

# AJC

Academic Journal on Computing, Engineering and Applied Mathematics

# EAMI

Volume 4  
Special Issue 2

2023

Academic Journal on Computing, Engineering and Applied Mathematics

CIÊNCIAS BÁSICAS PARA O  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

# SEMANA INTEGRADA

DE COMPUTAÇÃO, ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS EMERGENTES





---

# Universidade Federal do Tocantins

---

**Reitor**

Prof. Dr. Luís Eduardo Bovolato

**Vice-Reitor**

Prof. Dr. Marcelo Leineker Costa

**Pró-Reitoria de Graduação**

Prof. Dr. Eduardo José Cezari

**Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação**

Prof. Dr. Raphael Sanzio Pimenta

**Pró-Reitoria de Extensão e Cultura**

Profa. Dra. Maria Santana Ferreira dos Santos

**Pró-Reitoria de Administração e Finanças**

Me. Carlos Alberto Moreira de Araújo Júnior

**Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis e Comunitários**

Prof. Dr. Kherlley Caxias Batista Barbosa

**Pró-Reitoria de Avaliação e Planejamento**

Prof. Dr. Eduardo Andrea Lemus Erasmo

**Pró-reitoria de Gestão e Desenvolvimento de Pessoas**

Profa. Dra. Vânia Maria de Araújo Passos

**Pró-Reitoria de Tecnologia da Informação e Comunicação**

Prof. Dr. Ary Henrique Morais Oliveira

**Direção do Campus de Palmas**

Prof. Dr. Moisés de Souza Arantes Neto

**Coordenação do Curso de Ciência da Computação**

Prof. Dr. Eduardo Ferreira Ribeiro



### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

Academic Journal on Computing, Engineering and Applied Mathematics (AJCEAM) [recurso eletrônico] / Universidade Federal do Tocantins, Curso de Ciência da Computação. – vol. 04, n. 02 ([march/october], 2023) – Palmas - TO, UFT, 2023. ISSN nº 2675-3588.

Quadrimestral no primeiro ano de publicação 2020

Semestral.

Disponível em:

<https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/AJCEAM/index>

1. Ciência da Computação - periódico. 2. Matemática Aplicada. 3. Computação Aplicada. 4. Engenharias. 5. Ciências Exatas. I. Universidade Federal do Tocantins.

**CDD 22.ed. 004**

---

**Ficha Catalográfica elaborada por Edson de Sousa Oliveira – CRB/2 – 1069.**



---

## Expediente

---

**Editor-Chefe**

Dr. Warley Gramacho da Silva (UFT), Brasil

**Editores**

Dr. Edeilson Milhomem Silva (UFT), Brasil

Dr. Marcos Antônio Estremeto (ETEC-SP), Brasil

Dr. Rafael Lima de Carvalho (UFT), Brasil

Me. Tiago da Silva Almeida (UFT), Brasil

Dr. Warley Gramacho da Silva (UFT), Brasil

**Realização**

Fundação Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Quadra 109 Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14 | Bloco III | sala 214 |Plano Diretor Norte | 77001-090 |  
Palmas / TO | Brasil

**Periodicidade**

Este periódico possui periodicidade semestral e utiliza a Licença Creative Commons 4.0 - CC BY-NC 4.0. Contudo, a publicação dos artigos em modalidade avançada ou ahead of print, ou seja, tão logo os manuscritos aprovados sejam editados para publicação, é possível. O AJCEAM não possui taxas de publicação, tanto pouco de submissão de manuscritos, sendo totalmente gratuita para autores e leitores.

**Indexadores**

Google Acadêmico, desde 9 de maio de 2020

International Standard Serial Number – ISSN, desde 28 de maio de 2020

Crossref, desde 7 de junho de 2020

Revistas de Livre Acesso – LivRe, desde 24 de junho de 2020

Diretório das revistas científicas eletrônicas brasileiras – Miguilim, desde novembro de 2022



---

## Semana acadêmica integrada

---

### **Organização Geral**

Dr. Tanilson Dias dos Santos (UFT)

### **Organização Local (UFT)**

#### **Curso de Ciência da Computação**

Dr. Ary Henrique Morais de Oliveira

Dr. Eduardo Ferreira Ribeiro

Dr. Alexandre Tadeu Rossini da Silva

Me. Tiago da Silva Almeida

#### **Curso de Engenharia de Alimentos**

Dra. Glêndara Aparecida de Souza Martins

Dra. Michelle da Cunha Abreu Xavier

Dr. Pedro Ysmael Cornejo Mujica

Dr. Sergio Andres Villalba Morales

Dr. Tarso da Costa Alvim

#### **Curso de Engenharia Ambiental**

Dr. Thiago Oliveira Bandeira

Dra. Rose Mary Gondim Mendonça

Dr. Sérgio Carlos Bernardo Queiroz

#### **Curso de Engenharia Civil**

Dra. Roberta Mara de Oliveira Vergara

Dr. Marcus Vinicius Ribeiro e souza

Ma. Janaína Lima de Araújo

Me. Gabriel Lima de Oliveira Martins

#### **Curso de Engenharia Elétrica**

Dr. Eliel Poggi dos Santos

Dr. Washington Luiz Carvalho Lima

Dra. Kathy Camila Cardozo Osinski Senhorini

#### **Curso de Licenciatura em Computação**

Dr. Warley Gramacho da Silva

### **Parceiros de Outras Instituições**

Me. Daniel Martins da Silva (UFNT)

Me. Moisés Laurence de Freitas Lima Junior (IFTO)

Ma. Stéphanly Moraes Martins (UNICATOLICA)

Dr. Romulo Luiz Oliveira da Silva (UFPA)

Dr. Julliano Rosa Nascimento (UFG)

### **Comitê Científico**

Ma. Albanisa Felipe dos Santos (UFT)

Dr. Bruno Carrilho de Castro (UFT)

Dr. Edeilson Milhomem da Silva (UFT)  
Dr. Antonio Barbosa de Oliveira Neto (UFT)  
Dra. Glêndara Aparecida de Souza Martins (UFT)  
Dr. Jadiel Caparrós da Silva (UFT)  
Dra. Kathy Camila Cardozo Osinski Senhorini (UFT)  
Me. Leonardo Rezende Costa (UNICAMP)  
Dr. Marcelo Lisboa Rocha (UFT)  
Me. Marcos Raylan Sousa Matos (UFNT)  
Dr. Moisés de Souza Arantes Neto (UFT)  
Dr. Rafael Lima de Carvalho (UFT)  
Dr. Rogério Azevedo Rocha (UFT)  
Ma. Romilda Ramos da Silva (UFT)  
Me. Rômulo Alves (UFT)  
Dra. Stefani Carolline Leal de Freitas (UFT)  
Me. Tiago da Silva Almeida (UFT)  
Dr. Warley Gramacho da Silva (UFT)  
Dr. Wosley da Costa Arruda (UFT)

**Patrocínio e Apoio**

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)  
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)  
Brasil - Governo Federal

---

## Sumário

---

<b>1</b>	<b>Editorial (Português): Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável</b> SANTOS	<b>xi</b>
<b>2</b>	<b>Simulation tutorial in ATPDraw™ software for Lateral Branch Switching, Lumped Load, Distributed Load and Capacitor Switching in distribution systems</b> OLIVEIRA ET. AL.	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Use of Symmetrical Components in the Study of Electrical Disturbances in Distribution Systems with Charging Allocation for Electric Vehicles and Battery Banks</b> SILVA NETO ET. AL.	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Electroenergetic Efficiency in Brazilian Sanitation System</b> NASCIMENTO ET. AL.	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Study of Equipment to Measure Quantities Related to Electricity in a Three-Phase Engine</b> ALMEIDA ET. AL.	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Work in progress: analysis and evaluation of the impact of the code approximation for IoT applications</b> CRUZ AND ALMEIDA	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>Smart Cities: Energy and Sustainability</b> BRITO ET. AL.	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>Stability of antioxidant activity and bioactive compounds of Araticum jelly (Annona crassiflora Mart.) in different packages and temperatures</b> OLIVEIRA, LEAL AND MARTINS	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>Use of Additive Manufacturing in the creation of prototypes from images obtained in Computed Tomography exams</b> BRITO AND SILVA	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>3D Modeling and Printing of the Tactile Map of the State of Tocantins for Students with Visual Impairments</b> SOUZA AND SILVA	<b>35</b>
<b>11</b>	<b>A Brief Investigation on B1-EPGt Graphs</b> SANTOS AND SANTOS	<b>41</b>
<b>12</b>	<b>Deconvolution: an introduction</b> MELO ET. AL.	<b>45</b>
<b>13</b>	<b>Experimental Analysis of Fluke 345 Measurement Instrument Laboratory: Unloaded and Loaded Engines Case Studies</b> BARBOSA, REIS AND SILVA	<b>49</b>

<b>14 Explore Electrical Insights: Evaluation of the Tektronix THS3024 Handheld Oscilloscope for Engine Analysis</b>	<b>53</b>
BARBOSA ET. AL.	
<b>15 Simulations and evaluation of coverage and performance of 5G technology in Palmas - TO</b>	<b>59</b>
LYSIKE, SOUZA AND SENHORINI	
<b>16 Music Recommendation System using the Jina.AI platform</b>	<b>63</b>
SILVA AND CARVALHO	
<b>17 Steganography using Biased Random Keys Genetic Algorithm</b>	<b>69</b>
ARAUJO AND SILVA	
<b>18 Progress in the Tactical Positioning of the iBots Team Based on Heterogeneous Characteristics for the 2D Simulation Category of RoboCup</b>	<b>73</b>
SOUZA ET. AL.	
<b>19 Experiments in Calculation with Arbitrary Numerical Precision</b>	<b>77</b>
SANTOS ET. AL.	
<b>20 Machine Learning Applied to Fruit Quality Assessment</b>	<b>83</b>
ALVES JUNIOR AND SILVA	
<b>21 Usability Analysis of the BPMN Sketch Miner Tool</b>	<b>87</b>
SILVA, BARRETO AND FREITAS	

---

# Editorial (Português): Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável

---

Tanilson Dias dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins , [tanilson.dias@uft.edu.br](mailto:tanilson.dias@uft.edu.br)

---

**Resumo**—A Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes é um congresso científico e tecnológico de promoção e popularização da ciência e tecnologia. Através deste evento promovemos um ambiente de aprendizado, interação e atualização para os estudantes e profissionais da área, visando o aprimoramento técnico-científico, o estímulo à inovação e a integração com a comunidade externa e o setor empresarial tendo o desenvolvimento sustentável como tema norteador.

**Palavras-chave**—integração, congresso científico, popularização da ciência e tecnologia, inovação, desenvolvimento sustentável.

