

# ENGENHARIA DO FUTURO

## Tendências e Perspectivas

*Resiane Silveira (Org.)*

**v4**  
2023

# ENGENHARIA DO FUTURO

## Tendências e Perspectivas

*Resiane Silveira (Org.)*

**v4**  
2023



**2023 – Editora Uniesmero**

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

uniesmero@gmail.com

**Organizadora**

Resiane Paula da Silveira

**Editor Chefe:** Jader Luís da Silveira

**Editoração e Arte:** Resiane Paula da Silveira

**Imagens, Arte e Capa:** Freepik/Uniesmero

**Revisão:** Respectivos autores dos artigos

**Conselho Editorial**

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

Me. Elaine Freitas Fernandes, Universidade Estácio de Sá, UNESA

Me. Laurinaldo Félix Nascimento, Universidade Estácio de Sá, UNESA

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

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

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

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

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

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

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

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

Esp. Jader Luís da Silveira, Grupo MultiAtual Educacional

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

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S587p Silveira, Resiane Paula da  
Engenharia do Futuro: Tendências e Perspectivas - Volume 4 /  
Resiane Paula da Silveira (organizadora). – Formiga (MG): Editora  
Uniesmero, 2023. 103 p. : il.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-5492-046-9  
DOI: 10.5281/zenodo.10546534

1. Engenharia. 2. Tecnologias. 3. Máquinas e construção. I.  
Silveira, Resiane Paula da. II. Título.

CDD: 620  
CDU: 62

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

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

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora Uniesmero  
CNPJ: 35.335.163/0001-00  
Telefone: +55 (37) 99855-6001  
[www.uniesmero.com.br](http://www.uniesmero.com.br)  
[uniesmero@gmail.com](mailto:uniesmero@gmail.com)  
Formiga - MG  
Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:  
<https://www.uniesmero.com.br/2024/01/engenharia-do-futuro-4.html>



**AUTORES**

**BRENDA DOS SANTOS BARBOZA  
CASSIANA FAGUNDES DA SILVA  
DAYSE MENDES  
DOUGLAS SOARES AGOSTINHO  
ELIANE P. CIPOLATTI  
FRANCISCO HENRIQUE DE OLIVEIRA  
FRANSÉRGIO LEITE DA CUNHA  
GERALDO ROSSONI SISQUINI  
GUSTAVO BOURDOT BACK  
JOÃO DE ALMEIDA MELO FILHO  
JOSÉ DANILO CASTRO DE OLIVEIRA  
JOSÉ JORGE DE AZEVEDO SANTOS  
JÚLIA MARQUES ZUANY DE OLIVEIRA  
MARISA FERNANDES MENDES  
MATTEUS SOUZA ROSSONI SISQUINI  
MOISES BARBOSA JUNIOR  
ROSA H. LUCHESE  
VICTORIA LARISSA SILVA CUNHA  
VIVIAN DA SILVA CELESTINO REGINATO**

## APRESENTAÇÃO

O compêndio científico "Engenharia do Futuro: Tendências e Perspectivas" surge como um farol, iluminando os caminhos do conhecimento e da inovação no vasto campo da engenharia. Em um mundo caracterizado por mudanças aceleradas, é imperativo compreender as trajetórias e os contornos que delineiam o futuro da engenharia, uma disciplina que desempenha papel central na construção da sociedade contemporânea.

O presente volume reflete a dedicação e a perícia de uma coletânea de pesquisadores, cujas contribuições convergem para oferecer uma visão abrangente e aprofundada das tendências que moldarão o cenário da engenharia nos próximos anos. Cada capítulo é uma janela para as fronteiras do conhecimento, revelando as inovações tecnológicas, os desafios emergentes e as soluções que estão transformando a engenharia em uma força propulsora do progresso.

A diversidade temática abordada nesta obra reflete a natureza interdisciplinar da engenharia contemporânea, indo desde avanços na inteligência artificial e computação quântica até as aplicações práticas da engenharia biomédica e sustentabilidade ambiental. O leitor será guiado por um percurso que abraça a complexidade e a interconectividade desses tópicos, promovendo uma compreensão holística das dinâmicas que impulsionam a evolução da engenharia.

Cada capítulo não apenas explora as tendências atuais, mas também lança olhares críticos para o futuro, antecipando os desafios éticos, sociais e ambientais que a engenharia enfrentará. Ao fazer isso, este volume aspira a ser mais do que um mero registro do estado atual da engenharia; é uma antecipação perspicaz do que está por vir.

Ao imergir nesta obra, os leitores são convidados a se tornarem co-participantes de uma jornada intelectual que transcende fronteiras acadêmicas e profissionais. Este livro é um convite à reflexão, à discussão e, acima de tudo, à inspiração para os engenheiros do presente e do futuro. Que esta obra contribua significativamente para o avanço do conhecimento e para o fortalecimento dos alicerces que sustentam a engenharia como um catalisador primordial do progresso humano.

## SUMÁRIO

<b>Capítulo 1</b> <b>MODELAGEM CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS PARA REGULARIZAÇÃO DE IMÓVEIS PÚBLICOS</b> <i>José Danilo Castro de Oliveira; Vivian da Silva Celestino Reginato; Francisco Henrique de Oliveira; Gustavo Bourdot Back</i>	<b>8</b>
<b>Capítulo 2</b> <b>ANÁLISE DA SATISFAÇÃO NO ENSINO DE PROGRAMAÇÃO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO PARANÁ</b> <i>Moises Barbosa Junior; Cassiana Fagundes da Silva</i>	<b>17</b>
<b>Capítulo 3</b> <b>A INSERÇÃO DE DESENHO UNIVERSAL NA GRADE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNINTER</b> <i>Dayse Mendes; Douglas Soares Agostinho</i>	<b>25</b>
<b>Capítulo 4</b> <b>REAPROVEITAMENTO DO GLICEROL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE PROCESSOS FERMENTATIVOS</b> <i>Brenda dos Santos Barboza; Rosa H. Luchese; Eliane P. Cipolatti; Marisa Fernandes Mendes</i>	<b>33</b>
<b>Capítulo 5</b> <b>DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE MOVIMENTOS DOS MEMBROS SUPERIORES OU INFERIORES</b> <i>Matteus Souza Rossoni Sisquini; Fransérgio Leite da Cunha; Geraldo Rossoni Sisquini</i>	<b>47</b>
<b>Capítulo 6</b> <b>CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FLEXÃO DE ARGAMASSAS REFORÇADAS COM FIBRAS NATURAIS VEGETAIS AMAZÔNICAS</b> <i>Júlia Marques Zuany de Oliveira; João de Almeida Melo Filho</i>	<b>71</b>
<b>Capítulo 7</b> <b>TECNOLOGIAS PARA PREVENÇÃO DE RISCOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS: UM ESTUDO DE RISCOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS</b> <i>José Jorge de Azevedo Santos; Victoria Larissa Silva Cunha</i>	<b>82</b>
<b>Capítulo 8</b> <b>INSTALAÇÕES DE PLACA FOTOVOLTAICA NA BAHIA: UM ESTUDO DE ENERGIA LIMPA E SUSTENTÁVEL</b> <i>Victoria Larissa Silva Cunha; José Jorge de Azevedo Santos</i>	<b>92</b>
<b>AUTORES</b>	<b>100</b>



**Capítulo 1**  
**MODELAGEM CONCEITUAL DE BANCO DE**  
**DADOS PARA REGULARIZAÇÃO DE IMÓVEIS**  
**PÚBLICOS**

***José Danilo Castro de Oliveira***  
***Vivian da Silva Celestino Reginato***  
***Francisco Henrique de Oliveira***  
***Gustavo Bourdot Back***



# MODELAGEM CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS PARA REGULARIZAÇÃO DE IMÓVEIS PÚBLICOS

**José Danilo Castro de Oliveira**

*Técnico Agrimensor da Secretaria de Estado da Administração de Santa Catarina  
Mestrando em Gestão Territorial | danilo.castro.engcivil@gmail.com*

**Vivian da Silva Celestino Reginato**

*Professora na Universidade Federal de Santa Catarina  
Pós-Doutora em Modelação Geográfica e Gestão Territorial |  
vivian.celestino@ufsc.br*

**Francisco Henrique de Oliveira**

*Professor na Universidade Estadual de Santa Catarina  
Pós-Doutor em Engenharia Cartográfica | chico.udesc@gmail.com*

**Gustavo Bourdot Back**

*Bolsista no Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil  
Mestrando em Gestão Territorial | gustavoback@yahoo.com.br*

## **RESUMO**

Por envolver diversos níveis de informação, a regularização de imóveis públicos é um processo que exige um banco de dados bem estruturado. Para gerenciar uma grande quantidade de dados, é fundamental que esses sejam modelados a partir de uma linguagem comum capaz de abstrair o mundo real para o contexto computacional. Neste sentido, a modelagem conceitual é uma estratégia capaz de garantir essa linguagem comum aos dados, adequando-os para que se integrem e forneçam informações que subsidiam a tomada de decisão no âmbito da gestão territorial. Com base no exposto, este trabalho aborda a modelagem conceitual de banco de dados geográficos para a regularização de imóveis públicos. O estudo utiliza uma abordagem aplicada, exploratória, descritiva e bibliográfica, integrando dados advindos de memoriais descritivos de matrículas aos conceitos de parcela do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM). A modelagem conceitual produzida por meio do modelo OMT-G, o mesmo utilizado pela Infraestrutura Nacional de

Dados Espaciais (INDE), permitiu a integração das poligonais dos memoriais descritivos aos dados levantados em campo e assim, a integração ao CTM. As classes, os relacionamentos e as restrições de integridade espacial possibilitaram análises mais abrangentes e a formulação de estratégias para uma gestão territorial mais eficiente e formas aperfeiçoadas de regularização fundiária.

**Palavras-chave:** Gestão territorial. Regularização fundiária. Parcela. Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM).

### **ABSTRACT**

Due to involving various levels of information, the regularization of public properties is a process that demands a well-structured database. To manage a large amount of data, it is essential that they are modeled from a common language capable of abstracting the real world into the computational context. In this regard, conceptual modeling is a strategy capable of ensuring this common language for data, adapting them to integrate and provide information that supports decision-making in the realm of territorial management. Based on the above, this work addresses the conceptual modeling of geographic databases for the regularization of public properties. The study employs an applied, exploratory, descriptive, and bibliographic approach, integrating data from property deeds with the concepts of parcels from the Multipurpose Territorial Cadastre (MTC). The conceptual modeling produced through the OMT-G model, the same one used by the National Spatial Data Infrastructure (INDE), allowed for the integration of parcel boundaries from property deeds with field-surveyed data, thus integrating it into the MTC. The classes, relationships, and spatial integrity constraints enabled more comprehensive analyses and the formulation of strategies for more efficient territorial management and improved land regularization processes.

**Keywords:** Land management. Land regularization. Parcel. Multipurpose Territorial Cadastre (MTC).

## **INTRODUÇÃO**

A regularização de imóveis públicos é um processo complexo que envolve diversas etapas e informações. Para facilitar esse processo, é necessário um banco de dados bem estruturado e organizado, que possa armazenar as informações necessárias e otimizar a gestão de uma grande quantidade de imóveis.

Na prática, os dados de regularização fundiária exigem uma linguagem em comum para relacionar as suas origens (mundo real) às suas diferentes formas de manifestação na natureza. Neste sentido, a modelagem conceitual de dados é uma linguagem universal, amplamente utilizada para abstrair as informações do mundo

real para o universo computacional, de forma a retratar, organizadamente, os dados em um contexto de negócio e representação futura (REGINATO, 2023).

Para realizar a modelagem, um dos modelos mais conhecidos é o OMT-G, utilizado pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) (CONCAR, 2010), pois abarca termos e primitivas geométricas e topológicas de dados espaciais, ou seja, compreende diferentes estruturas, várias visualizações de objetos e diversas relações espaciais (BORGES, DAVIS JR.; LAENDER, 2001). De acordo com Borges (2002) o OMT-G é baseado em três principais conceitos: classes (geográficas e convencionais) representando a visão de campos e objetos; relacionamentos (agregação, especialização/generalização, rede e associações) e; restrições de integridade espacial (definição de valores nulos, chaveamentos, acessos, entre outros). Os dois primeiros formam o diagrama de classes, esquema conceitual que permite visualizar o fluxo que a informação deve seguir. O último é descrito em dicionário de dados e permite a compreensão dos atributos relativos aos objetos da classe.

Como a modelagem conceitual permite organizar os dados de forma que eles se integrem e se relacionem entre si, produzindo informações novas e permitindo a realização de análises que subsidiem a decisão política em planejamento e gestão territorial, este artigo tem como proposta indicar um caminho para que as informações obtidas a partir dos registros de imóveis das áreas em propriedade do Estado de Santa Catarina sejam empregadas para a regularização das áreas que estão com problemas em sua matrícula. Por meio dos estereótipos do Modelo OMT-G, espera-se gerar classes, atributos, domínios e relacionamentos que possibilitem estabelecer uma base sólida e integrada de informações para que o Governo do Estado de Santa Catarina possa atuar na regularização fundiária de imóveis públicos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Como procedimentos metodológicos foram utilizadas as pesquisas bibliográficas em periódicos e trabalhos acadêmicos. A abordagem foi aplicada em um estudo de caso nos imóveis públicos do Estado de Santa Catarina. Se deu de forma exploratória porque inventariou as matrículas dos imóveis pertencentes ao Estado e também foi descritiva porque detalhou todos fluxos, classes e atributos.

Para o inventário de dados, utilizaram-se as informações obtidas a partir dos:

- Conceitos sobre Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), em especial sobre a parcela cadastral (menor área passível de ser registrada em matrícula);
- Matrículas inventariadas relativas aos imóveis pertencentes ao Estado de Santa Catarina;
- Arquivos shapefile com as poligonais relativas às descrições de matrículas, conforme o memorial descritivo de cada imóvel (poligonais recriadas), e também as poligonais georreferenciadas, que deverão ser levantadas topograficamente.

Com base no inventário de dados e nos estereótipos propostos pelo Modelo OMT-G, estabeleceram-se as classes, os atributos, domínios e relacionamentos para a modelagem. Por meio do *stencil* OMT-G do *Microsoft Visio*, produziu-se o esquema conceitual, que ilustrou, inclusive, as hierarquias dos relacionamentos, ou seja, o número de instâncias que uma classe se relaciona às instâncias de outra classe. Os descritivos de atributos, assim como o indicativo de domínios e restrições de integridade espacial, são expostos em dicionários de dados para cada uma das classes.

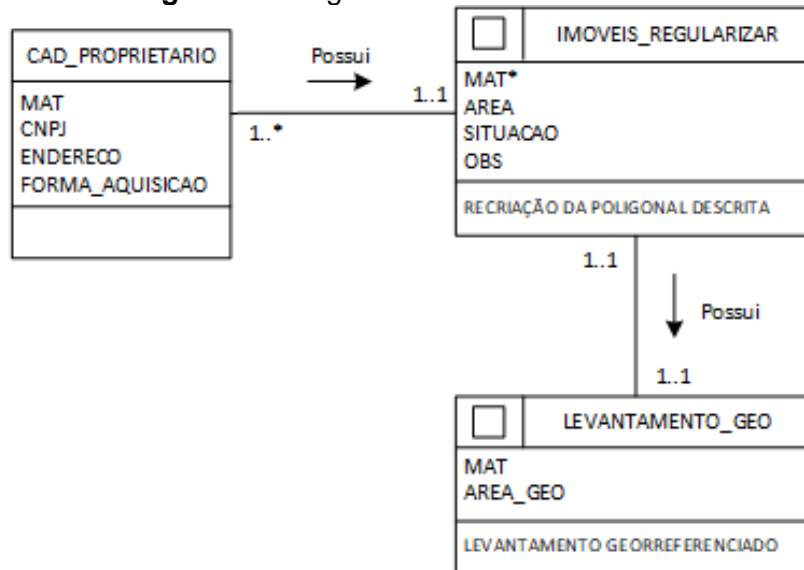
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, modelou-se três classes, sendo uma semântica e duas geográficas. A classe semântica “CAD\_PROPRIETARIO” refere-se aos dados cadastrais dos proprietários jurídicos. A classe geográfica “IMOVEIS\_REGULARIZAR”, indicada pela primitiva de polígono, representa as poligonais recriadas a partir de memoriais descritivos dos imóveis públicos (estas poligonais podem não estar georreferenciadas e apresentam, muitas vezes, problemas em relação aos vértices limítrofes). A classe geográfica “LEVANTAMENTO\_GEO”, também indicada pela primitiva de polígono, refere-se aos objetos que devem ser levantados topograficamente em campo, portanto, se refere aos levantamentos georreferenciados das mesmas áreas descritas nos memoriais descritivos das matrículas dos imóveis da classe “IMOVEIS\_REGULARIZAR”.

O diagrama de classes produzido para apresentar os relacionamentos realizados está sendo apresentado na Figura 1, onde pode ser percebido que existe um único relacionamento simples com chaveamento, que vincula um objeto geográfico da classe “IMOVEIS\_REGULARIZAR” a um objeto advindo da classe

“CAD\_PROPRIETARIO”, que é uma classe convencional, muitas vezes composta por tabelas advindas de sistemas legados relacionais. A classe “CAD\_PROPRIETARIO”, por ser rica em atributos, ou seja, dados qualitativos provenientes dos cadastros das secretarias públicas, incluindo CNPJ, entre diversos outros, é relacionada, através da chave “MAT” (matrícula) à classe geográfica “IMOVEIS\_REGULARIZAR”.

**Figura 1** – Diagrama de classes do estudo



**Fonte:** Autores (2023)

Ainda na Figura 1 é possível perceber os demais aspectos geográficos inerentes ao CTM de um determinado imóvel, representado em sua origem pela classe “IMOVEIS\_REGULARIZAR”, que se relaciona à classe “CAD\_PROPRIETARIO”. Assim, percebe-se que um objeto da classe “CAD\_PROPRIETARIO” contém entre um e muitos (1...\*) objetos da classe IMOVEIS\_REGULARIZAR”. De forma diferente, a classe “IMOVEIS\_REGULARIZAR” se relaciona, topologicamente, através de sobreposição à classe “LEVANTAMENTO\_GEO”. Uma análise possível de ser realizada é a comparativa entre atributos de áreas de ambas classes “AREA” e “AREA\_GEO”, sendo que o atributo de “AREA” da classe “IMOVEIS\_REGULARIZAR” é corrigido de acordo com a área constante na matrícula e memorial do imóvel levantado em campo, ou seja, a “AREA\_GEO”.

Como resultados foram também produzidos os dicionários de dados das três classes modeladas, com suas respectivas primitivas, atributos e a origem do conceito ou informação. Ver Quadros 1, 2, e 3.

**Quadro 1 – Dicionário de dados da classe “IMOVEIS\_REGULARIZAR”**

CLASSE	DESCRIÇÃO					PRIMITIVA GEOMÉTRICA
IMOVEIS_REGULARIZAR	Refere-se à descrição contida nas matrículas de cada imóvel que está na relação de propriedades a serem regularizadas pelo Estado de Santa Catarina (poligonais recriadas).					Poligonal
ATRIBUTO	TIPO DE DADO	TAMANHO	ESCALA	NULL VALUES	DOMÍNIO	DESCRIÇÃO
MAT	Integer	15	-	No	A ser preenchido	Número da matrícula (Transcrição ou Registro) definida pelo Cartório de Registro de Imóveis (Chave primária).
AREA	Float	20	3	No	Automático	Área da poligonal descrita conforme as informações constantes em matrícula (poligonal recriada).
SITUACAO	Text	20	-	No	Selecionado a partir de uma lista	Situação que identifica se o imóvel foi leiloado ou vendido e/ou se está em nome de outra empresa ou órgão. Domínios: <b>Retificar, Venda e Propriedade.</b>
OBS	Text	255	-	Yes	Ser preenchido	Informações complementares para esclarecer a situação do imóvel.

Fonte: Autores (2023)

**Quadro 2 – Dicionário de dados da classe “LEVANTAMENTO\_GEO”**

CLASSE	DESCRIÇÃO					PRIMITIVA GEOMÉTRICA
LEVANTAMENTO_GEO	Refere-se às áreas georreferenciadas das matrículas, de acordo com o levantamento topográfico realizado em campo a partir do memorial descritivo da matrícula do imóvel.					Poligonal Georreferenciada
ATRIBUTO	TIPO DE DADO	TAMANHO	ESCALA	NULL VALUES	DOMÍNIO	DESCRIÇÃO
MAT	Integer	15	-	No	A ser preenchido	Número da matrícula (Transcrição ou Registro) definida pelo Cartório de Registro de Imóveis (Chave secundária).
AREA_GEO	Float	20	3	No	Automático	Área resultado do levantamento topográfico realizado em campo*.

Fonte: Autores (2023)

Quanto ao Quadro 2, o asterisco relacionado a descrição de “AREA\_GEO” faz referência ao Código Civil, que em seu artigo 500 define que a área jurídica (a que está informada na matrícula – área recriada) pode divergir em até 5% para mais ou para menos da área georreferenciada em campo (BRASIL, 2022).



**Quadro 3** – Dicionário de dados da classe “CAD PROPRIETARIO”

CLASSE	DESCRIÇÃO					SEMÂNTICA
CAD_PROPRIETARIO	Refere-se ao cadastro de imóveis privados com a descrição de seus respectivos proprietários jurídicos.					Tabela com dados cadastrais.
ATRIBUTO	TIPO DE DADO	TAMANHO	ESCALA	NULL VALUES	DOMÍNIO	DESCRIÇÃO
MAT	Integer	15	-	No	Preenchido	Número da matrícula (Transcrição ou Registro) definida pelo Cartório de Registro de Imóveis (Chave secundária).
CNPJ	Text	20	-	Yes	Preenchido	CNPJ do proprietário jurídico do imóvel. Quando o imóvel não estiver regularizado o número só é inserido ao final do processo de regularização.
ENDERECO	Text	60	-	Yes	Preenchido	Endereço do imóvel.
FORMA_AQUISICAO	Text	30	-	Yes	Selecionado a partir de uma lista	Forma de aquisição do imóvel. Domínios: <b>Doação, Compra, Usucapião.</b>

Fonte: Autores (2023)

Como consequência da metodologia, pode-se aplicar o conceito de área certificada ou não certificada, seguindo as recomendações de melhores práticas de CTM. No caso, se o levantamento geodésico (topográfico) seguir a NBR 17.047/2023, isto é, materialização dos vértices e geração das peças técnicas conforme a norma (memorial descritivo e relatório técnico de levantamento), classifica-se esse levantamento como certificado, caso contrário, classifica-se como levantamento não certificado. Assim, foca-se mais no cadastro dos dados daquela área do que na questão da precisão do mesmo, ampliando-se o método para quaisquer tipos de trabalho de regularização fundiária ou imobiliária.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados obtidos revelou que as poligonais dos memoriais descritivos, juntamente com as poligonais do levantamento georreferenciado, ao possuírem informações geométricas, podem ser vinculadas aos diversos conceitos disponíveis em tabelas semânticas. Essa vinculação possibilita a realização de análises e a elaboração de estratégias para futuras retificações, visando uma gestão territorial mais eficiente e formas aprimoradas de regularização fundiária, além daquelas somente realizadas nos quesitos que envolvem áreas.

Com base nessas descobertas, é possível conduzir simulações de diferentes estratégias, a fim de promover uma gestão territorial sustentável e aprimorar os

processos de regularização fundiária. Essas simulações contribuirão para decisões embasadas em dados e para o desenvolvimento de políticas mais eficazes, nesses campos de atuação, em órgãos públicos de diversas competências.

Em suma, os objetivos traçados neste estudo foram plenamente cumpridos. A modelagem conceitual permitiu a integração das poligonais dos memoriais descritivos, somente descritos em matrículas, aos dados de CTM, e aos levantamentos georreferenciados para correção das matrículas, portanto, permitindo que haja uma regularização em cartório. Essa abordagem abriu caminho para análises mais abrangentes e possibilitou a formulação de estratégias para uma gestão territorial mais eficiente e formas aperfeiçoadas de regularização fundiária. Com essas contribuições, espera-se promover um desenvolvimento sustentável e melhorar a qualidade de vida nas áreas estudadas.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 17047 Levantamento cadastral territorial para registro público: Procedimentos**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BORGES, Karla A. V.; DAVIS JUNIOR, Clodoveu A.; LAENDER, Alberto H. F. Modelagem conceitual de dados geográficos. In: CASANOVA, Marco *et al.* **Bancos de Dados Geográficos**. Curitiba: Mundogeo, 2005. p. 83-136.

BORGES, K. A.V. **Modelagem de banco de dados geográficos**. Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento. UFMG. 2002.

BRASIL. **Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil. Brasília, DF, 2002.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR). **Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. 2010.

ENEMARK, Stig. **Fit-for purpose Land Administration**. **GIM International**, v. 27, n. 7, p. 26-29, 2013.

REGINATO, V. S. C. **Modelagem Conceitual Multi**. Notas de Aula. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2023.





