença de temperatura em uma tensão elétrica, conhecida como efeito *Seebeck*, ou o fenômeno inverso, conhecido como efeito Peltier. A história da teoria termoeletrica remonta a 1823, quando Thomas J. Seebeck conduziu experimentos com uma bússola e observou que ela se desviava quando aproximada de um circuito fechado formado por dois condutores diferentes, aquecendo a junção entre eles. Embora suas conclusões iniciais tenham sido equivocadas, estudos subsequentes corrigiram esses equívocos, revelando o verdadeiro fenômeno da termoeletricidade (ROWE, 1995).

Por volta de 1850, o desenvolvimento da termoeletricidade ganhou impulso, à medida que a busca por novas formas de conversão de energia se expandia para diversas áreas, incluindo a utilização de materiais termoeletricos para geração de eletricidade (ROWE, 1995). Os geradores de estado sólido baseiam-se no efeito *Seebeck*, permitindo que materiais termoeletricos convertam diretamente energia térmica em energia elétrica (KARABETOGLU & SISMAN, 2012), (ANDO JUNIOR et al., 2014).

O efeito *Seebeck* resulta na geração de uma diferença de potencial, denominada tensão de *Seebeck* ( $E_s$ ), entre duas junções de condutores, ou semicondutores, quando submetidas a um gradiente de temperatura. Isso gera uma corrente contínua no circuito termoeletrico (ANDO JUNIOR et al., 2014).

A Figura 1 ilustra o efeito *Seebeck*, mostrando a relação entre o gradiente de temperatura e a tensão gerada por meio do efeito termoeletrico.

$$E_s = \int_{T_{fria}}^{T_{quente}} \alpha_{A,B} dT = \alpha_{A,B}(\Delta T)$$

Onde  $E_s$  (V) é a tensão de *Seebeck*,  $\alpha_{A,B}$  (V/K) é o coeficiente diferencial de *Seebeck*,  $\Delta T$  (K) um gradiente de temperatura (variável de integração) de uma temperatura baixa ( $T_{fria}$ , K) a uma alta ( $T_{quente}$ , K).

Os Geradores Termoeletricos (TEGs), dispositivos de estado sólido, operam em condições extremas, exigindo gradientes de temperatura elevados para a geração de energia. Apresentam eficiência energética entre 5% e 15%, sendo aplicados amplamente em *Energy Harvesting* (CAMACHO-MEDINA et. al., 2014), (KIM & BUN, 2014). Dado que os geradores termoeletricos são fabricados pela associação em série de N termopares, basta utilizar a equação para obter a tensão de saída do módulo (ANDO JUNIOR et al., 2014).

$$V = NE_s$$

onde V (V) é a tensão de saída do gerador termoeletrico, N o número de termopares internos que compõem o módulo e  $E_s$  (V) a tensão de *Seebeck* de um único termopar.

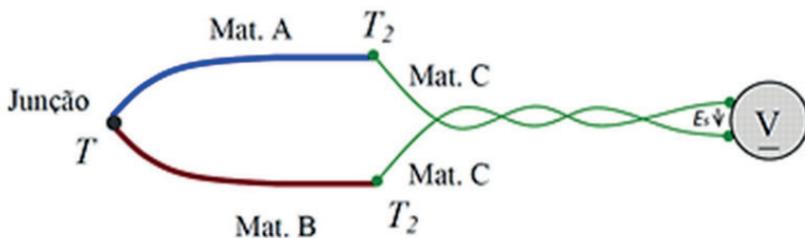


Figura 1 – Demonstrativo do efeito *Seebeck*.

Fonte: (IZIDORO et. al, 2016)

Dispositivos termoelétricos são capazes de transformar energia elétrica em gradientes de temperatura e vice-versa. Esta forma de conversão é principalmente correlacionada com os efeitos *Seebeck* e *Peltier*. Quando é estabelecida uma diferença de temperatura entre as partes “quentes” e “frias” de dois materiais semicondutores distintos é gerada uma tensão elétrica, que pode ser chamada de tensão de Seebeck, essa tensão é diretamente proporcional a um diferencial de temperatura, nesse caso o coeficiente de Seebeck. (ROWE, 1995).

Na Figura 2 apresenta o módulo termoelétrico (TEG) e suas partes constituintes. Destaca-se algumas das vantagens de se utilizar TEG para esse tipo de conversão de energia são: **(i)** os dispositivos termoelétricos não possuem partes móveis, portanto não são necessárias revisão e manutenção frequentes; **(ii)** não contém clorofluorcarbonetos ou outros materiais que demandem reabastecimento ou reposição; e **(iii)** razão de potência por peso (W/Kg) (KARABETOGLU & SISMAN, 2012), (ANDO JUNIOR et al., 2014).

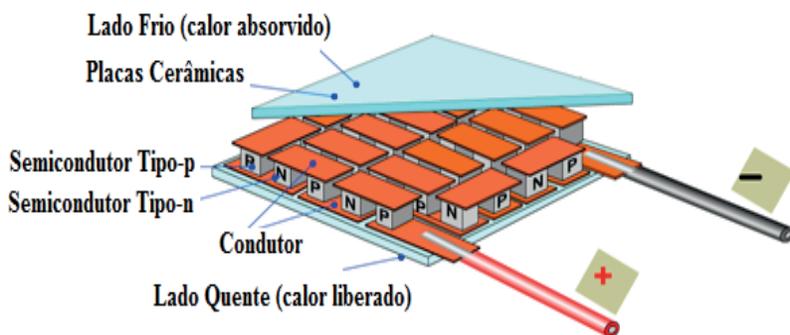


Figura 2 – Diagrama esquemático de um dispositivo termoelétrico

Fonte: (ANDO JUNIOR, 2014)

Dispositivos termoeletricos s3o utilizados em amplas 3reas, desde aeroespacial, instrumental, militar ou produtos comerciais. Em baixa pot4ncia, pode-se exemplificar o uso de TEG em calculadoras ou rel3gios, substituindo baterias em alguns sistemas. A m3xima efici4ncia termoeletrica convertida em um TEG 4 definida pela equa33o (KARABETOGLU & SISMAN, 2012), (ROWE, 1995):

$$\eta_{max} = \frac{T_{quente} - T_{frio}}{T_{quente}} \frac{\sqrt{1+ZT}-1}{\sqrt{1+ZT} + \frac{T_{quente}}{T_{frio}}}$$

Enquanto a figura de m3rito 4 obtida pela equa33o:

$$Z = \frac{s^2}{\rho\lambda} T$$

onde Z 4 figura de m3rito, T (K) a temperatura absoluta, S (V/K) o coeficiente Seebeck, ρ (Ω m) a resist4ncia el4trica, λ(W/m/K) 4 o coeficiente de condu33o t4rmica do material, T<sub>fria</sub> (K) a temperatura do lado frio dos m3dulos termoeletricos e T<sub>quente</sub> (K) a temperatura do lado quente do m3dulo termoeletrico. Quando o calor flui atrav4s de um gerador termoeletrico, parte do calor absorvido 4 convertido em energia el4trica, enquanto o restante, em vez de ser dissipado para o ambiente, 4 recolhido e usado para o aquecimento de um fluido (KARABETOGLU & SISMAN, 2012).

A Figura 3 ilustra uma disposi33o b3sica de um sistema de cogera33o termoeletrica. Contudo, quando o dispositivo 4 um gerador termoeletrico como gerador de um pr4-aquecimento de um fluido incorporado, uma pequena por33o de calor (Q1 e Q3) fluir3 atrav4s de uma deriva33o constitu3da pelo m3dulo termoeletrico e ent3o convertida em eletricidade. O calor que 4 dissipado no lado frio (Q2) volta para a entrada do fluido aquecedor e pr4-aquecer3 o fluido. Com isso, o calor de Q2 n3o 4 desperdi3ado (IZIDORO et. al, 2016).

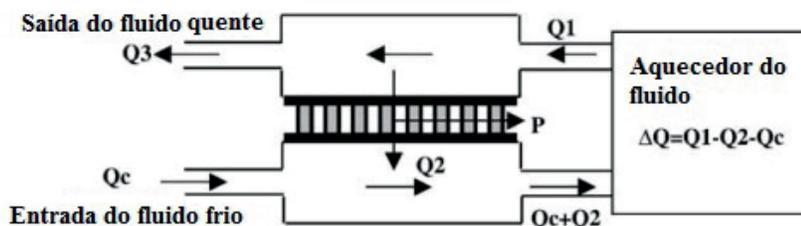


Figura 3 – Gerador termoeletrico utilizado para pr4-aquecer um fluido.

Fonte: (IZIDORO et. al, 2016)

Do ponto de vista de aplicação da termoeletricidade para *Energy Harvesting*, destacam-se: **(i)** aproveitamento do calor dispersado em veículo à combustão; **(ii)** otimização de dispositivos termoeletricos na conversão de energia solar; e **(iii)** aproveitamento do calor residual de metal líquido em processos de fabricação e de vários tipos de sistemas térmicos (ANDO JUNIOR et al., 2014).

## Piezoelasticidade

O efeito piezoelétrico se refere à capacidade de certos materiais gerar uma diferença de potencial elétrico quando submetidos a um estresse mecânico, como pressão ou vibração. Esse fenômeno também inclui o efeito inverso, onde esses materiais sofrem deformação quando expostos a um campo elétrico. Pierre e Jacques Curie foram os primeiros a observar esse comportamento em 1880, quando descobriram que certos cristais adquiriam uma carga elétrica sob estresse mecânico, definindo assim, o efeito piezoelétrico (FARMER & JUSTIN, 2007).

A utilização de materiais piezoelétricos começou na década de 1920 com dispositivos compostos por cristais, e a partir dos anos 1940 na geração baseada em materiais cerâmicos. No entanto, foi após a Primeira Guerra Mundial que esses materiais começaram a ser explorados em aplicações como sensores, transdutores e dispositivos de energia (ARMENDANI, 2016).

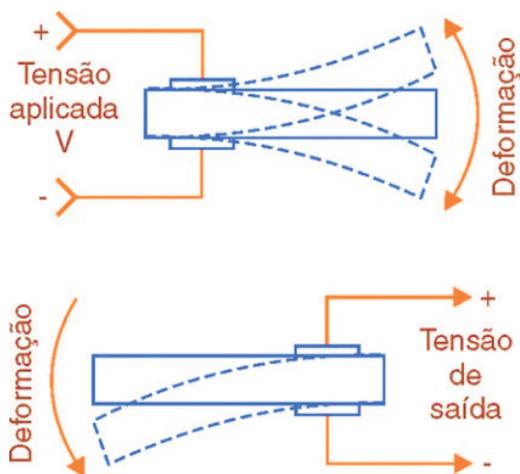


Figura 4 – Ilustração demonstrando o efeito piezoelétrico.

Fonte: (ARMENDANI, 2016).

Os dispositivos piezoelétricos têm uma ampla gama de aplicações, desde a condução elétrica em grafenos até sistemas híbridos em estradas para geração de eletricidade local, carregamento de dispositivos médicos, monitoramento por sensores, sonares e outras aplicações que exploram sua capacidade de converter energia mecânica em energia elétrica (ZHANG, 2015), (HARB, 2011). Nas Figuras 5 (a) e (b) são mostradas ilustrações esquemáticas do sistema do módulo piezoelétrico através de suas vistas, a superior e a lateral, respectivamente (LIU et al., 2011).

Um estudo realizado com o modelo piezoelétrico da Figura 6 apresenta resultados de tensão gerada de acordo com a frequência de vibração e o número de dispositivos piezoelétricos (PZT) em circuitos série e paralelo (LIU et al., 2011).

Para a medição da tensão de saída o sistema piezoelétrico é empregado a testes de vibração. Constituído por um agitador de vibração, amplificador de potência e um analisador de sinal dinâmico. O sinal de vibração é gerado a partir do analisador de sinal dinâmico, amplificado e utilizado para controlar a amplitude da frequência de vibração. Assim sendo, o sistema piezoelétrico sofre excitação e gera tensão de saída que será recolhida e registrada pelo analisador de sinal. Os resultados estão visíveis na Figura 6 e demonstram as diferenças entre a potência final dos sistemas piezoelétricos conectados em série e/ou paralelo (LIU et al., 2011).

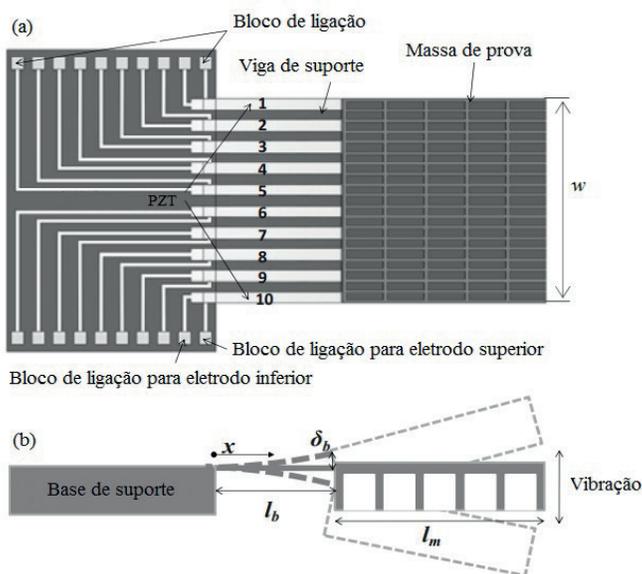


Figura 5 – Ilustração esquemática do sistema piezoelétrico: (a) vista superior e (b) vista lateral.

Fonte: (LIU et al., 2011).

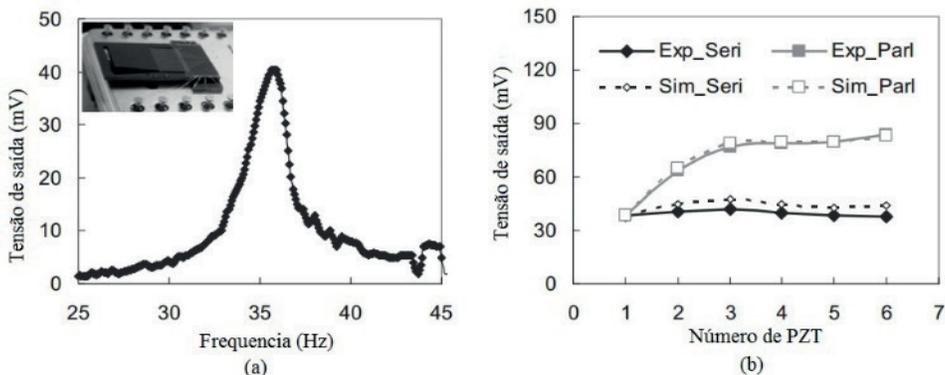


Figura 6 – Ilustração demonstrando (a) a Tensão de saída por frequência de um exemplar de PZT e da (b) Voltagem de saída por diferentes números de PZT conectados em série e em paralelo.

Fonte: (LIU et al., 2011).

Ao contrário do sistema linear em que apenas um módulo é excitado, o sistema não-linear impacta mais módulos com a mesma base de excitação por frequência. A variação do contato rígido altera a dependência de energia dada pelo diferencial do raio da curvatura do piezoelétrico (VIJAYAN et al., 2015).

As reações do feixe determinam a energia a ser gerada e, em seguida, é analisada a eficácia da energia gerada a partir da pressão piezoelétrica. O piezoelétrico pode ser adicionado ao feixe em qualquer configuração isomorfa ou bimorfa (VIJAYAN et al., 2015).

Outras investigações experimentais mostram um sensor sem fio (*wireless*) “*smart*” de baixo custo, que é utilizado para monitoramento de condições de equipamentos e diagnóstico de falhas. A ferramenta para mensurar a extração e acumulação de elementos, é no local onde está ocorrendo o trabalho em condições áspero/molhado (OSTESEVICIUS et al., 2015).

É impossível parar a vibração de curvatura de ferramenta estrutural. Isso permite um sistema autônomo de produção de energia sem cabos de suporte ou baterias. Para a estabilização do equipamento há uma dependência de um estabilizador CC (corrente contínua), cuja diferença de potencial é usada para suprir os componentes eletrônicos e os geradores que invertem a amplitude da tensão (ZHANG, 2015).

O subsistema de conversão de energia elétrica realiza a conversão de energia elétrica, gerada pelo transdutor de energia, em um microcontrolador de tensão. O transdutor primário, ou seja, piezoelétrico, converte vibrações mecânicas em energia elétrica, que é variável e precisa de suficientemente larga amplitude. Em contrapartida o transdutor secundário, o qual converte a tensão variável em constante e contínua, pode ser modificada. Essa proposta de um sensor *wireless* de baixa potência possui a função de monitorar a necessidade de ferramentas em que o suprimento de energia é limitado (OSTESEVICIUS et al., 2015).

## Eletromagnetismo

A conexão entre eletricidade e magnetismo foi estabelecida pela primeira vez em 1820 por Hans Oersted. Observou-se que uma corrente elétrica circulando em um fio causava deflexão em uma agulha magnética de bússola. Essa descoberta inicial foi fundamental para o desenvolvimento posterior das aplicações do eletromagnetismo (HARB, 2011).

Em 1831, Michael Faraday expandiu esse campo ao descobrir que uma diferença de potencial é induzida nas extremidades de um condutor quando ele se desloca através de um campo magnético. Essa descoberta levou à formulação da lei de Faraday, que estabelece que a força eletromotriz induzida em um circuito, é proporcional à taxa de variação temporal do fluxo magnético através do circuito. No mesmo ano, Faraday inventou o primeiro gerador de corrente contínua, que consistia em uma placa de cobre girando entre polos magnéticos (HARB, 2011).

A partir da década de 1930, com base nas descobertas de Faraday sobre a indução eletromagnética, o acoplamento magnético começou a ser amplamente utilizado para a geração de eletricidade e para melhorar o desempenho de dispositivos eletrônicos. Este princípio é aplicado em diversos sistemas, como por exemplo a alimentação de relógios por meio da conversão de movimentos humanos em energia rotativa, sistemas autoalimentados para bicicletas por meio de pedais, turbinas de água e monitoramento de equipamentos (ELVIN, 2012), (PRIYA, 2009).

Os dispositivos baseados no acoplamento magnético desempenham um papel crucial na utilização eficiente da energia mecânica e na geração de eletricidade em várias aplicações industriais e de consumo (ELVIN, 2012), (PRIYA, 2009).

Todos os sistemas eletromagnéticos de EH baseados em energia cinética podem ser classificados em três grupos de conversão magnética: **(i)** a conversão rotacional, **(ii)** a conversão oscilatória (vibracional), e **(iii)** conversão híbrida (transformando oscilatória em movimentos rotacionais) (RAHIMI et al., 2011).

Os **conversores rotacionais** utilizam-se de partes móveis e ímãs permanentes para a geração do fluxo magnético. Neste caso, é necessário um projeto dedicado da parte eletrônica para maior eficiência de conversão. Estes modelos possuem bom desempenho em baixas frequências e seus picos de tensão de saída são relativamente pequenos (DINULOVIC et al., 2015), (RAHIMI et al., 2011).

Os **conversores oscilatórios** são baseados em sistemas massa-mola-amortecedor (do inglês, *mass-spring-damper* - MSD), onde os ímãs permanentes são utilizados como massa oscilatória. Geralmente, esse tipo de conversor é utilizado em sistemas de baixa frequência e, é caracterizado pela baixa densidade de energia (DINULOVIC et al., 2015).

Os **conversores híbridos** usam um rotor que transforma vibração linear em rotação. Os conversores rotacionais são aplicáveis em sistemas que possuem uma frequência a

partir de 1 até 400 krpm. Esse tipo de conversor tem sido amplamente utilizado em relógios (DINULOVIC et al., 2015).

Um transdutor eletromagnético é composto de um rotor (parte móvel) e uma parte estacionária. A tensão induzida é controlada usando alimentação via sistema eletromagnético. A tensão CA (corrente alternada) é convertida em CC e levada a um regulador de tensão de saída. A equação a seguir pode ser utilizada para calcular os parâmetros analíticos para obter uma visão sobre o gerador (DINULOVIC et al., 2015):

$$V_{oc} \sim (R_0^2 - R_i^2) \times \left( \frac{T_{pm}}{T_{pm} + T_{ag} + T_c} Br \right) p N \omega$$

onde  $V_{oc}$  é a tensão do circuito aberto,  $R_0$  o raio externo da bobina,  $R_i$  o raio interno da bobina,  $T_{pm}$  a espessura do ímã permanente,  $T_{ag}$  a espessura do espaço de ar,  $T_c$  a espessura do sistema de bobina,  $Br$  o remanescente do ímã permanente,  $p$  o número de polos,  $N$  o número de voltas/polo e  $\omega$  a velocidade angular.

O sistema eletromagnético consiste em rotor e estator. Uma alta saturação da densidade de fluxo evita a saturação dos ímãs em um dispositivo de *Energy Harvesting*. Para um bom desempenho, é importante encontrar um acerto entre a indutância elétrica e a resistência das molas (DINULOVIC et al., 2015).

O sistema de conversão por movimentos é baseado em rotação, onde a conversão é iniciada por pressão de um botão. O movimento do botão é linear, por conseguinte, um mecanismo para o movimento de conversão é necessário para converter um movimento linear do botão num movimento de rotação do sistema magnético.

A Figura 7 ilustra o mecanismo de conversão da engrenagem com uma cremalheira redonda. A embreagem unidirecional faz parte do sistema, uma vez que o sinal de tensão negativa for gerado resulta em uma tensão de saída nula. Os ímãs permanentes rodam acima do sistema de bobina incorporado, dessa maneira a tensão elétrica é induzida (RAHIMI et al., 2011).

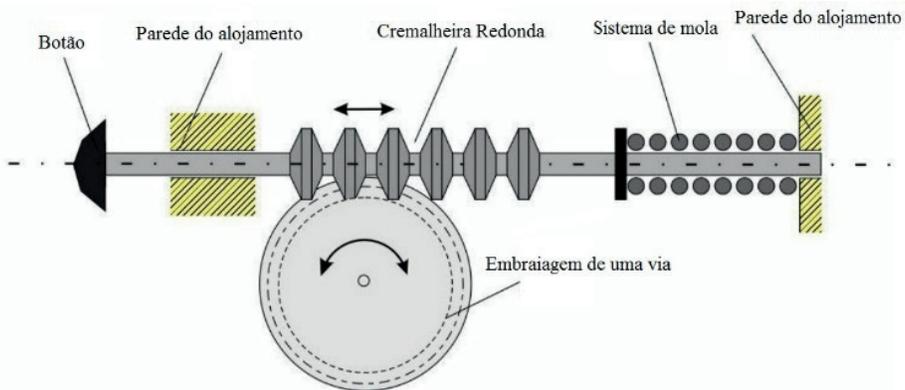


Figura 7 – Mecanismo cinético para a conversão do movimento.

Fonte: (RAHIMI et al., 2011).

A energia cinética resultante das vibrações do sistema é convertida em energia elétrica, onde a tensão induzida é gerada através de uma bobina, devido ao movimento de vibração externo de um ímã. A tensão CA gerada é convertida em CC e, posteriormente, é armazenada num capacitor atuando como bateria (RAHIMI et al., 2011).

## Radiofrequência (RF)

As radiofrequências são formas de energia elétrica transmitidas pelo ar, estando vastamente presentes no ambiente cotidiano. O principal objetivo do estudo dessa tecnologia, é sua utilização na geração de energia elétrica para dispositivos pequenos, aproveitando a energia disponível no ambiente (ELVIN, 2012), (PRIYA, 2009).

Um circuito especializado para geração de energia, conectado a uma antena receptora, pode captar a energia de radiofrequência livre no ambiente e convertê-la em uma tensão contínua utilizável para alimentar dispositivos menores. O uso da tecnologia de radiofrequência é especialmente relevante para a geração de energia destinada a dispositivos de pequeno porte, aproveitando uma fonte de energia disponível e abundante no ambiente (ELVIN, 2012), (PRIYA, 2009).

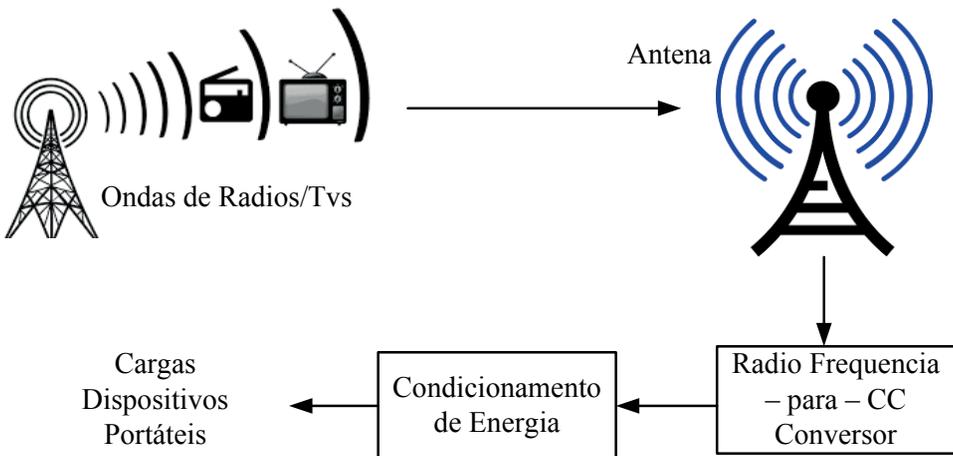


Figura 8 – Demonstrativo da aplicação de RF para *Energy Harvesting*

Fonte: (PRIYA, 2009).

## Energia Solar

As células solares apresentam características distintas em comparação com outros métodos de captação de energia que para otimizar seu desempenho, é crucial encontrar o ponto de operação ideal onde a energia é extraída do painel solar.

Uma abordagem, para melhorar a eficiência da energia solar é combinar tecnologias de *Energy Harvesting*, aproveitando diferentes fontes de energia de forma complementar. Em muitos casos, pequenas placas solares são utilizadas para alimentar dispositivos de pequeno porte por exemplo, sistemas de iluminação, monitoramento e comunicação, além de diversas outras aplicações em indústria e veículos.

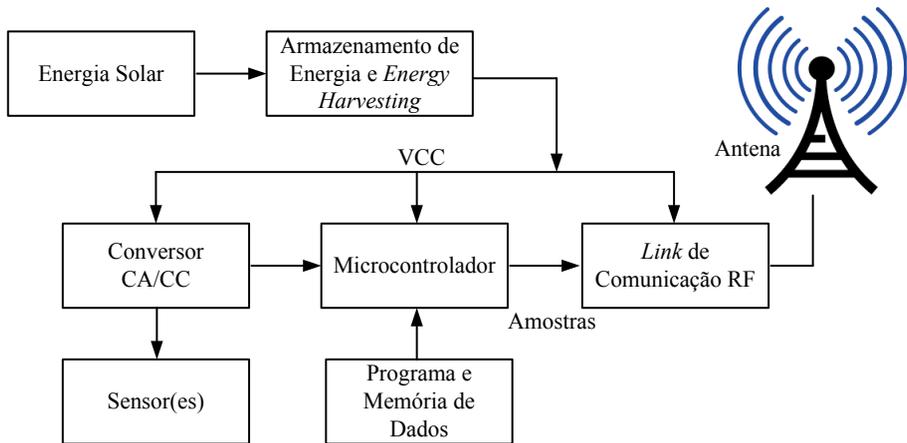


Figura 9 –Energia Solar em um sensor autônomo.

Fonte: (ELVIN, 2012).

Nessa perspectiva, novas tecnologias fotovoltaicas têm sido introduzidas, como os filmes fotovoltaicos orgânicos (OPV), que são leves, semitransparentes e eficientes em aplicações de microgeração interna, ganhando visibilidade no mercado e criando uma demanda crescente por equipamentos que viabilizem sua aplicação em larga escala. A tecnologia OPV, com sua alta eficiência na conversão da iluminação interna em energia elétrica (> 30 %), apresenta-se como uma alternativa promissora (TAN *et. al.*, 2023), (BITO *et. al.*, 2017).

No estudo de (ABDELNOUR *et. al.*, 2019) foi desenvolvido um sistema autoalimentado utilizando tecnologia de células fotovoltaicas orgânicas (OPV) para alimentar um sensor RFID do tipo SL900A-TAG. Um aspecto inovador deste trabalho, foi a fabricação por impressão de um supercapacitor flexível diretamente no OPV, formando assim, um módulo de energia integrado monoliticamente. Esse avanço possibilita a geração e armazenamento de energia de forma compacta e eficiente, adequada para aplicações onde o espaço e a flexibilidade são críticos, como em dispositivos portáteis e vestíveis (*wearables*).

## ENERGY HARVESTING: METÓDO E TÉCNICA

Nesta seção, serão expostos os métodos principais de conversão para captação de energia, destacando seu potencial para o desenvolvimento e aplicação em *self-powered* com base nas referências estudadas.