---

## I. O QUE É A SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA?

A Semana Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT) é um evento anual realizado no Brasil com o objetivo de promover a popularização e a divulgação da ciência e tecnologia para a sociedade em geral [1]. Ela é coordenada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação em parceria com diversos órgãos governamentais, instituições de ensino, pesquisa, e outras entidades públicas e privadas.

A SNCT normalmente ocorre durante o mês de outubro e envolve uma série de atividades e eventos em todo o país, tais como:

1. *Feiras de ciências*: Escolas, universidades e instituições de pesquisa organizam exposições e feiras onde os participantes podem apresentar projetos científicos e tecnológicos;
2. *Palestras e conferências*: São realizadas palestras e debates sobre diversos temas científicos e tecnológicos, muitas vezes ministradas por cientistas renomados;
3. *Oficinas e workshops*: São oferecidas atividades práticas que permitem aos participantes aprender sobre conceitos científicos e tecnológicos de forma interativa;
4. *Exposições*: Museus, centros de ciência e instituições culturais frequentemente organizam exposições temáticas para mostrar avanços em ciência e tecnologia;
5. *Visitas a laboratórios e empresas*: Algumas instituições abrem suas portas para visitas guiadas, permitindo que o público conheça de perto o trabalho que está sendo feito em laboratórios e empresas de tecnologia;
6. *Competições científicas*: São realizadas competições acadêmicas e científicas para incentivar o desenvolvimento de talentos na área de ciência e tecnologia;
7. *Atividades para crianças e jovens*: Há programas especialmente projetados para envolver crianças e jovens, despertando seu interesse pela ciência e tecnologia desde cedo.

A SNCT tem como objetivo principal aproximar a ciência e a tecnologia da sociedade, estimulando o interesse público por esses campos e promovendo a compreensão de sua importância para o desenvolvimento social e econômico. Ela também visa destacar os avanços científicos e tecnológicos que estão ocorrendo no Brasil e no mundo, além de incentivar a participação ativa de estudantes, pesquisadores e instituições em atividades de divulgação científica.

A SNCT desempenha um papel fundamental na promoção da educação científica e na criação de uma cultura de inovação no Brasil, contribuindo para o desenvolvimento do país e para o fortalecimento da comunicação entre a comunidade científica e a sociedade em geral.

## II. POPULARIZAÇÃO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Durante os dias de 16 a 20 de outubro de 2023, várias instituições do estado do Tocantins, lideradas pela Universidade Federal do Tocantins - UFT aceitaram o desafio de apresentar para a sociedade um pouquinho do que a universidade produz. Durante esses dias o participante terá a oportunidade de mergulhar no mundo da Ciência da Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes por meio de palestras inspiradoras, minicursos práticos e atividades interativas. Nossa proposta é efetuar a popularização da ciência e da tecnologia, de forma acessível ao público em geral. Esse tipo de ação é de suma importância por diversas razões, tais como:

1. *Democratização do Conhecimento*: A ciência e a tecnologia muitas vezes são percebidas como áreas complexas e elitistas. Popularizá-las ajuda a tornar o conhecimento científico mais acessível a pessoas de diferentes origens, níveis de educação e faixas etárias, promovendo uma sociedade mais inclusiva e democrática;
2. *Incentivo à Curiosidade e Aprendizado*: Ao tornar a ciência e a tecnologia interessantes e envolventes, a popularização estimula a curiosidade e o desejo de aprender. Isso é fundamental para o desenvolvimento pessoal e para a educação ao longo da vida;
3. *Tomada de Decisões Informadas*: Uma sociedade bem informada é capaz de tomar decisões mais informadas sobre questões científicas e tecnológicas que afetam suas vidas, como questões de saúde, meio ambiente e política. Isso contribui para uma cidadania mais ativa e participativa;
4. *Estímulo à Carreira Científica e Tecnológica*: Ao expor jovens a experiências e conhecimentos científicos desde cedo, a popularização pode inspirar futuros cientistas e engenheiros, contribuindo para o crescimento da força de trabalho em ciência e tecnologia;
5. *Inovação e Desenvolvimento Econômico*: Uma população que compreende e valoriza a ciência e a tecnologia é mais propensa a apoiar a pesquisa e o desenvolvimento, o que por sua vez impulsiona a inovação e o crescimento econômico;
6. *Combate à Desinformação*: A popularização da ciência ajuda a combater a disseminação de informações falsas e pseudocientíficas, fornecendo ao público ferramentas para avaliar criticamente as alegações científicas;
7. *Preservação do Patrimônio Científico e Tecnológico*: Ao valorizar a ciência e a tecnologia, a sociedade tende a investir na preservação de seu patrimônio científico e tecnológico, como museus, arquivos e instituições de pesquisa;
8. *Solução de Problemas Complexos*: Problemas complexos do mundo contemporâneo, como mudanças climáticas e pandemias, exigem uma compreensão sólida de ciência e tecnologia. A popularização ajuda a construir essa compreensão;
9. *Fomento à Inovação e Empreendedorismo*: Ao tornar a ciência e a tecnologia mais acessíveis, a popularização pode inspirar indivíduos e empresas a buscar soluções inovadoras para desafios globais e criar novas oportunidades de negócios;

10. *Promoção da Cultura Científica*: A popularização da ciência contribui para o desenvolvimento de uma cultura científica na sociedade, onde o método científico, a busca pelo conhecimento baseada em evidências e o pensamento crítico são valorizados.

Esperamos que através destes anais do evento, disponível de forma pública e gratuita, a sociedade possa ter uma pequena noção da pesquisa que é desenvolvida dentro da universidade, além disso esperamos que esses material possa servir de inspiração para toda uma geração de novos pesquisadores.

### III. A SEMANA INTEGRADA DE COMPUTAÇÃO, ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS EMERGENTES

A Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes é um congresso técnico-científico que fomenta a interação entre estudantes, professores, profissionais da área e a comunidade externa. Este evento é parte integrante da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, agendada para os dias 14 a 20 de outubro de 2023, com o tema “Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável”.

Durante essa semana integrada, os participantes têm a oportunidade de se envolver em várias atividades, tais como palestras, workshops, minicursos e apresentações de projetos, distribuídas por mais de 10 municípios em todo o estado do Tocantins. Além disso, o evento promove a interação entre estudantes e participantes, facilitando a troca de ideias, perspectivas e desafios comuns na jornada acadêmica. Essa interação visa estabelecer redes de contatos e parcerias entre os participantes, contribuindo para o desenvolvimento pessoal e profissional de cada indivíduo.

O congresso é realizado de forma híbrida, sendo aberto ao público em geral, incluindo estudantes e especialistas da área. Durante o evento, diversas ações são promovidas, como a Universidade de Portas Abertas, Feira das Profissões, exposição de banners, oficinas e uma variedade de palestras oferecidas por todos os parceiros do projeto. Muitas dessas atividades são direcionadas aos alunos do ensino fundamental e médio de várias escolas do estado, que visitam a universidade ou participam dos eventos satélites apoiados em municípios locais.

A Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes visa atender uma parte significativa da população tocaninense interessada nas áreas de computação, engenharias e afins. Além disso, conta com diversos parceiros ligados à inovação na agricultura e biotecnologia, que são setores econômicos e estratégicos para o estado do Tocantins. O público-alvo engloba estudantes do ensino médio, técnico, tecnológico e graduação, bem como pós-graduandos, empresas da área e profissionais autônomos.

### IV. PROGRAMAÇÃO E ATIVIDADES

As estratégias transversais adotadas para a execução da Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes foram desenhadas de forma a atingir tanto a comunidade em geral, quanto alunos do ensino básico e superior. É importante que a comunidade se aproxime da academia para que haja um entendimento mais aprofundado sobre temas que muitas vezes não chegam ao público externo. Isso facilita a compreensão da pesquisa desenvolvida na universidade e facilita a tomada de decisões, além de ajudar a romper desafios. De forma a tentar prover essa lacuna desenhamos a seguinte estratégia de ação:

1. *Planejamento e organização eficientes*: Estabelecer um comitê organizador composto por membros engajados e responsáveis, definindo claramente os papéis e responsabilidades de cada um. Elaborar um cronograma detalhado, definindo prazos e etapas de execução. Garantir uma comunicação efetiva entre os membros da equipe organizadora, por meio de reuniões regulares e uso de ferramentas de colaboração;
2. *Divulgação ampla*: Elaborar uma estratégia de marketing e comunicação abrangente, utilizando diferentes canais e plataformas para promover a Semana Acadêmica. Isso inclui a criação de um website ou página dedicada ao evento, o uso de redes sociais, o envio de comunicados e

convites para instituições parceiras, e a divulgação em eventos acadêmicos e profissionais da área de Ciência da Computação, Engenharias e afins;

3. *Programação diversificada:* Elaborar uma programação abrangente, contemplando diferentes formatos de atividades, como palestras, mesas-redondas, minicursos, workshops, apresentação de trabalhos científicos, competições e visitas técnicas. Buscar abordar temas atuais e relevantes, levando em consideração as demandas e interesses dos participantes. Incluir palestrantes renomados e especialistas de diferentes áreas da Ciência da Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes para enriquecer a experiência dos participantes;
4. *Interação e networking:* Estimular a interação entre os participantes por meio de atividades de networking, como sessões de pôsteres, grupos de discussão, momentos de coffee break e eventos sociais. Criar espaços propícios para o compartilhamento de experiências, a troca de ideias e a formação de parcerias acadêmicas e profissionais;
5. *Avaliação e feedback:* Implementar mecanismos de avaliação da Semana Acadêmica, como questionários de satisfação e feedback dos participantes. Analisar os resultados e utilizar as informações para aprimorar futuras edições do evento, identificando pontos fortes e áreas de melhoria;
6. *Sustentabilidade e responsabilidade social:* Promover ações sustentáveis durante a Semana Acadêmica, como a utilização de materiais recicláveis, a redução do consumo de energia e a conscientização sobre questões ambientais. Além disso, estimular a participação dos estudantes em projetos sociais, oferecendo palestras e atividades relacionadas à responsabilidade social e ética profissional na área de Ciência da Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes;

## V. ENVOLVIMENTO DA COMUNIDADE E IMPACTOS ESPERADOS

Os Resultados e Impactos Esperados da Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes vão além da entrega de produtos e serviços, eles também tem relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), da Agenda 2030 [2].

A Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes busca alinhar seus resultados e impactos com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU. Ao abordar temáticas relacionadas à Ciência da Computação, Engenharias, Tecnologias Emergentes e Sustentabilidade, “Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável”, esperamos gerar contribuições relacionadas aos ODS, às quais classificamos em 3 grupos: Impacto Tecnológico, Impacto Científico, Impacto Pedagógico.