**Capítulo 2**  
**ANÁLISE DA SATISFAÇÃO NO ENSINO DE**  
**PROGRAMAÇÃO EM UMA INSTITUIÇÃO DE**  
**ENSINO SUPERIOR NO PARANÁ**

**Moises Barbosa Junior**  
**Cassiana Fagundes da Silva**

# ANÁLISE DA SATISFAÇÃO NO ENSINO DE PROGRAMAÇÃO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO PARANÁ

**Moises Barbosa Junior**

*Professor na Unicesumar e Uniasselvi, Doutorando em Engenharia de Produção,  
moisesjrbarbosa@gmail.com*

**Cassiana Fagundes da Silva**

*Professora no Centro Universitário UniSenai, São José dos Pinhais/PR, Doutora em  
Engenharia de Produção e Sistemas, cassiana.silva@sistemafiep.org.br*

## RESUMO

Este artigo apresenta uma análise da satisfação dos alunos em relação ao ensino de programação em uma instituição de ensino superior no Paraná. O objetivo principal foi investigar a percepção dos estudantes em relação ao conteúdo do curso, metodologia de ensino, recursos disponíveis e suporte oferecido pela instituição. Para realizar a análise, foi aplicado um questionário a uma amostra de alunos matriculados no primeiro período da disciplina de Design aplicado a engenharia, no curso de Engenharia de Produção. O questionário abrangeu diversas dimensões, incluindo o nível de compreensão dos conceitos, a qualidade dos materiais didáticos, a clareza das explicações do professor e a disponibilidade de recursos tecnológicos. Os resultados revelaram que a maioria dos alunos demonstrou satisfação geral com o ensino de programação na instituição. A maioria dos estudantes afirmou que o conteúdo do curso era relevante e aplicável, contribuindo para o desenvolvimento de suas habilidades e conhecimentos em programação. Além disso, a metodologia de ensino foi considerada adequada, com a utilização de práticas de laboratório e projetos práticos que estimulavam a aprendizagem ativa. **Palavras-chave:** Ensino de programação, instituição de ensino superior, metodologia de ensino, recursos tecnológicos, satisfação dos alunos.

## ABSTRACT

This article presents an analysis of student satisfaction regarding programming education at a higher education institution in Paraná. The main objective was to investigate students' perceptions of the course content, teaching methodology, available resources, and support provided by the institution. To conduct the analysis, a questionnaire was administered to a sample of students enrolled in the

Production Engineering program's first semester of the Applied Design to Engineering course. The questionnaire covered various dimensions, including the level of comprehension of concepts, quality of teaching materials, clarity of the instructor's explanations, and availability of technological resources. The results revealed that the majority of students expressed overall satisfaction with the programming education at the institution. Most students stated that the course content was relevant and applicable, contributing to the development of their programming skills and knowledge. Additionally, the teaching methodology was considered appropriate, with the use of laboratory practices and practical projects that stimulated active learning.

**Keywords:** Programming education, student satisfaction, higher education institution, teaching methodology, technological resources.

## INTRODUÇÃO

A educação em programação tem se tornado cada vez mais relevante no contexto atual, à medida que a demanda por profissionais qualificados nessa área continua a crescer. Nesse cenário, é fundamental que as instituições de ensino superior ofereçam um ensino de qualidade que atenda às expectativas e necessidades dos acadêmicos. Sob este contexto, o estudo de programação requer altas habilidades e um pensamento lógico para a resolução de problemas (Tsai, Lai, 2022) e entender quais são as necessidades dos acadêmicos é uma das grandes dificuldades dos professores (Kirsh, Gaber, 2016). Desse modo, o ensino tradicional em se tratando de linguagem de programação é um ponto que dificulta o desenvolvimento de habilidades e o sucesso em programar (Quadir et al, 2023).

Com isso, há necessidade em que os fatores que levam ao sucesso do aluno sejam quantificados, para que, além de alcançarem um bom desempenho nas disciplinas de linguagem de programação, os professores possuem suporte para que novas metodologias sejam desenvolvidas e as habilidades possam ser aprimoradas (Kirsh, Gaber, 2016).

Desta forma, o presente artigo tem como objetivo principal avaliar a satisfação dos alunos do primeiro período de engenharia de produção em relação ao ensino na disciplina de Design de Software aplicado à Engenharia, a qual se concentra no ensino de linguagem de programação C.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar a satisfação dos acadêmicos no ensino e aprendizagem de programação, no primeiro período do curso de Engenharia de Produção, foi adotado um questionário on-line, disponibilizado aos acadêmicos via Forms, o qual conteve questões referentes aos materiais didáticos utilizados nas aulas, a clareza do professor durante suas explicações e, por fim, os recursos tecnológicos usados durante as aulas em laboratório.

O Quadro 1 descreve a quantidade de questões aplicadas a turma de 20 alunos, o qual teve um total de 10 respondentes.

Quadro 1. Questões de satisfação aplicadas aos acadêmicos do curso de Engenharia de Produção.

Questão	Tipo de resposta
Qual a satisfação com o ensino de algoritmos?	Fechada, escala (Muito satisfeito(a), satisfeito(a), média, insatisfeito(a), muito insatisfeito(a)).
Qual a importância em aprender programação?	Fechada (muito importante, importante, média, menos importante, sem importância).
Você vê aplicação da linguagem de programação na sua futura atuação profissional?	Fechada (sim ou não).
Acredita que a linguagem C é a melhor a ser trabalhada no curso de engenharia de produção?	Fechada (sim ou não).
Sugestão de melhorias	Questão aberta.
Pontos positivos	Questão aberta.

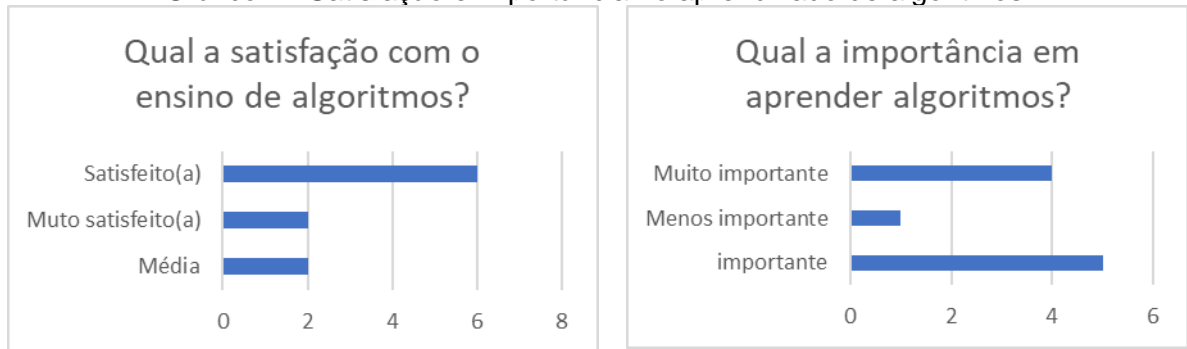
Fonte: Os autores (2023)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse dos resultados obtidos, por meio do questionário on-line, nota-se que, em geral, os acadêmicos demonstram satisfação com o conteúdo de programação ministrado na disciplina. A maioria dos acadêmicos (n=6) demonstram satisfação, enquanto há níveis médios e muitos satisfeitos (n=2).

Por outro lado, em relação à importância dada ao ensino de programação, a maioria dos acadêmicos (n=5) vê o estudo como importante. Em segundo lugar, 4 acadêmicos entendem o ensino como muito importante e um não entende como menos importante, conforme ilustrado no Gráfico 1.

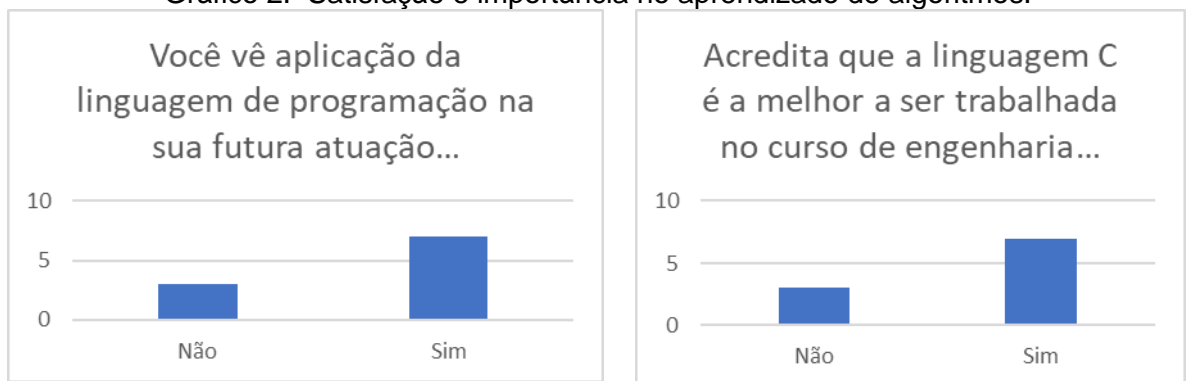
Gráfico 1. Satisfação e importância no aprendizado de algoritmos.



Fonte: Os autores (2023)

Considerando os questionamentos referentes a aplicação do uso de programação na profissão, observa-se que grande parte dos acadêmicos percebem a aplicabilidade da programação em várias áreas, principalmente as que envolvem o desenvolvimento de soluções para engenharia industrial 4.0 (Gráfico 2).

Gráfico 2. Satisfação e importância no aprendizado de algoritmos.



Fonte: Os autores (2023)

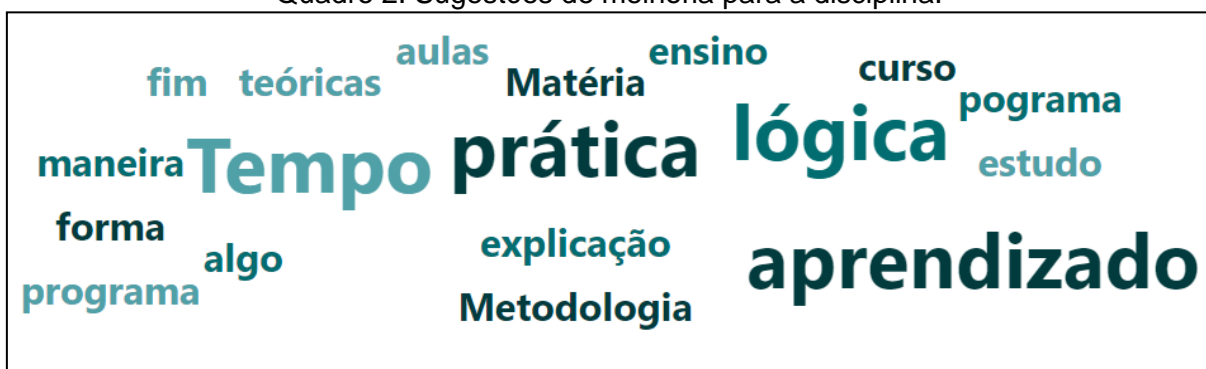
Sobre os recursos tecnológicos como, por exemplo, as aulas em laboratório de informática para desenvolvimento de soluções de problemas na linguagem de programação, percebe-se que a linguagem de programação C é bem aceita pelos acadêmicos, assim como a ferramenta de desenvolvimento utilizada DevC++.

O DevC++ é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) para a linguagem de programação C e C++, conhecido pelo fornecimento de uma interface gráfica amigável, recursos robustos e sua natureza de código aberto. Nesta perspectiva, a ferramenta foi escolhida, pois é útil para acadêmicos e programadores iniciantes e profissionais que desejam desenvolver aplicativos nessas linguagens.

Uma pergunta aberta foi disponibilizada de modo que os acadêmicos pudessem descrever suas sugestões de melhorias em relação a prática e ensino de programação

no primeiro período do curso de Engenharia de Produção. Como sugestões de melhoria, os acadêmicos descreveram a necessidade de aulas mais práticas, mesmo a disciplina tendo uma carga horária de 80 horas semestrais e cerca de 60% da disciplina composta por prática. Nesse sentido, entende-se que essa exigência é decorrente da necessidade de aplicação de metodologias baseadas na resolução de problemas, principalmente, pelo fato de a disciplina permitir que problemas possam ser codificados e testados (Quadro 2).

Quadro 2. Sugestões de melhoria para a disciplina.



Fonte: Os autores (2023)

O principal ponto positivo levantado pelos acadêmicos foi o professor e seu conhecimento, bem como a didática e a maneira como a aula é exposta e planejada.

Quadro 3. Sugestões de melhoria para a disciplina.



Fonte: Os autores (2023)

Os autores Yu, Liu e Xiao (2022) mostram que, para que o ensino de programação em C seja eficaz, o perfil do aluno deve ser identificado para que as lacunas no processo de ensino-aprendizagem sejam eximidas. Os autores propõem um método de ensino baseado na troca de conhecimento entre professores e alunos por meio de ferramentas on-line, com o acompanhamento frequente do desempenho dos acadêmicos.

Ao mesmo passo, Hidalgo-Céspedes, Marín-Raventós e Calderón-Campos (2021) utilizam plataformas on-line para o ensino de programação, com correção automática feita pela própria ferramenta, a qual avalia o desempenho dos acadêmicos em tempo real e é uma ferramenta para auxílio dos professores no processo de ensino-aprendizagem.

Com isso, há uma gama de ferramentas e possibilidades para o ensino de programação que podem ser úteis e auxiliem dentro e fora da sala da aula.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A análise da satisfação dos alunos em relação ao ensino de programação em uma instituição de ensino superior no Paraná revelou insights valiosos sobre a qualidade do ensino e a percepção dos estudantes. Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que a maioria dos alunos demonstrou satisfação geral com o ensino de programação na instituição. Os estudantes avaliaram positivamente diversos aspectos do ensino, incluindo o conteúdo do curso, a metodologia de ensino, os recursos disponíveis e o suporte oferecido pela instituição. A maioria dos alunos considerou o conteúdo do curso relevante e aplicável, contribuindo para o desenvolvimento de suas habilidades e conhecimentos em programação. Além disso, a metodologia de ensino, que incluiu práticas de laboratório e projetos práticos, foi considerada adequada e estimulou a aprendizagem ativa.

Esses resultados são encorajadores e indicam que a instituição está oferecendo um ensino de programação de qualidade, atendendo às expectativas dos acadêmicos. A satisfação dos acadêmicos é um indicador importante da eficácia do ensino e ressalta a importância de investir em práticas educacionais que promovam o engajamento dos acadêmicos e a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.

No entanto, é importante reconhecer que este estudo apresenta algumas limitações. A amostra de alunos pode não ser totalmente representativa de toda a instituição, e os resultados podem variar entre diferentes cursos ou períodos letivos. Além disso, a análise se baseou nas percepções dos alunos, e outras métricas, como desempenho acadêmico, poderiam fornecer uma visão mais abrangente do ensino de programação.

Para futuras pesquisas, é recomendado realizar estudos longitudinais para avaliar a satisfação dos alunos ao longo do tempo e identificar possíveis áreas de



melhoria. Também seria interessante investigar outros fatores que possam influenciar a satisfação dos acadêmicos, como a qualidade dos recursos tecnológicos ou a interação com os professores.

## REFERÊNCIAS

Hidalgo-Céspedes, J.; Marín-Raventós, G.; Calderón-Campos, M. E. **Usability of an Online Judge for Concurrent Programming Education**. XVI Latin American Conference on Learning Technologies (LACLO), Arequipa, Peru, pp. 318-325, 2021.

Kirsh, A.; Gaber, I. Satisfaction, **Time Investment and Success in Students' Programming Exercise**. Proceedings of the Programming Experience, 2016, Workshop on - PX/16. doi:10.1145/2984380.2984382.

Quadir, B.; Mostafa, K.; Yang, J. C. Shen, J.; Akter, R. **ARCS approach to PTA-based programming language practice sessions: Factors influencing Programming Problem-Solving Skills**. Education and Information Technologies, 11740-6, 2023.

Tsai, C. Y.; Lai, Y. C. **Design and Validation of an Augmented Reality Teaching System for Primary Logic Programming Education**. Sensors (Basel), Jan 5;22(1):389, 2022.

Yu, F.; Liu, Y.; Xiao, F. **Research on Construction and Practice of Precision Teaching Classroom for University Programming Courses**, IEEE Access, vol. 11, pp. 9560-9576, 2023.





**Capítulo 3**  
**A INSERÇÃO DE DESENHO UNIVERSAL NA**  
**GRADE DO CURSO DE ENGENHARIA DE**  
**PRODUÇÃO DA UNINTER**

**Dayse Mendes**  
**Douglas Soares Agostinho**

# A INSERÇÃO DE DESENHO UNIVERSAL NA GRADE DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNINTER

**Dayse Mendes**

*Professora em Engenharia de Produção, Mestra em Administração,  
dayse.m@uninter.com*

**Douglas Soares Agostinho**

*Coordenador do Curso de Engenharia de Produção, Mestre em Engenharia de  
Produção, douglas.a@uninter.com*

## **RESUMO**

Este estudo trata dos procedimentos realizados, a partir de 2019, para a inserção de Desenho Universal como conteúdo da grade disciplinar do curso de Engenharia de Produção do Centro Universitário Internacional UNINTER. Foram utilizadas fontes documentais originais, tais como atas de reunião e planos de ensino, para coletar dados e descrever a cronologia de implementação dos conceitos relativos ao Desenho Universal. Observou-se que, dentre as disciplinas da grade curricular, seis sofreram alterações para a inclusão de temas relativos à disciplina de Desenho Universal. Além dessas alterações, foi criado um curso de extensão de Desenho Universal, que apresenta um panorama geral sobre o assunto, com o objetivo de proporcionar ao futuro engenheiro a competência necessária relativa aos conhecimentos da área. Em paralelo, foi lançado um livro sobre Engenharia de Produção que traz conteúdo pertinente sobre Desenho Universal. Todas essas ações proporcionam conhecimento sobre esse importante instrumento de acessibilidade.

**Palavras-chave:** Parecer CNE/CES nº 948/2019; grade curricular; instrumento de acessibilidade.

## **ABSTRACT**

This study deals with the procedures carried out, as of 2019, for the insertion of Universal Design as a content of the disciplinary grid of the Production Engineering course at UNINTER. Original documentary sources used, such as minutes of meetings and teaching plans, to collect data and describe the chronology of implementation of concepts related to Universal Design. It was observed that, among the six subjects in the curriculum, six underwent changes to include themes related to Universal Design. In addition to these changes, an

extension course on Universal Design created, which presents an overview of the subject, with the aim of providing the future engineer with the necessary competence regarding knowledge in the area. All these actions provide knowledge about this important instrument of accessibility.

**Keywords:** Opinion CNE/CES No. 948/2019; curriculum; accessibility tool.

## INTRODUÇÃO

Garantir a acessibilidade e ter uma maior qualidade do uso das coisas que estão à disposição das pessoas é a pretensão de Desenho Universal, um conceito a ser aplicado por engenheiros no exercício de sua profissão. No Brasil, compreender como utilizar dos princípios de Desenho Universal passa a ser uma exigência quando as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos (DCN) de Engenharia sofreram uma alteração por meio do despacho que homologou o Parecer CNE/CES nº 948/2019, do Conselho Nacional de Educação (CNE), publicado no Diário Oficial da União no dia 25/3/2021. A partir dessa data o Desenho Universal passou a fazer parte efetiva do Núcleo de Conhecimentos de Fundamentação das matrizes curriculares das Instituições de Ensino Superior (IES) que possuem cursos de engenharia, como conteúdo obrigatório.

Assim, no artigo 9º, § 1º, da Resolução CNE/CES nº 2/2019, onde estão postuladas as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia, passou a se ter as seguintes disposições:

[...] Art. 9º Todo curso de graduação em Engenharia deve conter, em seu Projeto Pedagógico de Curso, os conteúdos básicos, profissionais e específicos, que estejam diretamente relacionados com as competências que se propõe a desenvolver. A forma de se trabalhar esses conteúdos deve ser proposta e justificada no próprio Projeto Pedagógico do Curso.

§ 1º Todas as habilitações do curso de Engenharia devem contemplar os seguintes conteúdos básicos, dentre outros: Administração e Economia; Algoritmos e Programação; Ciência dos Materiais; Ciências do Ambiente; Eletricidade; Estatística. Expressão Gráfica; Fenômenos de Transporte; Física; Informática; Matemática; Mecânica dos Sólidos; Metodologia Científica e Tecnológica; Química; e Desenho Universal. (Grifo nosso).

Desde que o Parecer foi publicado em 2019, coube às IES deliberarem sobre como cumprir com essa importante inserção nas DCNs. O Desenho Universal deve

ser encarado não só como uma disciplina ou conteúdo relevante a ser oferecido ao egresso de engenharia, mas como uma competência a ser desenvolvida durante sua formação, já que o profissional engenheiro precisa estar atento frente as necessidades da sociedade. O Bacharelado em Engenharia de Produção da UNINTER se propôs a desenvolver ações que pudessem atender a essa demanda.

Vale comentar que, nesse estudo, entende-se Desenho Universal como o “design de produtos e ambientes para serem utilizados por todas as pessoas, na maior extensão possível, sem a necessidade de adaptação ou projeto especializado”. (MACE, 2008, n.p).

O objetivo geral desse estudo é descrever como o curso de Engenharia de Produção da UNINTER inseriu a discussão sobre Desenho Universal em sua grade curricular, atendendo assim as disposições das DCNs de Engenharia. Para alcançar tal objetivo se propõe registrar neste estudo os procedimentos iniciais propostos pelo Conselho de Ensino, Pesquisa e Extensão (CEPE) da UNINTER; especificar as ações planejadas pelo curso de Engenharia de Produção; e citar as práticas implementadas no curso de Engenharia de Produção.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia deste estudo caracteriza-se por seu objetivo exploratório na medida em que, conforme Santos (1999, p.26), a própria “visa criar uma maior familiaridade em relação a um fato ou fenômeno”. Para criar essa familiaridade com a situação exposta foram investigados os processos realizados tanto pelo CEPE quanto pela Coordenação do curso em Engenharia de Produção, utilizando de procedimento de pesquisa documental.

Para tanto, foram acessadas as atas de reuniões ordinárias e extraordinárias do CEPE, do Colegiado de Curso e do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do Bacharelado em Engenharia de Produção que tratavam do Parecer CNE/CES nº 948/2019. Essas atas foram lidas e delas foram coletados os dados relativos à implementação do Desenho Universal na grade curricular do curso. Também foram verificados planos de ensino e acessadas as aulas das disciplinas em que se inseriu conteúdo relativo a Desenho Universal.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar a documentação relativa aos passos seguidos pelo curso de Engenharia de Produção para a incorporação de conteúdos relativos a Desenho Universal foi possível observar uma cronologia de eventos que se inicia em 2019, com a apresentação do Parecer CNE/CES n° 948/2019 em reunião do CEPE, até o momento atual em que se observa, em disciplinas escolhidas pela maior adesão ao tema, a inserção de conteúdos relativos à Desenho Universal. O Quadro 1 apresenta essa cronologia.

Quadro 1 – Cronologia de discussão e inserção de Desenho Universal

<b>Data</b>	<b>Ação</b>	<b>Conteúdo</b>
22/11/2019	11ª Reunião Extraordinária do CEPE no ano de 2019	Apresentação do Parecer CNE/CES N° 948/2019 acerca de Desenho Universal nos cursos de graduação de Engenharias
28/11/2019	Reunião Extraordinária do Colegiado do Curso de Engenharia de Produção	Verificou-se que o conteúdo de Desenho Universal não estava contemplado nas disciplinas da grade curricular. O prazo para estas disciplinas contemplarem o assunto estende-se até 2021.
06/02/2020	Reunião Extraordinária do Colegiado do Curso de Engenharia de Produção	A incorporação de conteúdos de Desenho Universal começou com aulas da disciplina Introdução a Engenharia neste enfoque.
31/03/2020	Reunião Ordinária do NDE do Curso de Engenharia de Produção	Referendou-se a proposta de inserção de conteúdo de Desenho Universal na disciplina Projeto e Desenvolvimento de Produto, na Aula 2, Tema 5
25/03/2021	Solicitação da Coordenação de Curso de alteração dos planos de ensino das disciplinas que tiveram inserção de Desenho Universal em seus conteúdos	Planos de ensino de Desenho Técnico Mecânico, Engenharia de Produção e a Profissão, Logística Empresarial, Projeto de Fábrica e Arranjo Físico, Projeto e Desenvolvimento de Produto, Ética e Responsabilidade Socioambiental
25/03/2021	Solicitação da Coordenação de Curso que os professores das disciplinas de Desenho Técnico Mecânico, Logística Empresarial, Projeto de Fábrica e Arranjo Físico, e Projeto e Desenvolvimento de Produto insiram conceitos de Desenho Universal	Desenho Técnico Mecânico: Aula 6 Logística Empresarial: Aula 5 Projeto de Fábrica e Arranjo Físico: Aula 8 Projeto e Desenvolvimento de Produto: Aula 2

24/05/2021	Solicitação de ajustes do Projeto Pedagógico de Curso (PPC) pela Coordenação	Inserir corretamente os planos de ensino com a incorporação de Desenho Universal no PPC
10/09/2021	Lançamento da obra MENDES, Dayse. Engenharia de Produção: do Paradigma Inicial à Sociedade 5.0. Curitiba, Intersaberes, 2021	No capítulo 4: Engenharia de Produção e ética profissional há um item denominado Desenho Universal
23/10/2021	Solicitação de proposta de curso de extensão pela Coordenação	Proposta de curso de extensão de Desenho Universal realizada
28/06/2023	Solicitação de inserção de materiais de Desenho Universal na sala Oportunidade de Ampliação de Formação, na qual se inserem informações aos enadistas. Tal inserção foi feita após o conhecimento da Portaria nº 281, de 26 de junho de 2023, que dispõe sobre diretrizes de prova e componente específico da área de Engenharia de Produção no ENADE.	Inserção feita na Aula 4, referente a Componentes Específicos do ENADE
01/09/2023	Disponibilização de curso de extensão à comunidade	Inserção do curso feita no portal de Extensão da IES

Vale ressaltar que, durante o período de 2019 a 2021, foi fundamental a busca de bases conceituais para um melhor entendimento do tema. Dentre eles destacam-se os materiais desenvolvidos ou inspirados no trabalho de Ron Mace, arquiteto estadunidense, precursor dos estudos e ações relacionados à Desenho Universal. Tais materiais encontram-se disponíveis no site do *Ronald L. Mace Universal Design Institute*, bem como no site da Escola de Design da *NC State University* (universidade na qual Mace fundou o *Center for Accessible Housing*) e trouxeram o entendimento sobre o conceito de Desenho Universal, bem como sobre os sete princípios do Desenho Universal.