### Conversão de Energia por Termoeletricidade

O dispositivo termoeletrico (TEG) oferece diversas vantagens para *Energy Harvesting*, sendo uma das mais destacadas a ausência de partes móveis, que torna a conversão de energia silenciosa e livre de vibrações, ideal para aplicações em ambientes sensíveis ou com restrições de ruído. Além disso, a termoeletricidade pode operar em uma ampla faixa de temperaturas, desde condições criogênicas até centenas de graus Celsius. A robustez dos materiais termoeletricos, resistentes a vibrações e choques, e a escalabilidade da tecnologia, que pode ser ajustada para diferentes dispositivos e aplicações, também são pontos fortes. Pesquisas recentes destacam várias aplicações promissoras de TEG para EH em sensores autônomos e dispositivos autoalimentados com ênfase para as aplicações listadas/mencionadas a seguir:

**Sensores de Vibração e Monitoramento Estrutural:** (1) **Monitoramento de pontes e edifícios** - Utilizando o calor gerado pela radiação solar ou pela fricção do vento para alimentar sensores que monitoram a integridade estrutural e detectam rachaduras ou outros problemas. (2) **Monitoramento de máquinas rotativas** - Aproveitando o calor gerado pelo atrito ou pelo processo de produção para alimentar sensores que monitoram o desempenho da máquina e detectam falhas.

**Sensores Ambientais e de Monitoramento:** (1) **Monitoramento da qualidade do ar:** Utilizando o calor gerado pela radiação solar ou pela atividade humana para alimentar sensores que monitoram a qualidade do ar e detectam poluentes. (2) **Monitoramento de temperatura e umidade:** Aproveitando o calor gerado pelo ambiente ou por fontes artificiais para alimentar sensores que monitoram a temperatura e a umidade do ambiente.

**Captação de Energia Cinética em Dispositivos Vestíveis:** (1) **Coleta de energia do corpo humano:** Utilizando o calor gerado pelo corpo humano para alimentar dispositivos vestíveis como *smartwatches* e rastreadores de *fitness*. (2) **Coleta de energia da atividade física:** Aproveitando o calor gerado pela atividade física para alimentar dispositivos vestíveis similares.

**Sistemas de Energia e Microgeração:** (1) **Captação de energia de fontes renováveis:** Utilizando o calor gerado pelo sol, biomassa ou outras fontes renováveis para alimentar microgeradores que fornecem energia para um determinado dispositivo. (2) **Captação de energia de processos industriais:** Aproveitando o calor gerado nos processos industriais para alimentar principalmente microgeradores e/ou sensores autônomos.

**Aplicações Espaciais e Aeroespaciais: (1) Alimentação de satélites e espaçonaves:** Utilizando o calor gerado por fontes radioativas ou pelo sol, para alimentar satélites e espaçonaves que operam em ambientes com pouca ou nenhuma energia solar disponível. **(2) Alimentação de instrumentos científicos:** Aproveitando o calor gerado pelo ambiente ou por fontes artificiais para alimentar instrumentos científicos que operam em ambientes extremos.

É importante frisar que a escolha do TEG depende da fonte de calor disponível em sua aplicação, da quantidade de energia necessária e dos requisitos específicos do dispositivo. Embora a tecnologia termoelétrica ainda esteja em desenvolvimento, com pesquisas em andamento para melhorar a eficiência e reduzir o custo dos materiais, é claro que a tecnologia termoelétrica tem capacidade para ser usado em várias situações diferentes. Em particular, para aplicações espaciais e aeroespaciais, onde a robustez e a eficiência em ambientes extremos são cruciais.

## Conversão de Energia por Piezoeletricidade

O piezoelétrico é uma solução que permite alimentar sensores autônomos e dispositivos autoalimentados, aproveitando a energia mecânica de fontes como vibrações, pressão e movimentos corporais para convertê-la em energia elétrica utilizável ou aproveitável. Entre os benefícios, destacam-se o baixo custo de manutenção ao eliminar a necessidade de substituição frequente de baterias, reduzindo os custos operacionais. Os elementos piezoelétricos são conhecidos pela robustez e durabilidade, sendo capazes de resistir a condições adversas e a aumentar a vida útil dos dispositivos. Destaca-se que a quantidade de energia gerada depende da amplitude e da frequência das vibrações ou da força aplicada, o que torna crucial otimizar o design para maximizar a eficiência energética. A versatilidade da tecnologia permite a captação de energia de várias fontes mecânicas, ampliando suas possibilidades de aplicação. Como por exemplo pode-se citar as seguintes aplicações:

**Sensores de Vibração e Monitoramento Estrutural:** Implementam-se sensores autônomos para monitorar vibrações e fadiga em estruturas como pontes, edifícios e equipamentos rotativos. A energia mecânica das vibrações é convertida em energia elétrica pelos elementos piezoelétricos, eliminando a necessidade de baterias.

**Sensores de Pressão e Força:** Utilizam-se para medir pressão, força e deformação em diversas aplicações, incluindo monitoramento de pneus e interfaces homem-máquina. A energia mecânica da pressão ou força aplicada é convertida em energia elétrica pelos elementos piezoelétricos, alimentando os sensores diretamente.

**Coleta de Energia Cinética em Dispositivos Vestíveis:** Implementam-se sensores piezoelétricos em dispositivos vestíveis para captar energia cinética do movimento humano, como passos, caminhadas e corridas. Essa energia é convertida e armazenada para alimentar ou transmitir para outros dispositivos.

**Sensores Autônomos para Monitoramento Ambiental:** são empregados no monitoramento de parâmetros ambientais, tais como a temperatura, vento e fluxo de água. As vibrações causadas por mudanças ambientais são convertidas em energia elétrica pelos elementos piezoelétricos, garantindo autonomia aos sensores.

**Sistemas de Energia e Microgeração:** Empregam dispositivos de EH para captar energia de vibrações em máquinas industriais e equipamentos rotativos. Essa energia é convertida em eletricidade que pode ser armazenada ou usada diretamente.

O piezoelétrico representa uma tecnologia promissora para o desenvolvimento de sensores autônomos e dispositivos *self-powered*, no avanço da tecnologia autônoma e sustentável, destacando a importância desse aspecto para investigações e avanços futuros no campo do sensoriamento inteligente.

## Conversão de Energia por Acoplamento Eletromagnético

O acoplamento eletromagnético oferece diversas vantagens significativas, incluindo: **(i)** alta eficiência de conversão, isto significa, a capacidade de converter uma grande porcentagem da energia mecânica em energia elétrica, permitindo alimentar dispositivos com menor movimento ou vibração; **(ii)** versatilidade, conseqüentemente, aplicável a diversas fontes de movimento, como vibrações, rotações e movimentos lineares; **(iii)** robustez, ou em outros termos, os sistemas de acoplamento eletromagnético são robustos e resilientes a vibrações e choques, tornando-os ideais para ambientes hostis; e **(iv)** escalabilidade, ou seja, sendo facilmente escaláveis para atender às necessidades variadas de dispositivos e aplicações distintas. Por exemplo:

**Sensores de Vibração e Monitoramento Estrutural: (1) Monitoramento de pontes e edifícios:** Utilização da energia das vibrações estruturais para alimentar sensores que monitoram a integridade das estruturas, detectando rachaduras e outros problemas. **(2) Monitoramento de máquinas rotativas:** Captação de energia das vibrações em motores, turbinas e outras máquinas rotativas para alimentar sensores que monitoram o desempenho e detectam falhas.

**Sensores de Pressão e Força: (1) Monitoramento da pressão em pneus:** Aproveitamento da energia da pressão dos pneus para alimentar sensores que monitoram a pressão em tempo real, alertando pneus com baixa pressão. **(2) Medição de força em plataformas vibratórias:** Captação de energia da força aplicada em plataformas vibratórias para alimentar sensores que medem a força e oferecem *feedback* aos usuários.

**Captação de Energia Cinética em Dispositivos Vestíveis:** Uso da energia dos movimentos dos pés durante caminhadas e corridas para alimentar dispositivos vestíveis como *smartwatches* e rastreadores de *fitness*.

**Sensores Ambientais e de Monitoramento: (1) Monitoramento da qualidade do ar:** Utilização da energia das vibrações do ar para alimentar sensores que monitoram

a qualidade do ar e detectam poluentes. **(2) Monitoramento de temperatura e umidade:** Captação de energia das vibrações do ar para alimentar sensores que monitoram temperatura e umidade ambiental.

**Sistemas de Energia e Microgeração: (1) Captação de energia das vibrações:** em máquinas industriais para alimentar microgeradores e sensores autônomos. **(2) Aproveitamento da energia das ondas:** para alimentar microgeradores e sensores autônomos.

A escolha da aplicação mais adequada para o acoplamento eletromagnético depende da fonte de energia mecânica disponível, da quantidade necessária de energia e dos requisitos específicos do dispositivo ou sensor em questão. Esta tecnologia está em constante desenvolvimento, com novos materiais e designs sendo explorados para aprimorar eficiência e versatilidade no campo dos dispositivos *self-powered* e sensores autônomos.

## Conversão de Energia por Radiofrequência (RF)

Aplicações de RF para *Energy Harvesting* tem como principal benefício o baixo custo de manutenção ao eliminar a necessidade de substituição frequente de baterias, reduzindo assim os custos operacionais. A RF permite escalabilidade e implementação eficiente de redes de sensores sem infraestrutura de energia complexa. A flexibilidade dessa tecnologia possibilita a instalação de sensores em locais remotos ou de difícil acesso, expandindo as capacidades de monitoramento e coleta de dados sem intervenção humana. Algumas das aplicações do RF em EH para alimentação de sensores autônomos e dispositivos *self-powered* pode ser visto a seguir:

**Sensores Ambientais e de Monitoramento:** Implementam-se sensores autônomos para monitorar temperatura, umidade, pressão, qualidade do ar e outros parâmetros ambientais em locais remotos ou de difícil acesso. A energia RF capturada de torres de celular, Wi-Fi ou outras transmissões de rádio, é alimenta os sensores, eliminando a necessidade de baterias e reduzindo a necessidade de manutenção.

**Rastreamento de Ativos e Cadeia de Suprimentos:** Utilizam-se etiquetas RFID ou sensores autônomos para rastrear o movimento de ativos, mercadorias ou animais em tempo real. A energia RF capturada do ambiente permite o rastreamento contínuo sem a necessidade de recarga manual.

**Internet das Coisas (IoT) e Redes de Sensores Sem Fio:** Criam-se redes de sensores IoT autônomos alimentados por RF para coletar dados de múltiplos pontos de interesse. A energia RF elimina a necessidade de fiação e baterias, facilitando a implantação e escalabilidade da rede.

**Sensores Vestíveis e Monitoramento de Saúde:** Implementam-se sensores vestíveis autônomos para monitorar sinais vitais, atividade física e outros parâmetros de saúde. A energia RF capturada do ambiente viabiliza o monitoramento contínuo e sem fio.

**Sistemas de Energia e Microgeração:** Utilizam-se dispositivos de RF para EH para capturar energia de fontes ambientais como transmissões de rádio, Wi-Fi ou energia solar, armazenando-a em acumuladores de energia e/ou alimentando dispositivos autônomos.

Por fim, o RF para *Energy Harvesting* apresenta um potencial significativo para transformar o desenvolvimento e a implementação de sensores autônomos e dispositivos *self-powered*, proporcionando novas oportunidades em áreas como agricultura, saúde, monitoramento ambiental, logística e indústria. Destaca-se que a combinação desta tecnologia com outras fontes energéticas, como baterias ou energia solar, pode aumentar a confiabilidade e a autonomia ampliando ainda mais suas aplicações.

## Conversão de Energia por Energia Solar

A energia solar é uma fonte renovável e abundante, sendo um sistema de baixo custo de manutenção e alta escalabilidade para diferentes aplicações. As pesquisas nesta temática têm explorado o aproveitamento da energia solar, em diversas aplicações, incentivando o desenvolvimento de novas tecnologias nesse campo. Inúmeros exemplos são descritos a seguir:

**Sensores de Iluminação:** Utilizam energia da luz solar interna para alimentar sensores que regulam automaticamente a iluminação artificial, otimizando o consumo energético em ambientes como escritórios e residências (*Indoor Lighting Systems*).

**Sensores de Qualidade do Ar:** Alimentados pela luz solar interna, monitoram níveis de poluentes e CO<sub>2</sub>, garantindo ambientes mais saudáveis em locais públicos (*Indoor Lighting Systems*).

**Sensores de Temperatura e Umidade:** Utilizam energia solar interna para monitorar condições climáticas, ajustando sistemas de HVAC e garantindo conforto térmico (*Indoor Lighting Systems*).

**Dispositivos Vestíveis:** Integrados com painéis solares, permitem o funcionamento contínuo de dispositivos como *smartwatches* e rastreadores de *fitness* através da energia solar captada por janelas ou claraboias (*Indoor Lighting Systems*).

**Domótica:** Dispositivos alimentados por painéis solares integrados, que controlam dispositivos domésticos como luzes e termostatos, interruptores, etc. (*Indoor Lighting Systems*).

**Sensores Ambientais:** Utilizam energia solar direta para monitorar parâmetros climáticos como temperatura e umidade, essenciais para aplicações meteorológicas e sistemas de irrigação (*Outdoor System*).

**Sensores de Segurança:** Equipados com células solares, monitoram movimentos em áreas externas, aumentando a segurança e a eficiência energética (*Outdoor System*).

**Sensores de Monitoramento de Infraestrutura:** Alimentados por energia solar direta, monitoram a integridade de estruturas como pontes e edifícios, garantindo segurança e manutenção adequadas (*Outdoor System*).

**Dispositivos de Comunicação e Rede:** Roteadores Wi-Fi e repetidores de celular solares fornecem conectividade em áreas remotas, operando de forma independente da rede elétrica tradicional (*Outdoor System*).

**Sistemas de Iluminação Pública:** Postes de luz solares captam energia durante o dia para iluminar ruas e espaços públicos à noite, reduzindo custos operacionais e impacto ambiental (*Outdoor System*).

Por fim, a Energia Solar tem um grande potencial para sua aplicação para EH e encontra-se em evolução com novos materiais e novas tecnologias que visam melhorar a eficiência e durabilidade dos painéis solares. Destaca-se que a escolha entre dispositivo de captação de energia solar (*indoor* ou *outdoor*) dependerá da disponibilidade de luz solar, da demanda energética, do local de instalação e dos requisitos do dispositivo a ser alimentado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Nesta seção, são apresentadas as considerações finais sobre os métodos de *Energy Harvesting* discutidos ao longo deste capítulo, assim como as perspectivas futuras para o desenvolvimento de sistemas *self-powered*.

Os métodos de captação de energia discutidos (termoeletricidade, piezoeletricidade, acoplamento magnético, radiofrequência e energia solar) têm demonstrado potencial significativo para aplicações em *self-powered*. Cada um desses métodos apresenta vantagens e desvantagens, desde a alta relação W/kg e baixa eficiência dos TEG, até a fragilidade e versatilidade das células fotovoltaicas para aplicação em ambientes (*indoor* ou *outdoor*).

Destaca-se que a *Energy Harvesting* está em constante evolução, proporcionando oportunidades contínuas de pesquisa e desenvolvimento. O crescente interesse em sistemas *self-powered* tem impulsionado melhorias na eficiência dos dispositivos e do potencial de captação de energia ampliado significativamente o campo de utilização dos dispositivos baseados em EH. A Figura 10 ilustra diversas aplicações com base no consumo de energia, destacando a versatilidade do método de EH para distintos cenários de acordo com o uso (FOELKEL, 2019).

As perspectivas futuras para essas tecnologias incluem desafios e oportunidades significativos. Entre os desafios estão a melhoria da eficiência energética, a redução de custos, a adaptação a diferentes condições de uso, o desenvolvimento de novos materiais, e integração com outras fontes de energia renovável.

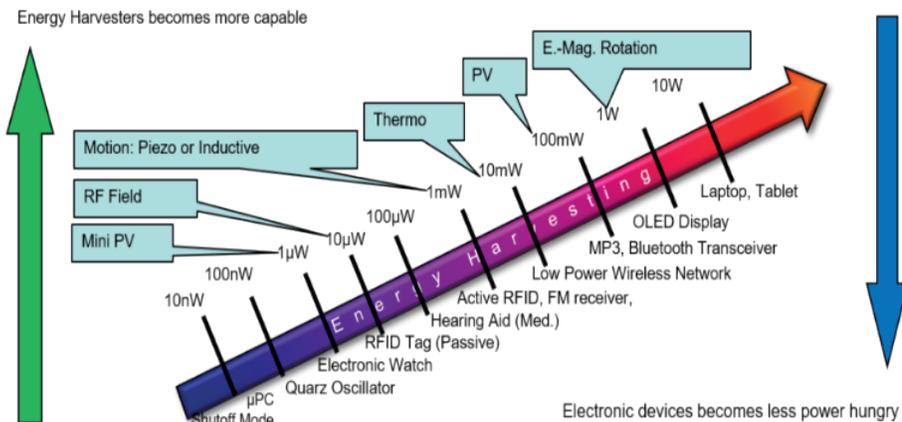


Figura 10 – *Energy Harvesting*: Método de captação versus Potência requerida.

Fonte: (FOELKEL, 2019).

Por fim, a produção e o aproveitamento de energia a partir de fontes de energia renovável ou reaproveitamento de energia são cruciais para o desenvolvimento sustentável. Todas as técnicas de EH têm potencial para contribuir na promoção da sustentabilidade energética. No entanto, é importante destacar que alguns métodos podem ainda se encontram em fase de desenvolvimento tecnológico com alto custo para aplicações em larga escala. A redução de custos por meio de pesquisas é essencial para viabilizar a disseminação dessas tecnologias no mercado.

## AGRADECIMENTOS & FOMENTO

Esta pesquisa foi parcialmente apoiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) de N°407531/2018-1, 303293/2020-9, 405385/2022-6, 405350/2022-8 e 40666/2022-3. Os autores gostariam de agradecer a FACEPE (Fundação de Amparo à Pesquisa de Pernambuco) ao longo do projeto com referências APQ-0616-9.25/21 e APQ-0642-9.25/22. O.H.A.J. agradece ao apoio do Programa em Engenharia de Sistemas Energéticos (PPGESE) Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). M.R.C. foi financiado pela UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) por meio do Auxílio Início de Carreira (Docente), FAEPEX, processo número 2095/23, e Programa de Incentivo a Novos Docentes (PIND), FAEPEX, processo número 2419/23, assim como FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), processo número 2021/11380-5.

## REFERÊNCIAS

- ABDELNOUR, A.; HALLET, A.; DKHIL, S.B.; PIERRON, P.; KADDOUR, D.; TEDJINI, S. Energy harvesting based on printed organic photovoltaic cells for RFID applications. In: Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), Pisa, Italy, 25–27 September 2019. Pisa: IEEE, 2019. p. 110-112. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/Rfid-Ta.2019.8892206>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- ANDO JUNIOR, O. H. et al. Proposal of a Thermoelectric Microgenerator based on Seebeck Effect to Energy Harvesting in Industrial Processes. *Renewable Energy & Power Quality Journal (RE&PQJ)*, v. 1, p. 227-333, 2014.
- ARMENDANI, Willian Alves; et al. Conhecendo a Piezoeletricidade, uma nova forma de geração de energia elétrica. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 1. Vol. 9. pp 314-320, outubro / novembro de 2016. ISSN: 2448-0959.
- BITO, J.; HESTER, J.G.; TENTZERIS, M.M. A fully autonomous ultra-low power hybrid RF/Photovoltaic energy harvesting system with -25 dbm sensitivity. In: Proceedings of the 2017 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), Taipei, Taiwan, 10–12 May 2017. Taipei: IEEE, 2017. p. 1-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/Wpt.2017.7953858>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- CAMACHO-MEDINA, P.; OLIVARES-ROBLES, M. A.; VARGAS-ALMEIDA, A.; SOLORIO-ORDAZ, F. Maximum Power of Thermally and Electrically Coupled Thermoelectric Generators. *Entropy*, vol. 16, n. 5, pp. 2890-2903, 2014.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Índice ODS 2021 para América Latina y el Caribe.pdf. Bogotá, Colombia, ago. 2022.
- DINULOVIC, Dragan; BROOKS, Michael; HAUG, Martin; PETROVIC, Tomislav. Rotational Electromagnetic Energy Harvesting System. *Physics Procedia*, vol. 75, pp. 1244-1251, 2015.
- ELVIN, Niell; ERTURK, Alper. Advances in Energy Harvesting Methods. In: *Advances in Energy Harvesting Methods*. Capítulo: p. 241-369. 2012.
- FARMER, Justin R. A comparison of power harvesting techniques and related energy storage issues. 2007. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Virginia Polytechnic Institute and State Univ., Blacksburg.
- FOELKEL, L. Energy harvesting is not fiction anymore. In: PROCEEDINGS OF THE 2ND PCNS, Bucharest, Romania, 10–13 Sept. 2019.
- GAO, Min; ROWE, D. M. Conversion Efficiency of Thermoelectric Combustion Systems. *IEEE Transactions on Energy*, v. 22, n. 2, p. 528-534, jun. 2007.
- HARB, Adnan. Energy Harvesting: State-of-the-art. *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 2641-2654, 2011.
- IEA; IRENA; UNSD; World Bank; WHO. Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2022. Washington DC, 2022.
- IZIDORO, C. L.; ANDO JUNIOR, O. H.; CARMO, J. P.; SCHAEFFER, L. Characterization of thermoelectric generator for energy harvesting. Measurement, Available online 8 January 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.01.010>. Acesso em: 25 jun. 2024.
- KARABETOGLU, S.; SISMAN, A. Characterization of a thermoelectric generator at low temperatures. *Energy Conversion and Management: Elsevier Science*, vol. 62, pp. 47-50, abril 2012.

KIM, Bunthern; BUN, Long et al. Modeling and tuning of MPPT Controllers for a Thermoelectric Generator. In: 2014 First International Conference on Green Energy, p. 220-226, 2014.

LIU, Huicong; QUAN, Changenn; TAY, Cho Jui; KOBAYASHI, Takeshi; LEE, Chngkuo. A MEMS-based piezoelectric cantilever pattern with PZT thin film array for harvesting energy from low frequency vibrations. *Physics Procedia*, vol. 19, pp. 129-133, 2011.

OMER, S. A.; INFIELD, D. G. Design optimization of thermoelectric devices for solar power generation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, UK, v. 53, p. 67-82, 1998.

OSTESEVICIUS, Vytautas et al. Cutting tool vibration energy harvesting for wireless applications. *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 233, pp. 310-318, 2015.

PEERAPONG, Prachuab; LIMMEECHOKCHAI, Bundit. Optimal Photovoltaic Resources Harvesting in Grid-connected Residential Rooftop and in Commercial Buildings: Cases of Thailand. *Energy Procedia*, vol. 79, novembro 2015, pp. 39-46.

PRIYA, Shashank; INMAN, Daniel J. Energy Harvesting Technologies. In: *Energy Harvesting Technologies*. Capítulo: p. 3-128, 325-350, 459-488. 2009.

RAHIMI, A.; ZORLU, Ö.; MUHATAROGLU, A.; KÜLAH, H. A compact Electromagnetic Vibration Harvesting System with High Performance Interface Electronics. *Procedia Engineering*, vol. 25, pp. 215-218, 2011.

RIFFAT, S. B.; MA, X. Thermoelectrics: a review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, UK, v. 23, p. 913-935, 2003.

RUCKS, S.; LEITE, L.; FERREIRA, I.; SALVE, S.; MUNIZ, E. Relatório Anual 2022 ONU Brasil. Nações Unidas, Brasília, DF, mar. 2023.

ROWE, D. M. CRC handbook of thermoelectrics. CRC Press LLC, Estados Unidos da América, 1995.

SACHS, J.; KROLL, C.; LAFORTUNE, G.; FULLER, G.; WOELM, F. Sustainable Development Report 2022. 1. ed. Cambridge University Press, 2022. doi: 10.1017/9781009210058.

SUTIKNO, T.; APRILIANO, R.A.; PURNAMA, E.H.S. Application of non-isolated bidirectional DC–DC converters for renewable and sustainable energy systems: A Review. *Clean Energy*, v. 7, p. 293-311, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/Ce/Zkac070>. Acesso em: 25 jun. 2024.

TAN, W.-H.; MOHAMAD-SALEH, J. Critical Review on Interrelationship of Electro-Devices in PV Solar Systems with Their Evolution and Future Prospects for MPPT Applications. *Energies* 2023, 16, 850. <https://doi.org/10.3390/en16020850>. Acesso em: 25 jun. 2024.

VIJAYAN, K.; FRISWELL, M. I.; KHODAPRAST, H. Haddad; ADHIKARI, S. Non-linear energy harvesting from coupled impacting beams. *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 96-97, pp. 101-109, 2015.

WORLD POPULATION REVIEW. Gini Coefficient by Country 2022. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ZHANG, H.; MA, T. Roles of the Excitation in Harvesting Energy from Vibrations. *PLoS One*, USA, v. 10, p. 1-10, out. 2015.

# INSERÇÃO DAS PRAÇAS DENTRO DA MALHA URBANA DA CIDADE DE MANAUS/AM: UMA PERSPECTIVA PARA AUXILIAR NA GESTÃO DAS ÁREAS VERDES

Data de submissão: 10/07/2024

Data de aceite: 01/08/2024

### **Brenna Paula Boaventura Corrêa Cavalcanti**

Contadora. Mestre em Design. Técnica Administrativa em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Amazonas Manaus/AM  
<http://lattes.cnpq.br/9902359337126603>

### **Rodrigo Flemelly Peres Fermin**

Graduando de Licenciatura em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Amazonas Manaus/AM  
<http://lattes.cnpq.br/4128981724481906>

### **Yêda Maria Boaventura Corrêa Arruda**

Engenheira Florestal e Bióloga. Doutora em Ciências de Florestas Tropicais. Professora do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Amazonas Manaus/AM  
<http://lattes.cnpq.br/0546454617072726>

**RESUMO:** Tida como um dos principais e mais importantes ícones urbanos, as praças desempenharam diversas funções ao longo da história, além da estética e ecológica, propiciam a sociabilização e qualidade

de vida da população de seu entorno, assim sendo, esses elementos urbanos devem estar inseridos em espaços que favoreçam sua utilização pela comunidade. A partir disso, forma-se o objetivo deste trabalho, que foi avaliar a inserção das praças dentro da malha viária urbana da cidade de Manaus/AM com o intuito de traçar um panorama recém-atualizado da condição desses espaços tão importantes para os centros urbanos. Realizou-se uma pesquisa documental (física e digital), nos órgãos públicos e em seus web sites, com a elaboração de um formulário que permitisse a coleta dos dados de cada praça e por fim, todo o levantamento e mapeamento foi feito por meio da ferramenta de geolocalização Google Maps e Google Earth obedecendo as delimitações por zona distrital estabelecidas pelo Plano Diretor Urbano Ambiental da cidade. Das 174 praças oficiais de Manaus, 125 (72%) foram classificadas quanto a inserção dentro da malha viária urbana mediante o seu desenho, 6 (3%) não foram classificadas, mais 6 (3%) foram extintas e 37 (21%) não foram encontradas. As praças “não classificadas” foram excluídas da *etapa de classificação* por não se adequarem a definição atual de praça. Das 125 praças “classificadas”, a predominância foi do tipo

3 (n = 43), seguida do tipo 2 (n = 32), tipo 1 (n = 26), tipo 4 (n = 23) e tipo 5 (n = 1). Foi possível traçar um panorama da situação das praças, permitindo avaliá-las e proceder a um (re)planejamento para revitalização desses espaços públicos, de acordo com o potencial de cada área e das necessidades da população de seu entorno e, (re)definir políticas públicas para a gestão dessas áreas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arborização; Desenho urbano; Gestão ambiental; Floresta urbana; Espaços públicos.

## INSERTION OF SQUARES WITHIN THE URBAN GRID OF THE CITY OF MANAUS/AM: A PERSPECTIVE TO HELP IN THE MANAGEMENT OF GREEN AREAS

**ABSTRACT:** Regarded as one of the main and most important urban icons, squares have performed several functions throughout history, in addition to aesthetic and ecological, they provide socialization and quality of life for the population in their surroundings, therefore, these urban elements must be inserted into spaces that favor their use by the community. From this, the objective of this work was formed, which was to evaluate the insertion of squares within the urban road network of the city of Manaus/AM with the aim of drawing a recently updated panorama of the condition of these spaces that are so important for urban centers. Documentary research (physical and digital) was carried out in public bodies and on their websites, with the elaboration of a form that allowed the collection of data from each square and finally, the entire survey and mapping was done through the geolocation tool Google Maps and Google Earth obeying the delimitations by district zone established by the city's Urban Environmental Master Plan. Of the 174 official squares in Manaus, 125 (72%) were classified according to their insertion within the urban road network based on their design, 6 (3%) were not classified, a further 6 (3%) were extinct and 37 (21%) were not found. "Unclassified" squares were excluded from the classification stage because they did not fit the current definition of square. Of the 125 "classified" squares, the predominance was type 3 (n = 43), followed by type 2 (n = 32), type 1 (n = 26), type 4 (n = 23) and type 5 (n = 1). It was possible to draw an overview of the situation of the squares, allowing them to be evaluated and (re)planned to revitalize these public spaces, according to the potential of each area and the needs of the surrounding population, and (re)define public policies for the management of these areas.

**KEYWORDS:** Afforestation; Urban design; Environmental management; Urban forest; Public spaces.

## INTRODUÇÃO

A praça teve sua origem na Europa, sendo uma tipologia decorrente da cultura urbana da época, associada à imagem de espaço livre, cercado de edificações (ECKER, 2020) e muito acessível à população urbana (REZENDE et al., 2020).