**Grupo 1: Impacto Tecnológico.** São os impactos que o evento gera no desenvolvimento/surgimento de novas tecnologias, tais como:

1. *Atualização tecnológica:* A Semana Integrada contribui para o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao promover a atualização tecnológica dos participantes. Ao se manterem informados sobre as tecnologias emergentes, os participantes podem impulsionar o desenvolvimento de infraestruturas tecnológicas mais sustentáveis e inovadoras;
2. *Inovação e criatividade:* A Semana Integrada estimula a criatividade e a inovação, relacionadas ao ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Ao expor os participantes a tecnologias emergentes, eles são incentivados a pensar de forma inovadora para solucionar desafios relevantes ao desenvolvimento sustentável e promover práticas de consumo e produção mais responsáveis;

3. *Aplicações práticas:* Através de atividades práticas, a Semana Integrada apoia o ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), ao capacitar os participantes a aplicarem tecnologias emergentes em projetos reais. Essas aplicações práticas podem impulsionar o crescimento econômico e a geração de empregos relacionados às áreas de computação, engenharias e tecnologias emergentes.

**Grupo 2: Impacto Científico.** O impacto científico é onde há a maior contribuição com a realização da Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes. Esse impacto pode ser observado no(a):

1. *Produção de conhecimento:* A Semana Integrada contribui para o ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) ao estimular a produção e disseminação de conhecimento científico. Os trabalhos científicos apresentados durante o evento ajudam a avançar nas pesquisas relacionadas às áreas de computação, engenharias e tecnologias emergentes, e podem impulsionar o desenvolvimento de infraestruturas tecnológicas mais sustentáveis;
2. *Colaboração e compartilhamento de experiências:* A Semana Integrada promove a colaboração entre pesquisadores e profissionais, contribuindo para o ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação). Ao criar um ambiente propício ao compartilhamento de experiências científicas, o evento fortalece a colaboração entre diferentes atores, como instituições de ensino, setor privado e sociedade civil, para impulsionar a implementação dos ODS;
3. *Estímulo à pesquisa:* A Semana Integrada estimula o interesse pela pesquisa científica, relacionado ao ODS 4 (Educação de Qualidade). Ao envolver os participantes em atividades de pesquisa, o evento contribui para a formação de novos pesquisadores nas áreas de computação, engenharias e tecnologias emergentes, fortalecendo a base científica necessária para a implementação dos ODS.

**Grupo 3: Impacto Pedagógico.** Corresponde aos impactos que facilitam a transferência de conhecimento. São eles:

1. *Aprendizagem ativa:* A Semana Integrada promove uma abordagem pedagógica centrada no aluno, contribuindo para o ODS 4 (Educação de Qualidade). É uma experiência disruptiva. Ao proporcionar atividades práticas, debates e resolução de problemas, o evento estimula a aprendizagem ativa, na qual os participantes são protagonistas de sua própria educação;
2. *Atualização de docentes:* O evento contribui para o ODS 4 (Educação de Qualidade) ao oferecer oportunidades de atualização para os docentes. Ao se manterem atualizados sobre as últimas tendências e avanços nas áreas de computação, engenharias e tecnologias emergentes, os docentes podem enriquecer suas práticas de ensino e proporcionar uma educação de qualidade aos seus alunos;
3. *Estímulo à interdisciplinaridade:* A Semana Integrada promove a interdisciplinaridade, relacionada ao ODS 4 (Educação de Qualidade) e ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação). Ao reunir profissionais e pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, o evento estimula a integração de conhecimentos e perspectivas diversas, preparando os participantes para enfrentar os desafios complexos do desenvolvimento sustentável;
4. *Networking e oportunidades profissionais:* A Semana Integrada contribui para o ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), ao criar oportunidades de networking e estabelecer conexões profissionais.

Ao interagirem com especialistas, profissionais e empresas do setor, os participantes têm acesso a possíveis oportunidades de estágio, emprego ou parcerias, fomentando o desenvolvimento econômico e a criação de empregos relacionados às áreas abordadas pelo evento;

5. *Conscientização e Engajamento (ODS 4, 9, 13 e 17)*: Através das atividades propostas, buscamos conscientizar os participantes sobre a importância da Ciência da Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes no desenvolvimento sustentável. A diversidade de ações vinculadas ao evento promoverá o engajamento dos participantes em buscar soluções tecnológicas inovadoras que abordem os desafios globais, estimulando ações individuais e coletivas.

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS E VISÃO DE FUTURO

A Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes proposta para a SNCT 2023 possui um potencial multiplicador significativo, alinhando-se aos principais temas do evento nacional. Por meio de suas atividades, o evento promove o avanço da ciência, da tecnologia e da inovação, fortalecendo a interação entre a academia, a indústria e a sociedade.

No contexto do tema central da SNCT 2023, "Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável", a Semana Acadêmica oferece uma plataforma para aprofundar a compreensão desse campo em constante evolução. Através de palestras, workshops práticos e feira de projetos, os participantes podem explorar tópicos como aprendizado de máquina, processamento de linguagem natural e ética em inteligência artificial. Todo material produzido pelo evento será disponibilizado em tempo real e após o evento de forma gratuita para a comunidade através do canal do Youtube dos Cursos envolvidos. A integração entre áreas do saber, buscando a interdisciplinaridade, já é alvo de várias ações das instituições envolvidas.

Neste material o leitor encontrará um registro que promove a inclusão digital e incentiva a participação de jovens pesquisadores, a participação feminina e a formação de jovens talentos nas áreas de Ciência da Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes. O evento se esforça para criar um ambiente inclusivo, valorizando a diversidade e oferecendo igualdade de oportunidades para todos os interessados, independentemente de gênero, origem ou nível de conhecimento prévio.

Com seu potencial multiplicador, o evento impacta não apenas os participantes diretos, mas também a comunidade acadêmica e a sociedade como um todo, fortalecendo a relação entre a academia e a indústria e impulsionando o avanço da ciência e da tecnologia, principalmente no Tocantins.

Dessa forma, a Semana Integrada de Computação, Engenharias e Tecnologias Emergentes desempenha um papel relevante na disseminação do conhecimento, na formação/qualificação de profissionais capacitados e conscientes dos impactos tecnológicos na sociedade, e na promoção de discussões que contribuem para o desenvolvimento científico e tecnológico do país.

Por fim, é com grande entusiasmo que anunciamos os anais deste evento em parceria com a revista AJCEAM. Estes anais contam com uma coleção de XX papers que tratam de tópicos de estudos que vão do básico ao avançado nas mais variadas áreas de estudo em matemática, ciência da computação, engenharia elétrica, eficiência energética, biotecnologia, sustentabilidade, simulação e sistemas, robótica, inteligência artificial, aprendizado de máquina e muitos outros.

Boa leitura!

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste evento de popularização da C&T, tal qual a publicação e apresentação destes anais foi realizado com recursos oriundos do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia – SNCT 2023, e do Governo Federal.

De fato, também é relevante citar o apoio da Pró-reitoria de Tecnologia da Informação e Comunicação (PROTIC-UFT) e dos parceiros envolvidos na proposta, são eles: os cursos de Ciência da Computação, Licenciatura em Computação, Engenharias Elétrica, de Alimentos, Ambiental, Civil da

UFT, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), a Universidade Federal do Norte do Tocantins - UFNT, a UniCatólica, a Universidade Federal do Pará - UFPA, a Universidade Federal de Goiás - UFG,

## REFERÊNCIAS

- [1] C. C. Presidência da República, “Decreto de 09 de junho de 2004. institui a semana nacional de ciência e tecnologia,” *Diário Oficial da União, D.O.U. de 11 de junho de 2004, p. 6, 2004.*
- [2] E. R. A. d. C. Silva, “Agenda 2030: ODS-Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável,” *Secretaria de Relações Internacionais (SERINTER)*, 2018.



---

# Simulation tutorial in ATPDraw™ software for Lateral Branch Switching, Lumped Load, Distributed Load and Capacitor Switching in distribution systems

---

Pedro Henrique Pereira de Oliveira<sup>1</sup>, Kathy Camila Osinski Senhorini<sup>1</sup>, Stefani Caroline Leal de Freitas<sup>1</sup> and Jadiel Caparrós da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal University of Tocantins, Electrical Engineering Department, Tocantins, Brazil

Reception date of the manuscript: 29/06/2023

Acceptance date of the manuscript: 08/08/2023

Publication date: 16/10/2023

---

**Abstract**—This tutorial paper provides a comprehensive guide on performing switching operations in distribution systems using ATPDraw™ software. The focus is on understanding the appropriate modeling and simulation techniques for various types of load switching events in electrical distribution systems. The tutorial covers key aspects such as lateral branch switching, lumped load, distributed load, capacitor, and non-linear load. By acquiring a thorough understanding of these switching operations, researchers and practitioners can effectively study and analyze electrical distribution systems. Having the knowledge and skills to accurately model and simulate switching events is crucial for conducting in-depth studies related to energy distribution. This tutorial serves as a valuable resource for researchers and professionals seeking to enhance their understanding and proficiency in modeling and simulating switching operations in electrical distribution systems.

**Keywords**—ATPDraw™ software Tutorial, Distribution System, Lateral Branch Switching, Lumped Load Switching, Distributed Load Switching, Capacitor Switching.

---

## I. INTRODUCTION

The Electric Power System (EPS) plays a critical role in the transmission and distribution of electrical power and therefore requires efficient fault detection mechanisms [1, 2]. A major challenge in EPS is the detection of faults such as high impedance faults (HIFs) and conductor breaks [3, 4, 5]. To overcome this challenge, ATPDraw™ software has become widely used for EPS simulation and analysis [6], enabling accurate modeling distribution systems [7, 8, 9].

However, despite the software's capabilities, there is a lack of practical guidance to help users effectively use ATPDraw™ for EPS modeling. This gap hinders the dissemination of knowledge and makes it difficult to perform accurate studies in practice [10]. Therefore, this paper aims to fill this gap by providing comprehensive guidelines for modeling EPS with ATPDraw™. The goal of this paper is to provide electrical engineering professionals and academics with the tools and knowledge necessary to effectively model EPS using ATPDraw™. Through practical insights and step-by-step instructions, the paper aims to improve

the understanding and use of the software and ultimately contribute to a more reliable and stable electrical power supply.

Using the guidelines presented, readers will gain valuable insight into the modeling process so they can accurately simulate and analyze EPS behavior. This understanding is essential for identifying and detecting faults, ensuring that immediate action is taken to mitigate faults and minimize downtime in electrical distribution systems.