Outra base conceitual relevante diz respeito à legislação sobre o tema. No Brasil, a publicação do Decreto Federal 5.296/2004, complementado pelo Decreto 10.014/2019, deu ao Desenho Universal força de lei. Operacionalizando a lei, uma série de normas técnicas foram criadas ao longo do tempo de forma a gerar os parâmetros necessários ao atendimento dos princípios do desenho universal no momento em que profissionais estejam criando seus projetos. Um exemplo destas normas é a NBR 9050, norma relativa à acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, cujo escopo é proporcionar a utilização de “maneira autônoma, independente e segura do ambiente, edificações, mobiliário, equipamentos

urbanos e elementos à maior quantidade possível de pessoas, independentemente de idade, estatura ou limitação de mobilidade ou percepção”. (ABNT, 2015, p.1).

Cada uma das ações realizadas, bem como o embasamento teórico sobre o tema, contribuiu para a incorporação de conceitos de Desenho Universal na grade curricular do curso de Engenharia de Produção da UNINTER, atendendo assim ao disposto quanto a conteúdo específico do Projeto Pedagógico de Curso, citado no artigo 9º, § 1º, do Parecer CNE/CES nº 948/2019.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O Desenho Universal tem como proposta desenvolver projetos inclusivos e acessíveis, fazendo com que a maior quantidade possível de pessoas seja impactada por suas soluções e possa consumir produtos de forma independente e facilitada. Para que isso seja possível é necessário garantir não só acessibilidade, mas propor o desenvolvimento de produtos, desde seu projeto até a sua utilização, em que seja possível atender a todo o tipo de pessoas, independentemente de suas características físicas e/ou limitações. Tais produtos devem garantir ao indivíduo autonomia, segurança e conforto.

Cabe aos engenheiros planejar e desenvolver tais produtos. Desta forma, esses engenheiros precisam conhecer o conceito de Desenho Universal, bem como todos os desdobramentos de projetos realizados sob essa ótica. No Brasil, a partir de 2019, essa necessidade de conhecimento do egresso de engenharia se torna Diretriz Curricular. E coube, a partir desse momento, às IES cumprirem com as novas disposições trazidas pelo Parecer CNE/CES nº 948/2019.

Nesse estudo se propôs, como objetivo geral, descrever como o curso de Engenharia de Produção da UNINTER inseriu a discussão sobre Desenho Universal em sua grade curricular. Entendemos que esse objetivo foi alcançado com a descrição feita por meio de uma cronologia de ações. Essa cronologia evidenciou que o curso conseguiu cumprir com a incorporação de conteúdos de Desenho Universal em disciplinas, cursos de extensão e livro, proporcionando conhecimento aos alunos sobre esse importante instrumento que propõe soluções de acessibilidade.



## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. ABNT, 2015.

BRASIL. **Parecer CNE/CES nº 948, de 9 de outubro de 2019**. Alteração da Resolução CNE/CES nº 2, de 17 de junho de 2010, que institui alteração da Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019, que institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia, em virtude de decisão judicial transitada em julgado. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mar. 2021. Disponível em: [https://normativasconselhos.mec.gov.br/normativa/view/CNE\\_PAR\\_CNECESN9482019.pdf?query=curriculo](https://normativasconselhos.mec.gov.br/normativa/view/CNE_PAR_CNECESN9482019.pdf?query=curriculo). Acesso em 15 abr. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004**. Regulamenta as Leis n. 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 dez. 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm)>. Acesso em: 15 abr. 2023.


MACE, Ronald Lawrence. **About UD**. 2008. Disponível em <https://disabilityandmultimodality.wordpress.ncsu.edu/universal-design-ud/#:~:text=What%20is%20Universal%20Design%3F,for%20adaptation%20or%20specialized%20design%E2%80%9D> Acesso em 06 jul. 2023.

MENDES, Dayse. **Engenharia de Produção**: do paradigma inicial à Sociedade 5.0. Curitiba, Intersaberes, 2021

Ronald L. Mace Universal Design Institute. Disponível em <https://www.udinstitute.org/>. Acesso em 06 jul. 2023.

SANTOS, Antonio Raimundo dos. **Metodologia científica**: a construção do conhecimento. Rio de Janeiro: DP&A, 1999.





**Capítulo 4**  
**REAPROVEITAMENTO DO GLICEROL PARA A**  
**PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE**  
**PROCESSOS FERMENTATIVOS**

***Brenda dos Santos Barboza***

***Rosa H. Luchese***

***Eliane P. Cipolatti***

***Marisa Fernandes Mendes***

## REAPROVEITAMENTO DO GLICEROL PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ATRAVÉS DE PROCESSOS FERMENTATIVOS

### **Brenda dos Santos Barboza**

*Técnica em Química alimentícia pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro Campus Rio de Janeiro. Atualmente cursando Bacharelado em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.*

*Email: [brenda.barboza@ufrj.br](mailto:brenda.barboza@ufrj.br)*

### **Rosa H. Luchese**

*Professora Titular da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, atuando na área de Microbiologia e Higiene de Alimentos. Graduada em Farmácia e Bioquímica pela Universidade Federal de Santa Maria, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa, Doutorado em Food Science and Technology - University of Reading e Pós-doutorado na UNRC-Córdoba- AR.*

*Email: [rhluce@gmail.com](mailto:rhluce@gmail.com)*

### **Eliane P. Cipolatti**

*Professora Adjunta A1 da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Departamento de Engenharia Química, Graduada em Engenharia de Alimentos e Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos ambos pela Universidade Federal do Rio Grande, Doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina e Pós Doutorado em Bioquímica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foi Professora Visitante do Departamento de Biotecnologia Farmacêutica da UFRJ.*

*Email: [elianecipolatti@yahoo.com.br](mailto:elianecipolatti@yahoo.com.br)*

### **Marisa Fernandes Mendes**

*Professora Titular do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química. Graduada em Engenharia Química pela Escola de Química na Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mestrado em Engenharia Química pela*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2 pós-doutorados: no Departamento de Engenharia Química na UFRRJ em extração com fluido supercrítico e na University College London, em modelagem matemática de sistemas biológicos.*

*Email: marisamendes40@gmail.com*

## **RESUMO**

O petróleo é a principal fonte de energia utilizada no mundo, porém, sua disponibilidade é limitada, sendo de grande interesse a busca por novas fontes renováveis de energia. Os biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, estão entre as fontes mais promissoras para substituir os combustíveis fósseis. O biodiesel pode substituir o petrodiesel, pois é produzido a partir de gorduras animais e óleos vegetais, que produzem cerca de 10% (p/p) de glicerol como principal subproduto. O glicerol é um subproduto de muitos processos industriais, e o seu excesso é um problema ambiental, pois esse subproduto não pode ser descartado no meio ambiente. Mas o glicerol, atualmente, está tornando-se o substrato potencialmente atrativo para a produção de produtos de valor agregado através da ação bacteriana. Uma alternativa para a utilização do glicerol é a sua conversão em produtos de alta utilidade, tais como hidrogênio, etanol, 1-3 propanodiol, e etc. A transformação do glicerol por processo biotecnológicos pode ser socialmente atrativa visto que existe grande interesse em buscas de alternativas para a utilização desse produto evitando seu acúmulo no meio ambiente. Diante disso, esta revisão teve como objetivo analisar as possíveis aplicações do glicerol em microbiologia industrial como fonte de carbono e energia para ser biotransformado em um produto químico valioso, o etanol. Portanto, esta revisão investigou a produção do etanol a partir do glicerol, através do processo de fermentação, envolvendo diferentes microorganismos. A revisão mostrou que as bactérias *Enterobacter aerogenes* e a *Klebsiella pneumoniae* são mais eficientes do que a *Escherichia coli*, já conhecida, para a produção do etanol.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Microorganismo. Fermentação. *E. coli*.

## **ABSTRACT**

Oil is the main source of energy used in the world, however, its availability is limited, and the search for new renewable energy sources is of great interest. Biofuels, such as ethanol and biodiesel, are among the most promising sources to replace fossil fuels. Biodiesel can replace petrodiesel, as it is produced from animal fats and vegetable oils, which produce around 10% (w/w) of glycerol as the main byproduct. Glycerol is a byproduct of many industrial processes, and its excess is an environmental problem, as this byproduct cannot be discarded into the environment. But glycerol is currently becoming a potentially attractive substrate for the production of value-added

products through bacterial action. An alternative to using glycerol is its conversion into highly useful products, such as hydrogen, ethanol, 1-3 propanediol, etc. The transformation of glycerol through biotechnological processes can be socially attractive since there is great interest in searching for alternatives for using this product to avoid its accumulation in the environment. Therefore, this review aimed to analyze the possible applications of glycerol in industrial microbiology as a source of carbon and energy to be biotransformed into a valuable chemical product, ethanol. Therefore, this review investigated the production of ethanol from glycerol, through the fermentation process, involving different microorganisms. The review showed that the bacteria *Enterobacter aerogenes* and *Klebsiella pneumoniae* are more efficient than the already known *Escherichia coli* for producing ethanol.

**Keywords:** Biodiesel. Microorganism. Fermentation. E. coli..

## INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis são recursos naturais não renováveis formados a partir de matéria orgânica, como plantas e animais que viveram há milhões de anos. Os principais tipos de combustíveis fósseis são o petróleo, carvão mineral e o gás natural. Eles desempenham um papel significativo na economia global e são amplamente utilizados como fonte de energia em várias indústrias e para o transporte (Oliveira et al. 2015).

No entanto, os combustíveis fósseis têm uma série de proteção e preocupações associadas a eles, como o provável esgotamento dos recursos e instabilidade dos preços no mercado internacional. Com o passar do tempo, as reservas de combustíveis fósseis estão se esgotando, o que pode levar ao problema de disponibilidade e aumento dos custos de atendimento. Entretanto, a demanda por biocombustíveis tem crescido a cada dia, e o uso de biomassa é uma das alternativas mais favoráveis.

O governo brasileiro foi pioneiro no uso de energia limpa (biocombustíveis) (em relação ao balanço de CO<sub>2</sub>) quando decidiu substituir a gasolina pelo etanol combustível em 1973. Em meados da década de 1980, aproximadamente 95% dos carros produzidos no Brasil eram convertidos para queimar com etanol (Roso et al. 2016). Os veículos bicombustíveis produzidos em 2003 responderam por mais de 80% das vendas brasileiras de automóveis. O uso de biocombustíveis certamente continuará crescendo, devido a uma demanda da sociedade e da preocupação

ambiental. E, por esse motivo, o biodiesel tem atraído a atenção como um combustível renovável, biodegradável e não tóxico. O glicerol é um resíduo largamente produzido na indústria de biocombustível. O crescimento da indústria do biodiesel gerou um enorme suprimento de glicerol que resultou numa queda drástica de 10 vezes o preço da molécula, que era usada para a produção de sabão.

Sendo este um subproduto indesejável, formado durante a reação de transesterificação, tem se tornado um grande problema para as indústrias produtoras de biodiesel (Jhonson et al., 2007). O biodiesel é um combustível biodegradável, de queima limpa, derivado de fontes naturais e renováveis, como as gorduras animais e as vegetais: girassol, canola, mamona, soja, algodão e outras oleaginosas. Sua produção gera aproximadamente 10% (m/m) de glicerol como principal subproduto (Yazdani e Gonzalez, 2007).

A bioconversão microbiana do glicerol (subproduto da reação de transesterificação) via processos fermentativos se mostra como alternativa capaz para utilização, na produção de etanol, tendo em vista a simplicidade operacional requerida e dos insumos envolvidos, gerando produtos de maior valor agregado em menor tempo de produção (Oliveira et al. 2015).

Segundo Costa (2010), o glicerol é um subproduto de muitos processos industriais, tornando-se um substrato potencialmente atrativo para a produção de produtos de valor agregado através de ação bacteriana.

Neste âmbito, Antunes et al.(2011) destaca que sabe-se que diversos micro-organismos são capazes de metabolizar o glicerol, e existem vários estudos sendo desenvolvidos, principalmente com bactérias, como a *E. coli*, e leveduras, como *Yarrowia lipolytica*.

Devido a isso e prospectando ações futuras industriais alternativas de produção de etanol, essa revisão bibliográfica apresenta o uso do subproduto da produção do biodiesel e sua conversão em etanol a partir da biofermentação via microrganismos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado entre os meses de março a maio de 2023, de modo online, usando como fonte as bases de dados dos periódicos da CAPES, Google Acadêmico e Sciencedirect utilizando as seguintes palavras chaves: *E. coli* and glicerol; glicerol e biodiesel, no período de 2007 até 2023. O objetivo desta revisão foi

verificar a viabilidade técnica do método de biofermentação do glicerol, avaliando o potencial de diferentes bactérias na produção de etanol. Os critérios de inclusão foram baseados em artigos disponíveis na íntegra, que continham algumas das palavras chave.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo, 15 trabalhos foram encontrados, tratando-se de teses, livros, revistas e artigos em inglês e português. Entretanto, apenas 6 estudos foram selecionados, pois tinham como principal objetivo os métodos de aproveitamento do glicerol para a produção de etanol. Os tipos de métodos e microrganismos usados para essa produção estão presentes na Tabela 1.

Em seguida, alguns trabalhos envolvendo os melhores resultados serão discutidos detalhadamente e separadamente para cada um dos microorganismos, pontuando características essenciais para a fermentação.

*Escherichia coli*: Dos 6 trabalhos selecionados, 4 utilizaram a bactéria *Escherichia coli*. No primeiro estudo (Silva et al., 2010), o processo fermentativo para a produção de etanol utilizando glicerol bruto como substrato foi realizado com duas bactérias (*Saccharomyces sp.* e *Escherichia coli*).

Entretanto, de acordo com os resultados dos experimentos realizados com a levedura *Saccharomyces sp.*, observou-se que variaram-se as concentrações de glicerol adicionadas ao meio fermentativo em 0,5; 1,0 e 5,0 % v/v e fixando-se o volume de inóculo em 1 % m/v. Observou-se que o microrganismo *Saccharomyces sp.* não utilizou glicerol como fonte de carbono para produção de etanol, porém em ensaios teste com glicose P.A., observou-se que este substrato foi rapidamente consumido pelo microrganismo apresentando uma produção de etanol de 5,5 g/L.

Já nas fermentações com a bactéria *Escherichia coli*, variando-se a concentração de glicerol adicionado ao meio fermentativo em: 1, 10, 15 e 20 g/L. Pela avaliação da influência da concentração de substrato no meio através dos resultados obtidos, pode-se concluir que a melhor condição para a produção de etanol com esse microrganismo foi a concentração inicial de 10 g/L de glicerol. O consumo de glicerol pela bactéria *Escherichia coli* foi afetado pela variação deste substrato. Observou-se que o etanol foi produzido a partir de 8 h de cultivo nas fermentações tanto com glicerol bruto quanto P.A. nas concentrações de 10, 15 e 20 g/L adicionado ao meio de cultivo.

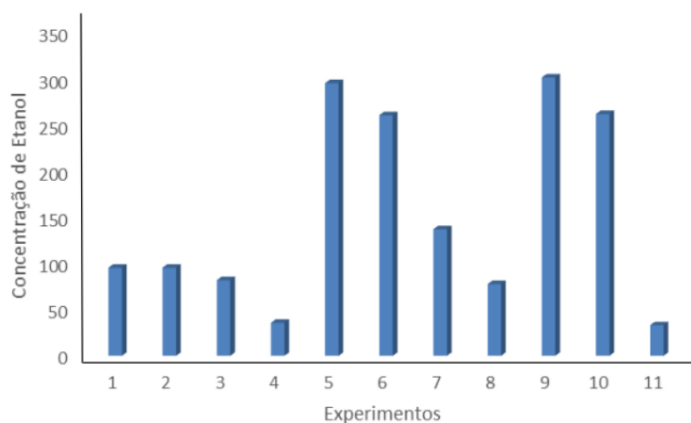


Observou-se também a formação de ácido acético nas primeiras horas da fermentação. A produção de ácido acético foi baixa, atingindo a concentração de 0,15 g/L na fermentação utilizando 10 g/L de glicerol bruto.

Por fim, analisando os dois microrganismos estudados, verificou-se que apenas a bactéria *Escherichia coli* 224 ATCC 25922 mostrou-se adequada ao objetivo desta pesquisa, já que com a levedura não foi produzido etanol em quantidade significativa.

De acordo com Oliveira et al. (2015), os melhores resultados foram alcançados com os experimentos realizados com pH 8, forma de cultivo estático e na concentração de glicerol de 10 g/L (experiment 5) e o conduzido com pH 6,5, forma de cultivo a 75 rpm e concentração de glicerol de 20 g/L (experimento 9). E, com isso, Oliveira et al. (2015) concluiu que o pH interfere diretamente na produção de etanol, porque a *E. coli* gerou maiores resultados de concentração de etanol em um nível de pH 8. Os melhores resultados foram alcançados com os experimentos realizados com pH 8, forma de cultivo estático e na concentração de glicerol de 10 g/L (experiment 5) e o conduzido com pH 6,5, forma de cultivo a 75 rpm como pode ser observado na Figura 1.

**Figura 1.** Quantidade de etanol produzida pela *E. coli*



Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2015)

**Tabela 1.** Estudos selecionados a partir da revisão bibliográfica de 2007 a 2023.

Referência	Microorganismo	Resultados
		O microrganismo <i>Saccharomyces</i> sp. não utilizou glicerol como fonte de carbono para produção de etanol, porém em ensaios teste com glicerol P.A., observou-se que este substrato foi rapidamente consumido pelo microrganismo apresentando uma produção de etanol de 5,5 g/L. O consumo de glicerol pela bactéria <i>Escherichia coli</i> foi afetado pela variação deste substrato. Observou-se

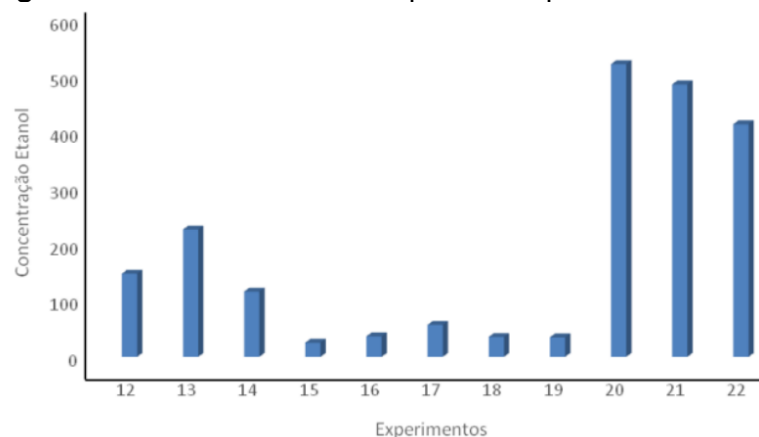
<p>Silva (2010)</p>	<p><i>Saccharomyces sp.</i> 1238 e <i>Escherichia coli</i> 224 ATCC 25922.</p>	<p>também a formação de ácido acético nas primeiras horas da fermentação. A produção de ácido acético foi baixa, atingindo a concentração de 0,15 g/L na fermentação utilizando 10 g/L de glicerol bruto.</p>
<p>Costa (2010)</p>	<p><i>Klebsiella pneumoniae</i> BLb01 e consórcio microbiano</p>	<p>Foram realizados estudos utilizando consórcio microbiano ambiental com diferentes pré-tratamentos. O tratamento de dessecação apresentou o melhor desempenho na degradação do glicerol (66 %) e produção de H<sub>2</sub> (34 %mol). Através de fermentações anaeróbias, a cepa de maior potencial na degradação do glicerol e conversão em bioprodutos tais como, hidrogênio e etanol, foi a bactéria <i>Klebsiella pneumoniae</i> BLb01, que apresentou 100 % de degradação do glicerol residual com a melhor capacidade de produção de H<sub>2</sub> e etano</p>
<p>Oliveira et al. (2015)</p>	<p><i>Escherichia coli</i> e <i>Arthrobacter sp</i></p>	<p>Os experimentos realizados com pH 8, forma de cultivo estático e na concentração de glicerol de 10 g/L e o conduzido com pH 6,5, forma de cultivo a 75 rpm e concentração de glicerol de 20 g/L, obtiveram as melhores produções de etanol com a <i>E. coli</i>. Portanto, Oliveira et al. (2015) concluiu que o pH interfere diretamente na produção de etanol, porque a <i>E. coli</i> gerou maiores resultados de concentração de etanol em um nível de pH 8. Já nos experimentos realizados com a bactéria <i>Arthrobacter sp.</i>, foi observado a maior produção de etanol, cujas condições de operação consolidam valores de pH 6,5, forma de cultivo de 75 rpm e concentração de glicerol de 20 g/L. O autor ainda afirma que no intervalo de nível de pH moderado de 6,5, para <i>Arthrobacter sp.</i>, até níveis menores de pH 5 ocorre a formação de elevadas quantidades de etanol..</p>
<p>Sunarno et al. (2020)</p>	<p><i>Enterobacter aerogenes</i> TISTR1468</p>	<p>A taxa ótima de produção específica de etanol (qp) e taxa de consumo de glicerol ocorreram em ORP de 400 mV e 350 mV, respectivamente. Fed-batch com estratégia de aeração em dois estágios ( 350 mV e 400 mV ORP) adquiriu maior produção de etanol (30 e 31 g L<sup>-1</sup>) do que o alimentador em batelada com aeração de estágio único (25,95 g/L ) e o processo em batelada (12,33 g/L ).</p>
		<p>Neste trabalho, o pH foi mantido entre 6 a 6,5. Foram feitas duas fermentações, uma para cada tipo de <i>E. coli</i>. Entretanto, entre os dois</p>



<p>Murarka et al. (2008)</p>	<p><i>Escherichia coli</i></p>	<p>tipos de cepas, pode-se notar que houve um resultado melhor na produção de etanol, a partir da <i>E. coli</i> MG1655. A incorporação de glicerol, segundo Murarka et al. (2008), na biomassa celular também foi investigada por meio de análise de ressonância magnética nuclear. Uma análise do balanço de fermentação revelou um excelente fechamento dos balanços de carbono (95%) e redox (96%). Por outro lado, as condições de cultivo que impedem o acúmulo de H<sub>2</sub> mostraram ser um determinante ambiental da fermentação do glicerol. As implicações descobertas para a produção de produtos químicos e combustíveis reduzidos foram ilustradas pela coprodução de etanol mais ácido fórmico e etanol mais hidrogênio a partir do glicerol em rendimentos que se aproximam de seu máximo.</p>
<p>Chilakamarr y et al. (2022)</p>	<p><i>Escherichia coli</i> K12</p>	<p>O resíduo de glicerol foi convertido com sucesso em bioetanol por <i>Escherichia coli</i> K12. A otimização dos parâmetros de fermentação com pH 7, temperatura de 37 °C e 20 g de resíduo de glicerol produziu 9,2 g/L de bioetanol.</p>

Já nos experimentos realizados com a bactéria *Arthrobacter* sp., foi observado por Oliveira et al. (2015) a maior produção de etanol no experimento 20 (Figura 2), cujas condições de operação consolidam valores de pH 6,5, forma de cultivo de 75 rpm e concentração de glicerol de 20 g/L. O autor ainda afirma que no intervalo de nível de pH moderado de 6,5, como do experimento 20 para *Arthrobacter* sp., até níveis menores de pH 5 ocorre a formação de elevadas quantidades de etanol.

**Figura 2.** Quantidade de etanol produzido pela *Arthrobacter* sp



**Fonte:** Adaptado de Oliveira et al. (2015)

O trabalho de Murarka et al. (2008) envolveu a fermentação anaeróbica de glicerol por cepas de *E. coli* K-12 e *E. coli* MG1655 em um meio de baixo suplemento. Neste trabalho, o pH foi mantido entre 6 a 6,5. Foram feitas duas fermentações, uma para cada tipo de *E. coli*. Entretanto, entre os dois tipos de cepas, pode-se notar que houve um resultado melhor na produção de etanol, a partir da *E. coli* MG1655. Esse resultado mostrou que, mesmo sendo da mesma espécie, elas tiveram uma performance diferente.