O termo "praça" implica em diversas definições, haja vista que no decorrer da história, sua estrutura, forma e modo como era utilizada, passou por transformações à medida que a sociedade evoluiu, desde os tempos da ágora (Grécia antiga) até os dias atuais (ARRUDA,

1988). A maior incorporação das praças no ambiente urbano permitiu que este espaço, além de reunir pessoas e discutir assuntos relativos à sociedade, fosse também utilizado como espaço de integração da comunidade, buscando um local de convivência, lazer, beleza no centro urbano, além de ganho de mobiliários, como luminárias, bancos, brinquedos e etc.

Lamas (1993) afirma que “a praça é o lugar intencional do encontro, da permanência, dos acontecimentos, de práticas sociais, de manifestações da vida urbana e comunitária e, conseqüentemente, de funções estruturantes e arquiteturas significativas”. Assim como Lima (2008) que não dissocia a praça como um espaço de encontro, lazer e discussões. Além destes novos atributos para a praça, Biondi e Lima Neto (2012) consideram uma das tipologias de áreas verdes mais acessíveis à população urbana, por possuírem equipamentos para atividades lúdicas e de lazer da população.

Os benefícios trazidos pelas praças públicas decorrem tanto da vegetação que pode ser abrigada por elas, quanto dos aspectos subjetivos relacionados à sua existência, como a influência positiva no psicológico da população, proporcionada pelo contato com a área verde e/ou pelo uso do espaço para o convívio social (MACEDO e ROBBIA, 2002).

As praças também configuram como um local estratégico para o planejamento da arborização urbana, visto que são locais de menor confronto com as construções urbanas e com as redes de transmissão de energia. Outra vantagem é seu tamanho, geralmente pequeno, possibilita maior distribuição pela cidade e proximidade de uma área verde a um maior número de habitantes.

De todos os espaços públicos, a praça é considerada mais acessível a todos pelo fato de estarem localizadas mais próximas as residências, permitindo o maior convívio de pessoas de diversas faixas etárias que podem se deslocar a pé, aproveitando o tempo livre e, também, a interação da população com meio ambiente (GUEDES, 2009).

Nos termos do inciso I, do artigo 99, do Código Civil brasileiro, a praça é um dos bens públicos de uso comum do povo (BRASIL, 2022). Nesse sentido, a praça é um ícone urbano primordial, tanto para os habitantes do seu entorno quanto para o desenho urbano da cidade, tendo em vista que ela vai desempenhar o papel de área verde, passando a ser um importante vetor de confortamento ambiental para as pessoas.

Outro aspecto a ser considerado de uma praça é que a mesma está correlacionada ao desenho urbano, bem como na forma de intervenção ou criação da paisagem urbana (MACEDO, 1986). De Angelis e Castro (2004) ressaltam que o desenho urbano é a forma adequada de tratar e encaminhar o processo de evolução e renovação dos fragmentos urbanos. Afirmando que a importância das vias públicas para as praças reside no fato de sua forma poder vir a ser definida por aquelas, determinando os diferentes tipos de configuração e salientam que a inserção da praça na trama urbana reside no fato de que seus contornos, definidos pelas vias públicas, acabam por definir não somente sua forma, mas também sua função.

Nesse contexto é preponderante rever o papel que a praça tem nos dias de hoje para a comunidade em que está inserida, pois os espaços públicos dentro da conjuntura do desenho urbano, não devem estar dissociadas da questão social. O principal objetivo do estudo foi avaliar a inserção das praças dentro da malha viária urbana da cidade de Manaus/AM.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na cidade de Manaus/AM e ocupa uma área de 11.401,092 km<sup>2</sup>. A capital amazonense localiza-se a margem esquerda do rio Negro, na confluência dos rios Negro e Solimões, a uma altitude média inferior a 100 metros do nível do mar e situa-se -3,14 de latitude e -60,03 de longitude (IBGE, 2024).

Segundo a classificação de Köppen, a cidade localiza-se em região climática do tipo Am, considerado tropical úmido com monção. A temperatura média anual é de 26,6 °C, variando de 22,9 °C a 33,2 °C na época de seca, e de 23,1 °C a 31,3 °C na época de chuva, com média de umidade relativa de 82% (RIBEIRO e ADIS, 1984). A precipitação média anual na região é superior a 2500 mm, com duas épocas distintas: seca, nos meses de junho a novembro (precipitação mensal: 42 - 162 mm) e chuva, nos meses de dezembro a maio (precipitação mensal: 211 - 300mm) (RIBEIRO e ADIS, 1984). Manaus é formada por quatro bacias (Educandos, São Raimundo, Tarumã e Puraquequara) e várias microbacias ou sub-bacias (IBGE, 2024). A vegetação é característica do bioma amazônico, com alta diversidade de espécies e alta abundância de indivíduos arbóreos por hectare, com presença de cipós e palmeiras (RIBEIRO et al., 1999).

A divisão político-administrativa da cidade consta de 63 bairros distribuídos em seis Zonas Territoriais Urbanas (MANAUS, 2014): Zona Centro-Sul; Zona Sul; Zona Centro-Oeste; Zona Leste; Zona Norte e Zona Oeste. A área urbana de Manaus é de 427 km<sup>2</sup> e com densidade populacional de 191,5 km<sup>2</sup> (IBGE, 2024).

O estudo baseou-se no documento disponibilizado no *site* oficial da Secretaria Municipal de Limpeza Pública (SEMUSLP) da Prefeitura do Município de Manaus (PMM), que consta de 210 praças distribuídas nas zonas territoriais urbanas.

A seguir, procedeu-se uma pesquisa documental (física e digital), nos órgãos públicos e em seus *web sites*, para informações complementares. Optou-se pela elaboração de um formulário que permitisse a coleta dos seguintes dados: (a) nome da praça (b) endereço de localização da praça (c) quantitativo dos equipamentos e estruturas presentes e (d) avaliação de sua inserção na malha viária da cidade

O mapeamento das praças na malha viária ocorreu considerando o traçado das vias na conformação das praças. Todo o levantamento foi feito por meio da ferramenta de geolocalização *Google Maps* e *Google Earth*. A seguir, realizou-se a classificação das praças quanto a inserção na malha viária conforme De Angelis e De Angelis Neto (2000) e Cavalcanti et al. (2021).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das 210 praças listadas do documento da SEMUSLP, foram avaliadas 174 (82,9%) praças. Várias condicionantes impactaram no período que a pesquisa foi realizada, como o retorno as atividades presenciais nos órgãos públicos após a pandemia mundial do COVID-19 e questões de arquivamento e administrativas destes locais. Uma enorme demanda do tempo foi em localizar os endereços de algumas praças, ou pela mudança dos nomes das ruas, ou o endereço incorreto disponibilizado. Estas restrições impactaram na análise das 36 praças da Zona Centro-Sul (Tabela 1).

As 210 praças oficiais de Manaus estão distribuídas de forma desigual nas zonas urbanas (Tabela 1), 106 (50,4%) delas estão somente em duas zonas — Sul e Centro-Sul, enquanto as outras 104 (49,6%) encontram-se distribuídas nas outras quatro zonas urbanas. As zonas urbanas mais populosas da cidade (Norte e Leste, Tabela 1) possuem apenas 25 praças cada uma e distribuídas em três e cinco bairros, respectivamente.

Zonas	No. de praças <sup>1</sup> (%)	No. de bairros <sup>2</sup>	População <sup>2</sup>	No. de praças estudadas (%)
CENTRO-SUL	53 (25,2)	5	161.089	17 (32,1)
SUL	53 (25,2)	18	267.415	53 (100,0)
CENTRO-OESTE	31 (14,8)	11	240.845	31 (100,0)
LESTE	25 (11,9)	11	494.319	25 (100,0)
NORTE	25 (11,9)	10	650.075	25 (100,0)
OESTE	23 (11,0)	8	228.467	23 (100,0)
<b>TOTAL</b>	<b>210</b>	<b>63</b>	<b>2.042.210</b>	<b>174 (82,9)</b>

TABELA 1. Número de praças e de bairros distribuídos por Zona Territorial Urbana da cidade de Manaus/AM, com o número estimado de habitantes. 1 – Dados obtidos da “Tabela da localização das praças de Manaus 2017”, publicados pela SEMUSLP/PMM. 2 – Dados obtidos do mapa temático “Indicadores censitários da cidade Manaus com base no Censo 2022/IBGE”, publicados pelo Implurb/PMM.

A expansão territorial e a explosão demográfica de Manaus está diretamente relacionada com os acontecimentos históricos e incentivos fiscais e econômicos para a região amazônica. Manaus foi fundada em 1669 (Fortaleza de São João do Rio Negro), com uma população estimada de 270 pessoas entre elas militares, Jesuítas e indígenas (FIGUEIREDO, 2017). No Ciclo da Borracha I e II (1879-1912 e 1941-1945), a população de Manaus chegou a 75.704 habitantes; com a implantação da Zona Franca de Manaus (ZFM — 1967), a população subiu para 314.197 habitantes em 1970, e mais que duplicou 642.492 habitantes, em 1980 (IBGE, 2024).

A expansão demográfica de Manaus ocorreu no sentido sul-norte, seguindo a rota zona Sul, Centro-Sul, Oeste e Centro-Oeste; após a implantação da ZFM, a cidade

ampliou-se para a Zona Norte e Leste (OLIVEIRA e SCHOR, 2008). Considerando a rota da expansão territorial da cidade é possível compreender o elevado número de praças nas Zonas Sul e Centro-Sul. Pois, no período do Ciclo da Borracha, Manaus passa por grandes transformações na economia, cultura e arquitetura, o que correspondia a “modernidade” da época, uma fisionomia europeia, como o aterro de vários igarapés e a reorganização do espaço urbano, com ruas bem traçadas e largas, a construção de palácios e praças para o embelezamento da cidade, mudando assim a paisagem urbana (MESQUITA, 2009; SILVA e SCUDELLER, 2022).

O estudo das 174 praças oficiais de Manaus revelou quatro situações/qualificações (Figura 1), 125 (72%) foram classificadas quanto a inserção dentro da malha viária urbana mediante o seu desenho, 6 (3%) não foram classificadas, mais 6 (3%) foram extintas e 37 (21%) não foram encontradas. As praças “não classificadas” foram excluídas da *etapa de classificação* por não se adequarem a definição atual de praça, conforme NBR 9050 (ABNT, 2015), Lamas (1993), Lima (2008) e Ecker (2020) (FIGURA 2A).

Algumas praças (n = 6) foram extintas como mencionado/não justificado no *web site* da Prefeitura Municipal de Manaus. Na Figura 1 consta-se que foram cinco praças extintas na Zona Sul (José Lindoso, João Pessoa, Nove de Novembro – Bairro Centro; Bola da SUFRAMA e Nossa Senhora de Fátima – Bairro Distrito Industrial) e uma na Zona Leste (Centro Comunitário São José II – Bairro São José Operário etapa B).

Uma informação impactante foi o alto percentual de praças “não encontradas” (21%, n = 37) na cidade de Manaus (FIGURA 1), esta situação ocorreu em todas as zonas urbanas, com destaque para a Zona Leste (n = 10), seguida da Zona Norte (n = 7) e Zona Centro-Oeste (n = 7 praças). A inconsistência das informações sobre as praças, como a troca dos nomes e o endereço errado e/ou incompleto, foi o principal contratempo na pesquisa.

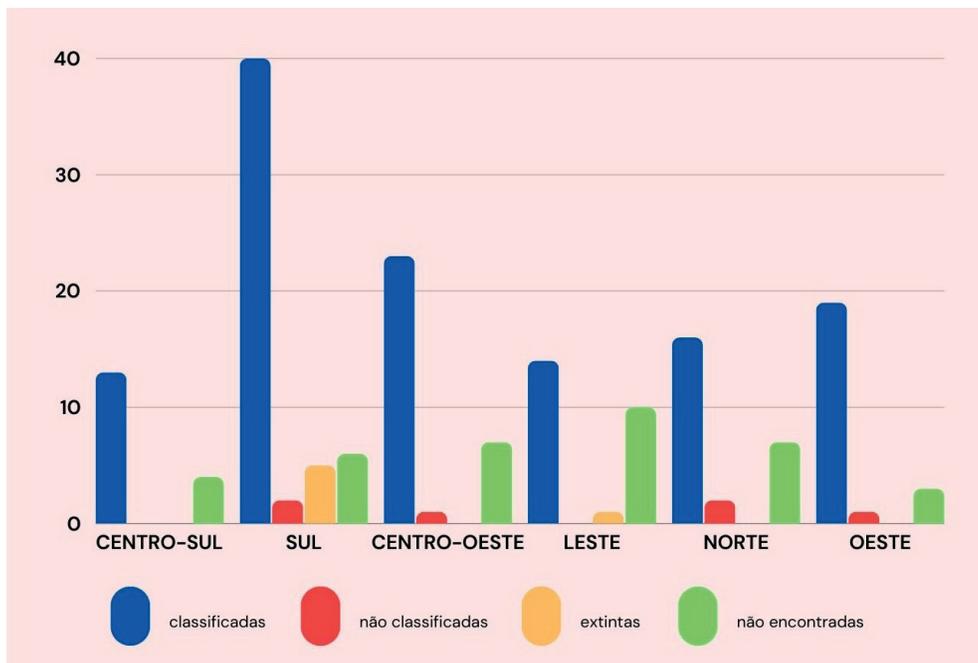


FIGURA 1. Qualificação das 174 praças estudadas por distribuição nas Zonas Territoriais Urbanas da cidade de Manaus/AM. Dados coletados no período de agosto/2021 a julho/2022.

Com a expansão da cidade, as Zonas Norte e Leste são as mais populosas (TABELA 1) e também possuem os bairros mais habitados, Cidade Nova (124.935 hab.) e Jorge Teixeira (133.448 hab.), respectivamente. No bairro Cidade Nova foram seis praças “não encontradas”. Estudos de Alves et al. (2020) mostram estas duas Zonas Norte e Leste como as mais antropizadas e com alto processo de degradação ambiental. A praça deve ser principal parâmetro de avaliação de desempenho do espaço público, pois o usuário de qualquer nível social e educacional exerce um papel essencial na etapa de uso e pode ser considerado um termômetro da eficiência do ambiente (PAZ, 2008).

As praças eram espaços públicos mantidos distantes das vias de fluxo de transporte (DE ANGELIS e DE ANGELIS NETO, 2000), o que foi mudando ao longo dos tempos tanto pela dinâmica das cidades, quanto pelo uso desses espaços públicos para diferentes fins. Os estudos sobre a inserção das praças na malha viária urbana iniciaram na década de 50. Considerando o traçado das vias na conformação das praças, De Angelis e De Angelis Neto (2000) classificaram as praças em cinco tipos e nove subtipos em estudos realizados na cidade de Maringá/PR, Cavalcanti et al. (2021) acompanhando a mesma abordagem com as praças de Manaus/AM ampliaram em mais quatro subtipos.

Das 125 praças “classificadas”, a predominância foi do tipo 3 (n = 43), seguida do tipo 2 (n = 32), tipo 1 (n = 26), tipo 4 (n = 23) e tipo 5 (n = 1) (TABELA 2). Neste estudo, não foram avaliados os subtipos.

O tipo 3 caracteriza-se pela praça ser conformada por três vias, o subtipo mais simples é a interceptação de três vias formando uma figura geométrica, nos outros subtipos há a presença de uma ou duas edificações em um lado da praça. Apesar do número elevado de vias no entorno deste tipo de praça, há uma maior acessibilidade pela população. Na cidade de Manaus, o tipo 3 predomina na Zona Oeste (n = 10 praças) e em área residencial (TABELA 2).

Na Zona Sul há o predomínio dos outros tipos 2, 1 e 4, todos com 10 praças (TABELA 2), com 22 praças apenas no Bairro Centro. Estudos de Silva e Scudeller (2022) reportam os bairros Centro (Zona Sul) e São Raimundo (Zona Centro-Oeste) como os mais antigos de Manaus, pois são antes do primeiro período do Ciclo da Borracha (1879-1912). Desta forma, o Bairro Centro sempre o alvo dos órgãos públicos de benfeitorias e edificações comerciais.

O tipo 1 é bem representativo em Manaus (n = 26). Este tipo é pouco acessível à população, por ser uma praça conformada por uma única via – podendo ter uma forma redonda ou oval – que circunda a área da praça e na qual desembocam outras vias (FIGURA 2D). Na Zona Leste, este tipo de praça está em uma área de intenso fluxo viário e de pedestre pelo fato nas adjacências ter intensa atividade econômica e um posto de saúde, o que é possível observar pelo próprio nome das praças: Praça Próximo a Rotatória do São José; Praça da Rotatória da Feira do Produtor e Praça do Centro de Ref. Ambulatorial Ivone Lima dos Santos.

Tipo de praça	Zonas	Nome Oficial da Praça* (nome popular da praça)
1	CENTRO-SUL	Adriano Castelo Branco do Calçadão do Amarelinho do Relógio Municipal do Canteiro Central do Boulevard do Canteiro Central do Boulevard Senador Raimundo Parente (Praça Pôr do Sol) São Lázaro
<i>“Praças conformadas por uma única via que geralmente as circundam”</i>	CENTRO-OESTE	Diogo de M. Furtado Flores do IMPAS na Av. Laguna Canteiro Central na Av. Laguna Canteiro Central na Av. Laguna Canteiro Central
De Angelis e De Angelis Neto (2000) apresentam dois subtipos (1a e 1b).	LESTE	Próximo a Rotatória do São José da Rotatória da Feira do Produtor do Centro de Ref. Ambulatorial Ivone Lima dos Santos
2	NORTE	da Rotatória do Núcleo 23 José Magalhães
<i>“Praças conformadas por duas vias que se cruzam em diferentes arranjos”</i>	OESTE	Plácido de Castro da Rua Valentino Normando
	CENTRO-SUL	Desembargador Raimundo dos Santos Sede Social da Área entre as ruas 30 e 31 Libito
	SUL	Nossa Senhora do Perpétuo Socorro Francisco Queiroz Heliodoro Balbi (Praça da Polícia) Dom Bosco Walter Rayol Jardim Petrópolis José Tavares de Macedo

De Angelis e De Angelis Neto (2000) apresentam três subtipos (2a, 2b e 2c).

Cavalcanti et al. (2021) apresentam mais um subtipo (2d).

3

“Praças conformadas por três vias, com interceptação formando figuras geométricas ou podendo ter uma edificação ladeando”

		Francisca Sales Ribeiro (Praça Santa Luzia) Vale do Amanhecer do Japiimlândia
CENTRO-OESTE		Bartolomeu Bueno da Silva do Conjunto Déborah do Conjunto Kíssia II do Conselho Regional de Medicina do Sambódromo do Genipapo
LESTE		Campo do Bahia da Rotatória do São José Waldir Moraes (Presidente Tancredo Neves) da Igreja (João Batista)
NORTE		Pe. Pedro Vignola (Praça da Igreja de São Bento) da Igreja Sagrado Coração de Jesus do Pe. Pedro Vigola (Praça da Igreja de São Bento)
OESTE		São Jorge Professora Nilza dos Santos da Vitória da Glória da Rotatória Pedro Teixeira
CENTRO-SUL		Domingos Russo do Conjunto Manauense Chile Nilton Lins
SUL		Nossa Senhora da Conceição (Praça da Matriz) Santos Dumont Mélves Junior Bandeira (Praça da Bandeira Branca) Baden Powell Coari Vila Lobo 31 de Março do Polly
CENTRO-OESTE		Pró-Menor Dom Bosco Praça da Cavalaria Ulysses Azevedo Filho (Conjunto Kíssia I)

Prudente de Moraes  
 Jornalista Humberto Calderaro Filho  
 Desemb. Mário Verçosa  
 do Conjunto Dom Pedro II  
 do Conjunto Campos Elíseos  
 Cali

LESTE  
 Colina do Aleixo  
 do Jorge Teixeira (Praça das Rosas)  
 Antônio Aleixo (Praça da Caixa  
 D'água)  
 do Armando Mendes  
 Acariquara

De Angelis e De Angelis Neto (2000)  
 apresentam dois subtipos (3a e 3b).

NORTE  
 Bíblia  
 Conjunto Ribeiro Júnior  
 de Alimentação da Cidade Nova  
 do Conjunto Manoa  
 da Rotatória do Núcleo 9  
 do Nova Cidade  
 da Associação dos Moradores

Cavalcanti et al. (2021) apresentam  
 mais dois subtipos (3c e 3d).

OESTE  
 Praça Duque de Caxias (Praça do  
 1º BIS)  
 Expedicionários  
 Concha  
 Abdul Rasac Hauache (Praça do  
 CIGS)  
 Ismael Benigno  
 do Triângulo  
 do Conjunto Augusto Montenegro  
 do Areal  
 do Conjunto Itapuranga  
 do Conjunto Cophasa

4

CENTRO-SUL  
 do Conjunto Manauense II  
 do Conjunto Petros  
 do Areal

*“Praças conformadas por quatro  
 vias, geralmente quadrangular  
 ou retangular, mas podendo ser  
 bipartida”*

SUL  
 Cinco de Setembro (Praça da  
 Saudade)  
 Terreiro Aranha  
 Dom Pedro II  
 do Congresso  
 Nossa Senhora Auxiliadora  
 São Sebastião

		Torquato Tapajós (Praça dos Remédios) Adalberto Valle Penetração na Rua C9 com C6
	CENTRO-OESTE	do Conjunto Ajuricaba Praxíteles Antony II (Praça Santos Dumont)
	LESTE	Tiradentes do Conjunto Ouro Verde
De Angelis e De Angelis Neto (2000) apresentam dois subtipos (4a e 4b).	NORTE	do Novo Israel II do Conjunto Oswaldo Frota I da Rotatória do Canaranas do Conjunto Canarana
Cavalcanti et al. (2021) apresentam mais um subtipo (4c).	OESTE	do Sulamérica do Leme
5	CENTRO-SUL	Nossa Senhora de Nazaré
"Praças conformadas por cinco vias"		

TABELA 2. Classificação das praças estudadas (n = 174) quanto a inserção na malha viária urbana nas Zonas Territoriais Urbanas da cidade de Manaus/AM. \* – Nome oficial das praças obtido da "Tabela da localização das praças de Manaus 2017", publicados pela SEMULSP/PMM. Dados coletados no período de agosto/2021 a julho/2022.

Neste estudo, observou-se graves problemas de infraestrutura e abandono desses espaços públicos que são as praças (FIGURAS 2B e C), muitos dos locais descritos como praça não possuem uma estrutura que atenda minimamente aos requisitos para um local de encontro e lazer, além de estarem inseridos em localidades que não favorecem sua utilização pela população do entorno.



FIGURA 2. Imagens da condição das praças da cidade de Manaus/AM. A – Exemplo de praça “não classificada” por não atender a definição atual de praça conforme literatura especializada; B – Praça sem infraestrutura para uso da população; C – Praça com precariedade de mobiliário urbano para permanência da população; D – Exemplo de praça do tipo 1 com forma redonda. Dados coletados no período de agosto/2021 a julho/2022.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível traçar um panorama da situação das praças, permitindo avaliá-las e proceder a um (re)planejamento para revitalização desses espaços públicos, de acordo com o potencial de cada área e das necessidades da população de seu entorno e, (re) definir políticas públicas para a gestão dessas áreas. Constatou-se uma grande diferença na infraestrutura das praças nas seis Zonas Urbanas avaliadas, presume-se que seja a topografia do terreno e/ou a disposição dos elementos urbanos pré-existentes, mesmo em praças com mínimo grau de planejamento.

Ao Poder Público municipal, cabe implementar medidas práticas e efetivas para combater à precariedade desses espaços públicos – praças, como um plano de revitalização e manutenção. No que tange a distribuição do espaço urbano e sua utilização, se faz necessário a reformulação ou criação de um conjunto de ações que priorizem uma gestão de qualidade em conformidade com a Legislação Urbanística da Cidade e o Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas (Ufam) pela concessão da bolsa ao discente de graduação.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro, p. 135. 2015.

ALVES, A.C.; FREITAS, I.S.; SANTOS, M.Q. Análise multitemporal da expansão urbana da cidade de Manaus, Amazonas, utilizando imagens de satélite. *Geosaberes*, Fortaleza, v. 11, p. 305-317, 2020. ISSN: 2178-0463.

ARRUDA, J.J.A. *História antiga e medieval*. São Paulo: Ática, 1988.

BIONDI, D.; LIMA NETO, E.M. Distribuição espacial e toponímia das praças de Curitiba. *REVSBAU*, Curitiba, v. 7, n. 3, p.31-43, 2012.

BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2022. Institui o Código Civil. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, ano 139, n. 8, p. 1-74, 11 jan. 2022.

CAVALCANTI, B.P.B.C.; ARRUDA, Y.M.B.C.; CAVALCANTI, L.R.B. Analysis and classification of squares within the urban frame of the city of Manaus – Amazonas. *Revista Life Style*, v. 2, n. 2, p. 14-27, segundo semestre 2021. ISSN: 2763-5163.

DE ANGELIS, B.L.D.; CASTRO, R.M. Metodologia para levantamento, cadastramento, diagnóstico e avaliação de praças no Brasil. *Engenharia Civil*, Braga, v. 4, n. 20, p.57-70, 2004.

DE ANGELIS, B.L.D.; DE ANGELIS NETO, G. Os elementos de desenho das praças de Maringá-PR. *Acta Scientiarum*, v. 22, n. 5, p. 1445-1454, 2000. ISSN: 1415-6814.

ECKER, V.D. O conceito de praça para a qualidade da paisagem urbana. *Revista Projetar*, v.5, n.1, p. 101-110, 2020.

FIGUEIREDO, A.N. *Tópicos de história do Amazonas*. Manaus: Grafisa, 2017. 284p.

GUEDES, S.E. *Diagnóstico das praças no município de Itacoatiara-AM*. 2009. 36 f. Monografia de Curso (Graduação) de Engenharia Florestal, Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, Universidade do Estado do Amazonas, Itacoatiara, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades e Estados*: Manaus. IBGE, 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/am/manaus.html>>. Acesso em: 30 maio 2024.

IMPLURB. Instituto Municipal de Planejamento Urbano. *Mapa temático da “Divisão da área urbana e transição da cidade de Manaus”, com indicadores censitários do IBGE 2022*. Disponível em: <<https://www.manaus.am.gov.br/implurb/>> Acesso em: 30 maio 2024.

LAMAS, J.M.R.G. *Morfologia urbana e desenho da cidade*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian/ Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 1993.

LIMA, T.H.S. As praças: história, usos e funções. *Estudos – Revista de Ciências Humanas e Sociais Aplicadas da Unimar*, Universidade de Marília, n. 12, p. 97-110, 2008.

MACEDO, S.S.; ROBBA, F. *Praças brasileiras*. São Paulo: Edusp, 2002.

MACEDO, S.S. Os espaços livres de edificação e o desenho da paisagem. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENHO URBANO NO BRASIL, 2., 1986, Brasília. *Anais...* São Paulo: Pini; Brasília: CNPq; Rio de Janeiro: Finep, 1986. p. 103-110.

MANAUS. Lei Complementar nº 2, de 16 de janeiro de 2014. *Dispõe sobre o Plano Diretor Urbano e Ambiental do Município de Manaus e dá outras providências*. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/am/m/manaus/lei-complementar/2014/01/2/lei-complementar-n-2-2014-dispoe-sobre-o-plano-diretor-urbano-e-ambiental-do-municipio-de-manaus-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 01 maio 2021.

MESQUITA, O.M. *La Belle Vitrine: Manaus entre dois tempos - 1890/1900*. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2009. 394p.

OLIVEIRA, J.A.; SCHOR, T. Manaus: transformações e permanências, do forte à metrópole regional. In: CASTRO, E. (Org.). *Cidades na floresta*. São Paulo: Annablume, 2008. p. 59-98.

PAZ, B.D. *Avaliação de espaços públicos: um estudo de caso Praça Tenente Menna Barreto*. 2008. Disponível em: <<http://www.ufms.br/eng.civil/tcc/2008/isemestre/tcc5>>. Acesso em: 20 out 2010.

REZENDE, J.H.; ARONI, L.R.; RODRIGUES, V.L. Avaliação e classificação das praças com o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT). *REVSBAU*, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 75-89, 2020.

Ribeiro, J.E.L. et al. *Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)/Department for International Development (DFID), 1999. 793p.

RIBEIRO, M.N.G.; ADIS, J. Local rainfall variability: a potential bias for bioecological studies in the Central Amazon. *Acta Amazonica*, v. 14, n. 1-2, p. 159-174, 1984.

SILVA, J.R.C.; SCUDELLER, V.V. Os ciclos econômicos da borracha e a Zona Franca de Manaus: expansão urbana e degradação das microbacias. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, e33611629103, 2022. ISSN: 2525-3409.

# ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO EXTRATO DE SEMENTE DE UVA EM ÓLEO DE SOJA

*Data de aceite: 01/08/2024*

### **Marlon Thiago de Carvalho**

Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Biotecnológicos-PPGQB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo – PR, Brasil

### **Cristiane Loiva Reichert**

SUSTENTEC – Produtores Associados para Desenvolvimento de Tecnologias Sustentáveis, Pato Bragado – PR, Brasil

### **Luisa Caroline Schlemer Kramer**

Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo – PR, Brasil

### **Tatiana Shioji Tiuman**

Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Biotecnológicos-PPGQB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo – PR, Brasil

### **Clayton Antunes Martin**

Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Biotecnológicos-PPGQB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo – PR, Brasil

### **Paulo Rodrigo Stival Bittencourt**

Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Biotecnológicos-PPGQB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo – PR, Brasil

### **Ricardo Fiori Zara**

Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Biotecnológicos-PPGQB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo – PR, Brasil

### **Solange Maria Cottica**

Programa de Pós-Graduação em Processos Químicos e Biotecnológicos-PPGQB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo – PR, Brasil

**RESUMO:** O óleo de soja (SO) tem baixa estabilidade oxidativa, sendo uma das principais causas de deterioração deste produto. Por outro lado, extratos de semente de uva (GSE) tem compostos bioativos com atividade antioxidante. Portanto, o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito antioxidante de um novo GSE em SO, preparado com etanol, acetona e água. Amostras de SO com GSE ou/e BHT (butil-hidróxitolueno) ou sozinho foram submetidos a 60°C / 12 dias e a degradação foi monitorada pelos índices de acidez, peróxido, dienos e trienos conjugados, TBARS, ácidos graxos (FA), DSC e ATR-FTIR. SO com GSE ou/e BHT não apresentaram diferença significativa

para dienos, trienos e peróxidos. GSE e GSE+BHT apresentou menor degradação de FA do SO. Grupos funcionais identificados por ATR-FTIR demonstraram similaridade entre SO com BHT e SO com GSE nas bandas em 2853, 1742 e 1160 cm<sup>-1</sup>. Outras bandas apresentaram mudanças muito pequenas com variações menores que 0,5%. Análises por DSC apresentaram que a presença de antioxidantes é significativa. O tempo de vida de prateleira do SO foi de 894 dias para GSE+BHT, 44 dias para SO com BHT e 74 dias para GSE com GSE. Portanto, GSE pode substituir parte do BHT em SO para protegê-lo contra oxidação, estendendo sua vida de prateleira.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Vitis labrusca*, estabilidade oxidativa, sub-produtos de vinho.

## GRAPE SEED EXTRACT ANTIOXIDANT ACTIVITY IN SOYBEAN OIL

**ABSTRACT:** Soybean oil (SO) has low oxidative stability, being one of the main causes of the deterioration of this product. On the other hand, grape seed extracts (GSE) have bioactive compounds with antioxidant activity. So, the purpose of this work was to investigate the antioxidant effect of a new GSE in SO prepared with ethanol, acetone, and water. Samples of SO with GSE or/and BHT (hydroxytoluene butyl) or alone were submitted to 60°C/12 days and degradation was monitored by acidity, peroxide index, conjugated dienes and trienes, TBARS, fatty acids (FA), DSC and ATR-FTIR. SO with GSE or/and BHT presented no difference for dienes, trienes and peroxides. GSE and GSE+BHT showed lower SO degradation of FA. Identified functional groups at ATR-FTIR demonstrated similarity between SO with BHT and SO with GSE in bands at 2853, 1742, and 1160 cm<sup>-1</sup>. Other bands showed very small changes with variations lower than 0.5%. Analysis by DSC showed that the presence of antioxidants is significant. The SO shelf life was 894 days for GSE+BHT, 44 days for SO with BHT, and 74 days for SO with GSE. So, GSE can substitute part of BHT in SO to protect it against oxidation, extending its shelf life.

**KEYWORDS:** *Vitis labrusca*, oxidative stability, wine by-products.

## INTRODUCTION

Agribusiness produces huge amounts of solid and liquid waste, which is the result of the transformation process into food consumption products but represents a growing problem with negative effects on the economy and environment (Lucarini et al., 2018). The by-products (skins and seeds) of the grape processing industry are potential sources of phenolic compounds and other bioactives (Lucarini et al., 2018). They can avoid the oxidation process in the human body or in food bases (Unusan, 2020). Grape seed extracts have been applied as natural antioxidant, preservative, fungicide in health foods and food packaging (Chen et al., 2020). The use of ethanolic grape seed extract has already been used to prevent soybean oil oxidation (Hegazy & Abdel-Maksoud, 2016). However, extracts prepared by a solvent mixture of ethanol, acetone and water has demonstrated higher antioxidant capacity than extracts prepared by single solvent or a binary mixture (Dalposso et al., 2022).

By the other way, the oxidation of oils and fats is the main deteriorating reaction occurring in food processing and storage (Umeda & Jorge, 2021). The chemical composition changes significantly during oil storage, affecting its shelf life and sensory properties (Ghanbari et al., 2018; Ghanbari et al., 2019). The use of synthetic antioxidants concerns consumers because of their security, what is increasing the demand for natural antioxidants. So, the use of grape seed extract with high antioxidant capacity in soybean oil can be a promising alternative to prevent lipid oxidation and develop a product with beneficial health characteristics.

To evaluate the oxidation of oils and fats, many techniques can be used (Fadda et al., 2022). Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) is known for being a fast, non-destructive, solvent-free and easy technique and has been developed for several applications as in the analysis of edible oils and fats (Daoud et al., 2019). Differential exploratory calorimetry (DSC) has also proved to be a technique that can be applied for studies of auto-oxidation of natural or synthetic products (Ostrowska-Ligęza et al., 2010). In this way, FTIR and DSC together with another commonly used techniques can contribute to evaluate the efficiency of a natural antioxidant to avoid the oxidation of soybean oil.

So, this work aimed to investigate the antioxidative effect of a new grape seed extract (GSE), prepared by a mixture of ethanol, acetone and water, in soybean oil. Comparing between GSE and the synthetic antioxidant hydroxytoluene butyl (BHT), as well as its synergistic effect under accelerated conditions of thermal stress has been investigated. The oxidative degradation of soybean oil was monitored through analysis of acidity index and peroxides, conjugated dienes and trienes, substances reactive to thiobarbituric acid - TBARS, major fatty acids (FA) and response of functional groups of samples through infrared spectra (ATR-FTIR). Besides that, mathematical modeling to evaluate the kinetic data obtained by differential exploratory calorimetry (DSC) and to obtain the shelf life prediction was also performed.

## **MATERIALS AND METHODS**

### **Sample, reagents and standard**

The grape seed of the cultivar Bordô (*Vitis labrusca*) was obtained from a local winery, vacuum packed and stored -20 °C under light protection. The edible refined soybean oil (4 L) was purchased from local stores. The soybean oil composition in 13 mL was of 0 g of carbohydrates, 0 g of proteins, 12 g of total fat and 1.2 mg of vitamin E.

The reagents were of analytical grade and standards DPPH, Trolox, ferrous sulphate, ABTS [2,2' - azinobis- (3-ethylbenzothiazolin-6-sulfonic acid)], ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), ferrozine, gallic acid, quercetin, trans- resveratrol, 1,1,3,3-tetraetoxypropane, nonadecanoic acid (C19:0), FAME MIX C4 - C24 189-19, from Sigma-Aldrich brand.

## Grape seed extract (GSE) and oil samples

GSE was prepared according to previous study (Dalposso et al., 2022), that resulted in a great antioxidant activity. Seeds were grinding, sieved at 20 mesh and weighed in Erlenmeyers ( $10.0000 \pm 0.0001$ g). The solvent mixture of ethanol, acetone and distilled water (48:14:38) (v/v) was added, the Erlenmeyers were sealed with parafilm and extracted at 45°C, protected from light, in orbital agitator, for 4 hours at 250 rpm. The extracts were filtered and their solvents were evaporated at 45°C under reduced pressure. After deep-frozen at -80 °C and freeze-dried (-50°C, 150 - 200mmHg), GSE was stored at - 18 °C. The antioxidant activity of GSE prepared is shown in Table 1.

Analysis	GSE
DPPH ( $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ sample)	1300.00 $\pm$ 0.00
ABTS ( $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ sample)	1054.00 $\pm$ 0.01
FRAP ( $\mu\text{mol EFeSO}_4 \text{ g}^{-1}$ sample)	5290.00 $\pm$ 0.06
Phenolic Compounds (mg GAE $\text{g}^{-1}$ sample)	240.80 $\pm$ 0.04
Flavonoids (mg EQ $\text{g}^{-1}$ sample)	14.60 $\pm$ 0.00
Chelating Ability (%)	60.89 $\pm$ 2.50
<i>Trans</i> – resveratrol (mg $\text{L}^{-1}$ )	1.74 $\pm$ 0.04

Analyses performed in triplicate.

Table 1: Antioxidant activity of grape seed extract (GSE)

GSE and BHT were diluted in ethyl alcohol 99.5 % (v/v) and added to soybean oil (SO) at a final concentration of 0.02 % (200 mg  $\text{Kg}^{-1}$ ). The percentage of added antioxidant was determined taking into account previous studies and according to the limit of 200 ppm, which appears in the current legislation (Brasil, 1998). The purpose of this study was to compare the synergism between a natural and a synthetic antioxidant. Four sets of samples were prepared in 15 mL tubes,  $8.0000 \pm 0.0001$  g each, coated with aluminum foil and capped, in triplicate, being them: pure soybean oil, SO with BHT, SO with GSE, SO with GSE+BHT. All samples were incubated in an oven at  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  and analyzed over periods of 0, 3, 6, 9 and 12 days, consisting of the induced oxidation time, as in the Schaal test (Cottica et al., 2019). Analysis of acidity index, peroxide index, conjugated dienes and trienes, TBARS, FA, FTIR and DSC were performed.

## Monitoring of oxidation indicators

For acidity index, samples were homogenized and weighed  $2.0000 \pm 0.0001$  g in 125 mL erlenmeyer flask. 25 mL of alcohol-ether solution (2:1) was added, two drops of phenolphthalein and titrated with KOH 0.01 mol  $\text{L}^{-1}$  until the pink coloration was fixed for 30 seconds, according to the Instituto Adolfo Lutz (2008) with adaptations.

For peroxide index, samples were homogenized, weighed  $2.0000 \pm 0.0001$  g in a 125 mL erlenmeyer flask, where 12 mL of 3:2 acetic-chloroformic acid solution was added and homogenized. 0.2 mL of potassium iodide (KI) saturated solution was added and let stand for 1 min under light. It was added 12 mL of distilled water and it was initiated a titration with  $0.01 \text{ mol L}^{-1}$  sodium thiosulfate until the yellow coloration disappeared. In sequence, 0.2 mL of starch indicator solution was added and titration with thiosulfate continued until the blue complex disappeared. Lastly, a white one was prepared and the analyses were performed in triplicate, according to Instituto Adolfo Lutz (2008) with adaptations.

The test for dienes and trienes brings clarity of the bonds broken during the alteration, even the alteration is significant throughout the study. The samples were homogenized and weighed about  $20.0 \pm 0.1$  mg in a test tube and added 10 mL of iso-octane:isopropanol solution (2:1 v/v) and mixed for 30 seconds in vortex. The samples were centrifuged at 4500 rpm and the absorbance of the supernatant read in 232 nm (dienes) and 266 nm (trienes) in UV-VIS spectrophotometer (PG Instruments Ltda, Model T 80+). The concentration of dienes and trienes was calculated by the molar absorptivity of linoleic acid ( $\epsilon = 26000$ ) and its molar mass ( $280 \text{ g mol}^{-1}$ ), and the values expressed in  $\text{mg g}^{-1}$  of lipids, according to Kiokias et al. (2006), with adaptations.

The monitoring of thiobarbituric acid reactive compounds - TBARS was performed according to Ke & Woyewoda (1979). The oxidized samples (0, 3, 6, 9 and 12 days) were homogenized, weighed about  $25.0 \pm 0.1$  mg in tube and added 5 mL of 2-Tiobarbituric acid solution - TBA, composed of TBA solution ( $0.04 \text{ mol}^{-1}$ ), chloroform and  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  solution ( $0.3 \text{ mol L}^{-1}$ ) (12 mL:8 mL:1 mL), prepared 30 minutes in advance. Along with the oil, homogenization was performed for 15 seconds and the tubes were incubated in a water bath for 45 min at  $95^\circ\text{C}$ , followed by cooling. Added 2.5 mL of trichloroacetic acid solution ( $0.28 \text{ mol L}^{-1}$ ) was homogenized and centrifuged for 10 min at 2500 rpm. The absorbance of the aqueous phase at 538 nm was measured in a spectrophotometer (PG Instruments Ltda, Model T 80+) against the white. 1,1,3,3-tetraetoxypropane ( $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$ ) was used as analytical standard to construct the calibration curve ( $R^2 = 0,9995$ ) and to express the results.

The fatty acid methyl esters (FAME) of oxidized samples were prepared in triplicate according to Hartman and Lago (1973), using the nonandecanoic acid methyl ester (C19:0) ( $1.031 \text{ mg mL}^{-1}$ ) as internal standard. Chromatographic analysis was performed in Perkin Elmer (Clarus 680) gas chromatograph, coupled with flame ionization detector (CG-FID) and Elite-Wax fused silica capillary column (60 m long, 0.25 mm internal diameter and  $0.25 \mu\text{m}$  film coating). The column was programmed at an initial temperature of  $140^\circ\text{C}$  to  $4^\circ\text{C min}^{-1}$  to  $180^\circ\text{C}$  for 10 min with a second ramp of  $10^\circ\text{C}$  to  $240^\circ\text{C}$  maintained for 12 min. The  $\text{H}_2$  drag gas flow rate was  $1.20 \text{ mL min}^{-1}$ , the flame composed of synthetic air and hydrogen at a ratio of 400:40  $\text{mL min}^{-1}$ , with an injection volume of  $1 \mu\text{L}$  and the sample split ratio (Split) was 1:100, with injector temperature of  $220^\circ\text{C}$  and detector at  $245^\circ\text{C}$ . The

peak areas were determined by TotalChrom 6.3.2 software and identified by comparison of the retention time with pattern mix containing fatty acid methyl esters (FAME MIX C4 - C24 189- 19, Sigma-Aldrich) and comparison with FAME esters from avocado, flaxseed, canola, and grape oil through their majority FAs, following individual analysis and by pattern addition (spiking). The quantification of the FA was done according to equation 1. The results are expressed in mg g<sup>-1</sup>.

$$C_x = (A_x \cdot M_{19:0} \cdot F_{CT}) / (A_{19:0} \cdot M_A \cdot F_{CEA}) \quad (1)$$

Being:

$C_x$  = concentration of fatty acid x in mg g<sup>-1</sup> lipid.

$A_x$  = area of the methyl esters corresponding to fatty acid X.

$M_{19:0}$  = mass of the internal standard (mg).

$F_{CT}$  = theoretical correction factor: C16:0 (1.0546), C18:0 (1.0347), C18:1 (1.0207), C18:2 (1.0277) and C18:3 (1.0137).

$A_{19:0}$  = area of the internal standard.

$M_A$  = mass in grams.

$F_{CEA}$  = conversion factor from FAME (fatty acid methyl ester) to FA (fatty acid): C16:0 (1.0547), C18:0 (1.0493), C18:1 (1.0500), C18:2 (1.0496) and C18:3 (1.0504).

The mid-infrared spectra were obtained in FTIR Spectrum 65 (Perkin Elmer) spectrophotometer with total attenuated reflectance accessory (ATR) in transmittance mode. Spectral range used was 4000 to 620 cm<sup>-1</sup>, with resolution of 4 cm<sup>-1</sup> and 40 scans. Before the acquisition, each spectrum was cleaned with cotton and isopropyl alcohol and the background signal was corrected, 200 µL of the samples were added to the ATR module crystal and the spectra were obtained in triplicate, using the medium spectrum for the comparative analysis of the treatments, according to Nurwahidah et al. (2019) with adaptations.

The oxidative induction time (OIT) analysis was performed in a simultaneous thermal analyzer (STA 6000 PerkinElmer), calibrated with indium, using 10 microliters of sample in an open platinum crucible. The isotherms were performed in 383, 393, 403 and 413 K, using oxidizing atmosphere (O<sub>2</sub> - White Martins S.A., 99.99 % purity) with 50 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> flow. The calorimetric curve data were used to predict the useful life of the samples not oxidized at 20 °C, calculated by linear regression of log t<sub>0</sub> versus T in Kelvin. The parameters of Arrhenius,  $E_a$  (Activation energy) and A (pre-exponential factor), were obtained by the linear regression of the log plotted by ln (k) vs. 1/T adapted from Aktar & Adal (2019) and the Arrhenius equation (2):

$$\ln(k) = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

Being:

k = Constant reaction rate or oxidation time.

A = Pre-exponential factor or frequency factor (h<sup>-1</sup>).

E<sub>a</sub> = Activation energy (kJ mol<sup>-1</sup>).

R = Molar gas constant (8.314510 J K<sup>-1</sup> mol<sup>-1</sup>)

## Statistical analysis

The results were structured in a split-plot factorial design with the samples evaluating the presence of GSE, BHT and their combination in the first level and time (0, 3, 6, 9 and 12 days), being the second level divided into subplots, evaluated by the Tukey test and by analysis of variance (ANOVA) with a 5% significance level, through the Statistica program, version 10.

## RESULTS AND DISCUSSION

The GSE of this study presented higher antioxidant activity (Table 1) than the one from previous study of extraction optimization from *Vitis labrusca* seeds (Dalposso et al., 2022). The bioactive compounds responsible for the antioxidant activity of GSE (Lucarini et al., 2018) can act as protectors against soybean oil oxidation during its storage. Regarding that, some indicators of oxidation of soybean oil was investigated.

The cumulative evaluation of each oxidation parameter (Table 2) was determined by the  $\Delta t$  (difference between the time of greatest accumulation (Time 9) and the initial time). Soybean oil samples with GSE presented higher value for acidity index. For the dienes parameters, the oil with BHT and with GSE+BHT showed no significant difference ( $P>0.05$ ), being the two treatments with better response. For conjugated trienes there was no significant difference between the 4 treatments. The three samples supplemented also did not present significant difference between them for the formation of peroxides, with an equivalent capacity for protection between the both of them. The data presented by Kehili et al. (2018) pointed out that to obtain an equivalence between the two applied compounds (BHT and oleoresin), it was necessary to work with a concentration of 1000  $\mu\text{g g}^{-1}$ , which corresponds to 0.2% versus 0.02 % for BHT, which is 10x higher than the concentration applied in this research for GSE.

The time and temperature relation (Table 2) started to influence significantly from the third point of analysis (Time 6). Significant difference between treatments is present in Time 9, where the oil with GSE presented higher acidity index (0.35 mg KOH g<sup>-1</sup>), followed by the oil sample with GSE+BHT (0.31 mg KOH g<sup>-1</sup>), without significant difference between them. For the oil with BHT in Time 9 it is evident the action of BHT by the reduction of the acidity index until the end of 12 days. An increase in acidity was also reported by Guo et al. (2016) in sample supplemented with rosemary extract.

Analysis	Sample	Exposure time at 60 ± 5 °C (days)					Time Variation (Δt = t <sub>9</sub> - t <sub>0</sub> )
		0	3	6	9	12	
<b>Acidity Index</b> (mgKOH g <sup>-1</sup> )	Soybean oil	0.18 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.20 ± 0.02 <sup>aA</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.29 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.08 ± 0.01 <sup>a</sup>
	BHT	0.18 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>aB</sup>	0.23 ± 0.04 <sup>aB</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>aB</sup>	0.25 ± 0.00 <sup>aA</sup>	0.06 ± 0.02 <sup>a</sup>
	GSE	0.19 ± 0.02 <sup>aA</sup>	0.20 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.24 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.35 ± 0.04 <sup>aB</sup>	0.25 ± 0.00 <sup>aB</sup>	0.16 ± 0.04 <sup>b</sup>
	GSE+BHT	0.19 ± 0.02 <sup>aA</sup>	0.19 ± 0.00 <sup>aA</sup>	0.24 ± 0.03 <sup>aB</sup>	0.31 ± 0.04 <sup>aB</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.12 ± 0.03 <sup>aB</sup>
<b>Peroxide Index</b> (mEqO <sub>2</sub> Kg <sup>-1</sup> )	Soybean oil	1.49 ± 0.02 <sup>aA</sup>	2.76 ± 0.14 <sup>aA</sup>	9.33 ± 0.54 <sup>aB</sup>	39.35 ± 1.05 <sup>aA</sup>	35.62 ± 2.90 <sup>cC</sup>	37.65 ± 1.04 <sup>a</sup>
	BHT	1.48 ± 0.02 <sup>aA</sup>	2.99 ± 0.02 <sup>aA</sup>	8.65 ± 0.41 <sup>aA</sup>	30.40 ± 2.94 <sup>dBC</sup>	24.11 ± 1.72 <sup>dA</sup>	28.90 ± 2.94 <sup>b</sup>
	GSE	1.50 ± 0.01 <sup>aB</sup>	3.20 ± 0.32 <sup>aB</sup>	7.92 ± 0.71 <sup>bC</sup>	34.24 ± 0.60 <sup>aB</sup>	30.80 ± 0.82 <sup>dB</sup>	32.73 ± 0.60 <sup>b</sup>
	GSE+BHT	1.48 ± 0.01 <sup>aB</sup>	2.46 ± 0.05 <sup>aB</sup>	6.17 ± 0.33 <sup>bC</sup>	29.23 ± 2.43 <sup>cD</sup>	25.16 ± 1.10 <sup>dA</sup>	27.73 ± 2.43 <sup>b</sup>
<b>Conjugated</b> <b>Dienes</b> (mg g <sup>-1</sup> )	Soybean oil	3.46 ± 0.23 <sup>aA</sup>	4.19 ± 0.25 <sup>aB</sup>	5.27 ± 0.31 <sup>aA</sup>	9.65 ± 0.23 <sup>dA</sup>	6.87 ± 0.48 <sup>dA</sup>	6.15 ± 0.23 <sup>a</sup>
	BHT	3.32 ± 0.49 <sup>aA</sup>	3.58 ± 0.11 <sup>aA</sup>	7.60 ± 0.45 <sup>cB</sup>	6.48 ± 0.29 <sup>bCB</sup>	5.80 ± 0.12 <sup>aA</sup>	3.18 ± 0.30 <sup>bC</sup>
	GSE	3.30 ± 0.12 <sup>aA</sup>	3.60 ± 0.14 <sup>aA</sup>	6.77 ± 0.01 <sup>bB</sup>	7.35 ± 0.64 <sup>BB</sup>	6.73 ± 0.08 <sup>aA</sup>	4.05 ± 0.64 <sup>b</sup>
	GSE+BHT	3.88 ± 0.44 <sup>aA</sup>	4.08 ± 0.19 <sup>aA</sup>	6.10 ± 0.52 <sup>dB</sup>	6.48 ± 0.12 <sup>bB</sup>	6.52 ± 0.50 <sup>aA</sup>	2.58 ± 0.12 <sup>c</sup>
<b>Conjugated</b> <b>Trienes</b> (mg g <sup>-1</sup> )	Soybean oil	1.81 ± 0.10 <sup>aA</sup>	2.32 ± 0.18 <sup>aB</sup>	2.43 ± 0.12 <sup>bA</sup>	3.11 ± 0.31 <sup>dA</sup>	2.32 ± 0.20 <sup>aB</sup>	1.31 ± 0.31 <sup>a</sup>
	BHT	2.07 ± 0.10 <sup>aA</sup>	2.08 ± 0.03 <sup>aA</sup>	3.15 ± 0.30 <sup>bBC</sup>	2.99 ± 0.30 <sup>b</sup>	2.12 ± 0.10 <sup>aA</sup>	0.90 ± 0.27 <sup>a</sup>
	GSE	1.99 ± 0.04 <sup>aA</sup>	2.14 ± 0.10 <sup>aA</sup>	3.72 ± 0.04 <sup>dB</sup>	2.80 ± 0.22 <sup>b</sup>	2.14 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.76 ± 0.29 <sup>a</sup>
	GSE+BHT	1.98 ± 0.24 <sup>aB</sup>	2.31 ± 0.10 <sup>aB</sup>	2.74 ± 0.01 <sup>bC</sup>	2.52 ± 0.13 <sup>bCB</sup>	2.13 ± 0.20 <sup>aB</sup>	0.52 ± 0.13 <sup>a</sup>
<b>TBARS</b> <b>(μM TBARS g<sup>-1</sup></b> <b>Oil)</b>	Soybean oil	ND	ND	0.04 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.15 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>aB</sup>	0.15 ± 0.03 <sup>a</sup>
	BHT	ND	ND	0.03 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>aB</sup>	0.10 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.04 ± 0.01 <sup>c</sup>
	GSE	ND	ND	0.03 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.06 ± 0.02 <sup>aB</sup>	0.14 ± 0.00 <sup>aA</sup>	0.06 ± 0.02 <sup>bC</sup>
	GSE+BHT	ND	ND	0.02 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>aB</sup>

Averages ± standard deviation followed by equal lowercase superscript letters (in the same line), upper case (in the same column) do not differ significantly by Tukey's test (P<0.05). GSE: grape seed extract. BHT: Synthetic butylated hydroxytoluene. ND: Not detected. Analysis performed in triplicate. Δt: Values of mean ± standard deviation obtained through the difference between Time 9 and Time 0 in triplicate, followed by equal lowercase superscript letters (in the same column) do not differ significantly by Tukey's test (P<0.05), for the respective analyses.

Table 2: Indicators of soybean oil oxidation

Lipid hydroperoxides are the main oxidation products of the early stage of oxidation (Ghanbari et al., 2019) and can decompose into volatile (aldehydes) and non-volatile (dienes, trienes and free acids) secondary products, which deteriorate the oil quality (Umeda et al., 2021). Pure soybean oil sample presented the highest value, being the maximum point in Time 9 of 39.4 mEq O<sub>2</sub> Kg<sup>-1</sup>, consequently, with significant difference in relation to the other samples (Table 2). At Time 6 and Time 9, the oil with BHT and oil with GSE+BHT, presented a similarity in hydroperoxide content in relation to dienes and trienes (Time 6 and Time 9), indicating that the action of BHT earlier than GSE. The oil with GSE+BHT and with BHT had the lowest peroxide levels during the study, with no significant difference ( $P>0.05$ ) between them. At Time 12 there was a decrease in peroxide values in all samples. Yang et al. (2016) obtained peroxide indexes in the first time equal to this study, however, over 24 days of monitoring, the values were lower, with 23.72 mEq kg<sup>-1</sup>, in the final time for pure soybean oil and with better protection by rosemary extract (0.04 %) compared to BHT+BHA (0.02 %). Extra virgin olive oil presented higher peroxide levels in the beginning storage time at room temperature for filtered and unfiltered samples (8.94 and 11.89 72 mEq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> oil, respectively) and reached values around of 18.00 mEq O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> oil for both after 12 months of storage (Ghanbari et al., 2019).

The results obtained for conjugated dienes, present a significant difference ( $P>0,05$ ) from Time 6 (Table 2). The soybean oil presented conjugated dienes at Time 9 (9.6 mg g<sup>-1</sup>) and with a drop in Time 12 to 6.9 mg g<sup>-1</sup>. The sample that presented the highest antioxidant capacity throughout the study time was the soybean oil with GSE+BHT which had a considerable increase in Time 6 ( $6.1 \pm 0.5$  mg g<sup>-1</sup>), remaining without significant difference until the end of the study. The samples containing the antioxidants showed no significant difference, demonstrating that the capacity of protection of both antioxidants and their joint action has no statistical difference ( $P>0.05$ ). Kehili et al. (2018) also reported a significant increase in dienes followed by a significant drop in the last time. The sample with the highest content of conjugated trienes was the oil with GSE (3.7 mg g<sup>-1</sup>), followed by BHT (3.1 mg g<sup>-1</sup>), showing a significant difference ( $P<0.05$ ) in relation to the samples of pure oil and oil with GSE+BHT. The data indicates that GSE+BHT has a greater capacity of protection against production of conjugated trienes, and the reduction observed in these levels can also be attributed to the decomposition of secondary compounds (ketone), where oxidation can destroy the double bond between carbon and oxygen.

In Time 6, the amount of reactive substances to thiobarbituric acid was low, while in Time 9, the values were higher and presented a significant difference between times and samples, with a drop in Time 12 for the pure soybean oil sample (Table 2). Time is a significant variable in TBARS formation. Malonaldehyde-type compounds are highly reactive. Thus, they present results only from products that happen temporarily in the oxidation stages. The smallest development of TBARS until time 9 was for BHT soybean oil and GSE soybean oil, with no significant difference ( $P>0.05$ ) between both samples. However, the joint action

of the antioxidant compounds acted as antagonist, and the values approached the pure soybean oil sample. Zhang et al. (2018) evaluated the effect of synthetic antioxidants and natural phenolic compounds on the oxidative stability of pecan oil. They observed that the synthetic compounds (BHT, BHA and TBHQ) were more efficient in protecting against TBARS.

The soybean oil used for the study presented as the main FA the C16:0 ( $10.31 \pm 0.07\%$ ), C18:0 ( $3.67 \pm 0.11\%$ ), C18:1 ( $25.45 \pm 0.30\%$ ), C18:2 ( $52.53 \pm 0.20\%$ ) and C18:3 ( $6.48 \pm 0.10\%$ ). Figure 1 shows the results for the major fatty acid content during the period of forced oxidation for the samples.