One of the major challenges in energy distribution systems is the detection and distinction of conductor breaks (CBs) in electrical systems [9]. When a CB occurs and a conductor comes into contact with a high impedance surface such as concrete, asphalt, sand, or vegetation, it can lead to a High Impedance Fault (HIF), which is typically difficult to reliably detect and distinguish from other common events in the network. These situations pose risks to human life and property [3, 4, 5]. Moreover, due to the extremely low current associated with this type of fault, conventional protection schemes fail to activate, as they require a significantly higher current threshold [4]. Therefore, the importance of detecting and distinguishing this phenomenon in distribution systems becomes evident, as it should not be confused with other common events such as Lateral Branch Switching (LBS), Lumped Load Switching (LLS), Distributed Load Switching (DLS) and Capacitor Switching (CS).

Contact data: Pedro Henrique Pereira de Oliveira,  
oliveira.henrique@uft.edu.br

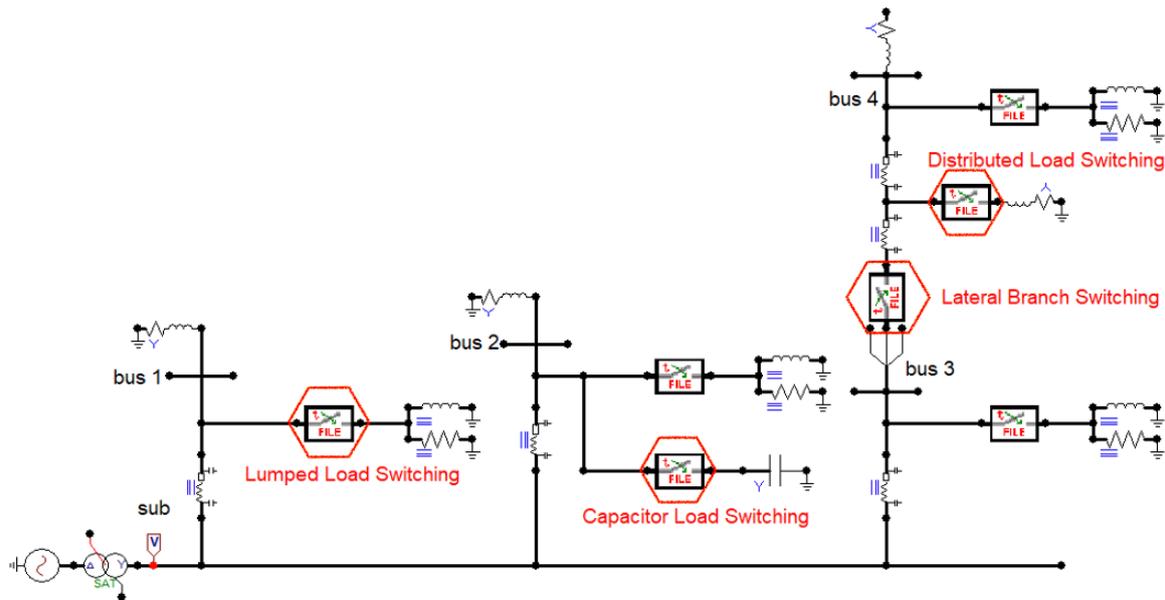


Fig. 1: Model for lateral branch switching.

In summary, this paper fills a gap by providing a comprehensive guide to modeling EPS with ATPDraw™. By disseminating this knowledge, it is hoped that electrical engineering professionals and researchers will be able to realize the full potential of ATPDraw™ for accurate EPS simulations and effective fault detection in transmission and distribution systems.

## II. STATE OF ART

The ATPDraw™ software, a freely available tool for electromagnetic studies, enables accurate modeling of electrical systems encompassing generation, transmission, and distribution within a unified platform [6]. A highly sought-after paper on ResearchGate [online] [11] presents simulations conducted using ATPDraw™, surpassing 5 thousand accesses. Another tutorial [10] emphasizes how to install the software, parameter modeling, and interpretation of results using a 4 node test feeder system [10]. Using the same test feeder [7], explains waveform plotting techniques for voltage and current through ATPDraw™.

Most works utilizing ATPDraw™ focus on showcasing results rather than providing detailed insights into system simulations, highlighting the need for further research and development in utilizing the software for distribution system modeling across various domains. By expanding the study of ATPDraw™ in all areas, significant contributions can be made to society's understanding of electrical systems.

## III. TUTORIAL

This section addresses the four types of switching discussed in this paper, each of which plays a central role in the effective operation of distribution systems. Switching is a critical process in the management of electrical power and plays a central role in optimizing power flow and minimizing losses. These four types of switching are also applied in several previous studies, as mentioned in [9, 12, 13, 14, 15]. In this section, the focus is

on studying in detail how these switching operations are performed in practice. This provides valuable insight for electrical engineering professionals who wish to improve their skills in modeling and simulating distribution systems using ATPDraw™ software.

Figure 1 shows a 5 bus distribution system feeder [13] in which the Models [14], associated with the four types of switching discussed in this article, can be clearly seen: Lateral Branch Switching (LBS), Lumped Load Switching (LLS), Distributed Load Switching (DLS), and Capacitor Switching (CS). Each of these four switching scenarios is examined in the following subsections to show their relevance to distribution system studies.

### a. Lateral Branch Switching (LBS)

The concept of Lateral Branch Switching (LBS) involves the selective switching on and off of a lateral branch within the power system. This controlled action results in significant changes in voltage and current signals, even when the event occurs at a considerable distance from the metering point. LBS Events cause dynamic changes in the distribution system and often trigger changes in load characteristics and energy flows. The ability to accurately model and simulate LBS scenarios with ATPDraw™ is critical to understanding the resulting impact on system behavior[9, 12]. Thus, to simulate the LBS in ATPDraw™, just put the Model tool [14, 16] at the point where you want to perform the switching, as shown in Fig. 1, and the code shown in Fig. 2 must be entered in the Model Editor [14].

It should be noted that this Fig. 2 shows an example of the Lateral branch Switching code, however, the same can be replicated for the other cases: LLS, DLC and CB.

Next, a detailed analysis of Fig. 2 is presented with a line-by-line explanation. The goal is to provide a deeper understanding of the code required to properly execute the switch within the ATPDraw™ environment.

**Line 1:** This line introduces the Lateral Branch Switching (LBS) example as a Model that clearly relates to what this

```

1  MODEL LBS -- The Lateral Branch Switching Example
2
3  OUTPUT output1,output2,output3 -- three signals output |
4  VAR output1,output2,output3,index -- declaration of all variables used
5
6  FUNCTION timeSW POINTLIST -- function of the simulation LBS
7  $INCLUDE C:\Switching\LBS.txt -- txt file to be imported
8
9
10 INIT -- define values and history functions, privately inside the model
11     index:= 1 -- index value initialize
12     output1:= 1 -- output1 value initialize at one
13     output2:= output1 -- output2 value initialize equal to output1
14     output3:= output1 -- output3 value initialize equal to output1
15 ENDINIT -- to close the definition of history values and functions
16
17 EXEC -- content running
18     IF t>timeSW(index) THEN -- change switching state
19         IF index<=10 THEN -- keep the output binary (0 or 1)
20             output1:= (output1*-1)+1 -- to keep the output1 (0 or 1)
21             output2:= output1 -- output2 value equal to output1
22             output3:= output1 -- output3 value equal to output1
23             index:= index+1 -- increments the index by +1
24         ENDIF -- to close the 'keep the output binary (0 or 1)'
25     ENDIF -- to close the change switching state
26 ENDEXEC -- to close the content running
27 ENDMODEL -- to end the MODELS routine

```

Fig. 2: Lateral branch switching code example.

part of the code will illustrate.

**Line 3:** This line defines the **OUTPUT** signals of the LBS example as "output1", "output2" and "output3". These signals represent the results or changes that occur due to the LBS operation.

**Line 4:** The keyword **VAR** is used here to declare the variables "output1", "output2", "output3" and "index". These variables are used throughout the code to store and manipulate information.

**Line 6:** This line introduces the definition of a **FUNCTION**, in this case, called "timeSW POINTLIST". This function is critical for simulating the LBS scenario and its dynamics.

**Line 7:** Here, an external file named "LBS.txt" is included with the command **INCLUDE**. This file contains the necessary parameters for the simulation of Lateral Branch Switching (LBS). Figure 3 shows all the corresponding .txt files for the distribution network in question (5-bus feeder). Each inserted switching event corresponds to a separate .txt file."

**Lines 9-14:** The **INIT** and **ENDINIT** block encapsulates the initialization of variables and history functions within the Model. In this segment, the initial values of the variables are assigned. "index" is set to 1 and "output1", "output2" and "output3" are initialized to 1.

**Lines 16-25:** This block, marked **EXEC** and **ENDEXEC**, encapsulates the main content that will be executed during the simulation. It contains conditional operations and calculations. When the time "t" exceeds the time specified in "timeSW(index)", the conditional instructions inside the block "IF" are executed. Here the states of "output1", "output2" and "output3" are changed depending on certain conditions and increments of "index"

**Line 26:** The **ENDMODEL** statement concludes the definition of the Lateral Branch Switching (LBS) model.

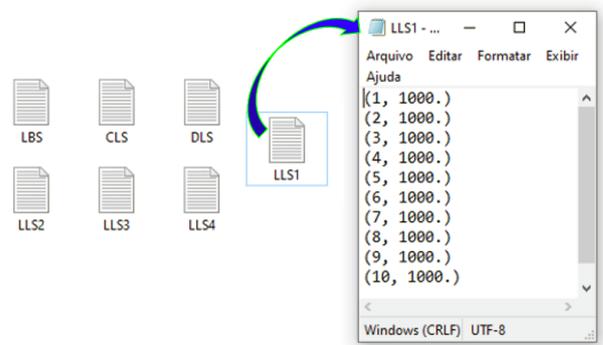


Fig. 3: .txt files example.

This comprehensive explanation describes the purpose and operation of each line of code so that the reader can understand the step-by-step process of the switching in ATPDraw™ software.

### b. Lumped Load Switching (LLS)

Switching, that is adding and removing a lumped load in one of the phases, may cause the protection devices to misidentify, for example, a conductor break [9, 12]. Therefore, simulating this switching is extremely important for testing in electrical energy distribution systems [13]. To simulate lumped load switching, just insert the switching Model in the branch of the system where you want to switch, as shown in Fig 1.

Figure 2 shows the code that must be inserted into Model to simulate *LBS*, but as mentioned earlier, the same code is used for the *LLS* case.

### c. Distributed Load Switching (DLS)

The process of Distributed Load Switching involves adding and removing loads that are spread across the three phases. This action has the potential to cause inaccuracies and errors in the protective devices measurements [9, 12]. Figure 1 shows the integration of the switch into the system using the Model tool [13, 14], and the Fig. 2 displays the code implementation for the switching operation.