A incorporação de glicerol, segundo Murarka et al. (2008), na biomassa celular também foi investigada por meio de análise de ressonância magnética nuclear de culturas nas quais 50% de glicerol marcado com U-13C ou 100% de glicerol não marcado foi usado. Esses estudos demonstraram que cerca de 20% do carbono incorporado à fração protéica da biomassa teve origem no glicerol. O uso de glicerol marcado com U-13C também permitiu a identificação inequívoca de etanol e ácidos succínico, acético e fórmico como produtos da fermentação do glicerol. A síntese de etanol foi identificada como determinante metabólico da fermentação do glicerol; esta via preenche os requisitos de energia gerando, de forma redox balanceada, 1 mol de ATP por mol de glicerol convertido em etanol. Uma análise do balanço de fermentação revelou um excelente fechamento dos balanços de carbono (95%) e redox (96%). Por outro lado, as condições de cultivo que impedem o acúmulo de H<sub>2</sub> mostraram ser um determinante ambiental da fermentação do glicerol. O efeito negativo do H<sub>2</sub> está relacionado à sua reciclagem metabólica, que por sua vez gera um estado redox interno desfavorável. As implicações descobertas para a produção de produtos químicos e combustíveis reduzidos foram ilustradas pela coprodução de etanol mais ácido fórmico e etanol mais hidrogênio a partir do glicerol em rendimentos que se aproximam de seu máximo.

Chilakamarry et al. (2022) estudaram a produção de etanol utilizando a *Escherichia coli*, otimizando as condições operacionais. O pH, a temperatura e o substrato foram as variáveis individuais como parâmetros de entrada para a concentração de etanol como resposta de saída. Uma faixa de pH de 5,0 a 9,0, temperatura de 31 a 42°C e 15 a 25 g de substrato foi usada para os parâmetros de entrada. As cepas de *E. coli* K12 utilizadas para geração de etanol foram cultivadas anaerobicamente a 37°C por 24 h.

A geração de etanol foi relativamente alta em pH 7,0 e substrato 20 g, a formação máxima de etanol foi observada às 12 h.

Observou-se que o aumento do pH, da temperatura e do substrato resultaram em menor formação de etanol. Alternativamente, faixas mais baixas de pH, temperatura e substrato também resultaram em diminuição na concentração de etanol.

O aumento da concentração de glicerol aumenta a produção de etanol. No entanto, a formação de etanol é interrompida com o excesso de concentração de glicerol devido à inibição do substrato e também a maior concentração de glicerol produz efeitos osmóticos.

NaOH e KOH são usados como catalisadores no processo de síntese do biodiesel e, como resultado, o subproduto glicerol bruto contém cloreto de sódio e cloreto de potássio. O glicerol bruto normalmente tem uma concentração de sal de 2,5 a 20 g/L. No entanto, algumas pesquisas sugeriram que concentrações de sal superiores a 10 g/L são tóxicas para microrganismos. O excesso de sal no meio de crescimento retardou o crescimento celular e a utilização do substrato diminuindo as atividades respiratórias.

As melhores condições de fermentação para a produção de etanol foram determinadas usando planejamento fatorial experimental e análise de superfície de resposta. O resíduo de glicerol da indústria de biodiesel foi convertido com sucesso em bioetanol por *Escherichia coli* K12.

A otimização dos parâmetros de fermentação com pH 7, temperatura de 37°C e 20 g de resíduo de glicerol produziu 9,2 g/L de bioetanol. Este estudo demonstrou que a fermentação anaeróbia usando glicerol bruto como substrato para geração de etanol em *E. coli* é viável.

*Enterobacter aerogenes*: Sunarno et al. (2020) utilizaram a *Enterobacter aerogenes* TISTR1468, uma bactéria gram-negativa em forma de bastonete, como a *E. coli*, e que atualmente é conhecida como *Klebsiella aerogenes*, para a produção de etanol a partir de glicerol.

Segundo os autores, entre os testes com *E. aerogenes* (0,39 g/g), *Klebsiella pneumoniae* (~ 0,25 g/g) e *Escherichia coli* (0,33 g/g), o que apresentou um melhor resultado na produção de etanol foi o *E. aerogenes*. Essa cepa foi uma das bactérias mais versáteis; entretanto, por possuir seu genoma totalmente sequenciado, proporciona uma oportunidade mais ampla de melhorar seu desempenho por engenharia genética.

O estudo também revelou que para anaeróbios facultativos, sua taxa de crescimento específica foi influenciada não apenas pela concentração de substrato, mas também pelo nível de concentração de oxigênio. A intensidade da aeração pode alterar o desempenho de *E. aerogenes*. Por isso, como estratégia foi feita a aeração em dois estágios (350 mV e 400 mV ORP) o que aumentou a produção de etanol (30,31 g/L) em relação ao alimentador em batelada com aeração de estágio único (25,95 g/L) e o processo em batelada (12,33 g/L). Por fim, caso seja aplicado, de acordo Sunarno et al. (2020) um inovador cultivo em batelada alimentada com aeração em dois estágios orientada por ORP será ainda maior a produção de etanol.

Consórcio microbiano: O uso de consórcios microbianos, muitas vezes, se traduz em maiores eficiências visto que permite isolamento e identificação das bactérias nele presente. Costa (2010) investigou vários microrganismos quanto à ação de degradação do glicerol residual da síntese química de biodiesel. Através de fermentações anaeróbias, a cepa de maior potencial na degradação do glicerol e conversão em bioprodutos tais como, hidrogênio e etanol, foi a bactéria *Klebsiella pneumoniae* BLb01, que apresentou 100 % de degradação do glicerol residual com a melhor capacidade de produção de H<sub>2</sub> e etanol.

A maior produção de etanol foi encontrada no experimento de fermentação anaeróbia, com 4,98 g.L<sup>-1</sup> e uma taxa de conversão de glicerol a etanol de 0,43 mol/mol em 22 horas de cultivo. Os resultados para o etanol em condições anaeróbicas foram satisfatórios.

## CONCLUSÃO

Após as análises feitas nos artigos pode-se perceber que o microrganismo mais estudado para a produção do etanol a partir da fermentação do glicerol, foi a *Escherichia coli*. Esse, demonstrou nos ensaios de todos os trabalhos um bom desempenho, produzindo o etanol como produto primário. Mas deve-se lembrar que para isso precisa-se manter uma agitação e pH controlado. Por exemplo, o pH médio utilizado nos experimentos que tiveram a maior produção variava de 6 a 6,5.

Em contrapartida, 2 artigos utilizaram microrganismos diferentes da *E. coli*. Um utilizou a *Enterobacter aerogenes* e outro a *Klebsiella pneumoniae*, ambos bactérias gram negativas, e que apresentaram uma melhor performance que a *E. coli*.

Por fim, deve-se investir em pesquisas que promovam testes comparativos no desempenho da *Enterobacter aerogenes* e a *Klebsiella pneumoniae* para produção de etanol, já que não há muitos trabalhos e os dois encontrados relataram que elas são mais eficientes do que a *E. coli*, já conhecida, para produção do nosso produto de interesse.

## REFERÊNCIAS

- Antunes, F. A.; Tabuchi, S. C.; Milessi, T. S.; JLL, D.; Pinheiro, T. D. E.; Silva, M. B.; & da Silva, S. S. (2011). Condições de pré-tratamento do glicerol proveniente da produção de biodiesel utilizando planejamento experimental plackett burman. Encontro Latino Americano de Iniciação Científica–INIC, 15
- CAMPBELL, Colin J.; LAHERRÈRE, Jean H. The end of cheap oil. *Scientific American*, v. 278, n. 3, p. 78-83, 1998.
- COSTA, Janaina Berne da. Produção biotecnológica de hidrogênio, etanol e outros produtos a partir do glicerol da reação de formação de biodiesel. 2010. Tese (Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto De Química, Rio Grande do Sul, 2010.
- Chilakamarry, C. R., Sakinah, A. M., Zularism, A. W., Khilji, I. A., Sirohi, R., & Reddy, V. J. Bioconversion of glycerol waste to ethanol by *Escherichia coli* and optimisation of process parameters. Artigo - Centro de Sustentabilidade Ambiental e Energética, Lucknow 226 029, Índia, 2022.
- Murarka, A.; Dharmadi, Y.; Yazdani, S. S. & Gonzalez, R. (2008). Fermentative utilization of glycerol by *Escherichia coli* and its implications for the production of fuels and chemicals. *Applied and environmental microbiology*, Artigo - Departamento de Engenharia Química e Biomolecular, Rice University , 2008.
- OLIVEIRA, L. P. F. A.; MANSANO, T. C. Produção de etanol a partir da biofermentação do glicerol via bactérias *Escherichia coli* e *Arthrobacter sp.*, Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- JHONSON, D. T.; TACONI, K. A. The glycerin glut: options for the value-added conversion of crude glycerol resulting from biodiesel production, *Environ. Prog.*, v. 26, p. 338–348, 2007.
- Roso, V. R.; Dalla N. M.; Martins, M. E. S., & Machado, P. R. M. (2016). Consumo de combustível e emissões de poluentes em um motor Diesel convertido a etanol para geração térmica de energia elétrica. Artigo - Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, 2016.
- SILVA, J. de Sousa. Processo fermentativo para produção de etanol utilizando glicerol bruto como substrato. 2010. tese (Pós-Graduação em Engenharia Química) -

Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Ceará, 2010.

Sunarno, J. N.; Prasertsan, P.; Duangsuwan, W.; Cheirsilp, B.; & Sangkharak, K. (2020). Improve biotransformation of crude glycerol to ethanol of *Enterobacter aerogenes* by two-stage redox potential fed-batch process under microaerobic environment. *Biomass and bioenergy*, 134, 105503. Artigo - Escola de Pós-Graduação da Universidade Prince of Songkla e Fundo de Pesquisa da Tailândia, 2020.

YAZDANI. S. S.; GONZALEZ, R; (2007). Anaerobic Fermentation of Glycerol: A Path to Economic Viability for the Biofuels Industry. *Curr. Opin. Biotechnol.* Artigo- Department of Industrial Biotechnology, Prince of Songkla University, Songkhla, 90112, Thailand, 2007.



**Capítulo 5**  
**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE**  
**BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE**  
**MOVIMENTOS DOS MEMBROS SUPERIORES**  
**OU INFERIORES**

**Matteus Souza Rossoni Sisquini**  
**Fransérgio Leite da Cunha**  
**Geraldo Rossoni Sisquini**



# DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE DE MOVIMENTOS DOS MEMBROS SUPERIORES OU INFERIORES

**Matteus Souza Rossoni Sisquini**

*Graduado em Engenharia Mecânica, DEM/CT/UFES, Vitória-ES,  
msrsisquini@gmail.com;*

**Fransérgio Leite da Cunha**

*Doutor em Engenharia Elétrica, EESC/USP, fransergio.cunha@ufes.br.*

**Geraldo Rossoni Sisquini**

*Doutor em Engenharia Oceânica e Naval, DEM/CT/UFES, geraldo.sisquini@ufes.br;*

## RESUMO

Este estudo aborda a aplicação da biomecânica e da robótica na captura de movimento dos membros superiores e inferiores do corpo humano, com o objetivo de desenvolver um sistema acessível e de baixo custo para reabilitação de pessoas com deficiência. Utilizando placas Micro:bit, que possuem acelerômetros e magnetômetros, foram capturadas informações sobre aceleração, velocidade e posição dos membros durante movimentos específicos. A análise cinemática dos dados permitiu obter informações sobre a posição angular e velocidade de cada articulação do braço. Diversos métodos foram explorados para a obtenção precisa dos dados, incluindo a calibração do magnetômetro e o uso combinado do acelerômetro e magnetômetro. O estudo demonstrou que o uso de acelerômetros é mais eficaz para a medição da inclinação das articulações e permitiu a criação de uma interface gráfica para simulação de movimentos em próteses virtuais. Esse sistema de baixo custo oferece potencial para aprimorar a reabilitação personalizada e acessível a indivíduos com deficiências físicas.

**Palavras-chave:** Biomecânica; Micro:bit; Captura de movimento; Reabilitação humana; baixo custo.

## ABSTRACT

This study addresses the application of biomechanics and robotics in capturing motion of the upper and lower limbs of the human body, aiming to develop an accessible and low-cost system for the

rehabilitation of people with disabilities. By using Micro:bit boards, which possess accelerometers and magnetometers, information about acceleration, velocity, and position of the limbs during specific movements was captured. The kinematic analysis of the data allowed obtaining information about the angular position and velocity of each joint in the arm. Several methods were explored for accurately obtaining the data, including magnetometer calibration and the combined use of accelerometer and magnetometer. The study demonstrated that using accelerometers is more effective for measuring joint angles and allowed the creation of a graphical interface for simulating movements in virtual prostheses. This low-cost system offers potential for enhancing personalized and accessible rehabilitation for individuals with physical disabilities.

**Keywords:** Biomechanics; Micro:bit; Motion capture; Human rehabilitation; low cost.

## 1. INTRODUÇÃO

A biomecânica é uma ciência que se dedica ao estudo do movimento em organismos vivos, incluindo o corpo humano, com ênfase em suas características mecânicas, anatômicas e fisiológicas (HALL, 2020). Os avanços tecnológicos têm permitido obter informações detalhadas sobre a anatomia humana, utilizando equipamentos e softwares de alta tecnologia para avaliar tridimensionalmente os movimentos do corpo (HALL, 2020).

Dentre as diversas vertentes da biomecânica, destaca-se a cinemática, que descreve os movimentos lineares e angulares com base na posição, velocidade e aceleração. Entretanto, muitos dos equipamentos tradicionais utilizados para medição em tempo real são inacessíveis para a maioria das instituições, especialmente as públicas. Nesse contexto, surge a relevância de adotar tecnologias de baixo custo, como o Micro:bit, para realizar essas medições.

O Micro:bit é um hardware com sistema embarcado baseado em ARM (Advanced RISC Machine) projetado pela BBC (British Broadcasting Corporation) para fins educacionais na área da computação (ROCKS, 2016). Ele consiste em uma placa compacta, contendo processador, memória, sensores e matriz de LEDs, que tem como propósito estimular a participação ativa de crianças na criação de software e geração de novas ideias. Além disso, o Micro:bit é projetado para trabalhar em conjunto com outros sistemas, como o Raspberry Pi, ampliando suas aplicações no campo da educação.

Para programar o Micro:bit, várias opções estão disponíveis, sendo a mais comum a utilização do MakeCode (MAKECODE, 2023), uma interface de programação visual baseada em blocos. No entanto, também é possível programar o Micro:bit utilizando linguagens de programação de texto, como Python e JavaScript, por meio de ambientes de desenvolvimento específicos.

Destaca-se que o Micro:bit possui diversas aplicações, desde a criação de jogos simples até sua integração em projetos de robótica, possibilitando o controle de motores, sensores e outras partes de um robô. Isso viabiliza a concepção de pequenos robôs ou veículos controlados remotamente. Com amplas possibilidades, o Micro:bit se destaca como uma plataforma acessível e versátil, promovendo a criatividade e o aprendizado por meio da programação e eletrônica.

## **1.2. Contextualização e justificativa**

A relevância do desenvolvimento de tecnologias para a reabilitação de pessoas com deficiência é evidenciada pelos dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Segundo a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS) de 2019, cerca de 8,4% da população brasileira acima de dois anos, o que corresponde a 17,3 milhões de pessoas, apresentam algum tipo de deficiência. Desse total, 3,8% da população acima de dois anos (aproximadamente 7,8 milhões de pessoas) têm deficiência física nos membros inferiores, enquanto 2,7% possuem deficiência nos membros superiores (IBGE, 2021).

Diante desse cenário, é necessário desenvolver ferramentas que garantam o acesso das pessoas com deficiência aos meios físicos, serviços e instalações, tanto públicas como privadas (LUSTOSA et al., 2015). Entre as soluções para atender às necessidades dessas pessoas, destacam-se os dispositivos voltados para a reabilitação, como próteses, órteses e cadeiras de rodas, entre outros. No entanto, é essencial fornecer informações detalhadas para o sistema de controle de tecnologias assistivas a fim de adequar esses dispositivos de forma precisa às características físicas de cada indivíduo (LUSTOSA et al., 2015).

Nesse contexto, a captura de movimentos desempenha um papel crucial na reabilitação humana, permitindo a avaliação, monitoramento e auxílio no processo de recuperação de pacientes com lesões ou deficiências físicas. A captura precisa dos movimentos é fundamental para o desenvolvimento de terapias personalizadas e

dispositivos de assistência que visam melhorar a qualidade de vida e a funcionalidade dos indivíduos em reabilitação.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo do projeto é desenvolver um sistema para capturar a aceleração dos membros superiores (braço, antebraço e mão) e dos membros inferiores (coxa, perna e pé), utilizando principalmente acelerômetros de baixo custo de três eixos embarcados em uma placa Micro:bit. Com base nos sinais dos acelerômetros, busca-se obter informações precisas sobre a velocidade e a posição de cada membro por meio da cinemática inversa. Dessa forma, será possível simular os movimentos em uma prótese virtual, utilizando uma interface gráfica como aplicação dos resultados. O objetivo final é disponibilizar um laboratório de baixo custo de forma open-source (código aberto) para instituições interessadas em utilizar essa tecnologia em suas aulas, pesquisas ou tratamentos de pacientes que necessitem de análise de movimentos, permitindo sua reprodução sem grandes investimentos.

## **1.3. Revisão bibliográfica**

A biomecânica, ao aplicar conceitos da mecânica, permite analisar aspectos anatômicos e funcionais de organismos vivos (HALL, 2020). Nesse contexto, a robótica desempenha um papel importante, fornecendo uma plataforma prática para explorar e compreender os princípios fundamentais da cinemática e dinâmica (SPONG et al., 2020). A cinemática é responsável pela descrição geométrica do movimento, incluindo posição, orientação e trajetória do robô, sendo essencial para o planejamento de trajetórias e controle de movimento. O estudo da dinâmica dos robôs é crucial para entender como as forças e torques se propagam no sistema, sendo fundamental para o desenvolvimento de algoritmos de controle eficientes e estáveis (CRAIG, 2017). Isso garante a execução segura e precisa de tarefas pelos robôs, incluindo movimentos suaves, controle da força aplicada ao ambiente e estabilidade durante as operações.

A biomecânica é essencial para compreender os movimentos do corpo humano, buscando entender como os sistemas musculoesqueléticos e fisiológicos interagem para gerar ações motoras eficientes e adaptativas (HALL, 2020). No

presente projeto, o foco está na medição dos movimentos dos membros do corpo humano, utilizando a cinemática e acelerômetros de três eixos. Essa abordagem é relevante para a reabilitação humana, permitindo o desenvolvimento e monitoramento de terapias personalizadas. Com a captura precisa dos movimentos, é possível avaliar desempenho motor, coordenação, amplitude de movimento e outros parâmetros que influenciam a funcionalidade do paciente. Além disso, permite o desenvolvimento de dispositivos de assistência personalizados, melhorando a qualidade de vida dos indivíduos em processo de reabilitação (LUSTOSA et al., 2015).

Os desafios no estudo dos movimentos humanos incluem a busca por tecnologias de baixo custo para a captura de movimentos, especialmente para instituições de saúde, especialmente as públicas. Nesse contexto, a utilização do Micro:bit como uma opção de tecnologia acessível pode ser uma solução promissora, tornando as ferramentas de captura de movimento mais amplamente disponíveis e contribuindo para terapias personalizadas e efetivas.

A robótica é uma área com diversas aplicações práticas, incluindo a criação de robôs manipuladores utilizados em indústrias e processos de reabilitação (MILLER; MILLER, 2017). Os robôs manipuladores industriais são capazes de realizar movimentos e tarefas diversas, dependendo do número de Graus de Liberdade (GDL) que possuem. No presente projeto, será abordado um manipulador planar com dois elos e juntas de revolução, assemelhando-se aos movimentos do braço humano e antebraço no plano sagital (SPONG et al., 2020). Essa configuração simplificada permitirá a aplicação de formulações disponíveis na literatura e o desenvolvimento de um sistema acessível.

Dessa forma, a abordagem proposta neste trabalho baseia-se na utilização do Micro:bit como uma plataforma de baixo custo para capturar os movimentos dos membros superiores e inferiores do corpo humano. Por meio da cinemática e dos acelerômetros, busca-se obter informações precisas sobre a aceleração, velocidade e posição de cada membro, possibilitando a simulação dos movimentos em uma prótese virtual através de uma interface gráfica. Essa tecnologia pode contribuir para a reabilitação personalizada e acessível a um maior número de pessoas com deficiências físicas.

O presente trabalho ressalta a importância da biomecânica e da robótica no estudo dos movimentos do corpo humano e no desenvolvimento de tecnologias para a reabilitação. A viabilidade da utilização do Micro:bit como uma plataforma de baixo

custo para captura de movimentos mostra-se promissora, permitindo a obtenção de dados precisos sobre aceleração, velocidade e posição dos membros. Essas informações podem ser aplicadas na simulação de movimentos em uma prótese virtual, possibilitando a avaliação e desenvolvimento de terapias personalizadas para pessoas com deficiências físicas.

Em suma, a integração da biomecânica, robótica e tecnologia do Micro:bit oferece um potencial significativo para o avanço na área da reabilitação humana. O projeto busca desenvolver um sistema acessível e versátil, impulsionando a pesquisa e o tratamento de pacientes que necessitam de análise detalhada de movimentos. A disponibilização do laboratório de baixo custo de forma open-source abre novas perspectivas para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico nesse campo, visando melhorar a qualidade de vida e funcionalidade de indivíduos com deficiências físicas.

### **1.3.1. Captura de movimento**

A captura do movimento dos membros humanos é essencial para a análise e compreensão dos seus movimentos. Para isso, os sensores de movimento desempenham um papel fundamental, fornecendo informações cruciais sobre a cinética e dinâmica dos robôs manipuladores (CORKE, 2017). Os sensores de movimento permitem medir com precisão a posição, velocidade, aceleração, forças e torques envolvidos no sistema, possibilitando o ajuste adequado das ações (fisioterapia, protetização, etc.) para atingir os objetivos desejados (SPONG et al., 2020).

Existem diferentes tipos de sensores de movimento, tais como sensores ópticos, acelerômetros, magnetômetros, giroscópios, sensores de detecção de proximidade e de visão computacional, cada um com suas características e aplicações específicas (LI; LIU, 2019). Para o desenvolvimento do projeto em questão, foram utilizados o acelerômetro e o magnetômetro disponíveis na placa adotada, proporcionando informações importantes sobre a aceleração linear e a orientação do robô (CORKE, 2017).

O acelerômetro mede a aceleração linear de um objeto em relação a um sistema de referência inercial, e sua utilização é relevante para detectar mudanças na velocidade ou direção do robô, bem como colisões, permitindo ajustes no comportamento do robô em resposta a essas mudanças (CORKE, 2017). Já o



magnetômetro mede a magnitude e a direção do campo magnético em relação a um sistema de coordenadas, possibilitando a determinação da orientação do robô em relação ao campo magnético da Terra, além de auxiliar na correção de erros acumulados por outros sensores, como acelerômetros e giroscópios (RONG et al., 2019).

A integração desses sensores de movimento proporciona informações mais precisas sobre o ambiente, sua própria posição e os movimentos dos objetos ao seu redor (ZHU; ZHOU, 2004). Esses dados são fundamentais para a estimativa da cinética do sistema e para a compreensão dos efeitos dinâmicos, como inércia, gravidade e atrito, que influenciam o movimento (CRAIG, 2017).

O acelerômetro, embora permita estimar velocidade e posição dos membros estudados através da integração, requer cuidado devido aos erros de integração e acúmulo de imprecisões, tornando-o mais adequado para estimativas de breve duração e situações onde a precisão não é crítica (W3C, 2023). Por essa razão, a combinação do acelerômetro com outros sensores, como o magnetômetro, é comum para melhorar a precisão das estimativas (LI; LIU, 2019).

É importante destacar que o uso do magnetômetro pode ser afetado por interferências magnéticas externas, o que pode levar a erros e imprecisões na estimativa da orientação. Portanto, métodos de calibração e filtragem dos dados obtidos pelo magnetômetro são necessários para garantir medições precisas (ROETENBERG et al., 2005).

### **1.3.2.a. Micro:bit V1**

A versão V1, lançada em fevereiro de 2016, inclui componentes como acelerômetro de três eixos, magnetômetro de três eixos, rede sem fio Bluetooth de baixa energia (2.4 GHz), 256 Kbps de memória flash e 16 KB de memória RAM.

Inicialmente, para o projeto em questão, a V1 foi utilizada com o posicionamento de um Micro:bit no braço e outro no antebraço para obter a aceleração em ambos os segmentos durante o movimento do braço. A linguagem de programação escolhida foi Python. Entretanto, os editores disponíveis apresentaram limitações na interação com o Micro:bit, e a baixa capacidade de memória RAM



inviabilizou o uso do Bluetooth e certos recursos disponíveis na V2 (MICROBIT, 2022; MAKECODE, 2023).

### **1.3.2.b. Micro:bit V2**

A V2, lançada em outubro de 2020, apresenta melhorias, como processador aprimorado, microfone, auto-falante, 512 KB de memória flash e 128 KB de memória RAM.

Devido ao aumento na memória RAM, o Bluetooth e editores mais dedicados puderam ser utilizados com o Micro:bit V2, o que gerou resultados satisfatórios para o projeto. O componente LSM303AGR é responsável por reunir o acelerômetro e o magnetômetro na parte traseira do Micro:bit (LSM303AGR, 2022).

### **1.3.2.c. Configuração e programação do Micro:bit**

Para utilizar o Micro:bit V2, é necessário ativar os recursos desejados, como o Bluetooth, acelerômetro e magnetômetro, através da plataforma Microsoft MakeCode, carregando um arquivo hex com os parâmetros necessários, incluindo o processo de calibração para o magnetômetro.