Time 12 was the one that presented FA results with higher significance ( $P < 0.05$ ). The lowest degradation was observed for C16:0 and C18:0, which is related to the absence of unsaturation since the carbon-hydrogen bonds present higher energies and differ from the transfer of atoms by a peroxy radical (ROO.), which occurs readily in unsaturated fatty acids. The oil with BHT remained stable until Time 9, showing a significant drop in the content of the major FA in Time 12, showing less protection against oil with GSE and with GSE+BHT, and having no significant difference from pure oil. The sample with GSE, showed a gradual decomposition from Time 0 to Time 12, respectively of 287.03, 260.15, 245.19 mg g<sup>-1</sup> for C18:1. Similar results to this work were also obtained by Liu et al. (2018), when evaluating the degradation of soybean oil from 0 to 50 h of frying at  $180 \pm 5$  °C. Multari et al. (2019) evaluated new types of oils (Hempseed, Lupine and Oats) and conventional oils (Rapeseed, Soybean and Sunflower) by the method of frying at 180 °C. For soybean oil, the authors reported a significant increase in oleic acid from 18.8 to 20.9 % at T20 min, followed by stabilization at T60 min. At the same time, they observed a drop in linoleic acid and  $\alpha$ -linolenic 52.9 - 50.9 % and 8.89 - 8.00 %, respectively.

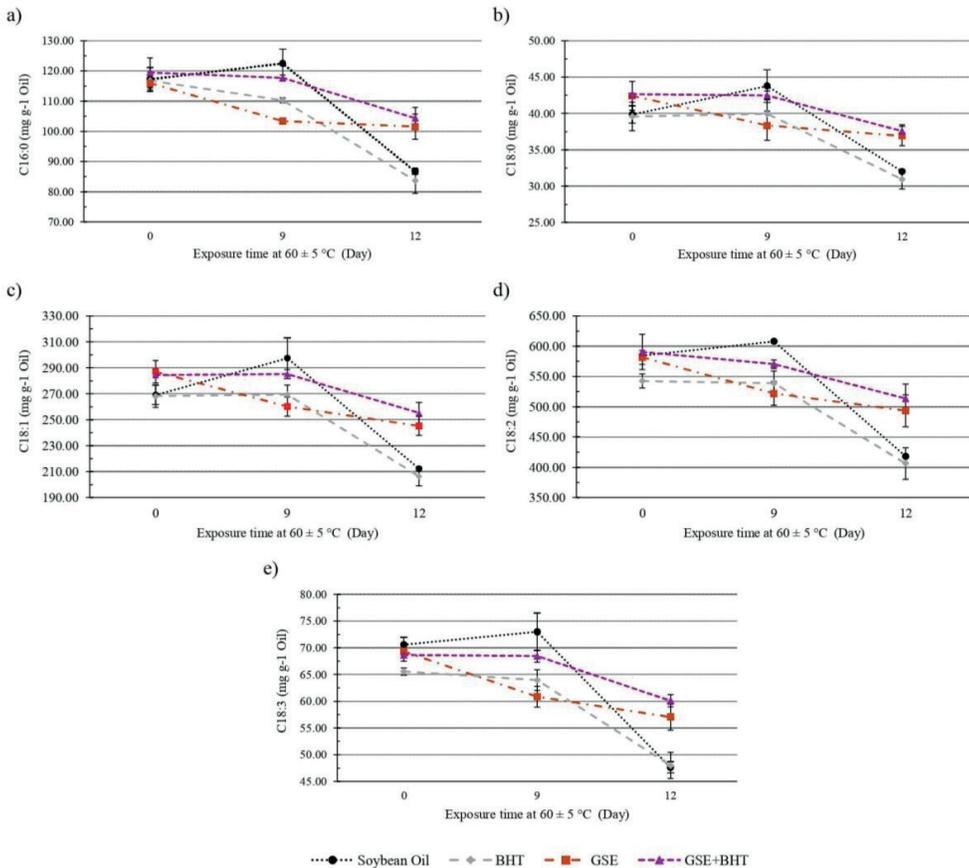


Figure 1. Main fatty acids of soybean oil (mean ± standard deviation) before and after oxidation at 60 ± 5 °C (GSE = grape seed extract).

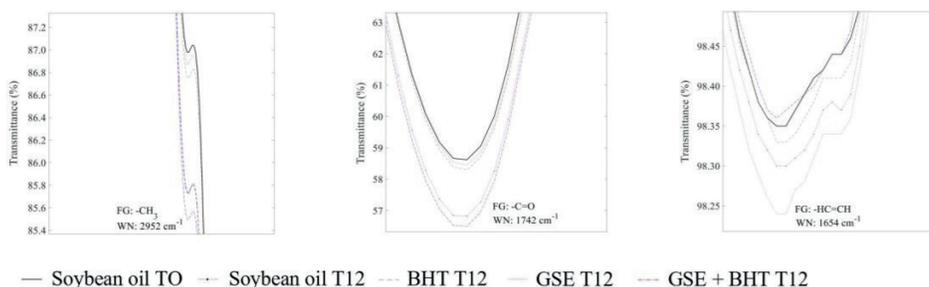
Similar data are presented in Figure 1 c) AG-C18:1, where it can be observed that in pure soybean oil, there is a significant increase ( $P < 0.05$ ) in Time 9, followed by a significant drop in Time 12. Linoleic and linolenic acids are prone to oxidation, as they contain two and three double bonds, respectively. The oleic acid is more stable because it contains only one insaturation. The saturation process of double bonds during lipid oxidation converts linolenic acid to linoleic acid, from linoleic acid to oleic acid, and from oleic acid to stearic acid, which is usually negligible. The antioxidants evaluated in this study demonstrated the delay of oxidation (Figure 1: d, e) of FA C18:2 and C18:3, which, due to the presence of unsaturation, are more prone to oxidation.

Yang et al (2016) structured the evaluation of rosemary extract with some changes to this study (temperature of 62 °C for 24 direct days) and did not evaluate the synergism between the extract (0.04%) and synthetic antioxidants (BHT+BHA - 0.02 %). They found that FA C14:0, C16:0, C18:0, and C18:1 presented an increase in composition for all treatments and a significant decrease for C18:2 (41.47 %) and C18:3 (5.7 %), with rosemary

extract has been more efficient in oxidative protection. Compared with the results obtained in this work, the oxidation time was a factor that influenced the increase in saturated FA and the decrease in concentration of C18:2 (19.86 %) and C18:3 (50.72 %). It was observed on Figure 1 that soybean oil enriched with GSE and in joint action with BHT were more efficient than BHT in protecting against the degradation of the majority FA after 12 days of accelerated oxidation.

The spectra for the 4 treatments (non-oxidized and oxidized) were obtained (Figure 2). The absorption bands were identified and the functional groups responsible for the absorption, according to Nurwahidah et al. (2019), as follows: 3009  $\text{cm}^{-1}$  (*cis* stretch =CH), 2923 and 2853  $\text{cm}^{-1}$  (symmetric and asymmetric stretch of -CH<sub>2</sub>), 1742  $\text{cm}^{-1}$  (stretch -C=O) ester, 1654  $\text{cm}^{-1}$  (*cis* stretch -CH=CH), 1464  $\text{cm}^{-1}$  (flexion -CH<sub>2</sub>), 1377  $\text{cm}^{-1}$  (flexion -CH<sub>3</sub>), 1237  $\text{cm}^{-1}$  (stretch -CO), 1160  $\text{cm}^{-1}$  (stretch -CO); bending -CH<sub>2</sub>), 1098  $\text{cm}^{-1}$  (stretch -CO), 1033  $\text{cm}^{-1}$  (stretch -CO), 968  $\text{cm}^{-1}$  (-HC=CH (*trans*)), 914  $\text{cm}^{-1}$  (-HC=CH (*cis*)), 722  $\text{cm}^{-1}$  (*cis* -CH=CH curved out of plane). A non-characteristic band for soybean oil was identified in 968  $\text{cm}^{-1}$  (-HC=CH *trans*), which is related to out- of-plane deformation of hydrogen bond in the *trans* configuration in lipids obtained from plants. In soybean oil *trans* fatty acids do not occur naturally and their formation occurs in the oil deodorization stage when high temperatures are employed.

After the period of induction to oxidation, the obtained spectra showed no deformation, only reduction or increase in transmittance. All bands identified for Time 12 of pure soybean oil showed a reduction in transmittance when compared to Time 0 of pure soybean oil, indicating that there was an increase in absorbance. During the oxidation of unsaturated vegetables oils occurs formation of hydroperoxide, those decomposition results in formation of aldehydes, that absorbs at 1742  $\text{cm}^{-1}$ . Decomposition of hydroperoxides also results in increase of methyl groups, due to formation of hydrocarbons, that absorbs at 2952  $\text{cm}^{-1}$ . Soybean oil with BHT and soybean oil with GSE did not show the same level of increase in the bands when compared to pure soybean oil after 12 days of oxidation, showing that both have efficiency in protection.



FG: Functional group; WN: Wavenumber; T0: Sample without undergoing forced oxidation; T12: Sample oxidized for 12 days at  $60 \pm 5$  °C.

Figure 2. Individual analysis of identified bands and functional groups (GSE = grape seed extract).

Xu et al. (2016) evaluated the oxidative stability of peanut oil at 7-day intervals for 42 days of samples exposed to light and ambient temperature. In each analyzed period they observed an increase in intensity in regions 3471  $\text{cm}^{-1}$ , 1706  $\text{cm}^{-1}$ , 968  $\text{cm}^{-1}$  and 914  $\text{cm}^{-1}$  of transmittance. The authors attributed this increase due to the formation of hydroperoxides, free fatty acids (FFA) and also observed a reduction in intensity in the region of 722  $\text{cm}^{-1}$ . Daoud et al. (2019) [10] evaluated oil emulsion spectra in water before and after oxidation and identified deformation of the spectra as well as the appearance of bands in other regions. These initiation deformations indicate the presence of alkyl and peroxy radicals, and these reactive radicals abstract hydrogen atoms from other unsaturated FA, forming hydroperoxides, and decompose into secondary products (ketones, aldehydes, ethers and alkanes). The fact that the band in the 1654  $\text{cm}^{-1}$  region presents low reduction in transmittance may be related to the formation of other compounds, such as dienes and conjugated trienes. Oyman et al. (2003) obtained data of reduction of these regions, being related to the conversion of *cis* -C=C non-conjugated into C=C conjugated *cis-trans* or *trans-trans*. The formation of dienes and trienes was significant mainly for soybean oil, but, as well as peroxides, there was no reduction or degradation in other compounds in Time 12.

Data obtained in global analysis (Table 2), showed that there was a small significant difference ( $P>0.05$ ) between treatments with antioxidants at certain times. However, when observing the results of FA (Figure 1), it is observed that soybean oil with BHT showed a significant degradation when compared with soybean oil with GSE and oil with GSE+BHT for all the majority of FA evaluated after 12 days of oxidation. On the other hand, in the FTIR analysis, the sample with GSE+BHT showed an increase in absorbance for all identified bands except 1654  $\text{cm}^{-1}$  (-HC=CH), being very similar to the non-oxidized soybean oil, which may be the effect of the joint application of GSE and BHT. Another point to be considered is the formation of TBARS, in which the sample with GSE+BHT showed a formation similar to the negative control ( $P>0.05$ ) with significant difference when comparing the samples with BHT and GSE. The degradation of TBARS changes the carbonyl band (1742  $\text{cm}^{-1}$ ). Thus, by FTIR analysis, the addition of GSE+BHT in soybean oil presented an antagonistic action in the protection against oxidation, while the use of GSE separate indicates to be as efficient as BHT.

Several published and recognized articles worked with DSC, and based on an antioxidant limit due to legislation, the main interest of this study was to evaluate its stability against forced temperature conditions, thus performing the prediction. The determination of the oxidative stability by OIT was performed in oil samples. Data, obtained from the DSC curves, made possible to obtain a logarithmic relation represented by  $\ln \text{OIT vs. } 1/T$ . This provides a linear relation of T versus  $\log t_0$  (where T is temperature and  $t_0$  is time), which is represented by the semi-logarithmic graph (Figure 3). This graph, adjusted by means of the straight equation, allows the application of the Arrhenius equation. From equations ( $T = b - a (\log t_0)$ ) of the straights obtained (Figure 3) by the semi- logarithmic regression for

the 4 treatments, the forecast obtained for shelf life at 20 °C in days (Tab. 3), in descending order, was: SO with GSE+BHT > pure SO > SO with GSE > SO with BHT. The shelf life of soybean oil with GSE+BHT was 894 days.

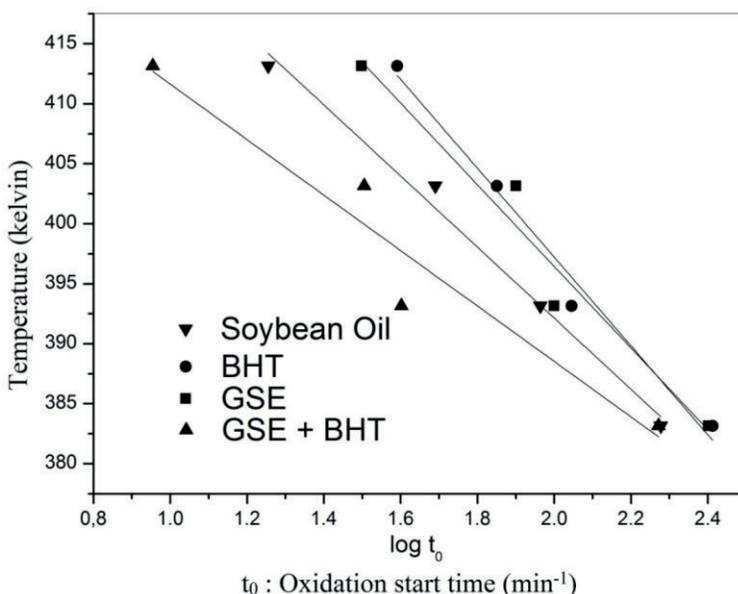


Figure 3. Calorimetric curve for the 4 treatments represented (GSE = grape seed extract).

Yang et al. (2016) obtained the induction period at 120 °C per rancimat for soybean, cotton seed and rice oils, supplemented with rosemary extract and BHA+BHT and noted that the synthetic antioxidants for all oils were superior over the control, with lower performance for rosemary extract. Hegazy & Abdel- Maksoud (2016), in their study using ethanolic GSE (200 ppm), obtained an expiration of 14 months, while in our study, using a solvent mixture to prepare GSE, the shelf life was of almost 30 months, matching GSE + BHT in SO. Applying the Arrhenius equation to the straight line equation (Table 3), the activation energy data and the pre-exponential factor of the evaluated reactions were obtained.

Sample	Straight equation	Coefficient	Prediction of Shelf Life		ln (k) = a (1/T) + b		
			Days	a	b	R <sup>2</sup>	AOIT (h-1)
Soybean Oil	T = 451.4 -29.63 (logt <sub>0</sub> )	0.9848	148.15	-	30.92	0.99822.60 x 1013	102.38
BHT	T = 471.3 -37.02 (logt <sub>0</sub> )	0.9761	44.10	12313.21	24.38	0.99883.59 x 1010	82.11
GSE	T = 464.5 -34.02 (logt <sub>0</sub> )	0.9337	73.81	-9875.47	26.57	0.99953.38 x 1011	89.21
GSE + BHT	T = 434.7 -23.11 (logt <sub>0</sub> )	0.9037	894.43	10728.97	40.15	0.99952.64 x 1017	131.32

T: Temperature in kelvin; t<sub>0</sub>: Oxidation start time (min<sup>-1</sup>); a: Line slope; b: Line interception; A<sub>OIT</sub>: pre-exponential factor or frequency factor; E<sub>a</sub>: activation energy; GSE = grape seed extract.

Table 3: Shelf life forecast at 20 °C (in days) obtained by the linear regression equation and Arrhenius parameters

The activation energy (E<sub>a</sub>) for the treatments varied significantly, being in the same decreasing order of shelf life. E<sub>a</sub> is another way of expressing dependence on the rate of polyunsaturation (linoleic and linolenic acids) present in vegetable oils, that is, lower E<sub>a</sub> more oleic acid. However, in this study the composition of fatty acids is the same for oils, varying only the antioxidants. Gülmez & Şahin (2019), analyzed hazelnut oil and activation energy data ranging from 86.30 to 106.34 kJ mol<sup>-1</sup>, according to the added phytochemical. Chemical reactions with high values of activation energy are temperature sensitive, and reactions with low activation energy are less temperature sensitive. The sample of soybean oil with GSE+BHT showed a higher dependence on temperature, consequently its reduction to 20 °C allows a higher oxidative stability when compared to other treatments. Ragnarsson & Labuza (1977) point out that the concentration of antioxidants is inversely proportional to oxidation, and that the E<sub>a</sub> is higher in the presence of antioxidants, that is, the oxidation inhibitors decrease the oxidation rate and increase E<sub>a</sub>. In moreover, the addition of antioxidants, oxygen pressure and other factors can alter the mechanism.

Therefore, inhibitors partially decrease the oxidation rate by increasing the overall E<sub>a</sub>. Farhoosh et al. (2008) evaluated different oils and found data for frequency factor (AOIT) 28.03 x 1013 h<sup>-1</sup> and E<sub>a</sub> of 92.42 kJ mol<sup>-1</sup> for pure soybean oil, obtaining an oxidative stability index at 20 °C of approximately 179 days, a little higher than this work, where they worked with variation of the amount of samples and heating rate. All these factors have their importance in varying degrees for the oxidation of lipids by triplet (<sup>3</sup>O<sub>2</sub>) and singlet (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>) oxygen. The temperature affects the singlet oxygen oxidation very little, but has a significant effect on the triplet oxygen oxidation, which requires high E<sub>a</sub>. Polyunsaturated fatty acids (PUFA) are more susceptible to triplet oxygen oxidation than monounsaturated fatty acids (MUFA), since the E<sub>a</sub> is lower than that of MUFA. Considering Arrhenius' equation, frequency factor A together with E<sub>a</sub> are considered the main kinetic parameters that affect the reaction rate.

Data obtained by Farhoosh and Hoseini-Yazdi (2014) showed a similar pattern of the *A* factor, comparing  $E_a$  for the oils studied, however, the kinetic parameters should not be used individually. The data obtained in this work for Factor *A* present similarity to the researched literature. As  $E_a$  increased, the increase in factor *A* was equivalent, the inverse also. A higher value of factor *A* means a higher probability of successful collisions that cause chemical changes. Unlike  $E_a$ , the frequency factor has a relationship with the composition of the sample under study. Ostrowska-Ligeza et al. (2010) analyzed 4 types of olive oil by DSC and rancimat, also observed that as  $E_a$  increased the *A* factor also increased significantly. The authors reported a possible irregularity in the olive oil, which means words, change in its composition.

Kinetic parameters of olive oils were also determined by Gharby et al. (2016, 2021). These authors found strong dependency with the temperature of oil from different olive varieties and higher oxidation induction time was recorded in virgin olive oil as compared to refined olive oil. In this work, the *A* factor and  $\log t_0$  presented a positive correlation ( $R^2=1.0000$  and  $R^2=0.9989$ , respectively) with  $E_a$ , demonstrating that the factors that most influenced the results by the DSC analysis were the presence of GSE and BHT, and the presence of antioxidants together has a significant response at storage temperature.

## CONCLUSION

Edible soybean oil (SO), purchased at local market, was enriched with Bordô grape seed extract (*Vitis labrusca*) (GSE). This oil shows little or no significant difference with SO enriched with BHT and or with both antioxidants at its maximum point (Time 9) of products oxidation accumulation for acidity, peroxide, conjugated dienes, trienes and TBARS analysis. Those indicate that the natural antioxidant is equivalent to the synthetic for these parameters.

Regarding the preservation of FA, after 12 days of accelerated oxidation SO enriched with GSE and in joint action with BHT, was more efficient than BHT alone.

For the analysis of ATR-FTIR, good similarity was observed between the oil with BHT and oil with GSE at bands 2923, 2853, 1742 and 1160  $\text{cm}^{-1}$ , while the antioxidants GSE+BHT added simultaneously to the SO, presented an antagonistic effect, since all the bands diminished their transmittance, showing a very similar response to the oxidized pure SO.

Similarly, data obtained from DSC analysis showed that GSE+BHT oil was more temperature-dependent, but with a predicted shelf life at 20 °C higher than other treatments (894 days), while BHT and GSE soybean oil were less temperature-dependent.

Therefore, the GSE used in this work presented itself as promising to be used as a natural antioxidant in SO, demonstrating in the various tests performed an equivalent or superior response to BHT. This implies an application for this bioactive agro-industrial residue, besides a possible substitution to the use of the synthetic antioxidant.

## ACKNOWLEDGEMENT

To the Central Analytical Facility (LABCA) of UTFPR - Campus Toledo for the support and UTFPR - Campus Medianeira for support in DSC analysis.

## REFERENCES

1. Lucarini M, Durazzo A, Romani A, Campo M, Lombardi-Boccia G, Cecchini F. Bio-Based compounds from Grape seeds: A biorefinery approach. *Molecules*. 2018;23(8):1888, doi:10.3390/molecules23081888
2. Unusan N. Proanthocyanidins in grape seeds: An updated review of their health benefits and potential uses in the food industry. *J Funct Foods*. 2020;67:103861, doi:https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103861
3. Chen Y, Wen J, Deng Z, Pan X, Xie X, Peng C. Effective utilization of food wastes: Bioactivity of grape seed extraction and its application in food industry. *J Funct Foods*. 2020;73: 104113, doi:https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104113
4. Hegazy AI, Abdel-Maksoud BS. Use of Grape Seed Powder Extract as a Natural Antioxidant for Improving the Stability of Heated Soybean Oil. *Middle East J Agric Res*. 2016;5: 333–339
5. Dalposso PV, Aguiar CM de, Torquato AS, Tiunan TS, Martin CA, Zara RF, et al. Optimization of antioxidant extraction and characterization of oil obtained by pressing cold from *Vitis labrusca* seeds. *Food Sci Technol*. 2022;42: e47420, doi:10.1590/fst.47420
6. Umeda W, Jorge N. Oxidative stability of soybean oil added of purple onion (*Allium cepa* L.) peel extract during accelerated storage conditions. *Food Control*. 2021;127:108130, doi:10.1016/j.foodcont.2021.108130
7. Ghanbari Shendi, Esmaeil, Sivri Ozay, Dilek, Ozkaya, Mucahit Taha, Ustunel, Nimeti Feyza. Changes occurring in chemical composition and oxidative stability of virgin olive oil during storage. *OCL*. 2018;25: A602, doi:10.1051/ocl/2018052
8. Ghanbari Shendi E, Ozay D, Ozkaya M, Üstünel NF. Effects of filtration and storage on chemical composition and sensory properties of olive oil extracted from Beylik cultivar. *Qual Assur Saf Crop Foods*. 2019;11: 1– 11, doi:10.3920/QAS2018.1272
9. Fadda A, Sanna D, Sakar EH, Gharby S, Mulas M, Medda S, et al. Innovative and Sustainable Technologies to Enhance the Oxidative Stability of Vegetable Oils. *Sustainability*. 2022;14, doi:10.3390/su14020849
10. Daoud S, Bou-maroun E, Djourdy L, Waschatko G, Billecke N, Cayot P. Fast and direct analysis of oxidation levels of oil-in-water emulsions using ATR-FTIR. *Food Chem*. 2019;293: 307–314, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.05.005
11. Ostrowska-Ligęza E, Bekas W, Kowalska D, Lobacz M, Wroniak M, Kowalski B. Kinetics of commercial olive oil oxidation: Dynamic differential scanning calorimetry and Rancimat studies. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2010;112: 268–274, doi:10.1002/ejlt.200900064
12. Brasil. Portaria n° 1003, de 11 de dezembro de 1998. Lista e enumera categorias de alimentos para efeito de avaliação do emprego de aditivos. *Diário Oficial da União*: 14 dez 1998

13. Cottica SM, Amado DAV, Aguiar SC de, Boeing JS, Franco SL, Zeoula LM, et al. Antioxidant activity and lipid oxidation in milk from cows with soybean oil and propolis extract added to their feed. *Food Sci Technol*. 2019;39: 467–474, doi:10.1590/fst.33817
14. Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 1st ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz; 2008.
15. Kiokias S, Dimakou C, Tsaprouni I, Oreopoulou V. Effect of compositional factors against the thermal oxidative deterioration of novel food emulsions. *Food Biophys*. 2006;1:115–123, doi: 10.1007/s11483-006- 9015-2
16. Ke PJ, Woyewoda AD. Microdetermination of thiobarbituric acid values in marine lipids by a direct spectrophotometric method with a monophasic reaction system. *Anal Chim Acta*. 1979;106: 279–284, doi: 10.1016/S0003-2670(01)85011-X
17. Hartman L, Lago RC. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Lab Pract*. 1973;22: 475–6 passim.
18. Visentainer JV. Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. *Quim Nova*. 2012;35: 274–279, doi:10.1590/S0100-40422012000200008
19. A.T. N, Rumiyati R, S. R, Ahmad Fadzillah N, K. B, Rohman A. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) coupled with multivariate calibration and discriminant analysis for authentication of extra virgin olive oil from rambutan seed fat. *Food Res*. 2019; 727–733, doi:10.26656/fr.2017.3(6).182
20. Aktar T, Adal E. Determining the Arrhenius kinetics of avocado oil: oxidative stability under rancimat test conditions. *Foods*. 2019;8: 236, doi:10.3390/foods8070236
21. Kehili M, Choura S, Zammel A, Allouche N, Sayadi S. Oxidative stability of refined olive and sunflower oils supplemented with lycopene-rich oleoresin from tomato peels industrial by-product, during accelerated shelf-life storage. *Food Chem*. 2018;246:295–304, doi:10.1016/j.foodchem.2017.11.034
22. Guo Q, Gao S, Sun Y, Gao Y, Wang X, Zhang Z. Antioxidant efficacy of rosemary ethanol extract in palm oil during frying and accelerated storage. *Ind CropsProd*.2016;94: 82–88, doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.08.032
23. Yang Y, Song X, Sui X, Qi B, Wang Z, Li Y, et al. Rosemary extract can be used as a synthetic antioxidant to improve vegetable oil oxidative stability. *Ind Crops Prod*. 2016;80: 141–147, doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.044
24. Zhang Y-Y, Zhang F, Thakur K, Ci A-T, Wang H, Zhang J-G, et al. Effect of natural polyphenol on the oxidative stability of pecan oil. *Food Chem Toxicol an Int J Publ Br Ind Biol Res Assoc*. 2018;119: 489–495, doi:10.1016/j.fct.2017.10.001
25. Liu Y, Wang Y, Cao P, Liu Y. Combination of Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Electron Spin Resonance Spectroscopy for analysis of oxidative stability in soybean oil during deep-frying process. *Food Anal Methods*. 2018;11: 1485–1492, doi:10.1007/s12161-017-1132-7
26. Multari S, Marsol-Vall A, Heponiemi P, Suomela J-P, Yang B. Changes in the volatile profile, fatty acid composition and other markers of lipid oxidation of six different vegetable oils during short-term deep-frying. *Food Res Int*. 2019;122: 318–329, doi:10.1016/j.foodres.2019.04.026

27. Xu L, Yu X, Liu L, Li M, Zhang R. Rapid Method for Evaluating Edible Oil Oxidative Stability during Ambient Storage by FTIR Spectroscopy Using Mesh Cell. *Anal Methods*. 2016;8: 5117-5122, doi:10.1039/C6AY01511E
28. Oyman Z, Ming W, Linde R. Oxidation of model compound emulsions for alkyd paints under the influence of cobalt drier. *Prog Org Coatings - PROG ORG Coat*. 2003;48:80–91, doi:10.1016/S0300-9440(03)00119-X
29. Gülmez Ö, Şahin S. Evaluation of oxidative stability in hazelnut oil treated with several antioxidants: Kinetics and thermodynamics studies. *LWT- Food Sci Technol*. 2019;111:478-483, doi:10.1016/j.lwt.2019.05.077
30. Ragnarsson JO, Labuza TP. Accelerated shelf-life testing for oxidative rancidity in foods—A review. *Food Chem*. 1977;2: 291–308, doi: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(77\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0308-8146(77)90047-4)
31. Farhoosh R, Niazmand R, Rezaei M, Sarabi M. Kinetic parameter determination of vegetable oil oxidation under Rancimat test conditions. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2008;110: 587–592, doi:<https://doi.org/10.1002/ejlt.200800004>
32. Gharby, Said, Harhar, Hicham, Mamouni, Rachid, Matthäus, Bertrand, Ait Addi, El Habib, Charrouf, Zoubida. Chemical Characterization and Kinetic parameter determination under Rancimat test conditions of four monovarietal virgin olive oils grown in Morocco. *OCL*. 2016;23: A401, doi:10.1051/ocl/2016014
33. Gharby S, Hajib A, Ibourki M, Sakar EH, Nounah I, Moudden H El, et al. Induced changes in olive oil subjected to various chemical refining steps: A comparative study of quality indices, fatty acids, bioactive minor components, and oxidation stability kinetic parameters. *Chem Data Collect*. 2021.