### d. Capacitor Switching (CS)

Most of the literature on high impedance fault and conductor break detection shows that switching capacitors is one of the factors responsible for erroneously detecting some disturbances that may occur in the electrical system [9, 12, 13]. For this reason, this CS is of paramount importance in the study of distribution system protection. Similar to the previous cases, Fig.1 highlights the switch inserted into the system to execute the CS, and Fig. 2 the code of the switch is shown.

### e. Closing Remarks

Switching operations play a critical role in distribution system studies because they can affect protection systems and cause interruptions in the power supply to loads. Just as the four types of switching operations were demonstrated in this tutorial, several other types of switching operations can be performed to enhance the understanding of distribution system simulations. Examples of other types of switching operations include switching non-linear loads, switching linear loads, switching on transformers, and switching variable rectifiers. Understanding these operations is essential to maintaining a reliable and high quality electrical distribution system.

## IV. CONCLUSIONS

Mastering simulations of switching operations in distribution systems with ATPDraw™ enables researchers and professionals to delve into the intricacies of power distribution. This textbook provides them with the indispensable skills for accurate modeling and promotes a deeper understanding of system dynamics. As energy systems become increasingly complex, this knowledge is of paramount importance.

### a. Future Work

Exploring advanced switching strategies, integrating renewable energy sources, and investigating the impact of switching operations on system stability and power quality are promising avenues for future research. In addition, the development of adaptive protection systems to mitigate problems caused by switching operations and the extension of the study to new technologies can further improve the understanding and effectiveness of distribution systems.

## V. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Federal University of Tocantins, in particular, the Electronic Laboratory and the Tutorial Education Program-PET of the Electrical

Engineering. At the same time, we would like to thank the authors of [15], from Department of Electrical and Computer Engineering, São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, for providing the studies that led to the creation of this tutorial paper.

## REFERENCES

- [1] J. J. Grainger and W. D. Stevenson Jr, *Power system analysis*. McGraw-Hill series in electrical and computer engineering, 1994.
- [2] L. C. E. Bem, B. de Barros Brito, P. H. P. de Oliveira, A. B. de Moura Santos, and J. C. da Silva, "Development of an application for the verification of electricity rates," *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 3, p. 100122, 2023.
- [3] E. Baharozu, S. Ilhan, and G. Soykan, "High impedance fault localization: A comprehensive review," *Electric Power Systems Research*, vol. 214, p. 108892, 2023.
- [4] R. Bhandia, J. Chavez, M. Cvetković, and P. Palensky, "High impedance fault detection using advanced distortion detection technique," *IEEE Trans on Power Delivery*, vol. 35, pp. 2598–2611, 2020.
- [5] T. Biswal and S. Parida, "A novel high impedance fault detection in the micro-grid system by the summation of accumulated difference of residual voltage method and fault event classification using discrete wavelet transforms and a decision tree approach," *Electric Power Systems Research*, vol. 209, p. 108042, 2022.
- [6] H. Høidalen, "Atpdraw: The graphical preprocessor to atp electromagnetic transients program," [2023-06-16].
- [7] J. da Silva, S. de Freitas, and F. Amorim, "Simulation tutorial in atpdraw-ieee 4 node test feeder-part 2," *variations*, vol. 5, p. 6.
- [8] H. M. A. do Nascimento, M. de Ávila Dilli, and J. C. da Silva, "Simulation tutorial in the atpdraw tm software of the ieee 34 node test feeder system," 2021.
- [9] J. C. da Silva, G. N. Lopes, L. H. Trondoli, and J. C. M. Vieira, "Analysis of the negative sequence voltage to detect conductor break in distribution systems," in *2021 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*. IEEE, 2021, pp. 01–05.
- [10] N. T. dos Santos, G. Santos, F. A. Kharaghani, S. L. Freitas, and J. C. da Silva, "Simulation tutorial in atpdraw software-ieee 4 nodes test feeder-part 1," in *2020 IEEE PES T&D LA*. IEEE, 2020, pp. 1–6.
- [11] G. S. Marinho, S. Freitas, L. Zampellin, P. Almeida, J. Silva, A. Silva, and A. Prado, "Simulação de circuitos introdutórios ao programa atpdraw/emtp," *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, 2012.
- [12] M. de Ávila Dilli, H. Manduca Araújo do Nascimento, and J. Caparrós da Silva, "Conductor break detection in distribution system through negative sequence voltage," *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 42, no. 3, pp. 31–44, 2021.
- [13] M. D. Á. Dilli, "Detecção do rompimento de condutores em sistemas elétricos de potência através da tensão de sequência negativa," 2021.
- [14] P. M. Miguel, "Introdução à simulação de relés de proteção usando a linguagem "models" do atp," *Editora Ciência Moderna. Rio de Janeiro, Brasil*, 2011.
- [15] G. G. Santos, T. S. Menezes, P. H. A. Barra, and J. C. M. Vieira, "An efficient fault diagnostic approach for active distribution networks considering adaptive detection thresholds," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 136, p. 107663, 2022.
- [16] L. Dubé, "How to use models-based user-defined network components in atp," in *European Emtp Users Group Meeting*, 1996, pp. 10–12.

---

# Use of Symmetrical Components in the Study of Electrical Disturbances in Distribution Systems with Charging Allocation for Electric Vehicles and Battery Banks

---

José Carlos da Silva Neto<sup>1</sup>, Arilson de Jesus Sousa<sup>1</sup>, Kathy Camila Osinski Senhorini<sup>1</sup>, Stefani Caroline Leal de Freitas<sup>1</sup> and Jadiel Caparrós da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Federal University of Tocantins, Electrical Engineering Department, Tocantins, Brazil*

Reception date of the manuscript: 05/07/2023

Acceptance date of the manuscript: 07/08/2023

Publication date: 16/10/2023

---

**Abstract**— This paper presents a study of electric power distribution systems, which include battery banks and electric vehicle charging. Emphasis is placed to detect and distinguish voltage disturbances, conductor breaks, and other events that commonly occur in distribution systems. The research uses free license software ATPDraw™ to accurately model distribution systems and replicate voltage characteristics. The study investigates the ideal location of electric vehicle chargers, battery banks and electrical voltage meters in distribution systems. For this purpose, the General Algebraic Modeling System (GAMS) will be used, which provides high-level mathematical optimization capabilities to improve the observability of the system. The study will focus on possible mitigation to the problems these factors can cause in the power distribution system and explore strategies to minimize their negative effects. The discoveries will help improve the system performance, stability, and reliability of power distribution systems and support the integration of electric vehicles and energy storage.

**Keywords**— Electrical Distribution System, Electric Vehicle Charging, Allocation of battery banks, Symmetrical Components, Detection and Classification of Voltage Disturbances, ATPDraw™.

---

## I. INTRODUCTION

**B**attery bank (BB) allocation is a strategy for distributing energy storage systems in strategic locations that aims to optimize power supply, balance electrical load, and increase system reliability [1]. These BBs consist of sets of batteries that can store energy for later use. The strategic allocation of these banks brings benefits such as balancing the load during peak demand, storing intermittent renewable energy, and efficiently integrating renewable sources into the energy mix [2]. Therefore, the study of BB allocation is of utmost importance to ensure stable and reliable energy supply, especially with the increasing share of renewable energy sources in electricity generation [3].

The study of optimal allocation of Electric Vehicle (EV) charging is of significant scientific importance due to the potential impacts that this charging can have on electrical distribution systems (DSs) [4]. With the increasing adoption of EVs, the demand for electrical energy also grows, which can result in overload on DSs. By investigating the optimal charging allocation, it is possible to prevent issues such as voltage drops, transformer and cable overloads, and minimize the occurrence of disturbances and system failures.

Furthermore, a careful study can also identify charging strategies that help balance the load demand and optimize energy usage, resulting in a more efficient and sustainable system [5]. Therefore, research in this area contributes to the advancement of electrical science, enabling the development of solutions that ensure a smooth and efficient integration of EVs into the electrical distribution system.

It is important to note that this paper is part of a large research project. Thus, it is material based on an original and as yet unresolved scientific hypothesis, validated by modeling and simulations using three freely licensed programs: GAMS [6], ATPDraw™ [7], and Octave [8]. So far, this research project and the papers published in it have shown that the identification and detection of conductor breaks (CBs) and various other types of faults that occur in the DS is an area of constant research due to the current demand for electricity and the increasing expansion of the DSs, as well as the constant changes in this scenario [9].

## II. RELATED WORK

In this section there are the main publications that the research project has achieved so far, as well as the main publications that support the research on EV charger allocation and BB allocation in DSs.

### *a. Detection and distinction of faults in DSs*

Through the study presented by [10], its importance in the area of detecting and discriminating conductor breaks in DSs could be observed before the high impedance fault occurs. In [11, 12, 13, 14], the authors explained how to simulate and model an electric power distribution system using the license-free software ATPDraw™, which was considered as the first step of this research project.

It is shown how Negative Sequence Voltage (NSV) can be a tool to detect and discriminate CBs in DSs in [15]. Also using NSV, a comprehensive study was presented in [16], including programming in the software GAMS, to identify the best locations of voltage (and current) meters in DSs with different topologies. This study was presented in paper form in [17]. In this sense, in [18] he used another symmetrical component: the Positive Sequence Voltage.

In the following subsections are the main works that support the construction of methodological philosophy for the continuation of this research project, which includes studies on the allocation of EVs chargers and the allocation of BBs.

### *b. Allocation of Battery Bank*

The paper [1] presents a comprehensive study on the integration of energy storage systems (ESS) with economic technologies and its impact on system reliability. The authors address the challenges posed by intermittent and variable Renewable Energy Sources (RES) and emphasize the role of ESS in mitigating power fluctuations and ensuring voltage stability. The study includes a discussion about ESS technologies and applications. Overall, the study highlights the potential benefits of coordinating ESS with economic technologies to enhance the reliability of the DS in the face of the intermittent nature of renewable energy resources. However, the authors report that the intermittent and variable nature of these resources has made it difficult to maintain a balance between supply and demand.

In [3], were conducted an experimental analysis on the use of supercapacitor banks as ESS in microgrids. They compared the performance of a microgrid with conventional ESS to a hybrid system incorporating supercapacitors. The study involved designing, developing and testing a supercapacitor within an existing RES-based microgrid. Results demonstrated that microgrid with supercapacitor ESS exhibited more consistent dynamic behavior and flexible power management, improved voltage stability, longer battery life, and protection against power spikes. However, achieving these benefits relies on the microgrid control system's ability to optimize the operation of each ESS component. The availability of additional degrees of freedom in the ESS allows for tailored control strategies for specific elements.