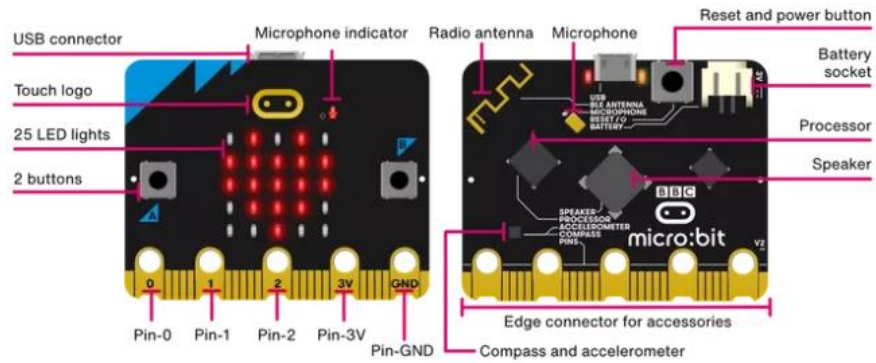
Em seguida, os Micro:bits são pareados com o computador e podem ser programados em Python através da biblioteca Kasper's Micro:bit, contornando problemas encontrados com a V1 e outros editores oficiais, possibilitando análises em tempo real (MAKECODE, 2023; KASPER'S MICRO:BIT, 2022).

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Captura de movimento**

Neste projeto, além dos conceitos apresentados anteriormente, foram utilizadas as placas Micro:bits para a captura do movimento dos segmentos do braço. As placas Micro:bits são dispositivos que possuem acelerômetro e magnetômetro embutidos e foram posicionadas ao longo dos segmentos do braço para capturar as variações nos sensores durante o movimento. Os dados obtidos por esses sensores foram utilizados para calcular a posição, velocidade e aceleração de cada segmento do braço (Figura 1).

**FIGURA 1.** Placas Micro:bits e Sensores de Movimento

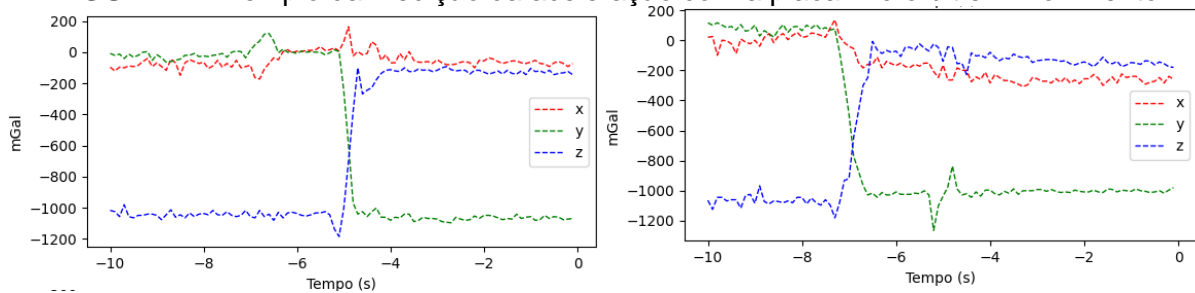


Fonte: Microbit Hardware (2022)

As placas Micro:bits utilizadas são da versão V1 e V2. Cada uma delas possui acelerômetro e magnetômetro, mas a V2 apresenta melhorias nos componentes, especialmente na rede Bluetooth, o que foi crucial para o avanço do projeto (Figura 1).

Os acelerômetros de três eixos são dispositivos capazes de medir a aceleração ao longo de três eixos em um sistema de coordenadas. Na configuração de repouso dos Micro:bits, as acelerações X e Y estão próximas de zero, enquanto a aceleração Z está próxima de -1024 mGal (0,01024 m/s<sup>2</sup>), indicando a ação da gravidade (Figura 2).

**FIGURA 2.** Exemplo da medição da aceleração com a placa Micro:bit em movimento.



Fonte: Autores (2023)

Ao posicionar dois sensores no braço humano, um no braço e outro no antebraço, foi possível observar o funcionamento dos sensores durante o movimento. Ao flexionar o antebraço mantendo o braço parado, houve uma variação na aceleração do Micro:bit no antebraço, enquanto o Micro:bit do braço manteve aceleração constante (Figura 2).

Ao apontar o braço totalmente para cima a partir do antebraço flexionado, ambos os sensores sofreram variação semelhante na aceleração, pois ambos os

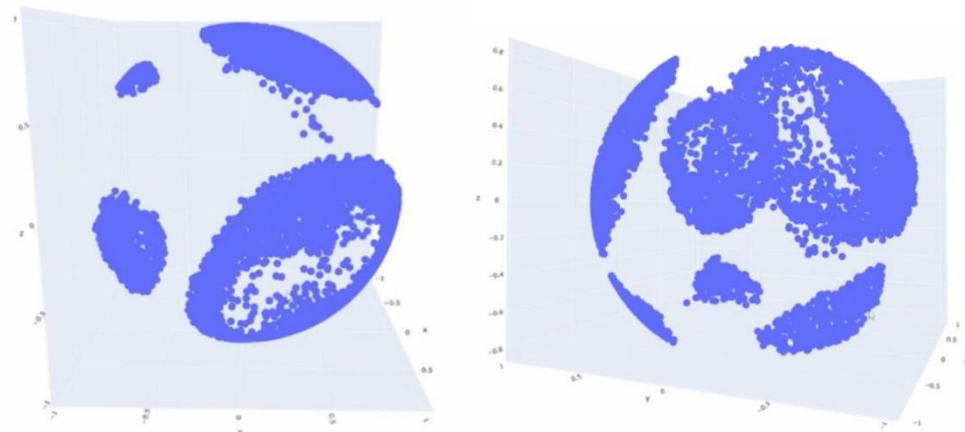
Micro:bits passaram a apontar para cima (Figura 2). Observou-se que houve pouca variação no eixo X, devido ao movimento realizado com pouca movimentação lateral.

## 2.2. Magnetômetros e necessidade de calibração

Os magnetômetros também embarcados nos Micro:bits medem a magnitude e direção do campo magnético da Terra nas direções x, y e z, como uma bússola. Entretanto, foi observado que, independentemente da posição e inclinação dos Micro:bits, os eixos x, y e z do sistema de coordenadas interno não se alinhavam ao norte magnético (Figura 3 e 4).

Para compreender o comportamento do magnetômetro, foi realizado um registro dos vetores medidos ao longo do tempo enquanto os Micro:bits eram manipulados aleatoriamente. Observou-se que havia setores inacessíveis ao vetor norte, resultando em um preenchimento parcial da casca esférica no gráfico de dispersão (Figura 3).

**FIGURA 3.** Gráficos de dispersão com os pontos gerados pelo magnetômetro dos Micro:bit ao rotacioná-los em todas as direções.

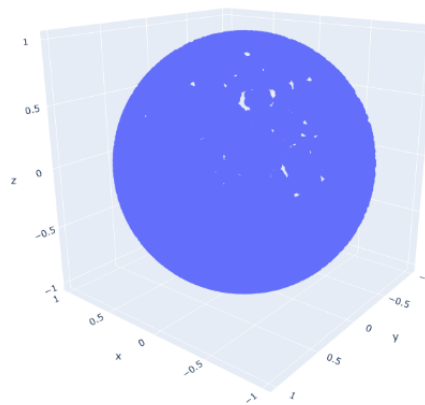


Fonte: Autores (2023)

O esperado, para um magnetômetro com o funcionamento correto, seria que, ao manipular o magnetômetro de forma suficientemente aleatória, girando-o em todos os sentidos e por tempo suficiente, a distribuição desses vetores tenderia a ser homogênea em torno da origem formando uma casca esférica. Como pode ser observado na Figura 3, em ambos os Micro:bits apenas algumas porções da casca esférica foram preenchidas, indicando que estava ocorrendo algum ruído ou defeito.

Os magnetômetros podem ser afetados por interferências magnéticas externas, como campos magnéticos gerados por objetos ferromagnéticos próximos ou fontes de energia, causando erros e imprecisões na estimativa da orientação. Por causa disso, métodos para calibrar e filtrar os dados obtidos pelo magnetômetro acabam sendo essenciais para garantir que as medições sejam precisas. Para resolver esse problema, foi introduzido um método de calibração. O procedimento envolveu tomar os Micro:bits em todas as direções até preencher todos os LEDs na superfície do dispositivo. Após a calibração, observou-se que a casca esférica ficou quase totalmente preenchida no gráfico de dispersão (Figura 4), confirmando a validade do procedimento de calibração.

**FIGURA 4.** Gráfico de dispersão com os pontos gerados pelo magnetômetro após terem sido feitas as calibrações.



Fonte: Autores (2023)

### **2.3. Obtenção da posição, velocidade e aceleração dos membros superiores com o Micro:bit**

Os Micro:bits possuem um referencial interno, onde o movimento do dispositivo é interpretado como se a gravidade ou o campo magnético se movessem enquanto o Micro:bit permanece fixo na mesma posição. Através da análise de ângulos entre os vetores da posição do Micro:bit e os vetores dos sensores de acelerômetro e magnetômetro, foi possível obter a posição, velocidade e aceleração dos membros superiores. O posicionamento dos Micro:bits ao longo do braço foi adotado de forma a maximizar a projeção da gravidade no eixo Z do acelerômetro, garantindo resultados condizentes com o movimento realizado.

A utilização das placas Micro:bits com acelerômetro e magnetômetro possibilitou a captura do movimento dos segmentos do braço e a obtenção de informações essenciais, como posição, velocidade e aceleração. A introdução do processo de calibração foi fundamental para a correção das limitações do magnetômetro. Com os procedimentos adequados, os Micro:bits se mostraram ferramentas eficazes para a análise de movimentos, contribuindo para o desenvolvimento e aprimoramento de robôs manipuladores e outras aplicações tecnológicas.

Os testes abordaram tanto o uso de cada sensor de movimento de forma separada quanto em conjunto, de forma a encontrar o melhor método possível, a partir do equipamento disponível. Os métodos principais acabaram por ser utilizar magnetômetro pra localizar o braço em duas dimensões no sistema de coordenadas do Micro:bit e utilizar o acelerômetro para medir a inclinação vertical dos segmentos do braço. Esses métodos terão seus resultados discutidos com maior detalhamento, porém, outras abordagens para a análise do movimento também foram experimentadas.

Foi buscando uma forma de conseguir detectar a movimentação do braço em um ambiente tridimensional através do magnetômetro, dessa forma considerado que a junta do primeiro segmento fosse uma junta com dois graus de liberdade. Este método seguiu o mesmo procedimento realizado para a localização em duas dimensões, porém, acrescido da inclinação da primeira articulação e do movimento horizontal do braço como um todo. Do mesmo modo que o método anterior, os resultados para a inclinação vertical se mantiveram os mesmos, sendo possível localizar o movimento, mas com bastante imprecisão. Com isso, era esperado que o movimento horizontal apresentasse um comportamento similar, porém, mover o braço horizontalmente ao redor de um ponto utilizando este método apresentou resultados incoerentes.

Outra forma de tentar localizar o braço em um ambiente tridimensional foi utilizar o acelerômetro pra calcular as inclinações verticais de cada segmento do braço e magnetômetro pra calcular a inclinação com relação ao norte de cada segmento considerando apenas a primeira articulação como tendo dois graus de liberdade e as demais como tendo apenas um grau de liberdade. Da mesma forma como o método anterior, tentar localizar o movimento horizontal do braço utilizando o magnetômetro mostrou resultados incoerentes. Entretanto, a partir deste método foi possível

observar que medir a inclinação vertical com o acelerômetro se mostrou uma abordagem mais viável ao se comparado com o magnetômetro, o que será melhor explicado adiante.

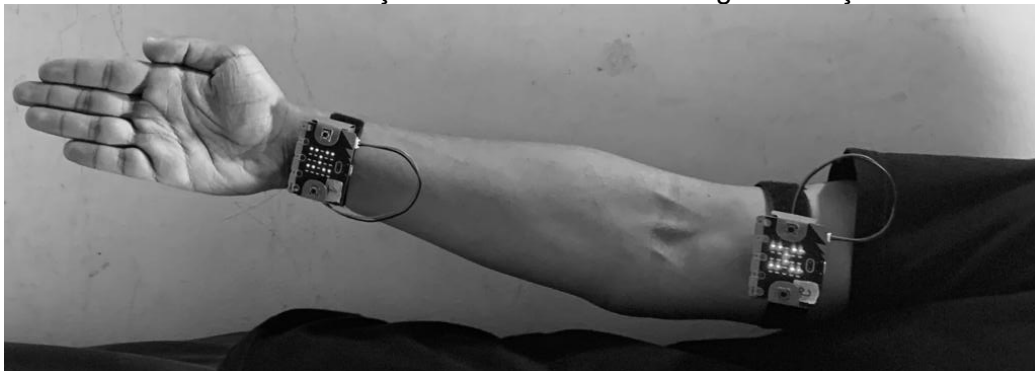
O acelerômetro pode emitir resultados imprecisos devido ao ruído gerado pela gravidade, e isso gerou um certo questionamento sobre a validade dos dados obtidos pelo método anterior. Assim, foi utilizado o magnetômetro para compensar a aceleração da gravidade, de forma que a aceleração linear fosse isolada, porém, a imprecisão do magnetômetro logo inviabilizou esta abordagem.

### **2.3.1. Implementação da análise cinemática do movimento do braço humano utilizando Micro:bit**

Para a implementação deste estudo, foi adotada a linguagem computacional Python (GUIDO; DRAKE, 1995), com a utilização dos pacotes Numpy (HARRIS et al., 2020), kaspersmicrobit (Kasper's Micro:bit, 2022) e Matplotlib (HUNTER, 2007).

Para simplificar a apresentação dos resultados, o objetivo deste projeto consiste em realizar uma análise do movimento do braço humano, enfocando suas características cinemáticas, com base no modelo do robô planar de dois elos, anteriormente descrito em um plano bidimensional. Embora as juntas do ombro humano sejam do tipo articulado, a representação do modelo utiliza juntas de revolução. Para esse propósito, dois Micro:bits foram empregados, um posicionado no braço e outro no antebraço, conforme ilustrado na Figura 5.

**FIGURA 5.** Posições dos Micro:bits ao longo do braço.



**Fonte:** Autores (2023)

Através do acelerômetro de três eixos embarcado no Micro:bit, obtive-se a orientação do braço no plano sagital, permitindo calcular sua velocidade e aceleração



angular. Essas informações possibilitam a análise tanto cinemática quanto dinâmica. Além disso, o Micro:bit dispõe de um magnetômetro de três eixos, possibilitando experimentar diferentes abordagens para a análise do movimento do braço. Como discutido anteriormente, a combinação dos sensores pode conferir maior precisão aos resultados. Dessa forma, foram explorados métodos que utilizam tanto o acelerômetro quanto o magnetômetro, de forma isolada e combinada, os quais serão abordados em seções subsequentes.

Nos experimentos, o primeiro Micro:bit foi posicionado sobre o braço de modo que o eixo y apontasse para o cotovelo, o eixo x para o torso e o eixo z para o próprio braço. Analogamente, o segundo Micro:bit foi posicionado sobre o antebraço. Ambos seguiram o mesmo procedimento conforme as instruções mencionadas. Além disso, cada Micro:bit V2 foi programado com um processo de calibração para o magnetômetro, ativado sempre durante a inicialização para garantir o correto funcionamento do sensor. Os movimentos do braço partiram de uma posição vertical apontando para o solo, com a palma da mão voltada para a frente do corpo, conforme apresentado na Figura 5.

Os segmentos do braço foram movimentados de forma separada, estendendo o braço sem flexionar o antebraço, flexionando o antebraço sem movimentar o braço e realizando ambos os movimentos simultaneamente. A partir dos métodos a serem expostos adiante, os dados coletados foram analisados para observar a variação dos ângulos de abertura, velocidade e aceleração angular de cada segmento. Analisou-se tanto a lógica dos valores obtidos quanto a coerência da representação virtual. Os testes abrangeram a utilização tanto de cada sensor de movimento de forma isolada quanto em conjunto, buscando encontrar a melhor abordagem possível, considerando o equipamento disponível.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Em testes preliminares com o acelerômetro do Micro:bit V1, foi possível obter uma taxa de amostragem de aproximadamente 20 Hz, mas isso somente importando a ativação do recurso do acelerômetro através do arquivo hex gerado pelo MakeCode (MAKECODE, 2023). No entanto, devido à limitação na memória RAM da versão V1, não foi possível importar os demais recursos necessários. Com o Micro:bit V2, foi possível atingir aproximadamente 40 Hz, mas após importar e ativar todos os recursos



necessários além do acelerômetro, como magnetômetro e a rede Bluetooth, somado com as demais operações para a captação e apresentação dos resultados, foi obtida ao final uma taxa de amostragem de 16 Hz ao transmitir os resultados em tempo real.

Utilizando o pacote (Kasper's Micro:bit, 2022), foi possível realizar o código que gera os resultados a partir dos dados obtidos pelo Micro:bit. Ao iniciar o código, é feito um procedimento onde cada placa é chamada e, após ambas responderem, é iniciada a geração de dados. Dessa forma, os dados só podem ser obtidos quando as placas estiverem sincronizadas. O código, assim como os demais módulos, foi feito tanto para gravar e processar os dados quanto para transmiti-los em tempo real. A animação que reproduz o movimento foi feita através do pacote Matplotlib (HUNTER, 2007), que embora ofereça alguns recursos básicos de animação, pode não ser a biblioteca mais eficiente para animações de alto desempenho, mas foi escolhido devido à facilidade de acesso. A transmissão em tempo real apresentou fluidez equiparável à reprodução do movimento a partir dos dados gravados e processados.

Para a localização do braço em duas dimensões no sistema de coordenadas do Micro:bit, foi utilizado o magnetômetro de três eixos. O método consistiu em assumir que o norte magnético é um ponto fixo no espaço, e os vetores de cada Micro:bit apontando para o norte magnético podem ser considerados paralelos entre si. Além disso, o eixo Y de cada magnetômetro sempre aponta na direção do segmento do braço. Com isso, foi possível calcular a abertura da articulação ao encontrar o ângulo entre dois segmentos consecutivos do braço. No entanto, esse método necessita de  $n + 1$  Micro:bits para calcular o ângulo de abertura de  $n$  articulações.

Os resultados obtidos para a posição, velocidade e aceleração angulares do antebraço utilizando o magnetômetro podem ser observados na Figura 6 e os do acelerômetro na Figura 7. Esse método apresentou imprecisões, especialmente quando o ângulo entre o vetor norte magnético e o plano yz se aproximava de  $90^\circ$ . Além disso, interferências eletromagnéticas influenciaram fortemente nos resultados obtidos. Outra abordagem para o problema de localização do braço em duas dimensões foi usando trigonometria. Projetando os vetores norte de ambos os Micro:bits no plano yz, obteve-se duas retas paralelas.

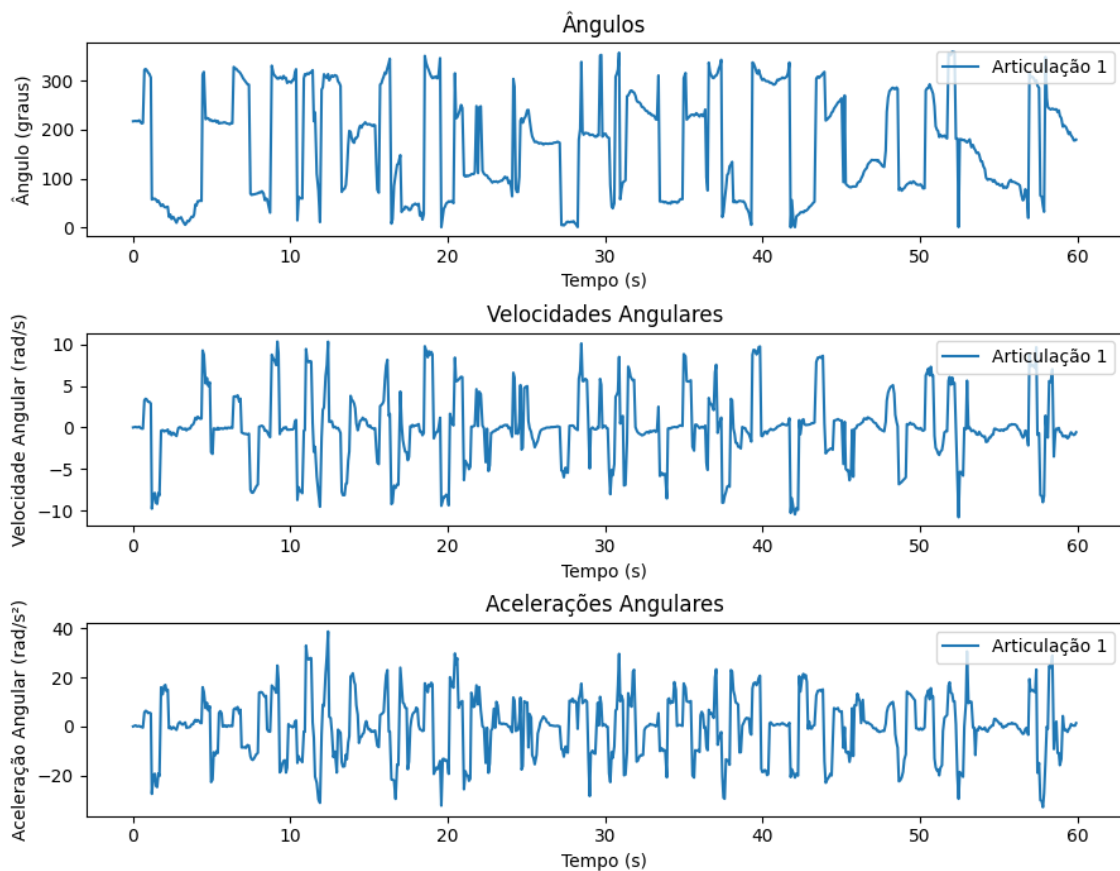
A partir dos ângulos entre os vetores norte e seus respectivos segmentos do braço, foi possível encontrar o ângulo entre os dois segmentos, considerando  $\alpha$  o ângulo entre o segmento do Micro:bit acoplado ao braço e o vetor norte e  $\beta$  o análogo

para o antebraço, sendo  $\theta$  o ângulo formado entre o braço e o antebraço como mostrado na Equação 1.

Apesar de resultados incompatíveis com o movimento realizado, essa abordagem mostrou coerência em algumas sessões do movimento, especialmente ao considerar o modelo do robô planar com juntas de revolução.

$$\theta = 2\pi - \alpha + \beta \quad (1)$$

**FIGURA 6.** Resultados obtidos pelo magnetômetro.



**Fonte:** Autores (2023)

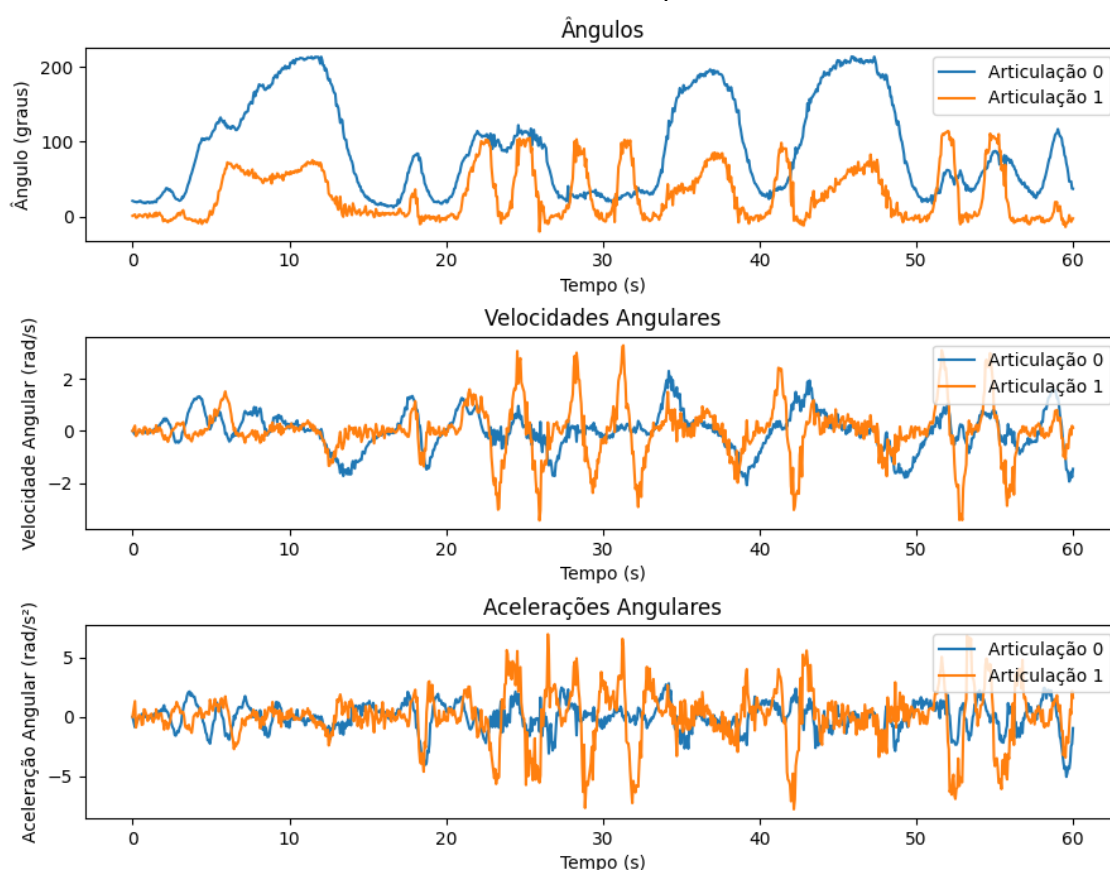
Para localizar o braço articulado em três dimensões, foram utilizados diferentes métodos combinando o acelerômetro e o magnetômetro. No entanto, o magnetômetro apresentou muita imprecisão, inviabilizando algumas abordagens.