## CAPÍTULO 6

# LAS INGENIERAS (Y) ARQUITECTAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN MÉXICO MEJOR, A 100 AÑOS DE LA ESCUELA TÉCNICA DE CONSTRUCTORES, ESIA IPN EN SUS INICIOS

*Data de aceite: 01/08/2024*

### **María Guadalupe Valiñas Varela**

Dra. En Urbanismo, profesora investigadora del Posgrado de la ESIA Tecamachalco IPN en México  
<http://orcid.org/0000-0002-2422-096X>

### **Carolina Navarrete Salvador**

Ingeniera Arquitecta del IPN, México, coordinadora de la Colectiva Feminista de las Ingenieras Arquitectas ESIA Tecamachalco IPN

Trabajo correspondiente al proyecto de investigación Complejidad Urbano-arquitectónica, desde lo prehispánico a nuestros días, con una visión de perspectiva de género. Aportes socio-culturales y económico-políticos aplicados al presente para evaluar la ecoutopía y distopía del futuro de las ciudades, basadas en el conocimiento antiguo. con registro SIP 20240920 dirigido por la Dra. María Guadalupe Valiñas Varela

**RESUMEN:** En la ESIA Tecamachalco se llevó a cabo una de las jornadas más importantes en conmemoración de los 100 años de la Escuela Técnica de constructores que representa los inicios de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional, denominada con el título aquí presentado y que marcará un antes y un después en la historia de la escuela. Esta inicia en marzo del 2022 por motivo del día internacional de la mujer, y en un principio surge con la colaboración entre el Ilustre Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos de México y el grupo de mujeres denominado “Arquitectas (De) construyendo Ciudad”<sup>1</sup>. El evento duró una semana en la escuela y posteriormente continuó en el Palacio de Minería, la antigua Escuela Nacional de Ingenieros en 1867 cuando la participación de las mujeres en la arquitectura y la ingeniería ni siquiera se vislumbraba como una posibilidad, lo anterior como parte del Foro Social Mundial, que busca generar cambios en la sociedad que mejoren la calidad de vida. Estos

<sup>1</sup> Este grupo tiene sus inicios en el proyecto de investigación “Complejidad Urbana, Arquitectura y Patrimonio desde una Perspectiva de Género” con número de registro SIP 20210408

Cabe mencionar que Arquitectas (De)construyendo ciudad es una marca registrada en ambos proyectos de investigación en la SIP y en el IMPI, con derechos de autor que ha realizado diversos conversatorios presentados en YouTube, Facebook y podcast en colaboración con distintos grupos y organizaciones con la finalidad de abordar estas temáticas y darle voz a mujeres que intervienen en el quehacer urbano arquitectónico, además de visibilizar las distintas problemáticas que enfrentan a diario.

trabajos tienen la finalidad de visibilizar tanto los problemas que sufren a diario las alumnas, así como las mujeres profesionistas en estas disciplinas donde su trabajo, la mayoría de las ocasiones no cuenta con el debido reconocimiento y los obstáculos se multiplican por su condición de género.

**PALABRAS CLAVE:** Arquitectura / Género / Ciudad

## WOMEN ENGINEERS (AND) ARCHITECTS IN THE CONSTRUCTION OF A BETTER MEXICO, 100 YEARS AFTER THE TECHNICAL SCHOOL OF BUILDERS, ESIA IPN IN ITS BEGINNINGS

**ABSTRACT:** At ESIA Tecamachalco, one of the most important event was held in commemoration of the 100 years of the Technical School of Builders, which represents the beginnings of the Higher School of Engineering and Architecture of the National Polytechnic Institute, named with the title presented here and that will mark a before and after in the history of the school. This begins in March 2022 on the occasion of International Women's Day, and initially arises with the collaboration between the Illustrious National College of Architectural Engineers of Mexico and the group of women called "Women Architects Deconstructing City". The event appeared for a week at the school and later continued at the Mining Palace, the former National School of Engineers in 1867 when the participation of women in architecture and engineering was not even seen as a possibility, the above as part of the World Social Forum, which seeks to generate changes in society that improve the quality of life. These works have the purpose of making visible both the problems that the students suffer daily, as well as the women professionals in these disciplines where their work, most of the times, does not have due recognition and the obstacles are multiplied by their gender condition.

**KEYWORDS:** Architecture / Gender / City

## INTRODUCCIÓN

El primer proyecto de investigación registrado con una visión de perspectiva de género por parte de la Dra. Valiñas ya mencionado anteriormente se inició como respuesta a diversas vivencias en la ESIA Tecamachalco, al ser ella posdoctorante y lograr ser la primer mujer profesora con el reconocimiento de Investigadora Nacional, Nivel 1 por parte del CONACYT de la escuela entre los años del 2016 y el 2017, pero se dio cuenta que esto no era suficiente y se encontró con distintos obstáculos, que le hacían mirar desde otra óptica el ámbito profesional, académico y docente, estos iban desde tratos desiguales, acoso, hostigamiento sexual entre otros muchos, lo cual hizo encauzar su trabajo hacia otros horizontes. Era evidente que estudiar distintos posgrados y tener una amplia formación académica no era suficiente en un entorno patriarcal y androcéntrico tan arraigado como son las escuelas de nivel medio superior y superior enfocadas a disciplinas que desde la antigüedad han sido consideradas como parte de un sector designado por la sociedad a los hombres tales como la Ingeniería y la Arquitectura. Constantemente escuchaba palabras de descrédito hacia otras compañeras como "profezorra" u otros, con el tiempo se dio cuenta que el descrédito comienza por la reputación donde la pureza juega un papel primordial y

la mejor manera de atacar a una mujer y sacarla de la jugada es hacer creer a otros que esta es de cascos ligeros, frases de uso coloquial que disminuyen la imagen y prestigio de cualquier persona del sexo femenino, porque es de todas y todos bien sabido que para los hombres acumular relaciones sentimentales son medallas y para las mujeres son puntos en contra. Fue así como inicio la idea de hacer el proyecto de investigación con ese enfoque y adherirle un medio de difusión que pudiera ser escuchado pero que además nadie pudiera callar, se hicieron varias propuestas y fue así como se decidió realizar el programa de YouTube “Arquitectas (De) construyendo Ciudad, donde se invitaron a muchas mujeres a conversar y poder hablar libremente de su participación y aporte en estas disciplinas así como en la sociedad misma, los problemas vividos, así como darles la oportunidad de mostrar su trabajo ante el mundo donde los que suelen tener voz son los hombres. Sin embargo, la iniciativa no resultaba fácil y costaba bastante convencer a alguien que quisiera participar, fue así como Tania Guadalupe Hernández Orozco, alumna del servicio social y participante del proyecto, propuso invitar en el primer programa a su hermana Catherine quien es Licenciada en Psicología para que nos platicara el ABC de la perspectiva de género, además sugirió también el nombre del programa en razón de la palabra *deconstruir* propuesta por Jacques Derrida en razón de ser una estrategia de reorganización para la descomposición de un pensamiento occidental ante las contradicciones y desigualdades. Fue Carolina Navarrete Salvador quien a la par para empezar con el primer programa diseñara un logotipo que nos representara y así dibujo ella un mapa de la ciudad con los colores más representativos del feminismo, el morado<sup>2</sup> y el verde, cuyo simbolismo profundo refiere a una ciudad igualitaria en derechos y oportunidades para mujeres y hombres capaces de tomar decisiones sobre su cuerpo y vida, además de tener de fondo un círculo que bien puede referir el planeta o la luna misma, en esa relación de descalificar a las mujeres relacionándolas con la noche y la brujería.

---

2 El origen del color morado como símbolo de la lucha feminista, se remonta al terrible incendio en la fábrica Triangle Shirtwaist de Nueva York el 25 de marzo de 1911. Trabajadoras recién emigradas de Europa del Este e Italia, no pudieron huir de las llamas, resultando en 146 muertos y 70 heridos, la mayoría mujeres. Se dice que el humo provocado por el incendio era morado, debido a los tejidos que se usaban en esta fábrica de camisas. Sin embargo, en 1908 las sufragistas inglesas ya utilizaban el color morado. Según la activista Emmeline Pethick, este color simbolizaba la sangre de cada luchadora por el derecho al voto, su conciencia de libertad y dignidad. El blanco, simbolizaba honradez en la vida privada y en la vida política, mientras que el verde, simbolizaba la esperanza en un nuevo comienzo. <https://www.admagazine.com/articulos/por-que-el-morado-representa-el-feminismo>. Acceso diciembre 2022



Figura 1. Logotipo de Arquitectas (De)construyendo Ciudad. Diseño de Carolina Navarrete Salvador

Fue así como con un difícil comienzo inicio algo grande que se transformó en la realización de un total de 30 programas, uno donde se presentó el tema Arquitectura y cultura con perspectiva de género en el Palacio de Minería y 29 conversatorios hasta diciembre del 2022 con las alumnas como moderadoras, cerrando el último conversatorio del año, el 27 de noviembre de 2022, día internacional contra la violencia hacia las mujeres, con la participación de la Directora de Desarrollo Urbano Suelo y Vivienda de SEDATU, la Mtra. Melina Castro Urquiza, quien ha ocupado cargos directivos en instituciones como la Secretaría de Desarrollo Social ahora Secretaría de Bienestar contribuyendo en el diseño de programas sociales relacionados con la vivienda urbana y rural, invitada con la que se abordó la Política Nacional de Vivienda.<sup>3</sup>

## **EVENTO POR EL DÍA INTERNACIONAL DE LA MUJER EN MARZO Y LOS CIENTOS AÑOS DE LA ESIA**

### **Antecedentes**

Al primer conversatorio que fue tan difícil de lograr, antes mencionado, lo sucedieron otros veintiocho más, dando lugar a un total de casi treinta y donde lo que en un principio parecía parte de una labor imposible, el lograr que alguien quisiera participar como invitada, se tradujo en la oportunidad de un espacio para muchas mujeres en el que su trabajo y aporte podía ser conocido. Pero no solo eso, fue también el inicio de varias colaboraciones con distintos grupos de mujeres y organizaciones, entre ellas MOFA, las mujeres organizadas de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, la plataforma de Derechos Humanos Urbanos realizada por la Arq. Angélica Muñoz Martín, la Asociación Mexicana de Arquitectas

<sup>3</sup> <https://youtu.be/uqsAwxAhO3A> Política Nacional de Vivienda con la Directora de Desarrollo Urbano, Suelo y vivienda de SEDATU, la Mtra. Melina Castro Urquiza. 27 de Noviembre de 2022

Urbanistas, AMAU, en cuyo momento coordinaba la Arq. Laura Aranda, además de la misma Sociedad de alumnos y alumnas de la ESIA Tecamachalco, la SAAET de la ESIA Tecamachalco cuyo resultado fue un evento denominado “Detectando las violencias en la ingeniería, la arquitectura y el urbanismo. Acciones para la transformación social”, donde la Doctora Valiñas presentó el tema: “Distintas violencias en el ejercicio de la profesión al construir ciudad” en el día internacional contra la violencia hacia las mujeres el 27 de noviembre del 2021. Además de participar en los eventos denominados “Mujeres haciendo ciudad” organizados por la colectiva Urbanas MX con presentaciones como “Violencia de género en la Academia”. Lo anterior dio lugar a que la Dra. Valiñas recibiera por parte de la Federación de Colegios de Arquitectura de la República Mexicana, el galardón en marzo del 2022 llamado “Arquitecta 2022 FCARM” por su aporte sobresaliente en el ámbito de equidad profesional tanto en su Colegio como en la Sociedad y por la elaboración de una investigación y publicación destacada. El nombre de Arquitectas Deconstruyendo Ciudad comenzaba a sonar en muchos lugares y fue así como el Ilustre Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos de México contactó por medio del correo de gmail a Arquitectas Deconstruyendo Ciudad para realizar un evento conjunto por el el 8 de marzo, día internacional de la mujer, fue el Ing. Arq Itzam Hernández Caballero, director del Programa de Acción para las Nuevas Generaciones, del ICNIAM quien se comunicó con nosotras para realizar dicho evento, pero por azares del destino el mismo se conjugaba con los cien años de la Escuela de Técnicos constructores que representa los inicios de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional y por primera ocasión se hacía una jornada para visibilizar la trayectoria de las ingenieras arquitectas en la ESIA Tecamachalco cuyo nombre quedó de la siguiente manera: **“Las Ingenieras Arquitectas en la Construcción de un México Mejor”**, el evento fue mágico, se acomodaron las cosas de tal manera que resultó un hecho histórico. Lo que se había propuesto como una simple jornada con distintas ponencias se convirtió en algo de importancia nacional, por destino o por casualidad, conocíamos al equipo de Ullama juego de pelota ancestral de la UNAM, quienes en alguna ocasión le habían pedido a la Dra. Valiñas la oportunidad de mostrar ese deporte en la escuela, pues es una actividad deportiva no reconocida en nuestro país, y están tratando de abrir espacios e inculcar el amor a esa práctica a diferencia de lo que ocurre en Guatemala donde es considerada patrimonio cultural intangible. Entonces el Temachtiani del grupo, Alan Lazcano (el que hace que los otros sepan algo), dijo aceptar la invitación con gusto al evento y prometió hacer algo muy especial por los cien años de la escuela, pidiendo que se le comunicara el evento a la Dra. Emilie Carreón Blaine quien es doctora en Antropología Histórica por la École des Hautes Études en Sciences Sociales, París; maestra en Historia del Arte por la Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, y licenciada en Artes Plásticas por el Art Center College of Design, Pasadena, California. Es investigadora del Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, desde 1989 y ha realizado múltiples publicaciones sobre el juego de pelota ancestral analizando su origen

e importancia, además de que ha logrado fabricar las pelotas de caucho similares a las utilizadas de forma original. Alan dijo también hacer una invitación abierta a todas aquellas mujeres que practicaran el juego prehispánico de pelota que sobrevive en el país y la respuesta fue contundente, vino mucha gente de distintas organizaciones pertenecientes a FEMUC, la Federación Mexicana de Ullama de Cadera conformando la inauguración con el Primer torneo femenino de Ullama en el País con visitantes de toda la República Mexicana, iniciando la jornada con este deporte el lunes 28 de marzo del 2022, actividades que concluyeron el 1 de abril del 2022 con un concurso de arte y con el otorgamiento de varios reconocimientos a trayectorias destacadas de mujeres ingenieras arquitectas en la ESIA Tecamachalco.



Figura 2. Cartel del evento, inauguración juego de pelota Yaocihuatl en el Ullama

## El día más importante, la inauguración del evento, el juego de Pelota ancestral y la presentación magistral de la Dra. de Emilie Carreón Blaine

El evento fue inaugurado con la presencia de varias autoridades invitadas del ICNIAM comenzando de izquierda a derecha por el Vicepresidente del Colegio en ese entonces, el Ing. Arq. Alejandro Jaime Colores Martínez, a su lado el Arq. Edzon Jaire Morales Maravilla presidente del Ilustre Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos de México y de la ESIA Tecamachalco, a su derecha el subdirector académico, hoy director interino, el Mtro. Carlos Cisneros Araujo, luego el Mtro. Ricardo Lozano Gálvez jefe de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIA Tecamachalco, también del ICNIAM el Ing. Arq Itzam Hernández Caballero, director del Programa de Acción para las Nuevas Generaciones, luego la Dra. Emilie Carreón Blaine de la UNAM, la Dra. María Guadalupe Valiñas Varela representando a Arquitectas Deconstruyendo Ciudad, además de alumnos y alumnas de la SAAET y la Colectiva feminista Ingenieras Arquitectas de la ESIA Tecamachalco.



Figura 3. Inauguración de la jornada *Las Ingenieras Arquitectas en la Construcción de un México Mejor*. 28 de marzo del 2022.<sup>4</sup>

Después de la bienvenida de las autoridades al evento inició la presentación magistral de la Dra. Emilie Carreón Blaine quien nos adentró a un mundo mágico precolombino donde el deporte era parte de la cosmovisión y vida de los habitantes.

<sup>4</sup> Fuente. Arquitectas Deconstruyendo Ciudad



Figura 4. Acercamiento Dra. Emilie Carreón Blaine<sup>5</sup>, izquierda presentación magistral de inauguración sobre el juego de pelota ancestral. 28 de marzo del 2022.<sup>6</sup>

La Dra. Blaine nos refiere esta actividad, el juego de pelota precolombino como una de las fundamentales en esos tiempos, el juego se ejecuta tempranamente entre los olmecas, los mayas del sureste, los zapotecos, los teotihuacanos del centro y también en el occidente, además hay referencias de que en Tenochtitlan, Moctezuma II lo practicaba, es una característica de varias culturas de la región mesoamericana donde la arqueología registra tanto al norte como al sur canchas de juego con una antigüedad de más de 3000 años. Y si bien no se tiene claro si las mujeres jugaban hay esculturas de Xochipala que hacen pensar que esto pudiera ser posible, también se encontró una escultura en el occidente de México que hace inferir la participación de mujeres en el juego de pelota, además está el caso del cráneo de la mujer de Santa Rosa Chiapas, enterrado en una parte central de la cancha, y que hace cuestionarnos el destino tanto de ganadores y perdedores donde algunos pudieran incluso ser decapitados, pero contundente es lo que la Dra. retoma en uno de sus textos que dice lo siguiente:

...Lo sorprendente de los resultados fue saber que se trataba de un cráneo de mujer adulta, de entre 21 y 35 años de edad. El análisis determinó una deformación craneal tabular oblicua, e incluso que en su parte posterior se distinguen las marcas de los amarres; si a ello se añade el hecho de que los dientes presentaban mutilación tipo M y K, y estaban terriblemente desgastados, los antropólogos físicos pudieron determinar que la mujer probablemente era del centro de México, posiblemente de Teotihuacán, a juzgar por la forma de su cráneo y la mutilación dental. Por ahora es imposible explicar qué hacía una mujer del Altiplano central en el sureste de Chiapas (Blaine 2009, p. 86 )

<sup>5</sup> Fuente Emilie Blaine Carreón.

<sup>6</sup> Fuente. Arquitectas Deconstruyendo Ciudad

Las pelotas son hechas de un material tipo látex, se usaban en esta actividad que era un ritual bélico y también un arte, fue denominado Ulama, el juego de la vida y la muerte, porque existe el debate de que se sacrificaban a los participantes, pero aún no es claro si a ganadores o perdedores, pero por la cosmovisión se piensa que a las deidades se les daba lo mejor en ésta práctica ancestral e incluso en 1896 se produjo la película con ese nombre por parte de Roberto Rochin. La pelota pesa 3.5 kg, y se cree que hace alusión al sol, las canchas estaban más abajo porque se cree que hacían referencia al inframundo, aunque había diferentes tipos de juego de pelota uno era con codos y antebrazos, pero el que se aborda es donde se golpea con la cadera la pelota, en algunas canchas hay aros donde tenía que entrar la pelota y al hacerlo terminaba el juego. Esta practica se fue perdiendo con la conquista española en manos de Hernán Cortés y las ordenes mendicantes, pues se prohibieron este tipo de rituales, que estaban en contra de la religión, sin embargo, en Sinaloa prevaleció, aunque también en el norte de Nayarit y se puede creer que si sobrevivió fue por la apuesta, y aunque al principio el juego era parte de una ceremonia referido en los anales históricos. El nombre de Tlaxcala también se usaba para el lugar donde se hacían carreras de caballos y es el nombre que se le da a los espacios marcados para este deporte. Lizárraga se escapaba del beisbol para jugar Ulama, es una cuestión de a que juegos apoya el gobierno, es muy importante contar con el mismo apoyo con el que cuentan otros deportes que se platican en México, para fomentarlo. Se debe promover el juego en las universidades, en las comunidades y su valoración, quien lo practica son personas en excelentes condiciones físicas, la pelota es tan pesada que es capaz de tirarte, no se puede fingir jugar, se juegan cuestiones de honor, rituales y de creencias, y menciona que en la UNAM han tratado de promover no solo el juego sino también la hechura de las pelotas en hule para darle a los jugadores, una pelota tardan en hacerla una jornada, las pelotas son blancas como el caucho al cabo de horas se oscurecen, se deben estar rebotando para que adquieran esa parte elástica, estas por el momento son caras pues oscilan entre \$3000 a \$10,000 pesos, porque es difícil encontrar el látex, hacer el proceso, y sobre todo distribuir las para que este deporte se juegue en el país a la par de otros deportes pues es importante para la identidad y la cultura.

### **Primer torneo femenino de Ulama en la República Mexicana llevado a cabo en la ESIA Tecamachalco en la conmemoración del centenario**

Algunas personas no creen en las casualidades y creen en el destino, quizás lo ocurrido en la ESIA Tecamachalco Sea parte de eso, sin estar planeado, sin haberlo imaginado se dio este importante suceso como el primer torneo femenino de ulama de cadera en la república mexicana y como todas las historias tiene un principio donde se pueden entender muchas cosas que da cuenta que este tipo de actividades tienen un sentido que va más allá de ser sólo un juego o un deporte, es mucho más que eso, es parte de una tradición de distintas culturas, Pero está relacionado con las creencias con la conexión con la madre Tierra con el actuar en este espacio y en este plano cómo fue que ocurrió esto se platicará a continuación:

En uno de los recorridos realizados por el Parque del Mestizaje a unas calles de la Basílica de Guadalupe dónde se encontraba el acueducto del mismo nombre, Se encontraban jugando bajo una velaría tres jóvenes, Alán, Bryan, Abraham y una chica llamada Wendy observaba.



Figura 5. Juego de pelota ancestral en el Parque del Mestizaje<sup>7</sup>

La Dra. Valiñas se acercó a observar y hacer el ritual, y ellos comenzaron a interactuar y compartir sus conocimientos, explicaron como su traje tiene que ver con la fertilidad y representa ambos órganos genitales, masculino y femenino. El juego tiene que ver con la forma de concebir el mundo y nuestra existencia en el mismo porqué nos encontramos en este plano para trascender en espíritu, en realidad somos entes celestes que se pueden relacionar energéticamente conectados a la Madre Tierra, y después de la explicación refirieron pertenecer al grupo Sierra Tonantzin Tlalli Xochitecpatl, que bien podría ser un mejor nombre del espacio en donde jugaban en ese momento guiados por su Temachtiani Alán.

<sup>7</sup> Fuente Dra. Valiñas Varela

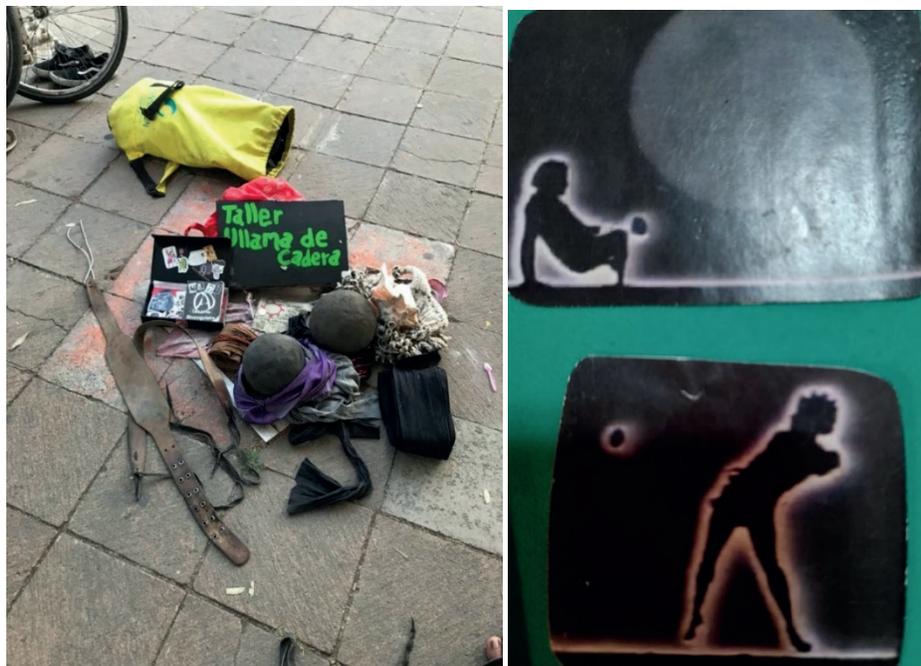


Figura 6.y 7 Izquierda Equipo utilizado y puesto en el suelo en el centro para agradecer a los siete puntos. Norte, sur, este, oeste, cielo, tierra y corazón. Derecha trabajos realizados por los chicos que venden en el Parque del mestizaje para expresar la importancia del juego.<sup>8</sup>

Al referir ser docente del IPN, ellos solicitaron participar en un evento en la escuela, pero solo había el propuesto por el ICIAM por el día internacional de la mujer y en ese momento ni siquiera se tenía conocimiento del centenario de la escuela pero la sorpresa fue que al momento contestaron “está bien también juegan las mujeres, si hay mujeres practicando el juego de pelota ancestral, las podemos invitar y pues nosotros damos una exhibición del juego y ellas por su parte otra”, creyendo que dicha demostración sería llevada a cabo por unas cinco o seis personas, y así fue como se fueron sumando mujeres de muchos lugares y de distintos grupos, así como universidades, entre ellas la UACM, y la UNAM, además de FEMUC, La Federación Mexicana de Ulama de cadera representado por el grupo de Teotihuacan al cual acompañó la misma delegada. Cabe mencionar que este evento estuvo cargado de magia, de ritualidad, y de cosas extrañas, por increíble que parezca el día anterior en sueños se escuchaban voces decir, “vamos de muchos lugares para sanar su escuela”, lo increíble fue ver todas las personas que llegaron de las seis que se esperaban. Aquí valdría la pena recordar lo que refería Castaneda en su libro del arte de ensoñar que refiere estos como una forma de conectar en distintos planos astrales con diferentes energías. (Castaneda 1993)

Solo de jugadoras y jugadores fueron:

<sup>8</sup> Dra. Valiñas Varela

Frine López Rodríguez - Ocoyoacac

-Berenice Gómez Obregón - Ocoyoacac

-Karla Elizabeth Olivares Mendoza - Ecatepec

-Jennifer clavellina pinal - Iztacalco

-María Fernanda Ortiz Ibañez - Xochimilco

-Ninive Betsanie Cruz Quintero - Fuentes Brotantes

-Jorge Daniel Coeto García - Faro Oriente

### **Del grupo Sierra Tonantzin Tlalli - Xochitecpatl**

-Alma Quevedo Zaragoza - Sierra Tonantzin Tlalli

-Libia Wendy Vazquez Anaya - Sierra Tonantzin Tlalli

-Bryan Alberto Lupian Herrera - Sierra Tonantzin Tlalli

-Abraham Prado López - Sierra Tonantzin Tlalli

-Alan Zuñiga Lazcano - Sierra Tonantzin Tlalli

-Omar Jesús Calzada Solis - Sierra Tonantzin Tlalli

### **Del grupo Tlaxco Tlaxcoaque**

-Alma Quevedo Zaragoza - Tlaxco Tlaxcoaque

-Liliana Rodríguez Ortiz - Tlaxco Tlaxcoaque

-Samantha Palafox Rivera - Tlaxco Tlaxcoaque

-Claudia M. Lozano Reynoso - Tlaxco Tlaxcoaque

-Omar Jesús Calzada Solis - Tlaxco Tlaxcoaque

-Edgar Ricardo Murguía Arredondo -Tlaxco Tlaxcoaque

### **DELEGACIÓN CDMX-EDMX - FEMUC**

#### **Del grupo Quinametzin TEOTIHUACAN**

María Paola Guadian Oliva - Quinametzin TEOTIHUACAN

Diana Tonaya Margarita Calvo León - Quinametzin TEOTIHUACAN

Alejandra Aguilar Sánchez - Quinametzin TEOTIHUACAN

Isis Yunuen Vidrio Oliva - Quinametzin TEOTIHUACAN

Yanina Cortés Aguirre - Quinametzin TEOTIHUACAN

## **Del grupo Texocelotzin UNAM**

- María Paola Guadian Oliva - Texocelotzin UNAM
- Libia Wendy Vazquez Anaya - Texocelotzin UNAM
- Alan Zuñiga Lazcano - Texocelotzin UNAM
- Bryan Alberto Lupian Herrera - Texocelotzin UNAM
- Abraham Prado López - Texocelotzin UNAM

Trajeron un hermoso mensaje a la escuela:

### **Yaocihuatl en el Ullama:**

#### **Primer Torneo, Encuentro Femenil Juego ancestral de Ullama de Cadera**

Primer Torneo, Encuentro Femenil y Juego de Exhibición Mixto.

A la comunidad de jugadoras experimentadas pertenecientes a grupos escolarizados y universitarios, pueblos originarios, agrupaciones culturales y comunidades urbanas, donde se guarda y fomenta la práctica del juego ancestral de Ullama. Mujeres que con gran satisfacción llevan a cabo esta práctica ancestral donde llenas de valor y coraje, hacen de cada juego una ceremonia de lucha y alegría, honrando hasta la menor gota de sudor, entregándose con amor y respeto a los movimientos que sustentan esta herencia de nuestr@s ancestr@s y su filosofía. Se impulsa el Primer Encuentro-Torneo de Jugadoras en CDMX-EdoMex denominado: Yaocihuatl en el Ullama. Como iniciativa del grupo cultural del juego de Ullama Sierra Tonantzin Tlalli - Xochitecpatl, en contacto con el Ilustre Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos de México, enlazado por la Dra. María Guadalupe Valiñas Varela, profesora investigadora en el Posgrado de Maestría y Doctorado en Ciencias en Arquitectura y Urbanismo de la ESIA Tecamachalco como parte de Arquitectas (De)construyendo ciudad y con la Colectiva Feminista Ingenieras Arquitectas de la ESIA Tecamachalco. Sustentado por la Dra. Emilie Ana Carreón Blaine, investigadora del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM desde 1989; y en vinculación con la Federación Mexicana de Ullama de Cadera, FEMUC, representada por el delegado Daniel Santiago Luna y la delegada en Teotihuacan, la Lic. María Paola Guadian Oliva. En el marco de la celebración de los 100 años de la ESIA (Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura), con el apoyo del director, el Ing. Luis A. Córdova González y el jefe de la SEPI, el Mtro. Ricardo Lozano Gálvez; convocada durante este mes de marzo, mes de la mujer. No es por demás honrar la participación de las compañeras en este juego ancestral, así como en las carreras de Ingeniería y Arquitectura que históricamente han sido relacionadas con el sexo masculino, anteponiendo una posición paternal y machista a una actividad que no precisa de género. De esta forma reivindicamos el valor de la mujer por sus habilidades para desarrollar e impulsar estas prácticas demostrándolo de la manera más objetiva posible, que es llevándolo a cabo en el taste o campo de juego de pelota.