An overview of techniques for optimizing economical and reliable green microgrids is shown in [19]. The authors highlight the importance of considering economic aspects and evaluating reliability in renewable energy microgrid development. The paper discusses techniques for sizing renewable energy systems to enhance efficiency, reliability, grid resilience, and cost reduction. Its goal is to promote renewable energy deployment and create clean, affordable,

and highly reliable microgrids. The authors also stress the need to consider the economics of renewable energy technologies and evaluate the reliability of microgrids due to the unpredictability of renewable energy sources.

This study [2] evaluates the economic feasibility of hybrid distributed generation systems (DG) with battery storage in light of proposed regulatory changes in the Brazilian energy compensation system. The authors emphasize the complementarity of wind and solar sources and the potential benefits of ESS in DG. Stochastic analyzes were performed considering different variables and three types of hybrid systems. The results indicate a high probability of economic viability, but highlight the need for incentives and regulatory frameworks to support battery integration and recognize the benefits of using a ESS in DG. However, the authors have highlighted an economic impasse in the implementation of the project presented in the study.

### *c. Allocation of electric vehicle chargers*

The author of the paper [4] examines the impact of Electric Vehicles (EVs) on the stability of the low-voltage grid. The increasing number of EVs poses challenges to the distribution grid, including power outages, voltage fluctuations, and thermal stress. To address these issues, the paper suggests smart load management and demand-side management as alternatives to grid reinforcement. Five case studies, including one for the city of Palmas, are analyzed to explore different scenarios. However, the article does not delve into the role of smart grids in facilitating the complete transition from combustion cars to EVs.

In [20], the author analyzes the replacement of vehicles with internal combustion engines by electric or hybrid vehicles, considering their advantages and disadvantages, as well as the challenges faced by the country. Based on the analysis of economic and operational characteristics and the current political situation, it is concluded that large-scale growth of EV fleets in Brazil is not yet feasible. However, hybrid EVs are more advanced and viable today. However, the author does not say what needs to be done for a full transition to electric cars.

In their study [5], the authors propose a strategy to optimize the placement of EV charging stations and EV battery swap stations within a radial distribution system. They assess the impact of these stations on voltage profiles, active power losses, and system operating costs using different load models. Additionally, they explore the integration of renewable distributed generation systems, such as photovoltaic and wind turbines, utilizing a student-inspired chaotic optimization algorithm. The results demonstrate the feasibility of determining suitable sizes and locations for these renewable energy sources in the RDS, which can enhance the efficiency and reliability of the EV industry and distribution system.

## III. METHODOLOGY

The methodology is based on the use of the recognized Alternative Transients Program software through the ATPDraw™ interface [7]. ATPDraw™ is a open-source software that is widely used in the scientific community to model electrical

power DSs and case studies will be modeled using the 5-bus system [17], IEEE 34 node test feeder [21], the 33-bus test system [16], and the real DS from Palmas/TO [22]. It is worth noting that these systems are already modeled in ATPDraw™, as the following voltage disturbances were also performed through the MODELS routine [23]: Swell, sag, harmonic, outage, swell and sag with harmonic and events such as: Lateral Branch Switching, Lumped Load Switching, Distributed Load Switching, Capacitor Switching. This software has robust capabilities to accurately simulate and replicate the main voltage characteristics of BBs, EVs charging, CB and various disturbances commonly found in DSs.

The implementation of an algorithm based on the analysis of the symmetrical voltage components at each cycle ( $\gamma$ ) adds significant value to the methodology. By using an algorithm through the Octave software [8], this algorithm has already proven to be able to effectively detect and distinguish the conductors break from other events, increasing the accuracy and reliability of the analysis. Finally, the methodology includes the General Algebraic Modeling System (GAMS) [6] software to optimize the placement of the meters in the DS. This allows the identification of the most appropriate locations, minimizing the number of meters required and thus generating savings for the electric utilities.

#### IV. CONCLUSIONS

Therefore, the chosen methodology, which combines ATPDraw™, Octave, and GAMS, provides a robust and effective framework for studying power DSs. It enables accurate modeling of multiple components, fault detection and distinction, and meter placement optimization. The use of these tools ensures the reliability and effectiveness of research and leads to valuable insights and advances in the field of electrical engineering, a fundamental mission of the academic community.

##### a. Future Work

Considering the results of the research project so far, some suggestions can be highlighted to deepen this study, such as:

- Carrying out tests with other models of DSs with different configurations and topology;
- Carrying out the insertion of EVs charging points;
- Carrying out the insertion of BBs;
- Conducting a three-phase detection study to identify in which phase the disturbance is occurring.

As can see, the methodology used in this research project is not limited to a simple and easy problem to solve. Therefore, it is important to extend the study in all directions to make a great contribution to society.

#### V. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Federal University of Tocantins, their Electronic Laboratory and the Tutorial Education Program-PET of the Electrical Engineering for their collaboration in carrying out this research.

#### REFERENCES

- [1] M. Numan, M. F. Baig, M. Yousif *et al.*, "Reliability evaluation of energy storage systems combined with other grid flexibility options: A review," *Journal of Energy Storage*, vol. 63, p. 107022, 2023.
- [2] G. N. D. de Doile, P. Rotella Junior, L. C. S. Rocha, K. Janda, G. Aquila, R. S. Peruchi, and P. P. Balestrassi, "Feasibility of hybrid wind and photovoltaic distributed generation and battery energy storage systems under techno-economic regulation," *Renewable Energy*, vol. 195, pp. 1310–1323, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148122009612>
- [3] J. J. C. Mancera, J. L. Saenz, E. López, J. M. Andújar, F. S. Manzano, F. J. Vivas, and F. Isorna, "Experimental analysis of the effects of supercapacitor banks in a renewable dc microgrid," *Applied Energy*, vol. 308, p. 118355, 2022.
- [4] M. C. C. Borges, "Análise do impacto da penetração de veículos elétricos na estabilidade da rede de baixa tensão." p. 146, 2021.
- [5] T. Schettini, M. dell'Amico, F. Fumero, O. Jabali, and F. Malucelli, "Locating and sizing electric vehicle chargers considering multiple technologies," *Energies*, vol. 16, no. 10, p. 4186, 2023.
- [6] A. Soroudi, *Power system optimization modeling in GAMS*. Springer, 2017, vol. 78.
- [7] H. Høidalen, "Atpdraw: The graphical preprocessor to atp electromagnetic transients program," URL <http://www.atpdraw.net/index.php>. Access on, vol. 13, no. 09, p. 2017, 2017.
- [8] G. Octave, "Gnu octave," [2023-06-15].
- [9] L. C. E. Bem, B. de Barros Brito, P. H. P. de Oliveira, A. B. de Moura Santos, and J. C. da Silva, "Development of an application for the verification of electricity rates," *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 3, p. 100122, 2023.
- [10] M. Mishra and R. R. Panigrahi, "Taxonomy of high impedance fault detection algorithm," *Measurement*, vol. 148, p. 106955, 2019.
- [11] N. F. T. dos Santos, G. A. Santos, F. A. Kharaghani, S. C. L. Freitas, and J. C. da Silva, "Simulation tutorial in atpdraw software—ieee 4 nodes test feeder-part 1," in *2020 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition-Latin*. IEEE, 2020, pp. 1–6.
- [12] J. da Silva, S. de Freitas, and F. Amorim, "Simulation tutorial in atpdraw—ieee 4 node test feeder—part 2," *variations*, vol. 5, p. 6, 2022.
- [13] H. M. A. do Nascimento, M. de Ávila Dilli, and J. C. da Silva, "Simulation tutorial in the atpdraw tm software of the ieee 34 node test feeder system," in *Anais da XIV Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica*, 2021, pp. 27–35.
- [14] M. de Ávila Dilli, H. M. A. do Nascimento, and J. C. da Silva and Kathy Camila Cardozo Osinski Senhorini and Carlos André Rodrigues Bastos and Marcelo Cirqueira Cavalcante Borges, "Simulation tutorial in the atpdraw software of test feeder system," in *Engenharia no Século XXI*, 2021, pp. 80–89.
- [15] J. C. da Silva, G. N. Lopes, L. H. Trondoli, and J. C. M. Vieira, "Analysis of the negative sequence voltage to detect conductor break in distribution systems," in *2021 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*. IEEE, 2021, pp. 01–05.
- [16] M. D. Á. Dilli *et al.*, "Detecção do rompimento de condutores em sistemas elétricos de potência através da tensão de sequência negativa," 2021.
- [17] M. de Ávila Dilli, H. Manduca Araújo do Nascimento, and J. Caparrós da Silva, "Conductor break detection in distribution system through negative sequence voltage," *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 42, no. 3, pp. 31–44, 2021.
- [18] H. M. A. do Nascimento, "Detecção do rompimento de condutores em sistemas elétricos de potência através da tensão de sequência positiva," 2021.
- [19] M. Kiehadrouinezhad, A. Merabet, A. G. Abo-Khalil, T. Salameh, and C. Ghenai, "Intelligent and optimized microgrids for future supply power from renewable energy resources: A review," *Energies*, vol. 15, no. 9, p. 3359, 2022.
- [20] L. Cavagliano, "Análise da viabilidade técnica e econômica da substituição de veículos a combustão interna," p. 61, 2020.

- [21] D. T. Feeders, "Ieee pes distribution system analysis subcommittee," *Online Available: <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html>*, 2011.
- [22] A. Piccini, M. Tamashiro, A. Rodrigues, G. Guimarães, and C. Barbosa, "Avaliação do comportamento de uma rede de distribuição de média/baixa tensão com a penetração de sistemas fotovoltaicos," in *Anais do V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, 2014.
- [23] L. Dubé, "How to use models-based user-defined network components in atp," in *European Emtp Users Group Meeting*, 1996, pp. 10–12.

# Eficiência Eletroenergética no Sistema de Saneamento Brasileiro

## Electroenergetic Efficiency in Brazilian Sanitation System

Valquiria S. Nascimento<sup>1</sup>, Stefani C. L. Freitas<sup>1</sup>, Kathy C. C. O. Senhorini<sup>1</sup> e Jadiel C. Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Tocantins, Bacharelado em Engenharia Elétrica, Tocantins, Brasil

Reception date of the manuscript: 05/07/2023

Acceptance date of the manuscript: 07/08/2023

Publication date: 16/10/2023

**Resumo**— Água e energia elétrica são bens essenciais indispensáveis à vida e às atividades humanas. Com a crescente modernização do saneamento e aparelhos elétricos, o consumo de energia nesses sistemas ascendeu proporcionalmente. Sem eletricidade, a universalização do abastecimento de água e dos serviços de esgotamento sanitário são impensáveis. No setor, a eletricidade é usada principalmente para alimentar os robustos conjuntos motobombas que realizam o recalque dos líquidos, água ou esgoto, para um ponto mais alto, esses mesmos conjuntos motobomba também são responsáveis por consumir cerca de 2 a 3% da energia mundial. Portanto, há necessidade de soluções sinérgicas envolvendo os dois setores para melhorar a eficiência dos processos operacionais e energéticos do saneamento. Assim, este artigo se propõe a analisar os principais indicadores do setor e apresentar a relação entre a evolução do consumo de água e energia nos sistemas de saneamento e as diferenças entre os estados brasileiros. Além disso, as melhores práticas para aumentar a eficiência dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário elucidando técnicas utilizadas para melhorar as operações e os sistemas de gestão de energia são apresentadas.