Finalmente, utilizar somente o acelerômetro para medir a inclinação vertical das juntas se mostrou o método mais eficaz. Para cada segmento do braço, o vetor da aceleração foi utilizado para determinar a inclinação em relação ao solo. A partir dos ângulos formados pelas articulações, foi utilizada a metodologia FIFO para obtenção

das velocidades e acelerações angulares. Esse método permitiu determinar a posição da articulação em cada instante de tempo, independente dos estados anteriores. No entanto, movimentos muito rápidos podem tornar os resultados imprecisos devido ao ruído gerado pela gravidade.

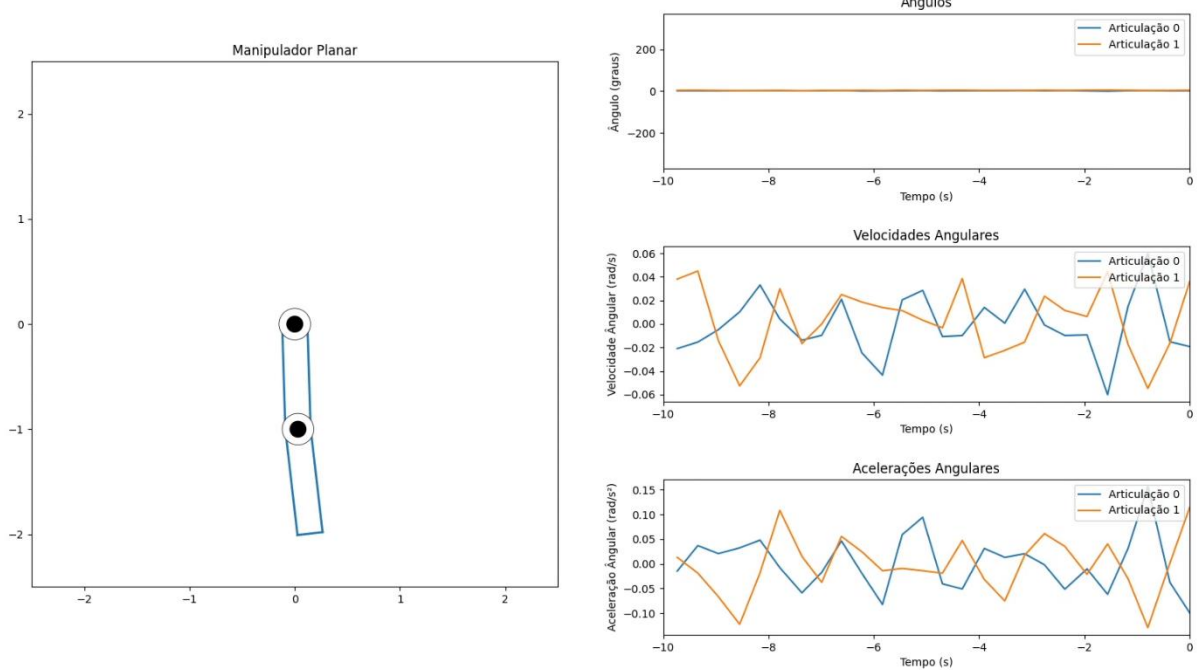
Os gráficos representando os membros foram gerados por vetores unitários adimensionais. Durante os experimentos, foram realizados movimentos suaves, mantendo os ângulos de abertura próximos de  $90^\circ$ . A partir do pacote Matplotlib (HUNTER, 2007), o movimento realizado pelo braço com os Micro:bits posicionados conforme a Figura 5 foi representado. O comportamento das inclinações, velocidades e acelerações angulares foi observado durante a execução de diferentes movimentos conforme as Figuras 8, 9 10 e 11.

**FIGURA 7.** Resultados obtidos pelo acelerômetro.



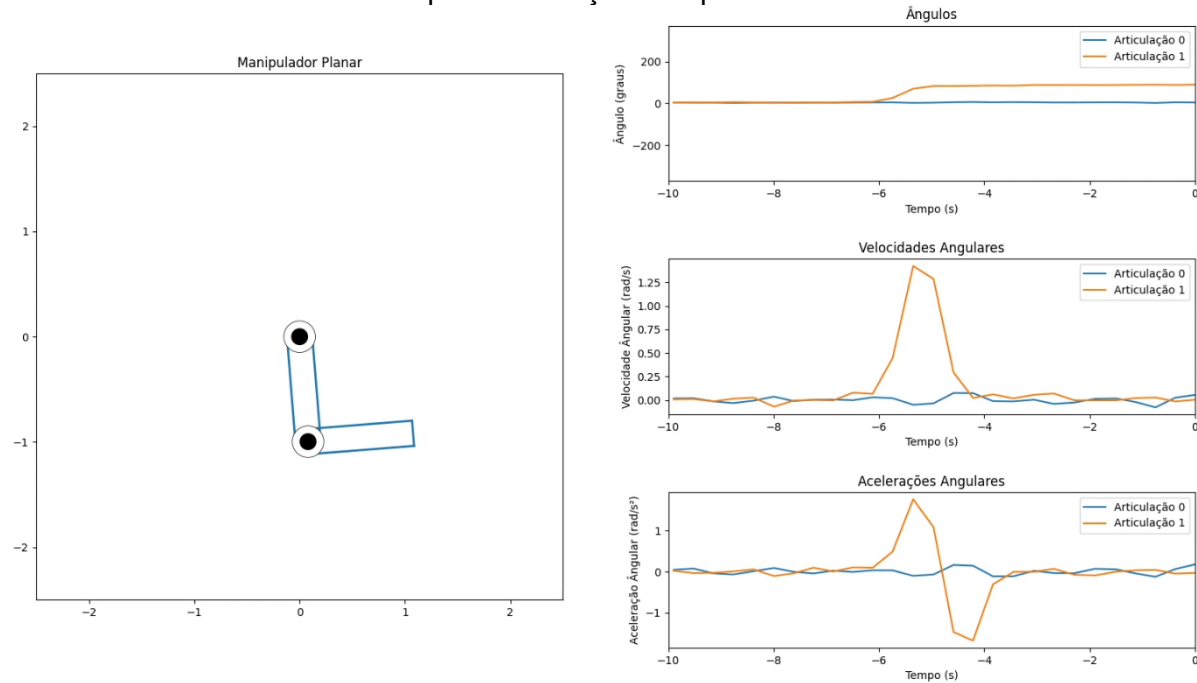
Fonte: Autores (2023)

**FIGURA 8.** Inclinação, velocidade e aceleração angulares para o braço em repouso.



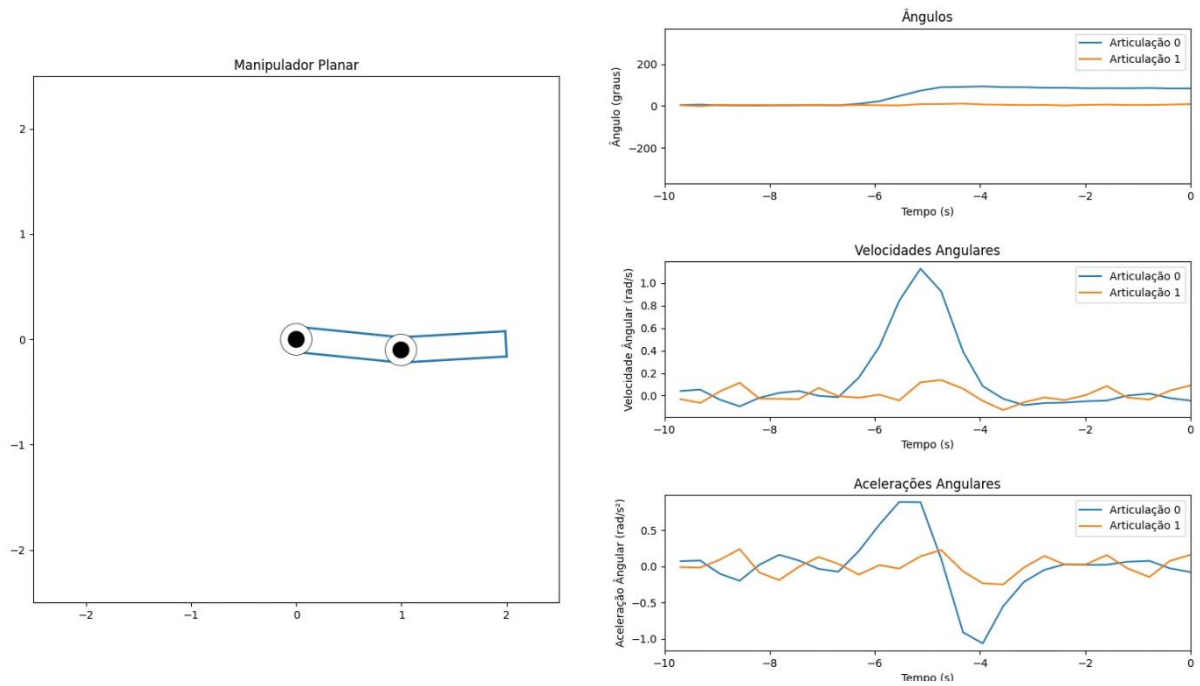
Fonte: Autores (2023)

**FIGURA 9.** Inclinação, velocidade e aceleração angulares para o antebraço flexionado a partir do braço em repouso.



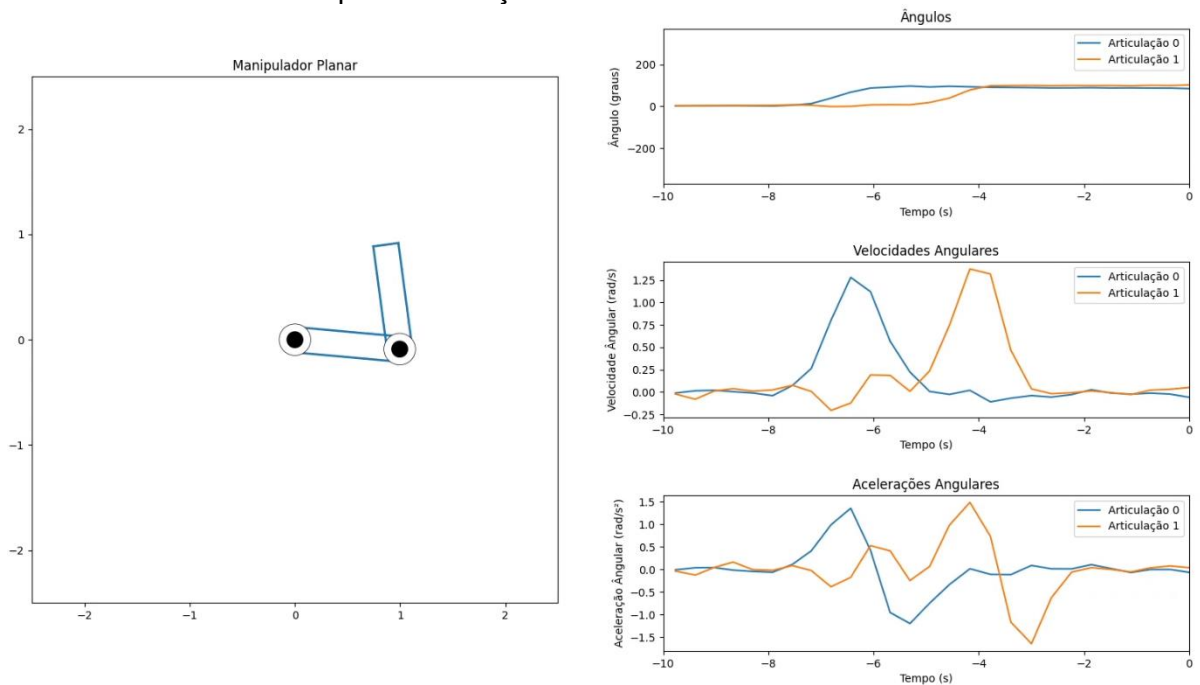
Fonte: Autores (2023)

**FIGURA 10.** Inclinação, velocidade e aceleração angulares para o braço estendido horizontalmente



Fonte: Autores (2023)

**FIGURA 11.** Inclinação, velocidade e aceleração angulares para o antebraço flexionado a partir do braço estendido horizontalmente.



Fonte: Autores (2023)

#### 4. CONCLUSÕES

Este projeto abordou o uso do Micro:bit como uma plataforma de baixo custo para captura de movimentos do corpo humano, aplicando conceitos de biomecânica e robótica na reabilitação de pessoas com deficiências físicas. A relevância desse trabalho é evidenciada pelos dados do IBGE, que mostram a existência de cerca de 17,3 milhões de pessoas com deficiência no Brasil.

A integração da biomecânica, robótica e Micro:bit apresenta um potencial significativo para avanços na reabilitação humana, criando um laboratório acessível e versátil para captura de movimentos e terapias personalizadas. Os resultados demonstram que o Micro:bit V2, com seus recursos aprimorados, é adequado para o projeto, permitindo a captura precisa de dados em tempo real sobre a aceleração, velocidade e posição dos membros durante os movimentos.

Os sensores de movimento embutidos no Micro:bit forneceram informações cruciais sobre a cinética e dinâmica dos movimentos dos membros do corpo humano. O acelerômetro tridimensional permitiu calcular a velocidade e posição angular dos segmentos do braço, enquanto o magnetômetro mostrou-se inadequado. Os códigos implementados em Python possibilitaram a captura, processamento e transmissão em tempo real dos dados sobre a posição, velocidade e aceleração dos segmentos do braço. A representação virtual dos movimentos foi gerada pela biblioteca Matplotlib, proporcionando uma visualização clara e coerente.

O Micro:bit como plataforma acessível oferece a possibilidade de reproduzir os movimentos em uma “prótese virtual”, permitindo a avaliação e desenvolvimento de terapias personalizadas para pessoas com deficiências físicas. O desenvolvimento de tecnologias acessíveis para a reabilitação de pessoas com deficiências é de extrema importância para promover a inclusão e melhorar a qualidade de vida desses indivíduos. O laboratório de baixo custo desenvolvido neste projeto oferece uma solução viável e eficaz para a avaliação, monitoramento e desenvolvimento de terapias personalizadas, contribuindo significativamente para a área de reabilitação humana.

Os resultados obtidos a partir da análise cinemática dos movimentos do braço humano, simplificados neste trabalho, utilizando os Micro:bits foram satisfatórios e apresentaram potencial para aplicações na reabilitação e análise de movimentos. É importante aprimorar a precisão da captura dos movimentos utilizando técnicas

avançadas de filtragem de dados e calibração. A inclusão de mais sensores pode ampliar a gama de informações capturadas, permitindo análises mais detalhadas.

A disseminação do projeto e a disponibilização do laboratório como open-source são fundamentais para incentivar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico na área da reabilitação humana. A colaboração entre instituições e pesquisadores pode enriquecer o projeto, levando a avanços significativos na área e beneficiando um maior número de pessoas com deficiências físicas. Assim que tais aprimorações forem concluídas, os autores irão disponibilizar os códigos e instruções para o uso gratuito desta metodologia.

Em conclusão, a aplicação da biomecânica, robótica e tecnologia do Micro:bit na captura de movimentos do corpo humano é uma abordagem promissora para a reabilitação de pessoas com deficiências físicas. A colaboração entre diversas disciplinas e a disponibilidade do projeto como open-source demonstram o potencial de soluções acessíveis para melhorar o bem-estar dos futuros usuários e beneficiários desta tecnologia.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Micro:bit Educational Foundation, representada pelo Sr. José Antonio Scodiero, por ter apoiado o projeto e proporcionado versões mais atualizadas do micro:bit que foi utilizado, as quais tornaram a realização deste projeto possível.

## **REFERÊNCIAS**

BBC Microbit. Micro:bit Educational Foundation, 2023. Disponível em: <<https://microbit.org/new-microbit/>>.

CORKE, P. Robotics, vision and control: Fundamental algorithms in matlab. 2th edition, Springer, 2017.

CRAIG, J. Introduction to robotics: Mechanics and control. 4th edition, New York: Pearson, 2017.

GUIDO, V. R.; DRAKE, F. L. J. Python reference manual. [S.l.]: Centrum voor Wiskunde en Informatica Amsterdam, 1995.

HALL, S. J. Biomecânica básica. Guanabara Koogan; 8ª edição, 2020.



HARRIS, C. R. et al. Array programming with NumPy. [S.l.]: Nature, Springer Science and Business Media LLC, 2020.

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2d graphics environment. [S.l.]: Computing in Science and Engineering; IEEE COMPUTER SOC, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/31445-pns-2019-pais-tem-17-3-milhoes-de-pessoas-com-algum-tipo-de-deficiencia>>.

Kasper's Micro:bit. Janick Reynders, 2022. Disponível em: <<https://github.com/janickr/kaspersmicrobit>>.

LI, P.; LIU, X. Common sensors in industrial robots: A review. IOP Publishing Ltd, 2019. Citado 3 vezes nas páginas 31, 32 e 33. LSM303AGR. STMicroelectronics, 2022. Disponível em: <<https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lsm303agr.html>>.

LUSTOSA, L. P. et al. Uso terapêutico de tecnologias assistivas: direitos das pessoas com deficiência e habilidade física e motora. Belo Horizonte: Nescon/UFMG, 2015.

MAKECODE. Microsoft Makecode, 2023. Disponível em: <<https://makecode.microbit.org/>>.

Microbit Hardware. Micro:bit Educational Foundation, 2022. Disponível em: <<https://tech.microbit.org/hardware/>>.

MILLER, M.; MILLER, R. Robots and robotics: Principles, systems, and industrial applications. McGraw-Hill Companies, 2017.

ROCKS, S. BBC Micro:bit at Bett 2016. BBC, 2016. Disponível em: <<https://www.bbc.co.uk/blogs/aboutthebbc/entries/32f2edad-d51f-41bb-af98-f42f41d0a705>>.

ROETENBERG, D. et al. Compensation of magnetic disturbances improves inertial and magnetic sensing of human body segment orientation. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2005.

RONG, Y. et al. Algorithm research of magnetometer assisted inertial navigation system for mobile robots. IEEE International Conference on Micro/Nano Sensors for AI, Healthcare and Robotics, 2019.

SPONG, M. W. et al. Robot modeling and control. 2th edition, New Jersey: Wiley, 2020.

W3C. World Wide Web Consortium, 2023. Disponível em: <<https://www.w3.org/TR/motion-sensors/>>.

WU, F. et al. A compact magnetic field-based obstacle detection and avoidance system for miniature spherical robots. *Sensors* 2017, 2017.

ZHU, R.; ZHOU, Z. A real-time articulated human motion tracking using tri-axis inertial/magnetic sensors package. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2004.



**Capítulo 6**  
**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FLEXÃO**  
**DE ARGAMASSAS REFORÇADAS COM**  
**FIBRAS NATURAIS VEGETAIS AMAZÔNICAS**

*Júlia Marques Zuany de Oliveira*  
*João de Almeida Melo Filho*

# CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FLEXÃO DE ARGAMASSAS REFORÇADAS COM FIBRAS NATURAIS VEGETAIS AMAZÔNICAS

**Júlia Marques Zuany de Oliveira**

*Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM).*

*Email: jujuzuany@gmail.com*

**João de Almeida Melo Filho**

*PhD em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).*

*Graduado em Engenharia Civil. Email: jalmeida26179@gmail.com*

## **RESUMO**

O uso de fibras vegetais em compósitos cimentícios tem se tornado cada vez mais comum nos últimos anos, graças ao avanço das tecnologias e à demanda por materiais inovadores e sustentáveis. Na Amazônia esse recurso é amplamente encontrado e utilizado para diferentes aplicações, sendo de interesse do presente trabalho a avaliação do uso dessas fibras como reforço estrutural de placas cimentícias. Foram investigadas as propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com teor de 5% de fibras vegetais de juta (*Corchorus capsularis*) e malva (*Urena lobata* L.), sendo feito três compósitos no total, um compósito de 100% cimento Portland com fibra de juta, um com substituição parcial de 50% de metacaulinita com fibra de malva e um com 50% de metacaulinita com fibra de juta. O objetivo foi avaliar a qualidade e o desempenho dessas fibras como reforço de placas cimentícias para um possível uso desses compósitos na Construção Civil. Foram realizados ensaios de espalhamento na matriz e ensaios de flexão em quatro pontos nos compósitos. Os resultados obtidos indicaram que as fibras proporcionaram um aumento na resistência a flexão dos compósitos, bem como o uso da metacaulinita como material pozolânico, contribuiu para aumentar a resistência desses compósitos, indicando uma grande possibilidade do uso desses em aplicações estruturais e semiestruturais.

**Palavras-chave:** Fibras vegetais. Amazônia. Construção Civil. Compósitos. Flexão.

## **ABSTRACT**

The use of plant fibers in cementitious composites has become increasingly common in recent years, thanks to advances in technology and the demand for innovative and sustainable materials.

In the Amazon, this resource is widely found and used for different applications, and the present work is interested in evaluating the use of these fibers as structural reinforcement of cement slabs. The mechanical properties of cementitious composites reinforced with a content of 5% vegetable fibers of jute (*Corchorus capsularis*) and mallow (*Urena lobata* L.) were investigated, making three composites in total, a composite of 100% Portland cement with jute fiber, one with partial replacement of 50% metakaolin with mallow fiber and one with 50% metakaolin with jute fiber. The objective was to evaluate the quality and performance of these fibers as reinforcement of cementitious plates for a possible use of these composites in Civil Construction. Spreading tests were carried out on the matrix and four-point bending tests on the composites. The results obtained indicated that the fibers provided an increase in the flexural resistance of the composites, as well as the use of metakaolin as a pozzolanic material, contributed to increasing the resistance of these composites, indicating a great possibility of using them in structural and semi-structural applications.

**Keywords:** Vegetable fibers. Amazon. Civil Construction. Composites. Bending.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento na região amazônica necessita de investimentos econômicos e ecologicamente viáveis em atividades construtivas, já que na Amazônia, um dos maiores desafios é criar um plano de desenvolvimento econômico que equilibre a preservação da floresta com o crescimento da região.

A tecnologia avança com rapidez e o engenheiro deve se manter atualizado para poder beneficiar-se com as melhores e mais avançadas tecnologias, utilizando materiais de baixo custo e com os melhores benefícios estruturais. Os materiais podem ser simples ou compostos, obtidos da natureza ou da indústria. Sua evolução é tão rápida que o profissional que não deseja ficar desatualizado deve permanecer sempre atento aos novos conhecimentos e invenções, de modo que é necessário que o estudo dessa matéria seja uma constante em toda a sua vida profissional (Oliveira et al., 2010).

A aplicação de fibras naturais de origem vegetal para reforço estrutural, é um estudo que vem sendo aplicado na Construção Civil, que pode proporcionar benefícios tanto estruturais quanto ambientais como: melhores propriedades físicas e mecânicas, redução na emissão de poluente e gases estufa, menor dependência de fontes de

energia e materiais não renováveis, biodegradabilidade, entre outros. Essas fibras podem ser produzidas a partir de diferentes tipos de vegetais, como o sisal, juta, algodão, malva, cânhamo, kenaf e linho. (Wei, 2015)

Em meados do século XX, o uso de fibras surgiu como uma alternativa de reforço passivo complementar aos tradicionais (Bentur e Mindess, 2007) com a finalidade de inserir avanços dos compósitos cimentícios como material estrutural. O material componente da fibra define o módulo de elasticidade e resistência mecânica da mesma, sendo essas propriedades importantes para a capacidade de reforço que a fibra pode fornecer para o compósito.

A fibra natural lignocelulósica de juta vem sendo extensivamente investigada em várias pesquisas, como compósitos poliméricos reforçados por juta (Wambua et al, 2007). Os compósitos reforçados com este tipo de fibra residual podem substituir produtos de madeira, trazendo várias vantagens, e ainda podem ser utilizados em materiais de construção e peças de automóveis (Zah et al, 2007). As fibras extraídas da malva também apresentam grande potencial de utilização na construção civil. A malva origina uma fibra de maior resistência que a produzida pela juta, porém menos sedosa e brilhante. São plantadas juntas, em sistema de consórcio, sendo que a juta em várzea baixa e a malva em várzea alta, ambas em terras muito férteis (Sabbá, 1993).

No estudo a ser realizado serão utilizadas as fibras vegetais de juta e malva como reforço e será verificado seu desempenho no comportamento mecânico de compósitos cimentícios. Com o objetivo de apresentar avanços tecnológicos relevantes para a construção civil, este artigo desenvolve uma metodologia de reforço com fibras vegetais em compósitos cimentícios.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Os compósitos cimentícios são materiais de grande resistência mecânica que têm em sua composição materiais cimentícios suplementares com a finalidade de diminuir o impacto ambiental provocado pela produção do cimento Portland (SOARES *et al.*, 2019). As fibras, em geral, possuem capacidade de transferência de tensões por meio de inter travamento de agregados, evitando as fissuras e proporcionando à matriz um ganho de resistência e tenacidade (LIMA, 2020). Os estudos de fibras vegetais como reforço em matrizes cimentícias começaram na Inglaterra por volta de

1970 (SAVASTANO JR., AGOPYAN, 1998). No Brasil, a pesquisa inovadora foi realizada pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Ceped), Camaçari, Bahia, com início em 1980 (GUIMARÃES, 1987).