A todas las jugadoras y jugadores, se les entregó constancia de participación firmada por el Mtro. Carlos Cisneros Araujo ya como director interino por parte de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura de la ESIA Tecamachalco, situación que agradecieron profundamente los participantes refiriendo que el Ullama en muchos lugares era descalificado, no valorado y que para ellos ese papel era motivo de un profundo orgullo.



Figura 8. Inicio del juego de pelota ancestral femenil el 28 de marzo del 2022 en la ESIA Tecamachalco como parte de la inauguración del evento.<sup>9</sup>

El juego terminó con agradecimiento a los cuatro rumbos, durando cuatro horas. Al viento del oriente dedicado a Quetzalcóatl el camino de la luz, al viento del poniente Xipetotec que es la casa de las mujeres y simboliza transformación cambio, al viento del norte Tezcatlipoca referente a la sabiduría a Huitzilopochtli, viento del Sur, el lugar de la voluntad, pero por último también a la Madre Tierra conocida como Tonantzin, al cielo y al corazón.

<sup>9</sup> Fuente. Arquitectas Deconstruyendo Ciudad

## Conferencias y presentación del Libro *Procesos Urbanos, Arquitectura y patrimonio. Complejidad con perspectiva de género*

Esta parte se dio de forma virtual por Zoom, la primera conferencia fue nombrada *Las mujeres en la construcción de la comunidad* por la Ing. Arq. Carolina Navarrete, el martes 29 de marzo se presentó Ciudad y Salud por parte de la Ing. Arq. Wendy Torres Castañeda, el miércoles 30 se presentó el libro “*Procesos Urbanos, arquitectura y patrimonio. Complejidad desde una perspectiva de género*”, coordinado por la Mtra. Lina Mara Arias Saldaña, Wendy Torres Castañeda y la Dra. Valiñas, presentado con una reseña por parte de la Dra. Delia Patricia Lopezaraiza y el doctorante Fabian Pastor Cruz.

Del libro podemos retomar lo siguiente:

El resultado es la búsqueda de una reconstrucción de sociedades más equitativas y con mejor calidad de vida. Se propone un neologismo denominado anastilosis social que considera a las mujeres como la columna de la sociedad al comparar simbólicamente el daño en el patrimonio con el sufrido históricamente por éstas y manifestado con protestas violentas que atentan contra aquel, y que, al igual que esta técnica de restauración, exige estudios metódicos por parte de diversas disciplinas para encontrar soluciones, donde se tomen en cuenta sus problemáticas con leyes más justas, cuya finalidad es reintegrarlas al tejido social, que den, de manera simbólica, alas para que las mujeres puedan volar a nuevas realidades, como parte de una nueva santidad que vea a las mujeres, no como cosas sino como parte de esa sociedad, con virtudes y defectos, ejemplo de lucha constante en los distintos ámbitos sociales. (Valiñas 2021, p.44)

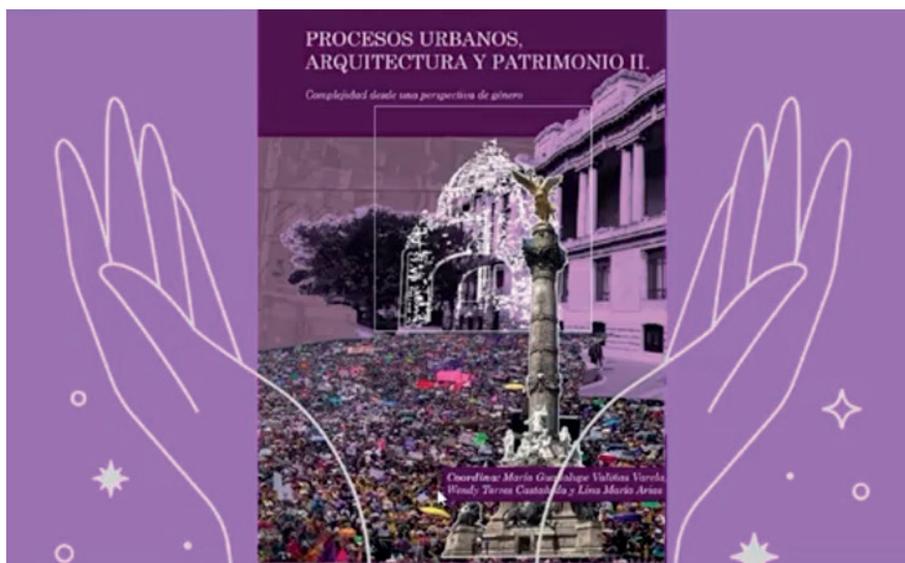


Figura 9. Presentación del libro: *Procesos Urbanos, Arquitectura y Patrimonio. Complejidad desde una perspectiva de género*.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Fuente. Arquitectas Deconstruyendo Ciudad

Por último, el jueves 31 de marzo la conferencia fue sobre *Espacio Público y Género* y la impartió la Mtra. Lina María Arias Saldaña y el viernes 1 de abril se presentó *Habitabilidad Urbana en la movilidad de la mujer*. En dichos eventos fungió la Ing. Arq. Cinthya Pamela Galicia Monterrey como moderadora del evento, la finalidad de estas presentaciones tenía la finalidad de generar una deconstrucción en los oyentes cambiando la visión y entendimiento de lo que viven las mujeres en su día a día.

Estas ponencias concluyeron con la participación especial de las docentes de la UAM Xochimilco, Ana Ruth Quiroz Ibarra y la Mtra. María de Jesús Gómez Cruz, con el tema planeación Urbana participativa con Perspectiva de Género.

### **Talleres y mesa conversatorio “Visibilizando a las Ingenieras Arquitectas de la ESIA Tecamachalco a cien años de la Escuela de Técnicos Constructores del IPN”**

El primer taller lo presentó la Ing. Arq. Elsa Leyva Hernández denominado Iluminación con perspectiva de género, donde se hicieron trabajos muy interesantes entre las alumnas y alumnos.



Figura 10. Taller de iluminación con perspectiva de género, con la Ing. Arq. Elsa Leyva Hernández<sup>11</sup>

Entre algunos trabajos realizados podemos mencionar los siguientes:

<sup>11</sup> Fuente Arquitectas Deconstruyendo Ciudad

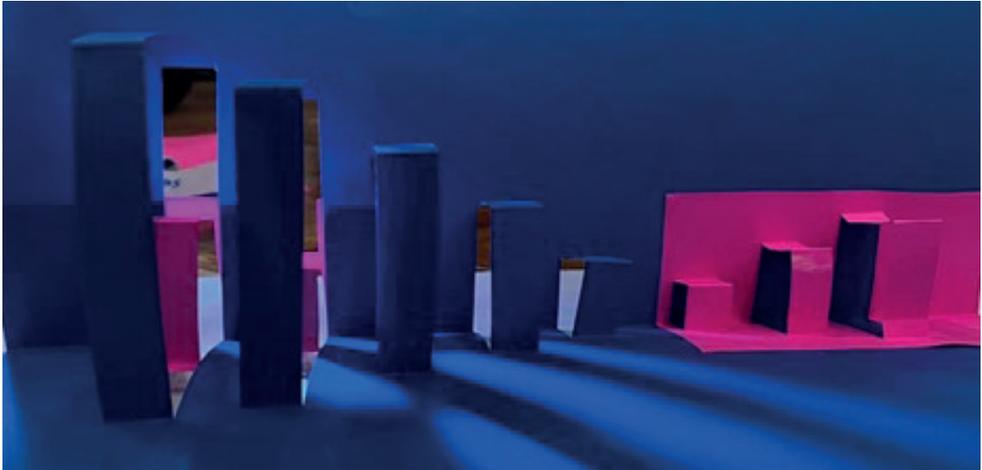


Figura 11. Trabajo realizado del Concepto: Integración

Concepto de Integración: Este pabellón a escala representa la igualdad entre personas; los cuadrados azules, aunque sean más grandes que los cuadrados rosas en su interior se encuentran presente, de igual manera en el rosa se encuentra el azul, lo cual nos enseña que, aunque somos diferentes en el exterior, en el interior podemos ser iguales.<sup>12</sup>



Figura 12. Ruptura de paradigma

---

<sup>12</sup> Trabajo realizado por Valeria Oropeza, Emma Ramírez, Yahir Padilla, Diego Malagón, Roberto Carlos

El paradigma recalcado en la sociedad que separa mujeres de hombres como si fueran 2 cosas diferentes, asignándole incluso colores a los géneros, es algo latente en la sociedad desde hace generaciones, en la actualidad, grupos de personas se han propuesto de romper estos roles preestablecidos. En nuestra composición la estructura rosa y azul tienen vacíos con mallas y partes del color contrario, simbolizando la apertura de mente entre lo que según la sociedad debes de ser, y lo que quieres ser. La luz simboliza tu yo.<sup>13</sup>

Otro de los talleres realizados fue el de Cartografías Corporales para Ingenieras Arquitectas e investigadoras por parte de la Dra. Jessica Reyes Sánchez, el de interpretación de cuerpos y territorios a través del lente de las mujeres por parte de la Colectiva feminista de Ingenieras Arquitectas.



Figura 13. Taller Cartografías corporales para Ingenieras Arquitectas e investigadoras.

<sup>13</sup> Trabajo realizado por Héctor Joab Rizo Mello, Miguel Ángel González Guzmán, Samuel García Cambul, Murillo Mena Vlara, Raúl Mendoza Malagón ,



Figura 14. Realización de mural durante el taller Interpretación de cuerpos y territorios a través del lente de las mujeres.

Posteriormente se cerró ese viernes el evento con una mesa de presentación y debate compuesta por la Mtra. María del Rocio Urban Carrillo quien fui invitada por ser una de las mujeres con una de las trayectorias más importantes en la escuela donde logró incluso ser parte de la terna para ser electa como directora de la ESIA Tecamachalco, además de comentar los problemas a los que se ha enfrentado. La Mtra Ana Graciela Hernández Trevilla, quien habló de la realidad ocupacional de las ingenieras arquitectas y las desigualdades de género presentes en esta profesión y la Dra. María Guadalupe Valiñas Varela quien cerró con la presentación del tema que también era el título de la mesa: **Visibilizando a las Ingenieras Arquitectas de la ESIA Tecamachalco a cien años de la Escuela de Técnicos Constructores del IPN**, estas participaciones tuvieron la conducción de la Mtra. Verónica Zalapa Castañeda como moderadora de la mesa quien cuestionó sobre posibles alternativas para enfrentar las problemáticas a las que nos enfrentamos como mujeres y politécnicas.



Figura 15. Participación de la Mtra. Rocio Urban Carrillo <sup>14</sup>

### Concurso de arte y reconocimientos a mujeres Ingenieras arquitectas.

Para cerrar la jornada que inició el lunes 28 de marzo, el sábado 2 de abril se llevó a cabo el concurso de arte llamado “Mujeres que dejan huella. En honor a las Ingenieras Arquitectas Ruth Rivera Marín, Teru Quevedo, Adriana María Mancilla Ibarra y todas las mujeres de la comunidad Politécnica”, en donde los resultados fueron los siguientes:



Figura 16 y 17. Izquierda “Ilusión por la Arquitectura”.<sup>15</sup> Lado derecho. Igualdad y equilibrio, agua y fuego hombre-mujer. Flor Cecilia Garduño Alavez. Ganador 1er lugar

<sup>14</sup> <https://www.facebook.com/ICNIAM/videos/294109626201967>. Acceso diciembre 2022

<sup>15</sup> Dibujo realizado por María Guadalupe Valiñas Varela para imagen del Concurso de Arte.



Figura 18y 19. Lado izquierdo “El silencio inducido en la escuela de Ingeniería y Arquitectura. Leslie Lucero González Oropeza 2do lugar. Lado derecho. Brenda Alejandra Montiel Santiago. 3er lugar.



Figura 20 y 21. Izquierda: Mujeres ingenieras arquitectas ceden su casco a un hombre. Elsa Leyva Hernández, obtiene Mención. Derecha: “Arquitectura con perspectiva de género”. Aura Luna Rosales, obtiene Mención

Además ese día al entregar los premios del Concurso, se entregaron también los reconocimientos por las trayectorias continuas de estudio en la ESIA Tecamachalco más importantes, donde se galardonó a la Mtra. María del Rocio Urban Carrillo, a la Mtra. Analí Medrano Zetina, a la Mtra Lina Balderrabano Ayala y a la primera doctora egresada del Posgrado, la Dra. Mildred Moreno Villanueva.

El evento trascendería al Palacio de Minería, que fue la antigua Escuela Nacional de Ingenieros en 1867, el 5 de Mayo de 2022, espacio que se solicitó por el simbolismo que representa al ser parte de una época donde las mujeres no podían ejercer estas profesiones, donde los integrantes del Proyecto de Investigación presentaron parte de los resultados como parte de la Actividad *Arquitectura y cultura con perspectiva de género* que representaba a Arquitectas (De) construyendo Ciudad, al Taller de Ciudad y Cultura y a la ESIA Tecamachalco, donde se presentaron los resultados del concurso de arte por parte de la Dra. Valiñas y las conclusiones del evento además de los siguientes temas: Mujeres Ingenieras Arquitectas dentro de la Industria de la Construcción por parte de Cinthya Pamela Galicia Monterrey, El arte como medio de expresión feminista por la P. Ing. Arq. Carolina

Navarrete Salvador, Importancia del arte como medio de expresión en la cultura por el Mtro. Gregorio Estanislao Luna. El patriarcado en la historia por el Mtro. Felipe Heredia Alba y por último Nuevas Masculinidades por parte de Mtro. Fabian Pastor Cruz, lo anterior en razón de generar una deconstrucción al abordar estos temas y presentar dichos trabajos, no solo en la escuela sino ante la sociedad.



Figura 22 Presentación 5 de mayo de 2022 Foro Social Mundial, en el Palacio de Minería.<sup>16</sup>

## CONCLUSIONES

La arquitectura siempre ha podido leerse y vivirse desde diferentes puntos de vista sociales, técnicos, de ingeniería, de derecho...es un arte que, como todos, involucra al autor y al espectador, en este caso, todas las personas para quienes cualquier espacio diseñado está construido. Eso siempre lo hemos tenido claro, la arquitectura no es solo la construcción de de una casa aislada, es algo más, un espacio que pertenece e interactúa con otros espacios en el exterior, por ejemplo, con una plaza, una calle, una ciudad...es decir, un espacio público, donde la cantidad de protagonistas aumenta considerablemente; aun así, la ciudad ha sido siempre diseñada siguiendo un modelo predominantemente masculino y hegemónico, pero ¿qué pasa con el resto de gente que habita el espacio? ¿De qué manera este es incluyente, como influyen estos en el mismo espacio, y como lo transforman?

<sup>16</sup> Archivo personal María Guadalupe Valiñas. Varela

Durante la jornada *Las ingenieras Arquitectas en la construcción de un México mejor* realizada del 28 de marzo al 02 de abril de 2022, en las sedes Regina y Tecamachalco de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, se llevaron a cabo de la mano de investigadoras, alumnas y alumnos, diferentes ponentes y por supuesto, Ingenieras Arquitectas, diversas actividades para conmemorar el Día Internacional de la Mujer y el Centenario de la ESIA IPN.

Desde su inauguración, con la primera exhibición del juego de pelota prehispánico *Yoacihuatl*<sup>17</sup> en el *Ulama* hasta la clausura de la jornada, se convocó a la reflexión, el dialogo y el debate entre distintas disciplinas como antropología y arquitectura enfocadas en el papel fundamental que tienen las Ingenieras Arquitectas y las mujeres en la construcción de comunidad, la habitabilidad del espacio y la relación de territorio y comunidad.

Y es que, continuar silenciando las vivencias de las mujeres sin rescatar las particularidades que experimentamos desde vivir el espacio hasta el ejercer nuestra profesión, es mantener el sesgo que poco a poco vamos intentando disminuir para con el resto de la población.

Algo muy valioso que permaneció visible a lo largo de la jornada, fue el intercambio de ideas y experiencias ya que se pudieron reunir alumnas y alumnos con profesoras y profesionistas de diferentes áreas, lo que enriqueció el diálogo, en este encuentro de experiencia con curiosidad y la nueva ola que el movimiento permite entre las y los más jóvenes.

Es indispensable que una institución que forma profesionistas dedicadas a la construcción de entornos, espacios y ciudades, se mantenga sensible y siempre abierto a las opiniones y la experiencia de todos aquellos quienes participamos en la creación de nuestro entorno, y más aún, aquellos quienes tenemos la responsabilidad de diseñar el espacio para alguien más en nuestras manos.

La sociedad es un ente vivo, crece y se transforma, y es necesario que nosotros fluyamos en ese ritmo, si bien, la participación de las mujeres no es algo nuevo, quizá para algunos entornos, si es bastante más reciente, y eventos como éste, ayudan a romper estigmas, ayudan a avanzar hacia adelante en un futuro que sea realmente incluyente con todos, ayudan a romper la barrera que se nos ha impuesto, a visibilizar nuestras experiencias e incluirlas en el proceso.

Gracias a las participantes, las ponentes y los y las organizadoras, y a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, que estos eventos estén cada vez más presentes y que lo compartido en ellos vaya más allá del diálogo y poco a poco comience a ser acción. Por todas y todos nosotros.

Y principalmente se visibilice el trabajo, así como los contratiempos que se les presenta a las mujeres que deciden estudiar y ejercer estas profesiones.

---

17 Mujer guerrera

## REFERENCIAS

Blaine C. E. & Martínez M. A. (2009) Arqueología Número 41. Mediateca del INAH.

Castaneda C. (1993) El arte de ensoñar. Traducido del inglés al español por Nayely Tycho Editorial Seix Barral. Barcelona

Valiñas V. M. & Torres C. W.& Arias S. L. (2021) Procesos Urbanos, Arquitectura y Patrimonio. Complejidad con una Perspectiva de Género. Editorial Navarra.

Por qué el morado representa el feminismo <https://www.admagazine.com/articulos/por-que-el-morado-representa-el-feminismo>. Acceso diciembre 2022

Arquitectas (De) construyendo ciudad (2021-2022) Facebook <https://www.facebook.com/ArquitectasDeconstruyendo/> Acceso diciembre 2022

Arquitectas (De) construyendo ciudad (2021-2022) YouTube <https://www.youtube.com/@arquitectasdeconstruyendoc5411/streams> Acceso diciembre 2022

## PROPOSTA DE PREVISÃO DA CURVA CARGA-RECALQUE DE ESTACAS CONSIDERANDO A INTERAÇÃO SOLO ESTRUTURA

*Data de aceite: 01/08/2024*

**Sabrina Aguiar da Silva**

**Mariana Natale Fiorelli Fabiche**

**João Henrique de Freitas**

**Jeselay Hemetério Cordeiro dos reis**

**RESUMO:** A previsão da curva carga-recalque de estacas carregadas axialmente no topo tem sido um dos problemas fundamentais em engenharia de fundações, principalmente, devido ao alto grau de hiperestaticidade presente nesses casos e a necessidade de se determinar as relações que comanda a transferência de carga ao longo da estaca. Assim, a identificação do mecanismo de transferência de carga em estacas permite se determine o recalque do topo de estaca que influência na mobilização da reação lateral ao longo do fuste e, em alguns casos, da carga mobilizada na ponta. Desse modo, este estudo mostra uma abordagem para previsão da curva carga-recalque do topo de uma estaca considerando a interação entre o solo e a estrutura. Nessa abordagem, a estaca é considerada como uma estrutura reticulada unidimensional, apoia sobre apoios elásticos onde o coeficiente de reação vertical do solo

(k) é considerado como constante ao longo do comprimento. O processo de cálculo foi automatizado em uma planilha Microsoft Excel estruturada em três janelas: dados de entrada, procedimentos de cálculo e resultados. Os dados de entrada incluem os parâmetros comprimento e diâmetro da estaca, capacidade de carga da ponta e lateral da estaca, módulo de elasticidade do solo, coeficiente de Poisson, resistência característica do concreto.

**PALAVRAS-CHAVE:** interação solo-estrutura, coeficiente de reação vertical, estacas, curva carga-recalque.

### INTRODUÇÃO

Interação solo-estrutura corresponde ao mecanismo de transferência de cargas da estrutura para o maciço de solos no qual a distribuição de esforços depende dos deslocamentos na interface estrutura-solo (MEYERHOF, 1953).

Vários autores, como Rocha (1954), Chamecki (1954) e Gusmão (1994), tem implementado diversos modelos e técnicas para consideração da interação solo

estrutura em edifícios. Quando se trata de iteração solo-estrutura em estacas carregadas axialmente no topo, a previsão da curva carga-recalque necessita que se tenha um modelo de diagrama de distribuição de carga.

Assim, a interação solo-estrutura busca determinar redistribuição de esforços e sua correlação com os deslocamentos e, conseqüentemente, com os parâmetros de compressibilidade do solo e a rigidez do elemento estrutural de fundações (KIRAN *et al.*, 2017).

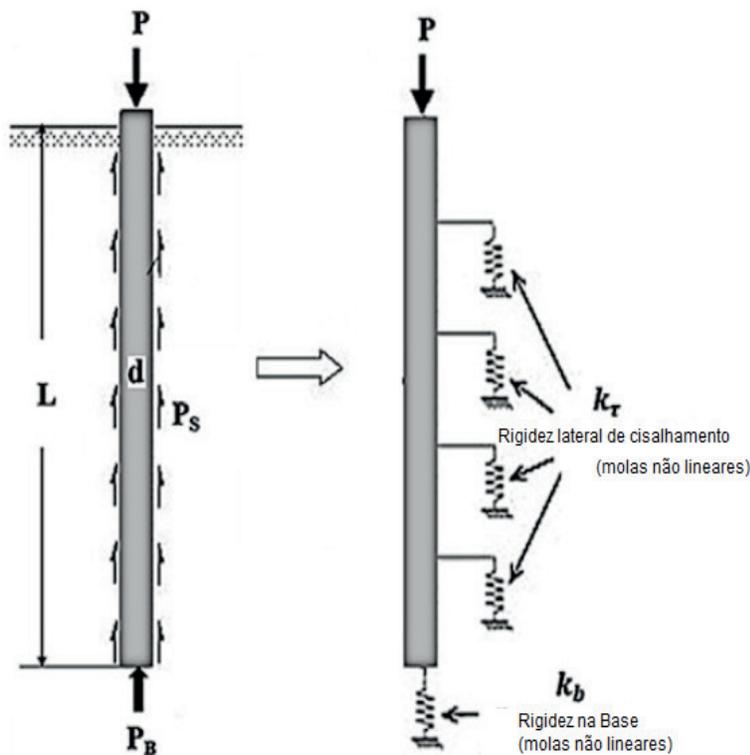


Figura 1 – Modelo estaca-solo usando molas de Winkler

Fonte: Madhira, M.; Sakleshpur, V. A. (2018)

A relação entre os parâmetros de compressibilidade do solo e as características de rigidez do elemento estrutural pode ser definida usando o coeficiente de reação vertical do solo ( $k$ ) que descreve o comportamento da estaca como um Modelo de Winkler (Barra sobre apoios elásticos) como mostra a Figura 01 considerando a estaca como sendo isolada, rígida, com diâmetro ( $d$ ) e comprimento ( $L$ ) submetida a uma carga compressiva axial ( $P$ ). O sistema estaca-solo é considerado como modelo tipo Winkler podendo ter diferentes rigidez ao longo do comprimento e na ponta. A curva carga-recalque é modelada seguindo uma função exponencial inversa (Equação de Van der Veen).

O recalque elástico do topo  $s$  da estaca é calculado como a soma do encurtamento elástico do elemento estrutural e o recalque da base, na forma:

$$s = s_{base} + s_{encurtamento} \quad \text{Eq. 01}$$

Onde:

$s_{encurtamento}$  é o encurtamento do elemento estrutural provocado pela ação do esforço normal na estaca

e calculado como:

$$s_{encurtamento} = \frac{P * l}{A_c * E_c} * IN \quad \text{Eq. 02}$$

Onde:

$P$  é a carga aplicada no topo da estaca;

$l$  é o comprimento da estaca;

$A_c$  é a área da seção transversal do fuste;

$E_c$  é o módulo de elasticidade do concreto;

$IN$  é o fator forma do diagrama de esforço normal da estaca, o qual considera a relação entre esforço normal na estaca e o esforço normal atuante em uma barra livre.

O recalque da Base é definido com a soma da contribuição do recalque que ocorre na base devido a carga transferida pela ponta e o recalque que ocorre na base devido a carga transferida pela lateral:

$$s_{base} = s_{base}(P_p) + s_{base}(P_L) \quad \text{Eq. 03}$$

Onde:

$s_{base}$  é o recalque da base

$s_{base}(P_p)$  é o recalque da base provocado pela carga atuante na ponta

$s_{base}(P_L)$  é o recalque na base provocado pela carga atuante na lateral

De modo que:

$$s_{base}(PP) = P_p * D_p * \frac{1 - \nu^2}{A_p * E_s} \quad \text{Eq. 04}$$

e

$$s_{base}(PL) = \frac{P_L}{D_L * E_s} * I_s \quad \text{Eq. 05}$$

Onde:

$A_p$  é a área da ponta da estaca

$D_L$  é o diâmetro do fuste da estaca

$E_c$  é o módulo de elasticidade da estaca

$\nu$  é o coeficiente de Poisson da estaca

$I_s$  é o fator de influência da distribuição de carga lateral no recalque da base

A forma da curva carga recalque pode ser obtida a partir de uma função matemática que represente seu formato tanto para ruptura nítida quanto para ruptura não nítida. Neste trabalho, utilizou o a equação de Van Der Veen na forma:

$$P = R(1 - e^{-b \cdot s}) \quad \text{Eq. 06}$$

Onde:

$s$  é o recalque elástico no topo da estaca (Eq. 01);

$P$  é carga vertical aplicada no topo em determinado estágio de carregamento;

$b$  é o coeficiente que define a forma da curva carga recalque dado por:

$$b = \frac{\ln\left(1 - \frac{P}{R}\right)}{s} \quad \text{Eq. 07}$$

$R$  é a carga de ruptura da estaca dado pela soma da resistência de ponta ( $R_p$ ) e da Resistência Lateral total ( $R_L$ ) na forma:

$$R = R_p + R_L \quad \text{Eq. 08}$$

O processo para determinação da curva carga-recalque é, portanto, um processo iterativo no qual se atribui um valor para ( $P$ ) aplicada no topo da estaca e calcula-se o recalque elástico correspondente. A partir desses valores, calcula-se o coeficiente de rigidez ao longo do comprimento, na forma:

$$K_{base} = \frac{P_p}{S_{base}(PP)} \quad \text{Eq. 09}$$

e

$$K_{Lateral} = \frac{P_L}{S_{base}(PL)} \quad \text{Eq. 10}$$

O processo é repetido até que haja convergência.

## METODOLOGIA

O processo de cálculo da curva carga-recalque foi automatizado para o cálculo do coeficiente de reação vertical do solo por meio do *software Microsoft Excel* é estruturada em três janelas:

- Dados de entrada
- Procedimentos de cálculo
- Resultados

### Dados de entrada

Os dados de entrada necessários são os parâmetros de área da ponta da estaca, diâmetro do fuste da estaca, módulo de elasticidade da estaca, coeficiente de Poisson da estaca e os fatores de influência  $I_s$  e  $I_N$ .

A planilha funciona quando os valores da capacidade de carga e suas parcelas de Resistência de ponta e Resistência lateral são atribuídos como dados de entrada. Esses valores podem ser calculados usando o Método Aoki-Velloso ou Decourt-Quaresma.