**Palavras-chave**— Eficiência, energia elétrica, saneamento.

**Abstract**— Water and electricity are essential commodities, imperative for human life and activities. With the increasing modernization of sanitation systems and electrical appliances, energy consumption in these systems have increased proportionally. Without electricity, widespread water supply and sanitary sewage services are unthinkable. The electricity is primarily used to power the robust motor-pumps that move the liquids, water or wastewater to higher point, these same motor-pump systems are also responsible for consuming approximately 2 to 3% of the world's energy. So, there is a need for synergistic solutions involving both sectors to improve the efficiency of the operational and energy processes. Therefore, this article proposes to analyze the main indicators of the sector, and present the relationship between the evolution of water and energy consumption in sanitation systems and the differences between Brazilian states. In addition, the best practices to increase the efficiency of water supply and sewage services presenting techniques used to improve operations and energy management systems are presented.

**Keywords**— Efficiency, electrical energy, sanitation.

## I. INTRODUÇÃO

Água e energia elétrica são fundamentais e indispensáveis à vida e atividades humanas. Ainda assim, de acordo com relatório de 2022 da Organização Mundial da Saúde, 25% da população mundial ainda não tem acesso à água potável e, 733 milhões de habitantes ao redor do globo (9% da população) ainda não tinham acesso a eletricidade em 2020 [1]. Ao passo que existe a dificuldade de fornecer tais insumos à população atual, a expectativa é que essa demanda aumente cada vez mais, seguindo o crescimento populacional e a incorporação de novas tecnologias. Estudos do Instituto Trata Brasil [2] indicam que o acesso pleno aos serviços do setor tiraria 18,4 milhões de mulheres brasileiras da condição de pobreza e contribuiria para a redução de aproximadamente 6,2% do atraso escolar no país, devido à redução de doenças transmissíveis por água contaminada. Nesse sentido, é necessário pensar em desenvolvimento pautado nas preocupações com o meio ambiente, energia elétrica e consequente melhoria da qualidade de vida das populações.

As atividades do saneamento o destacam como um setor onde os níveis de perdas são altíssimos. No Brasil, dados do Sistema Nacional de Informações do Saneamento apresentam um índice de perdas de água de 40,95%, o que o coloca como o 42º no ranking mundial de perdas percentuais, tornando este, um dos maiores problemas dos sistemas de abastecimento de água brasileiros [3]. Sendo que elas podem ocorrer em qualquer nível do processo, notadamente, da captação até distribuição ao consumidor final. [4].

No que tange à energia elétrica, de acordo com a *Alliance to Save Energy* [5] os sistemas de bombeamento de água e esgotamento sanitário são responsáveis por cerca de 2% a 3% do consumo mundial de energia. Dessa forma, os esforços para reduzir perdas, conservar e melhorar a gestão de água e energia elétrica podem ser vistos como sinérgicos e complementares [6].

Nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, a energia elétrica é utilizada para fazer o transporte da água entre os vários estágios do processo, a saber: na captação na Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB); no tratamento na Estação de Tratamento de Água (ETA); e na distribuição e reserva nas Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT) e *Boosters*. Já no sistema de esgotamento, as bombas são responsáveis por conduzir o

efluente a ser tratado até a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por meio das Estações Elevatórias de Esgoto Bruto (EEEB) que ficam em pontos estratégicos da cidade [7]. E, em todas essas etapas existem perdas de energia por ineficiência do sistema.

Apenas em 2021, no Brasil, foram consumidos cerca de 12,87 bilhões de kWh [3] nos serviços de saneamento, o que torna este insumo a segunda maior despesa das concessionárias do país, perdendo apenas para os custos com a equipe, sendo que a maior parte da energia elétrica é utilizada para os robustos sistemas de bombeamento. Nesse sentido, a implementação de estudos e projetos de eficiência e gestão energética representam uma forma de reduzir significativamente a demanda por eletricidade e diminuir custos operacionais que podem refletir inclusive nas tarifas para o consumidor final.

## II. PRINCIPAIS INDICADORES

Para analisar a evolução do setor de saneamento foram estabelecidos alguns indicadores cujos dados são fornecidos anualmente pelas empresas prestadoras de serviço. Dentre esses indicadores, vale destacar o de produção de água, de volume de esgoto tratado, de consumo de energia elétrica por sistema, kWh/m<sup>3</sup> e da taxa de atendimento da população pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Na Fig. 1 é possível observar a relação entre os indicadores de produção de água e de consumo de energia elétrica pelos sistemas brasileiros de abastecimento.

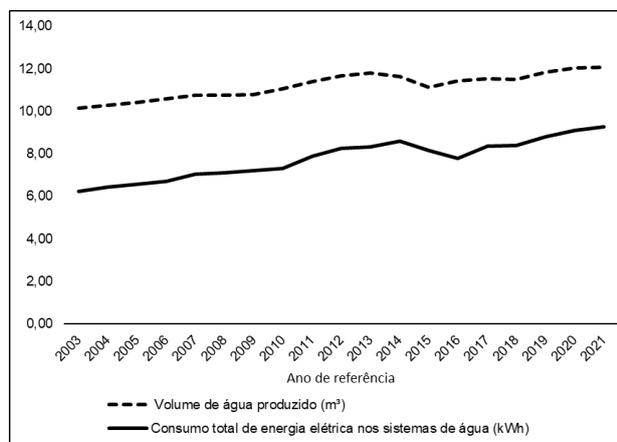


Fig. 1: Relação entre evolução do volume de água produzida e consumo de energia elétrica no Brasil. [3]

O mesmo pode ser feito para o serviço de esgotamento sanitário, como ilustra a Fig. 2, que relaciona a evolução do volume de esgoto tratado no Brasil e o consumo de energia elétrica nesses sistemas.

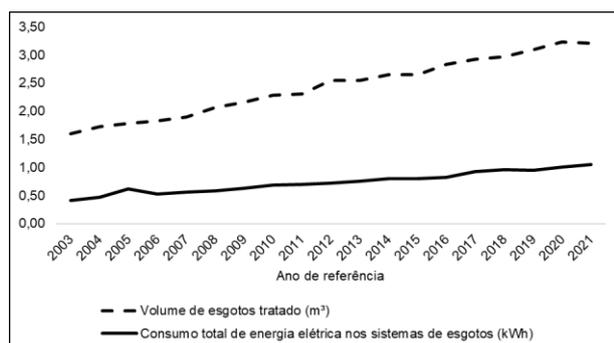


Fig. 2: Relação entre evolução do volume de esgoto tratado e consumo de energia elétrica no Brasil. [3]

Observando os indicadores destacados nas figuras, percebe-se, portanto, que o aumento do acesso aos serviços de saneamento no Brasil segue uma crescente paralela com o consumo de energia elétrica nos sistemas de água e esgoto.

Sendo tão interdependentes, é possível observar a eficiência energética no saneamento a partir do indicador kWh/m<sup>3</sup>, que mede quanta energia elétrica é gasta para tratar 1 m<sup>3</sup> de água ou esgoto. Esse indicador varia em cada estado do país, considerando fatores, como: a eficiência dos equipamentos; o método de tratamento utilizado; a abrangência dos serviços; e a maturidade do atendimento na região. O estado de Roraima se destaca com o menor consumo/m<sup>3</sup> produzido e o estado da Paraíba com o maior consumo/m<sup>3</sup> de água tratada. No tratamento de esgoto, o Amapá não tem consumo significativo de energia devido ao sistema incipiente, já o Piauí possui o maior índice de consumo/m<sup>3</sup> [3]. Os índices brasileiros atuais são 0,73 kWh para produzir 1 m<sup>3</sup> de água tratada e 0,28 kWh [3] para tratar 1 m<sup>3</sup> de esgoto, o que demonstra a possibilidade de avanço na pauta de eficiência energética para expandir as taxas de atendimento do país, focando em um consumo responsável de energia elétrica.

## III. ASPECTOS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA OPERAÇÃO

Na operação, os equipamentos eletromecânicos que precisam de energia para seu pleno funcionamento são diversos. Apesar dos conjuntos motobombas serem os mais robustos e representarem a maior porcentagem do consumo, as estações elevatórias (locais estratégicos equipados para fazer o recalque da água ou esgoto) e de tratamento são compostas por uma série de outros ativos. Dentre eles, destacam-se na composição do ciclo de saneamento: bombas dosadoras; aeradores; decantadores; painéis de comando de automação e telecomunicação; misturadores; bombas para lavagem de filtros e descarte de lodo; e válvulas atuadoras.

Devido à grande quantidade de equipamentos eletromecânicos, a eficiência energética dos sistemas está diretamente ligada ao seu correto funcionamento. Para que isso ocorra, é preciso considerar dois fatores: o estado da conservação da infraestrutura e o modo de operação. O primeiro item está ligado à reposição e à manutenção adequadas dos ativos enquanto o segundo está relacionado ao manuseio e à utilização otimizada dos mesmos [8]. A Fig. 3 apresenta esses conceitos de maneira simplificada:

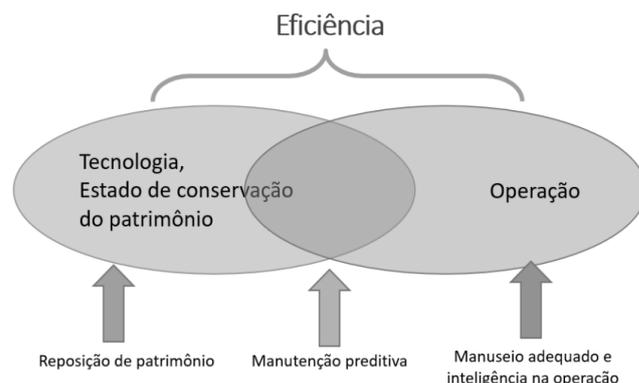


Fig. 3: Componentes da eficiência de um sistema. [7]

Além do cuidado com os equipamentos, as companhias precisam também ter um Sistema de Gerenciamento de Energia (SGE) eficiente com vistas a reduzir os custos com energia elétrica. Deste modo devem ser continuamente revisadas as proposições de alternativas para melhoria do consumo em suas Unidades Consumidoras (UC). Um SGE consolidado e ativo auxilia em processos práticos como evitar que as UCs ultrapassem a demanda contratada e gerem um gasto maior de energia e também em processos estratégicos. Dentre esses é possível citar a correta alocação das UCs em seus respectivos grupos tarifários a partir da análise do seu perfil de consumo. Nesse ponto, vale lembrar que no saneamento elas podem fazer parte do grupo B (consumo mais baixo) ou do grupo A, quando possuem um consumo significativo e um contrato de demanda com a distribuidora de energia. No segundo caso é preciso avaliar ainda se a tarifa horo-sazonal adequada para essa UC será verde ou azul, a depender da quantidade energia elétrica consumida no período das 18 às 21 horas [8].