O estudo sobre a obtenção de reforços em matrizes cimentícias a partir da utilização de fibras vegetais desperta o interesse de pesquisadores. Exemplos de alguns trabalhos são: MELO FILHO (2012), que utilizou fibras de sisal para o estudo da durabilidade química e térmica dos compósitos.

## **METODOLOGIA DA PESQUISA**

A Metacaulinita foi adquirida da empresa Metacaulim do Brasil, na cidade de Jundiá – SP e o superplastificante MASTERGLENIUM 51 adquirido da empresa Basf em São Paulo - SP. O cimento utilizado foi o Cimento CP-IV ou Cimento Portland Pozolânico da marca MIZU, a areia utilizada foi a areia passante na peneira de número 600 mm e a água provenientes da cidade de Manaus- AM. Já as fibras de juta e malva foram fornecidas por comunidades ribeirinhas produtoras da cidade de Manacapuru – AM.

Foram produzidos três tipos de compósitos, o compósito OCP + Juta, onde o material cimentício foi constituído de 100% de cimento Portland, O compósito MK50 + Juta, onde o material cimentício teve o cimento Portland substituído por 50% de Metacaulinita e o compósito MK50 + Malva, que também teve 50% de substituição e fibras de malva como reforço. A substituição parcial do cimento se deu a partir dos trabalhos de Melo, 2012 com a finalidade de diminuir a alcalinidade da matriz e aumentar a durabilidade das fibras.

Através desses materiais estudados, foram realizados os seguintes ensaios estruturais: espalhamento e flexão, para a identificação das possíveis melhorias que essas fibras acarretam. Todas as máquinas utilizadas nos ensaios foram fornecidas pela UFAM.

O próximo passo foi a proporção de mistura e produção de compósitos. Foi feito então o ensaio de *Flow Test*, o ensaio de espalhamento (*Flow test*) é utilizado para medir a capacidade do concreto autoadensável fluir livremente sem segregar, permitindo, também, a observação visual de possível segregação. Foi padronizado primeiramente no Japão, para ser usado em concretos submersos (Tutikian, 2004). O *flow test* define o espalhamento da argamassa, ou seja, verifica sua fluidez. Ele é feito



em uma forma de cone. O molde é posicionado em cima de uma placa e a mistura despejada dentro do cone. Ao levantar o cone em direção vertical, a mistura se espalha sobre a placa. Para medir o grau de espalhamento verifica-se a dimensão do diâmetro da mistura espalhada utilizando um paquímetro. Com o ensaio de *Flow Test* foi obtido as proporções das misturas. Uma proporção água/cimento (p/c) de 0,45 e uma proporção ligante/areia de 1:1 foram usadas para todas as misturas de argamassa. O teor de umidade e a capacidade de absorção de água das fibras de juta e malva foram considerados na determinação da relação água/sólido.

As argamassas foram produzidas em um misturador mecânico. O processo iniciava com adição da areia, do cimento e da metacaulinita (quando exigir) e em seguida a água junto com o SP era adicionada gradualmente a 70 rpm durante 1 min, seguido de 1 min de descanso e mais 3 min de mistura adicional a 130 rpm. A trabalhabilidade da argamassa foi ajustada utilizando o SP até o teor de 1,2% em massa de ligante. MASTERGLENIUM 51 é um tipo de policarboxilato aditivo superplastificante, que não afeta a resistência mecânica da mistura cimentícia nas primeiras idades de hidratação do cimento. Para cada mistura foi moldado uma placa de 200 mm x 400 mm x 10 mm (largura, comprimento e espessura), e a partir desta, seis placas foram cortadas com dimensões de 40 mm x 200 mm x 10 mm (Figura 1) com volume de 5 % de fibra de juta e malva para os ensaios de flexão em quatro pontos. O processo de moldagem iniciava após a mistura da matriz, e ocorria com a colocação na forma de uma camada de argamassa de cerca 2 mm de espessura, seguida por uma camada de fibras longas alinhadas unidirecionais. A camada de fibra foi costurada como mostra as Figuras 2 e 3. A segunda camada de argamassa de 2 a 3 mm de espessura foi colocada, e uma segunda camada de fibra foi distribuída alinhada, seguida da terceira camada de argamassa para preencher a forma.

Figura 1- Placa cortada para ensaios



Fonte: autora (2023)

Figura 2- Fibra de Malva costurada



**Fonte:** autora (2023)

Figura 3- Fibra de Juta costurada



**Fonte:** autora (2023)

Os ensaios de flexão foram realizados para verificar o comportamento dos compósitos reforçados com fibras de juta e malva. As propriedades à flexão aos 28 dias da argamassa reforçada com fibras de juta e malva foram determinadas e serviram como referência. Testes de flexão de quatro pontos foram realizados em uma máquina de teste universal Filizola AME-2KN. A velocidade de ensaio utilizada foi de 0,5 mm/min, padronizada para todos os ensaios para investigar o comportamento à flexão dos compósitos reforçado com fibras de juta e malva. Três corpos de prova com vão de 180 mm foram ensaiados para cada mistura, os pontos de carga distavam 60 mm. Em seguida, o efeito de reforço da fibra de juta e malva foi investigado determinando a resistência à primeira fissura ( $\sigma_f$ ), resistência máxima ( $\sigma_m$ ) e deflexão máxima ( $D_m$ ). Estes foram determinados da seguinte forma: De acordo com ASTM C1018, a primeira carga de fissura  $F_f$  é definida como “o ponto na curva carga-deflexão no qual a forma da curva primeira se torna não linear”. Assim, a resistência à primeira fissura é dada pela Eq. (1):  $\sigma_f = F_f \cdot L / b \cdot h^2$ , onde  $L$  é o vão inferior do corpo de prova (180 mm), e  $b$  e  $h$  são a largura e a espessura do corpo de prova, respectivamente.  $\sigma_m$ : Determinado a partir da carga máxima ( $F_{m\acute{a}x}$ ) do ensaio de

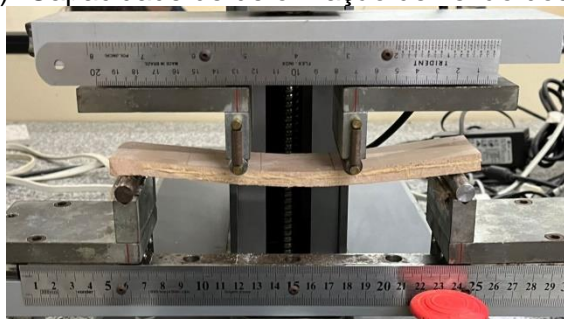
flexão após o primeiro evento de trinca usando a Eq. (1).  $D_m$ : A deflexão máxima é definida durante a aplicação da carga, ela ocorre no centro do corpo-de-prova.

## ANÁLISE DE DADOS

No ensaio de *Flow Test* os resultados obtidos para a dosagem com a matriz de 50% de metacaulinita apresentou um espalhamento de 31,5 centímetros e para a dosagem de argamassa pura foi de 29,4 centímetros. A partir da avaliação visual das misturas, observou-se também, que a matriz não apresentou segregação ou exsudação, indicando que o teor de SP não estava prejudicando ou alterando de forma negativa a fluidez da matriz.

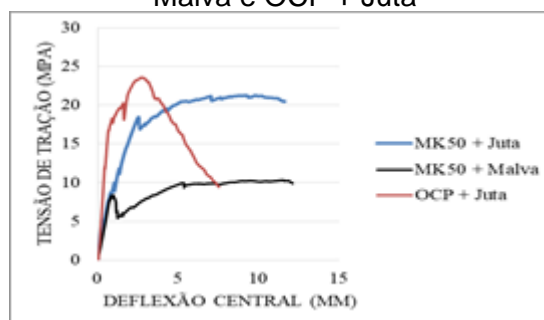
Para o comportamento mecânico sob tração na flexão, foram obtidas as seguintes curvas típicas tensão x deflexão que estão representadas na Figura 4 (B), para os compósitos MK50 + Juta, MK50 + Malva e OCP + Juta.

Figura 4 (A)- Capacidade de deformação de flexão dos compósitos



Fonte: autora (2023)

Figura 4 (B)- Curvas típicas de tensão x deflexão para os compósitos MK50 + Juta, MK50 + Malva e OCP + Juta



Fonte: autora (2023)

Os valores médios das propriedades obtidas com seus respectivos coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 1.

De uma forma geral, percebe-se que todos os compósitos apresentaram um comportamento de endurecimento na flexão, caracterizado pelo aumento da tensão após o surgimento da primeira fissura. Comparando-se os três compósitos, nota-se que não existe diferença significativa nos valores de tensão de primeira fissura. Observa-se que durante o processo de formação de fissuras, a mistura com OCP + Juta apresentou maior variação de carga quando da formação de novas fissuras, o que induz a formação de um maior número de fissuras no processo de múltipla fissuração.

**Tabela 1-** Resultados médios e coeficientes de variação das propriedades mecânicas para os compósitos MK50 + Juta, MK50 + Malva e OCP + Juta

<b>Efeito de reforço das fibras de Juta e Malva nos Compósitos</b>			
<b>Compósitos</b>	<b>Resistência à Primeira Fissura (<math>\sigma_f</math>) CV%</b>	<b>Resistência Máxima (<math>\sigma_m</math>) CV%</b>	<b>Deflexão Máxima (Dm) CV%</b>
<b>MK50 + Juta</b>	8,14	24,57	9,93
	9,31	14,25	36,06
<b>MK50 + Malva</b>	6,62	9,56	7,13
	28,84	5,77	0,5
<b>OCP + Juta</b>	10,10	25,75	3,42
	23,89	12,36	24,23

Fonte: autora (2023)

Comparando-se as três misturas, a resistência à primeira fissura apresentou uma pequena diferença, porém devido ao alto coeficiente de variação essa diferença é desprezada. Em relação a resistência máxima as misturas com juta apresentaram valores maiores, isso pode ser decorrente de que os compósitos reforçados fibra de juta, que proporcionou uma maior resistência da matriz, do que comparada com o compósito reforçado com fibra de malva. Percebe-se que a misturas com MK50 + Juta apresentou uma deflexão máxima na faixa de 9,93 mm enquanto que as misturas com MK50 + Malva apresentou uma deflexão máxima de 7,13 mm e a mistura com OCP + Juta apresentou uma deflexão máxima de 3,42 mm. As misturas com 50% de metacaulinita apresentaram maior deflexão máxima, isso pode ser decorrente do alto teor de metacaulinita, que proporcionou uma diminuição da deflexão da matriz.

O modo de fratura após os ensaios de flexão para os três compósitos estão apresentados na Figura 5. Observou-se que todos os corpos de prova apresentaram várias fissuras na região inferior dos corpos de prova. Esse comportamento corrobora

com os resultados mecânicos que mostraram curvas com quedas de cargas indicando a ocorrência de fissuras.

Figura 5- Ocorrência de fissuras na região inferior dos corpos de prova



Fonte: autora (2023)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os compósitos reforçados com fibras de juta e malva desenvolvidos no presente artigo apresentaram múltiplas fissuras com um comportamento de endurecimento de tensão durante o ensaio de flexão. A falha dos compósitos na flexão, com matriz de OPC, ocorreu após uma deflexão central de cerca de 4 mm, enquanto que os compósitos com matriz de MK apresentaram uma deflexão próximo a 10 mm. Após o estágio de fissuração, os compósitos apresentaram uma manutenção da tensão devido à localização e a abertura de umas das fissuras existentes. A resistência pós-fissura dos compósitos variou de cerca de 9 a 25 MPa, sendo que os compósitos com fibras de juta apresentaram maiores valores de resistência máxima e deflexão máxima. Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram uma alta potencialidade do uso das fibras de juta e malva como reforço de compósitos cimentícios para aplicações estruturais e semiestruturais.

## REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V; SAVASTANO JUNIOR, H. **Fibras vegetais como materiais de construção**. In: ISAIA, G. C. (editor) *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.

BENTUR, A; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**, Second Edition. United Kingdom. Taylor & Francis, 2007.

FIGUEIREDO, A.D; MONTE, R.; BITENCOURT JR., L.A.G. **Capítulo – Concreto com Fibras**, In: **IBRACON. – Instituto Brasileiro do Concreto (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia**, 3ª ed. São Paulo: Arte Interativa, 2022.



GUIMARÃES, S. S., **Fibra vegetal-cimento - Resultados de algumas experiências realizadas no THABA/CEPED**. In: Anais do I simpósio internacional sobre produção e transferência de tecnologia em habitação: da pesquisa à prática. HABITEC 87. São Paulo, 6-10, abr. p.103, 1987.

LIMA, Paulo Ricardo Lopes. **Concreto com fibras para elementos construtivos estruturais**. Congresso Brasileiro do Concreto - Ibracon, 62<sup>o</sup> - setembro, 2020.

MELO FILHO. **Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal**. Tese de doutorado apresentado ao Programa de Doutorado em Engenharia Civil da UFRJ, 2012.

OLIVEIRA *et al.* **Avaliação de custo e impermeabilização na argamassa para emboço e reboco produzidas a partir de cal, agrofilito e viacal**. Faculdade Multivix, 2016.

SABBÁ, J. **O Quadro de Crise do Sistema Juta/Malva e suas possíveis Alternativas de Seguimento**. UFAM, 1993.

SOARES *et al.* **Compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com a incorporação de diversos teores de pó de vidro**, ISSN 2526-7248 artigo n. 4SPPC116, pp. 136-146, 2019.

TUTIKIAN, B. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. Tese de mestrado apresentado ao Programa de Mestrado em Engenharia Civil da UFRGS, 2004.

WEI, J; MEYER, C. **Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites**. Elsevier, Nova York, 2015.

WAMBUA, P; VANGRIMDE, B; LOMOV, S. VERPOEST, I. **The Response of Natural Fiber Composites to Ballistic Impact by Fraagment Simulating Projectiles**. Composite Structures, Leuven Belgium, 2007.



**Capítulo 7**  
**TECNOLOGIAS PARA PREVENÇÃO DE**  
**RISCOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS: UM**  
**ESTUDO DE RISCOS GEOLÓGICOS E**  
**GEOTÉCNICOS**

**José Jorge de Azevedo Santos**  
**Victoria Larissa Silva Cunha**



# TECNOLOGIAS PARA PREVENÇÃO DE RISCOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS: UM ESTUDO DE RISCOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS<sup>1</sup>

**José Jorge de Azevedo Santos**

*Engenheiro de Produção Civil, Salvador-BA/ UNEB, josejorge.azevedo@gmail.com*

**Victoria Larissa Silva Cunha**

*Graduando em Engenharia Civil, Cruz das Almas-BA/ UFRB,  
victorialarissa.vls@gmail.com*

## **RESUMO**

Este trabalho busca identificar tecnologias inovadoras aplicadas na prevenção de riscos em obras subterrâneas, abordando riscos geológicos e geotécnicos específicos. A análise envolve fenômenos como a qualidade do solo, hidrogeologia e estabilidade das rochas, visando coletar informações relevantes para a prevenção desses riscos. São examinadas tecnologias avançadas, como o monitoramento geotécnico, a modelagem geológica e geotécnica em 3D, o uso de sensores inteligentes e materiais de engenharia de alto desempenho. Os resultados obtidos contribuem para o avanço do conhecimento em engenharia geotécnica e fornecem diretrizes práticas para profissionais envolvidos em obras subterrâneas. A aplicação adequada dessas tecnologias pode promover a segurança estrutural, redução de custos, eficiência construtiva e o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Riscos geológicos, prevenção, tecnologias, segurança estrutural, desenvolvimento sustentável e modelagem 3D.

## **ABSTRACT**

This work aims to identify innovative technologies applied in the prevention of risks in underground construction, addressing specific geological and geotechnical risks. The analysis involves phenomena such as soil quality, hydrogeology, and rock stability, with the aim of gathering relevant information for risk prevention. Advanced technologies are examined, including geotechnical monitoring, 3D geological and geotechnical modeling, the use of smart sensors, and high-performance engineering materials. The results contribute to the

---

<sup>1</sup> Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC - 08 a 11 de agosto de 2023

advancement of knowledge in geotechnical engineering and provide practical guidelines for professionals involved in underground construction. The proper application of these technologies can promote structural safety, cost reduction, construction efficiency, and sustainable development.

**Keywords:** Geological risks, prevention, technologies, structural safety, sustainable development and 3D modeling.

## INTRODUÇÃO

A utilização da Engenharia Civil em obras subterrâneas é de extrema importância para o crescimento econômico das cidades. Pois através de técnicas e procedimentos adotados em obras se obtém uma obra mais segura para os trabalhadores. Contudo, determinadas atividades estão sujeitas a diversos riscos principalmente riscos geotécnicos, ao qual podem comprometer a segurança e estabilidade das estruturas. Nesse contexto, é necessário desenvolver tecnologias eficazes para prevenir e mitigar esses riscos.

O objetivo deste trabalho é identificar e analisar tecnologias inovadoras que possam ser aplicadas na prevenção de riscos em obras subterrâneas. Além disso, busca-se coletar informações relevantes para a prevenção de riscos geológicos e geotécnicos específicos, visando contribuir para a segurança e sustentabilidade dessas construções.

A precaução que se deve ter com os riscos em obras subterrâneas envolve a compreensão dos fenômenos da geologia e geotecnia, ao qual sua deve-se aplicar medidas preventivas adequadas. Serão examinadas tecnologias avançadas, como monitoramento geotécnico, modelagem geológica e geotécnica em 3D, sensores inteligentes e materiais de engenharia de alto desempenho. Serão analisados os benefícios e limitações de cada tecnologia, bem como seu potencial de aplicação em diferentes contextos geológicos e geotécnicos.

Espera-se que os resultados desse estudo contribuam para o avanço do conhecimento em engenharia, geotecnia, ao qual possa fornecer orientações práticas para profissionais envolvidos na concepção e execução de obras subterrâneas. O uso adequado das tecnologias identificadas pode proporcionar maior segurança estrutural, redução de custos, aumento da eficiência construtiva e promover o desenvolvimento sustentável em todos os estados do Brasil.

Com o avanço da mobilidade urbana e o consumo excessivo de diversos materiais que são extraídos de minerações, a realização de obras subterrâneas tem sido cada vez mais frequentes, pois à necessidade de melhorar o espaço urbano e prover as demandas de infraestrutura. No entanto, essas obras apresentam desafios específicos relacionados aos riscos no solo que pode afetar a vida e a segurança do trabalhador que estão associados ao meio subterrâneo. Esses riscos incluem instabilidade do solo, problemas de drenagem, colapsos estruturais e até mesmo interações complexas com as características geológicas locais.

Diante desses desafios, a prevenção e o gerenciamento eficazes desses riscos tornam-se primordiais para garantir a segurança das obras subterrâneas e o bem-estar das comunidades. Nesse sentido, a adoção de tecnologias inovadoras desempenha um papel crucial ao oferecer soluções avançadas de monitoramento, prevenção e mitigação de riscos.

Esta pesquisa tem como objetivo principal explorar as tecnologias mais recentes aplicadas na prevenção de riscos em obras subterrâneas, considerando os aspectos geológicos e geotécnicos envolvidos. Serão analisadas tecnologias como instrumentação geotécnica avançada, modelagem geotécnica computacional, sensoriamento remoto e técnicas de geofísica aplicadas a obras subterrâneas.

Espera-se que os resultados desta pesquisa possam contribuir significativamente para aprimorar as práticas de prevenção de riscos em obras subterrâneas, proporcionando maior segurança, redução de custos e um desenvolvimento sustentável das cidades. Além disso, espera-se que as informações e recomendações fornecidas possam servir de referência para profissionais da área de Engenharia e Agronomia envolvidos nesse campo de estudo em constante evolução.

## **DESENVOLVIMENTO**

No Brasil, devido a um grande número de minérios, existe um grande número de obras subterrâneas espalhadas pelas diversas regiões brasileiras e com elas os riscos empregados, sejam eles pela falta ou falha de um planejamento minucioso unido a uma boa execução. Assim, estes tipos de projetos acabam requerido um maior cuidado, riscos e impacto e geotécnicos e geológico em estruturas subterrâneas ao qual tendem a aumentar de acordo com sua profundidade da escavação. Para isso,

são realizados estudos probabilísticos com o intuito de prever as diversas desconformidades e expondo respostas específica respeitando as diretrizes e características intrínsecas de cada caso em particular.

Algumas práticas como o controle rígido da obras são indispensáveis, assim como políticas procedimentais ou estruturas organizacionais projetadas e implementadas afim de garantir uma razoável segurança de que o intuito do projeto seja alcançado e que os eventos indesejáveis serão detectados e corrigidos previamente, assim pode se estabelecer padrões e requisitos mínimos de procedimentos e avaliações de riscos, obtendo uma clareza das responsabilidades das partes envolvidas, afim de minimizar a possibilidades de danos.

A construção civil em obras subterrâneas ao redor do mundo é uma prática amplamente explorada, porém, não estão isentas de riscos. Para Smith (2018), a falta de um planejamento detalhado e uma execução planejada aumentam a probabilidade de ocorrência de falhas e impactos geológicos e geotécnicos. À medida que a escavação se aprofunda, os riscos tendem a se intensificar, tornando-se necessária a realização de estudos probabilísticos para prever possíveis desconformidades e fornecer respostas específicas de acordo com as diretrizes e características intrínsecas de cada projeto de acordo com (Johnson, 2016).

A dificuldade de execução de obras subterrâneas requer uma abordagem abrangente e cuidadosa em todas as fases do projeto. De acordo com Johnson (2016), o processo de planejamento com mais assertividade deve-se considerar eventuais riscos geotécnicos e a avaliações e geológicas do local, bem como a implementação de medidas de mitigação apropriadas. É de grande importância formar uma equipe técnica qualificada, capaz de realizar análises detalhadas e propor soluções adequadas às condições específicas de cada empreendimento como descreve (Smith, 2018).

Assim, para mitigar esses riscos, é fundamental adotar práticas de controle de obras, bem como políticas procedimentais e estruturas organizacionais projetadas e implementadas. Para Brown (2019), essas medidas garante uma segurança adequada para alcançar os objetivos de um determinado projeto e ajuda a analisar, detectar e corrigir eventos indesejáveis de forma antecipada. Além disso, estabelecer padrões mínimos e procedimentos de avaliação de risco, juntamente com uma clara definição das responsabilidades das partes envolvidas, são essenciais para minimizar as possibilidades de danos conforme menciona (Jones, 2020).

Dessa forma, a utilização de novas tecnologias, como monitoramento contínuo e instrumentação geotécnica, desempenha um papel fundamental na detecção precoce de problemas e no acompanhamento das estruturas subterrâneas ao longo do tempo. Conforme destacado por Brown (2019), essas ferramentas permitem uma melhor compreensão do comportamento das obras e auxiliam na tomada de decisões para a implementação de medidas corretivas quando necessário.

Em resumo, as obras subterrâneas são empreendimentos desafiadores que exigem um cuidadoso planejamento, execução adequada e monitoramento constante. Pois, a adoção de determinadas práticas de controle de obras, políticas procedimentais e estruturas organizacionais bem definidas contribuem para diminuir eventuais riscos envolvidos e garantir a segurança e eficiência desses projetos tão complexos.

## **ESTUDO DE CASO**

Para este estudo de caso, foi analisado a abertura da cratera em São Paulo. Através desse estudo de caso, foi importante entender que uma das causas do incidente foi uma falha geotécnica no terreno. A área em que ocorreu a abertura da cratera era composta por solos instáveis, que não foram adequadamente avaliados e tratados durante a construção da Linha 4 do metrô.

## **METODOLOGIA**

O estudo de caso desse trabalho utilizou como metodologia análise e inspeção visual de técnicas e tecnologias implementadas em obras subterrâneas, entrevistas com funcionários e terceirizados da Mineração Caraíba, atual mineração Ero Brasil, localizada no município de Jaguarari, distrito de Pilar, Norte da Bahia, realizada no período de abril de 2021 a janeiro de 2022. Foram utilizadas abordagem com perguntas técnicas relacionadas a construção civil empregadas em obras subterrâneas da mineração.

## RESULTADOS

Os resultados da inspeção visual foi uma análise realizada em áreas subterrâneas da Mineração Caraíba que utilizou técnicas e tecnologias de Engenharia Civil, Geologia e Geotecnia, essas técnicas empregadas foram:

**Estudo de viabilidade de extração do minério:** É importante analisar a viabilidade de extração de um determinado minério. É necessário um estudo profundo de Geologia das rochas analisadas, para saber qual o tipo de minério, qual a idade da rocha e eventuais problemas e impactos ambientais para a região de extração.

**Análise Geotécnica:** Antes de iniciar qualquer obra subterrânea, é essencial realizar estudos geotécnicos detalhados do terreno, das rochas e os tipos de minérios ali presentes, se existir minério. Caso exista algum tipo de minério, é necessário saber se é viável economicamente sua retirada e seus impactos ambientais para aquela região. Esses estudos envolvem investigações geológicas e geotécnicas para compreender as características do solo e rochas presentes, bem como sua estabilidade e comportamento em diferentes condições, um dos estudos mais conhecidos é a sondagem do solo e análise das rochas. Para isso é necessário a presença um Geólogo, Geofísico e ou Engenheiro de Minas.