Recomenda-se que a carga atuante no topo da estaca na primeira iteração seja o menor valor entre a carga de serviço ( $0,5R$ ) ou a resistência lateral acumulada ( $R_L$ )

DADOS	
I (m)	
Dp (m)	
Pp (kN)	
Es (kPa)	
v	
PI (kN)	
Is	
P (PI + Pp) (kN)	
fck	
$I_N$	

Quadro 1 - Parâmetros necessários ao cálculo do coeficiente k

## RESULTADOS

Os resultados do processamento da rotina descrita na Planilha Excel elaborada é mostrado em termos de curva carga-recalque (Quadro 2 e Figura 2)

Previsão da curva carga recalque		
Van der Veen		
s (mm)	F (kN)	K (kN) / mm
0	0,0	
1	12,2	12,22
2	24,3	12,15
4	48,0	12,00
8	93,7	11,71
16	178,6	11,16
32	325,3	10,17
64	544,8	8,51

Quadro 2 - Previsão da curva carga recalque de Van der Veen

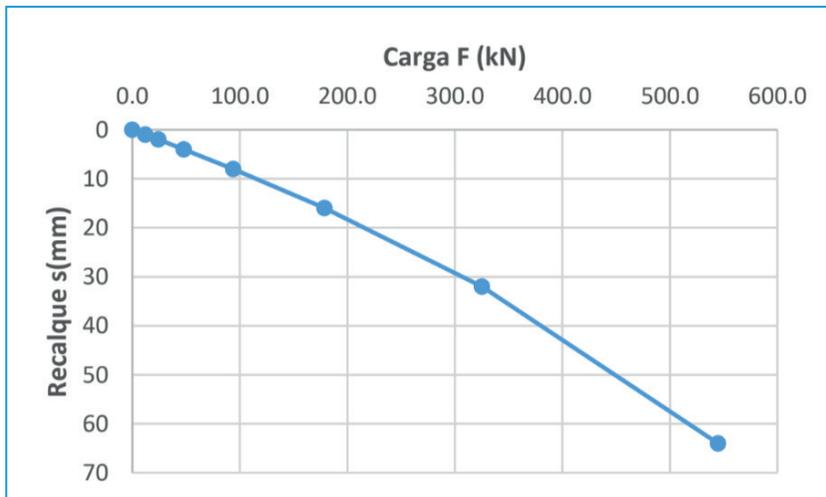


Figura2 - Previsão da curva carga recalque de Van Der Veen

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O processo para previsão da curva-recalque depende fundamentalmente das características físicas e geométricas do elemento estrutural e da rigidez da camada do maciço de solos sobre a qual se assenta à estaca, de tal forma, que o processo de determinação de desses parâmetros são fundamentais para o sucesso do processo aqui descrito.

Vale salientar que, no processo de atribuição dos valores de entrada, os parâmetros de compressibilidade do solo podem ser definidos a partir de correlações com resultados de ensaios de campo ou de sondagens o que pode introduzir erros de na interpretação do formato da curva carga recalque.

A abordagem aqui apresentada possui uma série de simplificações principalmente no tocante ao cálculo do recalque elástico, no processo de previsão da capacidade de carga e na determinação do coeficiente de rigidez de cada trecho que depende do tamanho e do diâmetro da estaca, da profundidade ponta, do comprimento total da estaca, da variabilidade do solo, das condições de compressibilidade do maciço de solos e do tipo de estaca e do embutimento da ponta na camada resistente.

## CONCLUSÕES

A previsão da curva carga-recalque é um problema complexo e que necessita levar em consideração a interação solo-estrutura na distribuição de esforços ao longo da estaca.

Um dos processos mais simples se utiliza do modelo de Winkler para simular o comportamento de estacas carregadas axialmente no topo.

A ferramenta desenvolvida neste estudo é capaz de obter o coeficiente de reação vertical ao longo do comprimento da estaca e utilizada em conjunto com um método de previsão da capacidade de carga e da equação de Van Der Veen obter a curva carga-recalque.

## REFERÊNCIAS

Meyerhof, GG (1953). Pesquisas da fundação e suas aplicações. Engenharia de Estruturas, 31: 151-167.

Rocha, AM (1954). Cálculo de estrutura hiperestática considerando recalques de fundações. Primeiro Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, Porto Alegre, págs 162-165.

Chamecki, S (1954). Consideração da rigidez da estrutura em cálculo de recalque de fundações Primeiro Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, Porto Alegre, págs 35-80.

Gusmão, AD (1994). Aspectos interessantes na interação solo-estrutura e sua influência no desenvolvimento dos recalques. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE – UFRJ), 165 páginas.

Kiran, K. V., Madhav, M. R., & Vidyaranya, B. (2017). **Estimation of shaft and base responses from pile load test**. In Proceedings of 7th Conference on Deep Foundation Technologies for Infrastructure Development in India (DFI-India 2017). Chennai, India (in press).

## CAPÍTULO 8

# DIVULGAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CAMPUS DE CACHOEIRA DO SUL NA COMUNIDADE ESCOLAR

*Data de aceite: 01/08/2024*

### **Paulo César Vargas Luz**

Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul - Brasil

### **Vinícios Frigheto de Franceschi**

Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul – Brasil

### **Laura Lisiane Callai dos Santos**

Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul - Brasil

### **Larissa Melchiors Furlan**

Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul – Brasil

### **César Teixeira Pacheco**

Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul – Brasil

### **Matheus Vargas Linhares**

Universidade Federal de Santa Maria  
Campus Cachoeira do Sul  
Cachoeira do Sul – Brasil

**RESUMO:** As universidades são grandes produtoras de conhecimento científico, o qual deve chegar à comunidade e atender suas demandas. Esse processo é fundamentado no tripé ensino-pesquisa-extensão. A extensão é a ligação entre a comunidade acadêmica e a externa, sendo que essas ações devem beneficiar a comunidade e a universidade. Nesse contexto, esse projeto tem como objetivo a aproximação da comunidade escolar e o curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS). Para tanto é realizado um ciclo de palestras em cinco escolas com o intuito de informar e divulgar o curso e as atividades desenvolvidas no mesmo. É realizada a avaliação das ações desenvolvidas no projeto através de questionários, visando a melhoria do processo. É visado que esse projeto seja executado de forma contínua. Com a realização desse projeto é esperado a aproximação da Universidade com a Comunidade, captar alunos para o curso, fomentar o interesse pelas áreas da tecnologia e elucidar a importância e atuação da profissão do Engenheiro Eletricista.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engenharia Elétrica, Comunidade Escolar, Extensão Universitária.

## INTRODUÇÃO

O Campus da Universidade Federal de Santa Maria Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS) foi oficializado em 19 de dezembro de 2013, através da Resolução nº 038/2013 do Conselho Superior da instituição (Consu) [1]. As aulas tiveram início no dia 11 de agosto de 2014 e, no dia 20 de agosto, ocorreu a solenidade oficial de inauguração do Campus. Provisoriamente as atividades do Campus da UFSM-CS se realizaram em cinco imóveis no centro da cidade, até que os primeiros prédios do Campus, no Bairro Passo da Areia, estivessem em condições de receber os alunos, servidores técnico-administrativos e professores. Neste novo Campus, a UFSM-CS conta com uma área física de aproximadamente 84 hectares.

O Campus da UFSM Cachoeira do Sul inicia suas atividades com cinco cursos de graduação: Arquitetura e Urbanismo; Engenharia Agrícola; Engenharia Elétrica; Engenharia Mecânica; e Engenharia de Transportes e Logística; totalizando o ingresso semestral de 190 alunos. O projeto proposto para o novo Campus da UFSM em Cachoeira do Sul leva em conta as necessidades científicas e tecnológicas do Rio Grande do Sul e do Brasil ao concentrar esforços na área das Engenharias. Assim, se pretende diminuir as carências e promover o desenvolvimento da mesorregião Centro-Sul do Estado do Rio Grande do Sul, tornando esse Campus da UFSM um centro de referência nacional em ensino, pesquisa e extensão nas áreas das Engenharias, Arquitetura e Tecnologias da Informação.

O curso de engenharia elétrica oferece formação generalista, podendo o engenheiro eletricitista formado pela universidade atuar em todas as áreas do conhecimento. Atualmente o curso oferece 40 vagas semestrais, acessíveis pelo SISU, as aulas são ministradas nos turnos manhã e tarde. Tendo formado sua primeira turma de egressos em agosto de 2019. Devido ao fato do curso ser novo, oito anos, indicadores mostram que a comunidade Cachoeirense e região desconhece a existência do mesmo.

Dessa forma, o presente projeto tem como objetivo a aproximação da comunidade local com a universidade, visando explicar questões pertinentes ao curso de Engenharia Elétrica, tais como: áreas de atuação, processo de ingresso, atividades desenvolvidas no curso e assistência estudantil, bem como promover atividades de inserção de alunos de graduação junto à sociedade, de forma a complementar a formação social e técnica.

Esse projeto ainda visa atender a resolução 003/2019 que regula a inserção das ações de extensão nos currículos dos cursos de graduação da UFSM [2]. Outro problema que se visa minimizar com esse projeto é referente a redução da evasão no curso. Os cursos de engenharia do Brasil apresentam atualmente 50% de evasão, o que é um número preocupante. Através dessas ações é visado a captação de alunos que conheçam as atividades de um Engenheiro Eletricista e que tenham uma ideia geral do processo de formação de tal profissional.

## REVISÃO

Conforme Parecer do Conselho Nacional de Educação – CNE/ Câmara de Educação Superior - CES nº 1/2019 do Ministério da Educação - MEC, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE, em 2014, enquanto a Coreia, Rússia, Finlândia e Áustria contavam com a proporção de mais de 20 engenheiros para cada 10 mil habitantes, Portugal e Chile dispunham de cerca de 16, o Brasil somente com 4,8 para o mesmo quantitativo. Com o aumento de número de matriculados e concluintes dos cursos de engenharia, ocorrido nos últimos anos, cerca de 100 mil bacharéis em 2016, foi possível expandir essa proporção [3], [4].

No entanto, o Ministério da Educação (MEC) e o Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira (INEP) apontam que o número de ingressantes no ensino superior, entre os anos de 2017 e 2019, apresentou uma variação de - 3,7% [5], [6].

Uma das ferramentas que as instituições de ensino superior podem adotar para contornar esse problema é a extensão universitária. Dentre outras funções, as ações de extensão tem a obrigação de dialogar com a sociedade, responder suas expectativas, aproximando as comunidades locais da comunidade universitária [2], [7].

Através dessa aproximação entre universidade e escolas de ensino médio, é possível fomentar o interesse nos jovens por ciência e tecnologia e, dessa forma, aumentar o número de ingressantes nos cursos superiores de engenharia.

A extensão universitária é uma diretriz institucional e um dos pilares da universidade pública. Ações dessa natureza propiciam aos alunos participantes vivências, desenvolvimento de habilidades profissionais, habilidades pessoais, consolidação das *softskills*, responsabilidade social e ambiental [8], [9].

Pelo lado da comunidade escolar, os alunos podem esclarecer diversas dúvidas referentes a atuação profissional das possíveis carreira, tais como atuação, faixa salarial, mercado de trabalho e processo de formação, o que auxilia na escolha do curso superior.

Essa troca entre os alunos ainda pode sanar dúvidas referentes a vida acadêmica, tais como ingresso, assistência estudantil, auxílios-moradia, bolsas de estudo, projetos de ensino, pesquisa e extensão. Essas informações são de suma importância para decisão dos alunos em ingressar ao ensino superior, uma vez que esta decisão sofre influência da condição financeira das famílias dos estudantes.

## PROPOSTA

O presente projeto tem como objetivo despertar o interesse consciente e a procura dos jovens da região de Cachoeira do Sul por carreiras técnicas. Tendo em vista que o curso de engenharia elétrica, bem como o campus da UFSM-CS, é relativamente novo, oito anos, entende-se que nem toda a comunidade de Cachoeira do Sul e região tem conhecimento sobre o curso e atividades desenvolvidas no mesmo.

Esse fato motivou alunos e professores do curso de Engenharia Elétrica a realizar a divulgação do mesmo. Essa divulgação tem como público-alvo a comunidade escolar de Cachoeira do Sul e região. Uma consequência dessa divulgação perante os estudantes é a disseminação das informações para seus ciclos de convivência, atingindo, dessa forma, o restante da comunidade.

O meio pelo qual se realiza a divulgação do curso é através de palestras e mostras de projetos desenvolvidos pelos alunos.

Além disso, deve-se dar uma atenção especial para alunos que estão no fim do ciclo do ensino médio, onde mudanças estão prestes a acontecer, pois diversas escolhas profissionais devem ser tomadas, podendo optar pelo precoce ingresso no mercado de trabalho ou pela continuação dos estudos no ensino superior.

Para isto, se faz necessário apontar os benefícios do ensino superior para os alunos que optam pela continuidade dos estudos, dentre eles, pode-se destacar, o desenvolvimento social do aluno, expandindo seu círculo social, pois a universidade traz experiências únicas na vida dos estudantes, ampliação de networking, sendo que, o contato com diversos profissionais do mercado de trabalho escolhido é constante e até uma maior facilidade para conseguir um emprego, e para permanecer ativo no mercado de trabalho.

A metodologia empregada para alcançar os objetivos propostos consiste em um ciclo de palestras e mostra de projetos desenvolvidos pelos alunos do curso para o público-alvo. As fases para a execução dessas atividades são apresentadas na Fig. 1.

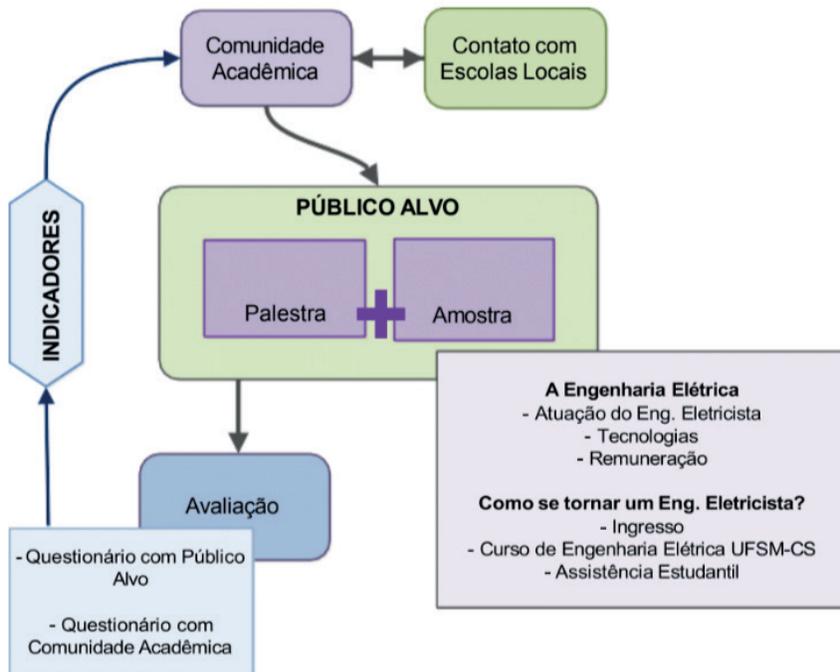


Fig. 1 - Metodologia proposta

Conforme a Fig. 1, a primeira fase da metodologia de ação consistiu no contato da comunidade acadêmica (executores) com escolas locais (público-alvo). Esse contato tem como objetivo verificar a disponibilidade da comunidade escolar em receber a comunidade acadêmica para a execução do projeto.

Após a definição do público-alvo, os executores do projeto realizaram palestras em conjunto com mostra de projetos desenvolvidos pelos alunos do curso de Engenharia Elétrica. Os temas contemplados nas palestras foram: O Contexto e Panorama da Engenharia Elétrica, focando na atuação do Engenheiro Eletricista, as tecnologias envolvidas no curso e remuneração do profissional. Ainda foi contemplado o processo de formação do Engenheiro Eletricista na UFSM-CS, desde formas de ingresso e permanência no curso até o funcionamento do mesmo. Junto as palestras foram apresentados os trabalhos desenvolvidos pelos alunos do curso, com o intuito de esclarecer e motivar o público-alvo com relação as atividades realizadas pelos graduandos. A próxima fase da metodologia, Fig. 1, consiste na avaliação das ações do projeto na forma de questionários. Essa avaliação tem como finalidade a melhoria contínua dos indicadores de eficácia do projeto.

A Fig. 2 e a Fig. 3 apresentam duas palestras virtuais realizadas por alunos e professores do curso de Engenharia Elétrica da UFSM-CS.



Fig. 2 – Palestra virtual no Colégio EAG



Fig. 3 – Palestra virtual no Colégio Estadual São Sepé

A Fig. 4 apresenta uma palestra presencial realizada no Instituto Estadual de Educação João Neves da Fontoura realizada por alunos e professores do curso de Engenharia Elétrica da UFSM-CS.



Fig. 4 – Palestra presencial no Instituto Estadual de Educação João Neves da Fontoura

A Fig. 5 apresenta a mostra de projetos no Instituto Estadual de Educação João Neves da Fontoura, nessa imagem está sendo mostrado o carro seguidor de linha desenvolvido por alunos do curso de Engenharia Elétrica da UFSM-CS.



Fig. 5 – Mostra de projetos no Instituto Estadual de Educação João Neves da Fontoura

Com a realização desse projeto espera-se aproximar a comunidade do curso de Engenharia Elétrica UFSM-CS, informando-os sobre as áreas de atuação do engenheiro eletricitista. Bem como elucidar sobre o funcionamento do processo de ingresso no curso, explanando sobre a assistência estudantil disponibilizada aos graduandos.

Desenvolver, nos acadêmicos, a consciência educacional e envolvê-los em projetos de extensão que acarretem alternativas reais para o melhoramento da educação nas escolas públicas. E por fim, incentivar (motivar) alunos do ensino médio a seguir na carreira das ciências e tecnologia

## RESULTADOS

Conforme Fig. 1 uma das etapas da metodologia é a avaliação. A avaliação do público-alvo foi obtido através de duas metodologias, uma através do feedback direto dos professores e interlocutores das escolas atendidas e outra através de formulários a serem preenchidos virtualmente pelo público alvo.

O público-alvo contempla todas as turmas dos três anos do ensino médio das seguintes escolas:

- Instituto Estadual de Educação João Neves da Fontoura - Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul
- Colégio Concórdia - Porto Alegre, Rio Grande do Sul
- Colégio Estadual São Sepé - São Sepé, Rio Grande do Sul
- Escola Estadual Professora Rosana Sueli Funari - São Paulo, São Paulo
- Colégio EAG - São Paulo, São Paulo.

O questionário enviado aos alunos consistia de algumas perguntas referentes a percepção dos mesmos em relação ao projeto, de todas as perguntas foram selecionadas algumas para compor o presente trabalho.

A Fig. 6 apresenta a resposta da pergunta “Conhecia a UFSM Campus Cachoeira do Sul”, em que 59,40% dos alunos não tinham conhecimento sobre o campus. Demonstrando a importância desse ciclo de palestras, tanto para a divulgação do curso de Engenharia Elétrica como dos demais cursos do campus.

Conhecia a UFSM Campus Cachoeira do Sul?

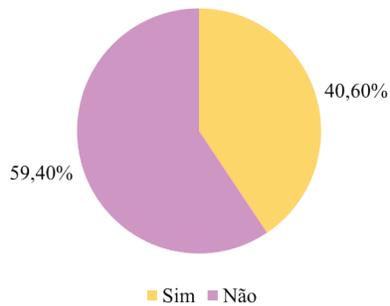


Fig. 6. Respostas para a pergunta 1 do questionário.

A Fig. 7 mostra a resposta da pergunta “Conhece alguém que estuda no Campus Cachoeira do Sul?”. Apenas 9,30% do público-alvo conhece alguém que estuda no campus. É válido lembrar que uma das formas de divulgação de novos locais é a propaganda boca a boca. Este resultado reforça o dado apresentado na Fig. 6.

Conhece alguém que estuda no Campus Cachoeira do Sul?

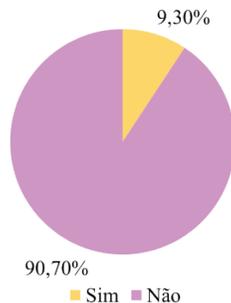


Fig. 7. Respostas para a pergunta 2 do questionário.

A Fig. 8 mostra a resposta da pergunta “Conhecia os benefícios da PRAE”. Apenas 5% do público-alvo conhece os benefícios, o que as vezes faz com que os alunos não tentem estudar em uma universidade federal, pois acham que não vão ter condições financeiras para isso.

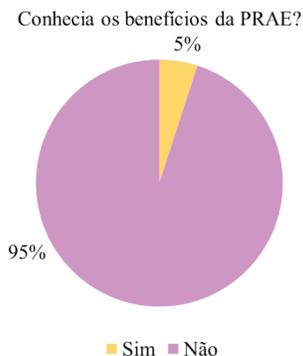


Fig. 8. Respostas para a pergunta 3 do questionário.

A Fig. 9 mostra a resposta da pergunta “Você tem interesse em cursar Engenharia Elétrica?”. Essa resposta teve uma porcentagem grande de alunos respondendo que sim, 31,25%, uma vez que para alguns deles, foi o primeiro contato com a área.

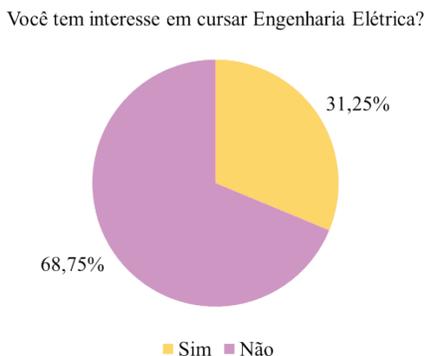


Fig. 9. Respostas para a pergunta 4 do questionário.

O feedback direto dos professores foi excelente. As escolas ficaram muito felizes em receber o ciclo de palestras e salientaram a necessidade de ações nesse sentido de aproximação com a universidade e esclarecimentos acerca dos cursos, atuação profissional, assistência estudantil, dentre outros assuntos tratados nas ações. Esses profissionais ainda destacaram o grande interesse em continuar como parceiros no projeto.

A avaliação feita pelos alunos, através do google forms, mostrou a grande recepção do projeto pelos alunos. As avaliações foram positivas e ressaltaram a necessidade de ações integradoras como a realizada pelo projeto. Ainda foi possível identificar que os alunos de ensino médio possuem um grande déficit de informações com relação ao ensino superior público, tais como acesso, assistências estudantis e até a atuação profissional.

Foi possível esclarecer muitas dúvidas referentes ao ingresso ao ensino superior, a assistência estudantil oferecida pela UFSM CS, e ainda sobre temas específicos das áreas da engenharia elétrica.

As escolas contempladas com as ações firmaram parceria em continuar as ações desenvolvidas nos próximos semestres. Fato que deverá ser executado, de forma contínua, a fim de expandir e estreitar ainda mais os laços entre a universidade e as escolas.

Esses resultados positivos foram coletados não só de forma informal e diretamente com o público, mas também através de avaliações através do google forms.

## CONCLUSÃO

A realização desta atividade de extensão contribuiu de forma ativa para sanar a necessidade de incentivar os alunos a ingressarem no ensino superior após a conclusão do ensino médio. Foi estabelecida a aproximação entre os alunos da comunidade escolar e os alunos do curso de Engenharia Elétrica da UFSM-CS, facilitando o entendimento de quesitos fundamentais como o funcionamento do processo de ingresso no curso, explanando sobre a assistência estudantil disponibilizada aos graduandos e disseminando a consciência sobre a importância educacional do ensino superior, envolvendo projetos de ensino, pesquisa e extensão.

Ainda, vale ressaltar que o projeto de extensão vem cumprindo os seus objetivos, possibilitando aos acadêmicos de engenharia elétrica o desenvolvimento de habilidades de grande importância ao perfil do egresso, tais como softskills de interlocução, trabalho em grupo, habilidades pessoais e profissionais.

É de grande importância que o projeto de extensão tenha continuidade, fomentando a busca da comunidade escolar por cursos de ensino superior, sanando dúvidas extremamente pertinentes dos alunos de ensino médio. Dúvidas essas não só sobre a atuação profissional, mas principalmente sobre a vida acadêmica.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, RESOLUÇÃO N. 038/2013, Cria, no âmbito da Universidade Federal de Santa Maria, o Campus da UFSM em Cachoeira do Sul e dá outras providências. Ministério da Educação, MEC, 2013.

BRASIL, RESOLUÇÃO N. 003/2019, Regula a inserção das ações de extensão nos currículos dos cursos de graduação. Ministério da Educação, Universidade Federal de Santa Maria, 2019.

BRASIL, RESOLUÇÃO Nº 1, DE 19 DE MARÇO DE 2019 Regula a inserção das ações de extensão nos currículos dos cursos de graduação. Ministério da Educação, Universidade Federal de Santa Maria, 2019.

MEC. Base Nacional Comum Curricular. 2017. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/abril-2018-pdf/85121-bncc-ensino-medio/filei>. Acesso em: 20 mai. 2020.

MEC. Censo da Educação Superior 2018: Notas Estatísticas. 2019. Disponível em: <http://download.inep.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2020.

OLIVEIRA, D. M.; OLIVEIRA, C. A. M. Dificuldades no Processo de Ensino Aprendizagem da Disciplina De Cálculo Diferencial e Integral em Cursos de Engenharia. In: VI Congresso Nacional de Educação (CONEDU). 2019, Fortaleza: Anais, 2019.

PAULA, J. A de. A extensão universitária: história, conceitos e propostas. Interfaces – Revista Extensão, Belo Horizonte, v.1, n.1, p. 5-23, 2013.

A. Pelizzari, “Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel”, Revista Programa de Educação Continuada, pp. 37-42, 2002.

BRASIL, RESOLUÇÃO Nº 02 DE 24 DE ABRIL DE 2019 Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Ministério da Educação, 2019.

**MARIANA NATALE FIORELLI FABICHE:** Engenheira Civil pela Universidade Paranaense (2009-2013), com especialização em Gestão de Projetos e Obras de Edificações pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016). Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (2014-2016) e Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina (2018-2023). Atuou como Professora horista na Universidade Paranaense nas áreas de Engenharia Civil e Arquitetura entre os anos de 2017-2022, bem como contribuía e participava do quadro do colegiado do curso. Atualmente (2021- Atual) é professora do Departamento de Tecnologia (DTC) nos cursos de Engenharia Civil e Tecnologia da Construção civil da Universidade Estadual de Maringá Campus de Umuarama, lecionando disciplinas de Conforto térmico, Hidrologia, Hidráulica I, Laboratório de Hidráulica I e II, Materiais de Construção, Gerenciamento dos Recursos Hídricos, entre outras. Participa efetivamente em orientações de TFC bem como em orientações de estágio supervisionado e obrigatório nos cursos lecionados.

**SABRINA AGUIAR DA SILVA:** Sabrina Aguiar da Silva é doutoranda no programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá (UEM), com foco de pesquisa em Geotecnia. Atuou como docente no Centro Universitário Integrado, em Campo Mourão - PR, onde ministrou a disciplina de Análise Estrutural no curso de pós-graduação em Cálculo de Estruturas Aplicadas à Construção Civil. Atualmente, é docente no Departamento de Tecnologia (DTC) da UEM, Campus de Umuarama - PR, ministrando disciplinas nas áreas de Solos, Fundações, Transportes e Pavimentação para os cursos de Engenharia Civil e Tecnologia em Construção Civil. Possui formação técnica integrada em Informática (nível médio), graduação em Engenharia Civil (2013-2017), e título de Mestre com pesquisa desenvolvida na área de Saneamento e Recursos Hídricos, todas obtidas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Campo Mourão. Em 2019, cursou duas disciplinas de pós-graduação (stricto sensu) no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UEM, totalizando 6 créditos. Além disso, tem experiência na área de Engenharia de Transportes, com ênfase em Infraestrutura de Transportes.

**A**

Acoplamento magnético 21, 30, 39

Antioxidante 58

Arborização 44, 45

Arquitetura 48, 109, 119

Aspa eólica 13, 14

Automatização 120

**B**

BEM 13, 14, 15, 16, 45, 48, 50, 109, 111, 114, 119

**C**

Captação de energia 21, 23, 33, 34, 35, 36, 37, 39

Cidade 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 54, 55, 56, 57, 109

Coefficiente de reação vertical 101, 102, 105, 107

Compostos bioativos 58

Controladores PID 10

Controlador PIDA 1, 2, 5, 7, 10

**D**

Desempenho 1, 2, 7, 9, 10, 30, 31, 33, 34, 36, 49, 120

Desempenho urbano 120

Distribuição do espaço 55

**E**

Efeito antioxidante 58

Eficiência energética 21, 22, 24, 35, 38, 39

Energia residual 21, 22, 23

Espaços públicos 39, 44, 45, 46, 49, 54, 55, 57, 120

Estabilidade oxidativa 58, 59

**F**

Floresta urbana 44

**G**

Gênero 120

Gestão ambiental 44

**I**

Índice de desempenho 120  
 Interação solo-estrutura 101, 102, 107

**M**

Malha viária urbana 43, 46, 48, 49, 54  
 MATLAB® 1, 2, 3  
 Menor extração de energia 120  
 Microgeração 21, 33, 34, 36, 37, 38

**P**

Piezoelasticidade 21, 23, 27, 35, 39, 41  
 Praças 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57  
 Procedimento 1  
 Provas de carga 120

**R**

Radiofrequência 21, 23, 32, 37, 39  
 Resolução numérica 120  
 Revitalização de espaços públicos 120

**S**

Sensores autônomos 21, 34, 35, 36, 37, 38  
 Sistemas autoalimentados 21, 23, 30  
 Solar 21, 22, 23, 27, 33, 34, 35, 38, 39, 42

**T**

Teoria de controle 3  
 Termoeletricidade 21, 23, 24, 27, 34, 39

**V**

Van der Veen 102, 104, 106, 107  
 Vitis labrusca 59, 60, 64, 73, 74

# Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

# 3

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

# 3

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)