**Escavação e estabilização:** Durante a construção de túneis e escavações subterrâneas, técnicas adequadas de escavação são empregadas. Isso inclui maquinários de perfuração e retirada, como escavadoras e jumbo, caso se tenha uma rocha mais resistente utiliza-se o uso de explosivos controlados, o mesmo depende de um plano de evacuação e com autorização dos órgãos competentes. Nesse procedimento, depende do tipo de solo e da sua profundidade de escavação. Para um maior controle, foram utilizado estrutura de concreto armado com contenção, como paredes pré-moldadas ou paredes de contenção em painéis com espessura largas, estacas e ancoragens. Desse modo, foram utilizados nessa inspeção visual alguns procedimentos de construção civil para garantir uma maior estabilidade da alvenaria subterrânea, mineração analisada.

**Acompanhamento e monitoramento:** O Acompanhamento e o monitoramento nas áreas de geotecnia são importantíssimos antes, durante e após o uso das técnicas de construção de obras subterrâneas, pois é através desses procedimentos que é possível identificar quaisquer mudanças no comportamento do solo. Sendo assim,



envolve o uso de instrumentação geotécnica, como: marcos superficiais, clinômetros, inclinômetros, medidores de convergências, eletro níveis, piezômetros, sismógrafos, além de extensômetros e sensores de deformação, que fornecem dados em tempo real para avaliar o quanto estável o solo está.

Estabilização do solo com técnica de injeção: Nessa inspeção visual foi analisada a técnica de Estabilização do solo. Muitas minerações utilizam-se essa técnica em casos em que o solo precisa ser estabilizado, pois, a injeção de materiais especiais nos moldes atuais é uma técnica comum. Em diversas minerações do Brasil utilizam a injeção do tipo calda de cimento ou com algumas resinas específicas que fortalecem o solo e melhora sua capacidade de suporte.

Modelagem e simulação: Essa tecnologia é utilizada em diversas áreas da Engenharia, na Mineração Caraíba, pois emprega junto a tecnologia da modelagem de informação da construção, através de utilização softwares de modelagem e simulações para analisar um determinado o comportamento do solo e prever os efeitos das escavações subterrâneas. São feitos análise em laboratórios de materiais coletados para saber qual o tipo de material mais adequado para uma determinada contenção.

Vale salientar, que cada tipo de obra subterrânea possui características específicas, e o uso e escolha das tecnologias e técnicas empregadas dependem de diversos fatores como o tipo de solo, a profundidade da escavação, o uso pretendido da estrutura, entre outros fatores.

Figura 1. Quadro de técnicas e tecnologias aplicadas em obras subterrâneas.

TÉCNICAS E TECNOLOGIAS APLICADAS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS	
Procedimentos	Objetivos
Estudo de viabilidade de extração de minério	Viabilidade de econômica e seus impactos ambientais.
Análise Geotécnica	Identificar as características de rochas e solos.
Escavação e Estabilização	Extração de minério e contenção das rochas.
Acompanhamento e Monitoramento	Identifica comportamento no solo.
Estabilização do Solo	Fortalecimento do solo.
Modelagem e Simulação	Encontrar a solução adequada para determinadas falhas.

Procedimentos e seus respectivos objetivos.

## CONCLUSÃO

Em conclusão, a inspeção visual realizada nas áreas subterrâneas da Mineração Caraíba apresentou a importância dos procedimentos e uso de técnicas e tecnologias utilizadas, na construção civil. Vale salientar que as técnicas utilizadas na



inspeção visual de obras subterrâneas descrita acima representam um desafio para a Engenharia Civil, devido aos riscos geotécnicos e geológicos envolvidos. Assim, estudo de viabilidade, análise geotécnico, escavação e estabilização, acompanhamento e monitoramento geotécnico, estabilização do solo, modelagem e simulação são tecnologias e procedimentos que podem ser utilizados para garantir uma maior segurança em obras de contenção Subterrâneas. Pois o controle rigoroso e a prática contínua dos procedimentos descritos acima são fundamentais para minimizar e prevenir riscos, assim garantindo um maior sucesso em obras subterrâneas. Dessa forma podemos concluir que o estudo de caso analisado ressalta uma avaliação geotécnica e procedimentos mais rigorosa para a construção de obras subterrâneas. Por fim, a inspeção visual desse estudo de caso possa contribuir o conhecimento nessa área e que forneçam prescrições práticas para profissionais de obras subterrâneas, contribuindo para a construção civil e a segurança da sociedade.

## **AGRADECIMENTOS**

A Cintia Souza Santana dos Santos; Luiz André Gonçalves Sampaio Junior e ao Dr. José Ricardo.

## **REFERÊNCIAS**

Chiossi, Nivaldo. geologia de engenharia. 3ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

Brown, A. (2019). Organizational Procedures for Underground Projects: A Case Study Approach.

Construction Management Journal, 25(2), 67-95.

Johnson, R. (2016). Geotechnical Challenges in Underground Excavations. In Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering (pp. 38-72). New York: XYZ Publishers.

Jones, M. (2020). Geotechnical Risk Assessment for Deep Excavations: A Practical Guide. London: ABC Publishing.

M. Marangon. NOÇÕES SOBRE ESCAVAÇÕES SUBTERRÂNEAS TÚNEIS. Disponível em:

<https://www.ufjf.br/nugeo/files/2017/07/MARANGON-OT-06-Noções-Escavações-Túneis.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2023

Petry, Thales Sebben; PHILIPP, Ruy Paulo; GONZATTI, Clóvis. Geologia Estrutural Aplicada À Mineração Subterrânea De Carvão: Na D, Região De Araranguá, SC. Acesso em: 20 de maio de 2023

Pellim, Roberto; CARVALHO, M. CESAR. Para técnicos, método seguro de abertura de túneis vale o preço. Folha de São Paulo. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff2101200702.htm>. Acesso em: 20 de maio de 2023

Smith, J. (2018). Risk Management in Underground Construction: Strategies and Best Practices.

International Journal of Engineering and Construction Management, 10(3), 123-152.



**Capítulo 8**  
**INSTALAÇÕES DE PLACA FOTOVOLTAICA NA**  
**BAHIA: UM ESTUDO DE ENERGIA LIMPA E**  
**SUSTENTÁVEL**

**Victoria Larissa Silva Cunha**  
**José Jorge de Azevedo Santos**

# INSTALAÇÕES DE PLACA FOTOVOLTAICA NA BAHIA: UM ESTUDO DE ENERGIA LIMPA E SUSTENTÁVEL<sup>2</sup>

**Victoria Larissa Silva Cunha**

*Graduando em Engenharia Civil, Cruz das Almas-BA/ UFRB,  
victorialarissa.vls@gmail.com*

**José Jorge de Azevedo Santos**

*Engenheiro de Produção Civil, Salvador-BA/ UNEB, josejorge.azevedo@gmail.com;*

## RESUMO

Este trabalho tem a finalidade de identificar a crescente busca por soluções de baixo impacto ambiental afim de suprir as necessidades energéticas devido as preocupações com as mudanças climáticas e a escassez de recursos renováveis, além de apresentar discussões e resultados afim dos benefícios da implementação da energia fotovoltaica, e através disso contribuir com a economia por meio da geração de empregos e consequentemente construir uma sociedade mais sustentável.

**Palavras-chave:** Energia renovável, tecnologias, desenvolvimento sustentável e meio ambiente.

## ABSTRACT

This work aims to identify the growing search for low environmental impact solutions in order to meet energy needs due to concerns about climate change and the economy of renewable resources, in addition to presenting discussions and results related to the benefits of implementing photovoltaic energy, and thereby contributing to the economy by creating jobs and consequently building a more sustainable society.

**Keywords:** Renewable energy, technologies, sustainable development, and environment.

---

<sup>2</sup> Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC - 08 a 11 de agosto de 2023

## INTRODUÇÃO

Com o aumento das preocupações com relação as mudanças climáticas e à escassez de recursos não renováveis, buscamos soluções mais sustentáveis e de baixo impacto ambiental para suprir nossas necessidades energética tornou-se uma prioridade global, a energia renovável tem se destacado como uma solução fundamental para enfrentar esses desafios, em contrastes com os combustíveis fósseis, que são finitos e ainda contribuem para a emissão de gases de efeito estufa, a energia limpa é obtida a partir de fontes naturalmente reabastecidas o que significa que podemos contar com elas a um longo prazo, o sol por exemplo, que desempenha um papel de importância vital.

Os painéis fotovoltaicos, também conhecidos como painéis solares, são dispositivos tecnológicos que convertem a energia luminosa do sol em eletricidade utilizável, permitindo que os consumidores se tornem também produtores de energia, possibilitando geração distribuída, no qual os sistemas são instalados em residências, empresas, escolas entre vários outros tipos de estabelecimento, reduzindo assim a dependência de rede elétrica convencional, como resultado, há um aumento na resiliência energética, reduzindo a vulnerabilidade a interrupções no fornecimento e oferecendo a oportunidade de vender o excesso de energia gerada de volta à rede elétrica, outro aspecto crucial a ser considerado é a questão econômica, embora o investimento inicial possa ser significativo, a energia fotovoltaica oferece uma excelente relação custo-benefício a longo prazo.

Os custos de instalação têm diminuído ao longo dos anos, tornando-a cada vez mais acessível, de proporcionar uma considerável economia nas contas de energia elétrica, uma vez que os sistemas fotovoltaicos podem suprir uma parte substancial ou até mesmo a totalidade do consumo energético.

Com os avanços contínuos em sua eficiência, essa fonte de energia renovável tem o potencial de desempenhar um papel fundamental na transição para um futuro livre de emissões de carbono, além disso o crescimento da indústria solar cria oportunidades de trabalho em várias etapas, desde produção e instalação dos painéis até a manutenção e operação dos sistemas, estimularia a inovação tecnológica impulsionando assim a economia.

Apesar de ser um processo promissor, ainda há desafios a serem superados para a adição em larga escala, onde se destaca a infraestrutura aqueda, o

armazenamento eficiente, a integração a rede elétrica e políticas e incentivos adequados dos quais precisam e devem ser considerados. É extremamente fundamental que os governos, empresas e indivíduos invistam nessa era de transição energética, explorar e expandir o uso da energia renovável é essencial para garantir um futuro com mais sustentabilidade e um futuro desenvolvimento para gerações presentes.

## **DESENVOLVIMENTO**

No Brasil, ao longo dos anos vem crescendo o número de pessoas utilizando placas fotovoltaicas, no entanto, o desenvolvimento da energia solar tem sido estimulado com a necessidade de redução de combustíveis fósseis e os efeitos da mudança de hábitos e costumes no mundo. Com o país sendo cenário de atenção internacional com o desmatamento e poluição dos rios em terras indígenas, por outro lado a necessidade de utilização de energia limpa vem aumentando, devido ao retorno financeiro a longo prazo ser viável economicamente. No entanto, o custo com a instalação pode ser empecilho na hora de optar pelo uso do painel solar.

O Nordeste brasileiro é uma das regiões onde o clima é muito favorável para a instalação de painéis solares, assim com intensidade luminosa excelente para captação da mesma. A aplicabilidade das placas fotovoltaicas tem melhorado progressivamente, desse modo o potencial de captação da energia solar vem aumentando sua intensidade, principalmente em locais onde as temperaturas são altas. Com a evolução da tecnologia, são esperadas placas fotovoltaicas com uma eficiência maior, com possibilidade de captação maior e custo menores.

Devido às suas características climáticas favoráveis, diversos estados da região têm aumentado a instalação e uso de Painéis solares. Nos Estados como Bahia, Ceará, Alagoas, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Piauí possuem usinas solares, que aproveita a intensidade luminosa para obtenção de energia limpa. Dessa forma, essas usinas podem gerar grandes quantidades energia limpa, favorecendo para uma região com mais opções de energia e economia local.

Com as instalações de usinas solares no nordeste brasileiro, há um fator super importante que é a distribuição, ao qual diversas empresas do ramo têm oferecido seu serviço para instalação em residências, escolas, estabelecimentos comerciais, empresas e até fazendas. A distribuição da energia limpa, permite que as pessoas

que consomem pode ser tornar produtores, pois através da energia do sol que ocorre com grande intensidade nessa região pode suprir outros problemas com a escassez de energia elétrica. Assim, diversas cidades do interior nordestino ainda sofrem com a escassez de energia vindo das hidrelétricas. Com a utilização da energia solar, os consumidores tem a oportunidade de economizar nas contas de energia em alguns casos pode gerar renda e contribuir para uma sociedade mais sustentável.

## **ESTUDO DE CASO**

Para realização de estudo de caso, foi analisado o consumo de conta de energia elétrica sem a utilização de painéis solares comparando um consumo de energia já com a implementação dos painéis. A empresa que realizou a instalação dos painéis solares e aceitou a realização do estudo foi a Paraguassu Energia Solar situada no recôncavo baiano, mais precisamente na cidade de Muritiba e desde a sua fundação em 2019, vem se especializando na prestação de serviços de instalações e manutenções de geradores de energia solar, atendendo tanto clientes residenciais como comerciais e industriais.

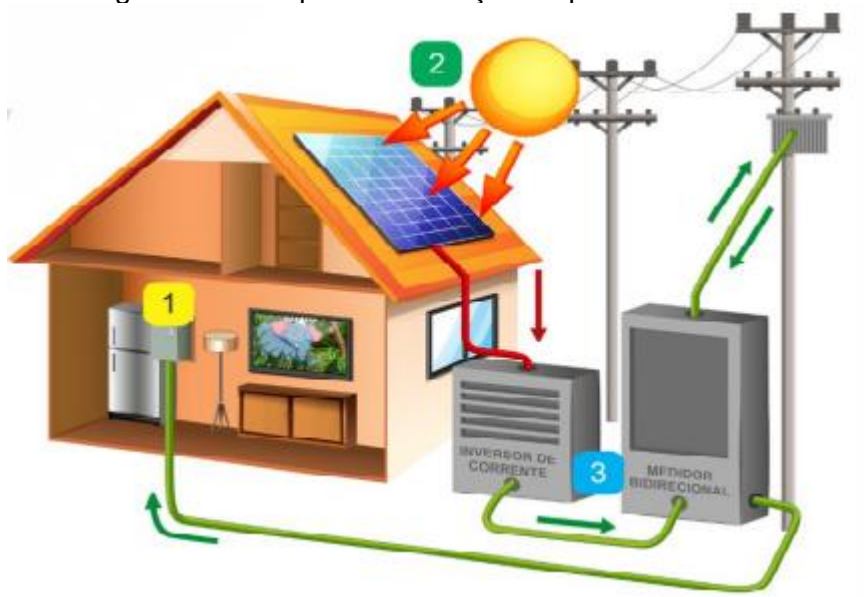
## **METODOLOGIA**

O estudo de caso dessa atividade utilizou como metodologia uma análise comparativa de contas de energia com instalação de painel solar e sem painel solar. Para essa abordagem foram utilizados temas relacionados ao consumo de energia em uma determinada residência.

Na fase de estudo o dimensionamento do sistema solar e equipamentos, é feito de acordo com o consumo anual declarado na conta de energia, os painéis fotovoltaicos captam energia do sol, convertendo em energia elétrica quando há sol, algo de interessante acontece na compensação onde o excedente da energia gerada é acumulado por até 5 anos, podendo ser consumido no próprio imóvel ou em demais imóveis com mesmo CPF/CNPJ.



Figura 1 - Exemplo de instalação de placa fotovoltaica



Fonte Própria

## RESULTADOS

Os resultados mostram uma análise comparativa de um cliente que optou em mudar sua fonte de energia. Ao realizar essa mudança comparamos as contas de energia sem o uso do painel solar e com o uso do painel solar.

Figura 2. Consumo de energia

CONTA		VALOR		CUSTOS		GASTOS P/ CONTA
Nº	ÚLTIMA FATURA	TARIFA MÉDIO	MENSAL MÉDIO	ANUAL	(%)	
0027507590	R\$ 501,76	1,0801	R\$ 463,38	R\$ 5.887,30	56,57%	
0023489112	R\$ 240,74	1,1679	R\$ 199,52	R\$ 2.720,66	26,15%	
7056420767	R\$ 85,79	0,9698	R\$ 111,29	R\$ 1.798,37	17,28%	

Figura 3. Consumo anual considerando aumento na tarifa de energia.

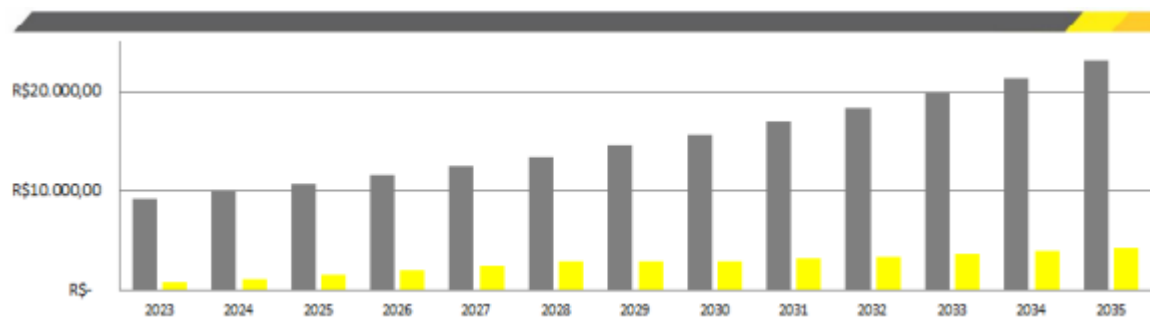


Figura 4. Gráfico Comparativo de Geração x Consumo de energia



Figura 5. Tabela comparativa de conta de energia do mês

ANO	REAJUSTE (%)	TOTAL (SEM SOLAR)	TOTAL (COM SOLAR)	ECONOMIA ANUAL
2023	0%	R\$ 9.189,17	R\$ 866,18	R\$ 8.322,99
2024	8%	R\$ 9.924,31	R\$ 1.128,70	R\$ 17.118,60
2025	8%	R\$ 10.718,25	R\$ 1.563,45	R\$ 26.273,40
2026	8%	R\$ 11.575,71	R\$ 1.998,20	R\$ 35.850,91
2027	8%	R\$ 12.501,77	R\$ 2.432,96	R\$ 45.919,72
2028	8%	R\$ 13.501,91	R\$ 2.867,71	R\$ 56.553,93
2029	8%	R\$ 14.582,07	R\$ 2.867,71	R\$ 68.268,29
2030	8%	R\$ 15.748,63	R\$ 2.867,71	R\$ 81.149,21
2031	8%	R\$ 17.008,52	R\$ 3.157,54	R\$ 95.000,19
2032	8%	R\$ 18.369,20	R\$ 3.410,14	R\$ 109.959,25
2033	8%	R\$ 19.838,74	R\$ 3.682,96	R\$ 126.115,03
2034	8%	R\$ 21.425,84	R\$ 3.977,59	R\$ 143.563,28
2035	8%	R\$ 23.139,91	R\$ 4.295,80	R\$ 162.407,39
2036	8%	R\$ 24.991,10	R\$ 4.639,46	R\$ 182.759,02
2037	8%	R\$ 26.990,39	R\$ 5.010,62	R\$ 204.738,79
2038	8%	R\$ 29.149,62	R\$ 5.411,47	R\$ 228.476,93
2039	8%	R\$ 31.481,59	R\$ 5.844,39	R\$ 254.114,13
2040	8%	R\$ 34.000,11	R\$ 6.311,94	R\$ 281.802,30
2041	8%	R\$ 36.720,12	R\$ 6.816,89	R\$ 311.705,53
2042	8%	R\$ 39.657,73	R\$ 7.362,25	R\$ 344.001,02
2043	8%	R\$ 42.830,35	R\$ 7.951,23	R\$ 378.880,14
2044	8%	R\$ 46.256,78	R\$ 8.587,32	R\$ 416.549,59
2045	8%	R\$ 49.957,32	R\$ 9.274,31	R\$ 457.232,61

## CONCLUSÃO

Em conclusão, podemos notar que mesmo com a taxaço e o custo para implementaçõ da energia solar em comparaçõ ao longo prazo e ao custo benefício vem se tornando mais vantajoso com impactos consideráveis no valor da conta de energia, mesmo em meses de inverso onde as chuvas ocorrem com mais frequênci, vale ressaltar após estudo que ao optar pela adesão desse sistema os proprietários tem a oportunidade de gerar a sua própria eletricidade limpa e renovável, reduzindo sua dependênci da rede elétrica convencionai.

## **AGRADECIMENTOS**

A Lucas da Rocha de Melo.

## **REFERÊNCIAS**

Blakers, Andrew W. (2000). «Solar and Wind Electricity in Australia» (pdf). Australian Journal of Environmental Management, Vol 7, pp 198-240, 2000. Consultado em 5 de junho de 2023.

ZILLES, Roberto (2012). Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. São Paulo: Oficina de textos.



**AUTORES**

**Brenda dos Santos Barboza**

Técnica em Química alimentícia pelo Instituto Federal do Rio de Janeiro Campus Rio de Janeiro. Atualmente cursando Bacharelado em Engenharia Química pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Email: [brenda.barboza@ufrj.br](mailto:brenda.barboza@ufrj.br)

**Cassiana Fagundes da Silva**

Professora no Centro Universitário UniSenai, São José dos Pinhais/PR, Doutora em Engenharia de Produção e Sistemas, [cassiana.silva@sistemafiep.org.br](mailto:cassiana.silva@sistemafiep.org.br)

**Dayse Mendes**

Professora do Curso de Engenharia de Produção da UNINTER, Mestra em Administração, Bacharela em Engenharia Mecânica, [dayse.m@uninter.com](mailto:dayse.m@uninter.com)

**Douglas Soares Agostinho**

Coordenador do Curso de Engenharia de Produção da UNINTER, Mestre em Engenharia de Produção, Bacharel em Engenharia Operacional Mecânica, Bacharel em Engenharia Industrial Mecânica, [douglas.a@uninter.com](mailto:douglas.a@uninter.com)

**Eliane Pereira Cipolatti**

Professora Adjunta A1 da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Departamento de Engenharia Química, Graduada em Engenharia de Alimentos e Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos ambos pela Universidade Federal do Rio Grande, Doutorado em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina e Pós Doutorado em Bioquímica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foi Professora Visitante do Departamento de Biotecnologia Farmacêutica da UFRJ. Email: [elianecipolatti@yahoo.com.br](mailto:elianecipolatti@yahoo.com.br)

**Francisco Henrique de Oliveira**

Professor na Universidade Estadual de Santa Catarina. Pós-Doutor em Engenharia Cartográfica. E-mail: [chico.udesc@gmail.com](mailto:chico.udesc@gmail.com)

**Fransérgio Leite da Cunha**

Doutor em Engenharia Elétrica, EESC/USP, [fransergio.cunha@ufes.br](mailto:fransergio.cunha@ufes.br).

**Geraldo Rossoni Sisquini**

Doutor em Engenharia Oceânica e Naval, DEM/CT/UFES, geraldo.sisquini@ufes.br;

**Gustavo Bourdot Back**

Bolsista no Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Mestrando em Gestão Territorial. E-mail: gustavobback@yahoo.com.br

**João de Almeida Melo Filho**

PhD em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Graduado em Engenharia Civil. Email: jalmeida26179@gmail.com

**José Danilo Castro de Oliveira**

Técnico Agrimensor da Secretaria de Estado da Administração de Santa Catarina. Mestrando em Gestão Territorial. E-mail: danilo.castro.engcivil@gmail.com

**José Jorge de Azevedo Santos**

Engenheiro de Produção Civil, Salvador-BA/ UNEB, josejorge.azevedo@gmail.com

**Júlia Marques Zuany de Oliveira**

Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Email: jujuzuany@gmail.com

**Marisa Fernandes Mendes**

Professora Titular do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química. Graduada em Engenharia Química pela Escola de Química na Universidade Federal do Rio de Janeiro, Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2 pós-doutorados: no Departamento de Engenharia Química na UFRRJ em extração com fluido supercrítico e na University College London, em modelagem matemática de sistemas biológicos. Email: marisamendes40@gmail.com

**Matteus Souza Rossoni Sisquini**

Graduado em Engenharia Mecânica, DEM/CT/UFES, Vitória-ES,  
msrsisquini@gmail.com;

**Moises Barbosa Junior**

Professor na Unicesumar e Uniasselvi, Doutorando em Engenharia de Produção,  
moisesjrbarbosa@gmail.com

**Rosa Helena Luchese**

Professora Titular da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, atuando na área de Microbiologia e Higiene de Alimentos. Graduada em Farmácia e Bioquímica pela Universidade Federal de Santa Maria, Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa, Doutorado em Food Science and Technology - University of Reading e Pós-doutorado na UNRC-Córdoba- AR.

Email: rhluche@gmail.com

**Victoria Larissa Silva Cunha**

Graduando em Engenharia Civil, Cruz das Almas-BA/ UFRB,  
victorialarissa.vls@gmail.com

**Vivian da Silva Celestino Reginato**

Professora na Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Doutora em Modelação Geográfica e Gestão Territorial. E-mail: vivian.celestino@ufsc.br



ISBN 978-655492046-9



9 786554 920469