Ainda no âmbito de estratégias de planejamento, a compra de energia no mercado livre tem se tornado uma opção cada vez mais atrativa para o saneamento [9]. A opção do mercado livre, no entanto é viável apenas para grandes consumidoras de energia, por isso, para unidades do grupo B as empresas buscam outras alternativas.

No contexto atual, há destaque para a incorporação de plantas solares nos sistemas de geração junto à carga e autoconsumo remoto. Como exemplo cita-se a estação de tratamento de esgoto de Mogi Mirim que, em 2019 instalou um sistema fotovoltaico para complementar seu consumo de eletricidade. Este sistema é responsável por gerar 30% da energia que a ETE precisa [10].

As concessionárias de saneamento também estão investindo na inovação como aliada para a eficiência energética. A título de exemplo de boas práticas cita-se:

- A estação de tratamento de água de Cachoeira da Itapemirim que conta com uma pequena central hidrelétrica responsável por fornecer a energia necessária para o tratamento da água [11];
- Medidas de gestão e fomento à projetos da área, como a criação da Comissão Interna de Conservação de Energia Elétrica da companhia de abastecimento do Paraná [12];
- O Núcleo de Eficiência e Tecnologia da concessionária Aegea [13].

Neste sentido, constata-se as ações tradicionais de gestão e boas práticas de uso dos equipamentos, aliados aos investimentos para tornar o setor mais eficiente são fundamentais.

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho relatou a importância da eficiência eletroenergética nos sistemas de saneamento brasileiro.

Neste contexto, a seção II mostrou a interdependência entre os sistemas de suprimento de água e eletricidade, e mostrou que o incremento do acesso aos serviços de saneamento no Brasil segue uma crescente paralela com o consumo de energia elétrica nos sistemas de água.

No contexto de eficiência energética na operação dos sistemas de saneamento, abordado na seção III, observou-

se- que, devido à grande quantidade de equipamentos eletromecânicos em todo o processo de fornecimento e esgotamento de água, é necessária uma revisão contínua das condições operativas de bombas, painéis de automação e telecomunicação. Além disso, em termos de compra de energia as concessionárias de saneamento devem atentar-se à definição da correta demanda contratada, da alocação no grupo tarifário adequado e até mesmo estudar a viabilidade da entrada no mercado livre de energia.

Neste sentido, reconhecendo a importância da temática, para aprofundamento das pesquisas e estudos, indica-se:

- Aprofundar estudos da relação entre energia elétrica e os impactos sociais e de saúde advindos do saneamento;
- Propor soluções de eficiência energética para expansão da oferta do serviço de saneamento em uma estação de tratamento por meio da redução dos custos com consumo de eletricidade.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS, "State of the World's Drinking Water: An urgent call to action to accelerate progress on ensuring safe drinking water for all", 2022.
- [2] TRATA BRASIL, "Acesso pleno ao saneamento resultará em ganhos socioeconômicos para população brasileira", 2022.
- [3] SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS, "Série Histórica", 2023.
- [4] R. ANDRADE SOBRINHO, P. BORJA, "Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS" Scielo – Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.
- [5] ALLIANCE TO SAVE ENERGY - ASE, "Watergy: taking advantage of untapped energy and water efficiency opportunities in municipal water systems", 2002.
- [6] PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB, "Conservação de Água e Energia em Sistemas Prediais e Públicos de Abastecimento de Água", 2009.
- [7] P. T. FRACASSO, "Redução de Gastos com Energia Elétrica em Sistemas de Distribuição de Água Utilizando Processos Decisórios de Markov", PhD. Thesis, Dep. de Ciências, USP, São Paulo, SP, 2014.
- [8] DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNACIONALE ZUSAMMENARBEIT - GIZ, "Propostas para abordar a EFICIÊNCIA ENERGÉTICA em normas de Referências Nacionais de Saneamento", 2021.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA – ABRACEEL, "Empresas de saneamento básico buscam mercado livre de energia para reduzir custos e aumentar eficiência", 2023.
- [10] COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP, "ETE Mogi Mirim – O primeiro sistema de geração de energia solar do setor do saneamento do Brasil", 2019.
- [11] TRATA BRASIL, "Cachoeiro do Itapemirim", 2017.
- [12] COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR, "Trabalhos contemplados no Prêmio Sanepar de Tecnologias Sustentáveis e no Prêmio Inova Sanepar", 2016.
- [13] AEGEA, "Eficiência e Tecnologia", 2023. Disponível em: <https://www.aegea.com.br>. Acesso em 15 ago. 2023.



# Study of Equipment to Measure Quantities Related to Electricity in a Three-Phase Engine

Emanuella Carvalho Almeida<sup>1</sup>, Gabriel Gonçalves Pereira<sup>1</sup>, Wesley Mota dos Reis<sup>1</sup> and Jadiel Caparrós da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Federal University of Tocantins, Electrical Engineering Department, Tocantins, Brazil*

Reception date of the manuscript: 19/07/2023

Acceptance date of the manuscript: 02/10/2023

Publication date: 16/10/2023

**Abstract**— This study examines the WaveBook/516E device for measuring electrical energy in three-phase engines. Accurate measurement and analysis of electrical energy is critical to engine performance and efficiency. However, existing devices often lack comprehensive data analysis capabilities, which hinders researchers' understanding of engine characteristics and electrical quantities. The study focuses on the WaveBook/516E, which features data storage and customizable analysis options. The methodology involves a theoretical review, including references, data from engines, obtained using the device's standard configuration and flexible settings, underwent detailed statistical analysis. Results demonstrated consistent data for engines under different conditions, validating the device's potential for precise statistical analysis. The WaveBook/516E's data storage and customization options make it a valuable tool for research on electrical energy in three-phase engines, allowing researchers to explore various scenarios. This research helps to improve the understanding of engine behavior and promote efficient engine control practices. The device's ability to change input patterns expands its applicability to broader research in electrical energy measurement and analysis. Overall, the WaveBook/516E expands the capabilities of researchers by facilitating in-depth studies and sound engine control practices.

**Keywords**— Electric energy, modern engines, WaveBook/516E, validation, theoretical conceptions, experimental data.

## I. INTRODUCTION

The purpose of this paper is to study and analyze the device WaveBook/516E [1] that measure quantities related to electrical energy in three-phase engines. This study focuses on a specific device that stands out for its ability to store data and enable personalized analysis according to the user's needs. The results obtained show the consistency of the stored values both with the engine off and under load, demonstrating that this device allows a detailed statistical analysis of the collected data. This discovery is of great importance as it contributes to a deeper understanding of the relationship between engine properties and measured electrical quantities. In addition, the user can customize the device's input pattern, expanding its applicability in scientific research related to measuring and analyzing electrical power problems [2, 3]. The results provide a solid basis for the development of advanced measurement and analysis techniques for three-phase engines and contribute to the development of the research field. Therefore, this paper provides a sound and validated material through experiments

and theoretical models based on the scientific method, with proper statistical design and scientifically supported discussions.

The importance of research to measure the amount of electrical energy in three-phase engines is widely recognized in the scientific community [4]. Previous studies have provided valuable information on this topic. According to a study by [5], the growing growth of the industrial, commercial, and residential sectors intensifies the demand for high-quality electricity. Power and power quality measurements are critical to delivering accurate power. This study focuses on specific devices with features that store data and allow for custom analysis. The results provide a solid basis for the development of advanced measurement and analysis techniques in three-phase engines, facilitating the development of the research field, improving energy efficiency, reducing costs, and contributing to environmental protection.

To guarantee the efficiency of a project, it is essential to have equipment that allows a safe and precise determination of the engines slip and torque. In certain situations, engines are initially built to carry out tests that evaluate their performance and validate their practical viability. To carry out these tests, there are a considerable number of companies responsible for the commercialization of measuring equipment used both in laboratories and by

engineering professionals.

The WaveBook/516E has positive aspects such as the ease of inserting input and output data into the equipment, in addition to allowing a better study of the properties of waveforms from plotting the graphs. Thus making it suitable equipment for this study, as explained in Section II.

## II. METHODOLOGY AND TOOLS

The main objective of this project, described in this paper, is to carry out a detailed analysis by using the WaveBook/516E device, the experiment was performed with the WEG induction engine [6], both at no load and with a load generated by an unloaded DC generator, as shown in Fig. 1.

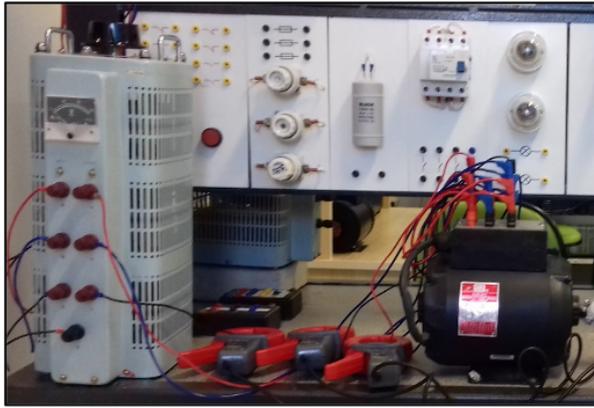


Fig. 1: Software Configuration.

In this section of the work, a theoretical study was carried out based on a bibliographical survey [1, 2, 3, 6] will be the basis of this research. In addition, other theoretical materials were also used in the bibliographic survey to clarify possible difficulties that could arise during the theoretical course. Thus, the analysis of the data obtained through the WaveBook/516E device aims at validating the theoretical basis.

## III. RESULTS

### a. Initial considerations

Table 1 shows the Waveview configuration to measure the engine both at no load and at load.

TABLE 1: WAVEVIEW CONFIGURATION WITH A SINE WAVE.

Channels	Mode	Input	Level
1	On	Voltage	-10 to 10
2	On	Voltage	-10 to 10
3	On	Voltage	-10 to 10
4	Off	–	–
5	On	Current	-10 to 10
6	On	Current	-10 to 10
7	On	Current	-10 to 10
8	Off	–	–

The software offers several options to adjust the method of data acquisition by the equipment to meet the requirements of each experiment. In the present situation, it was decided to use the standard configuration of the device, as shown in Fig. 2, since it fully satisfied the needs.

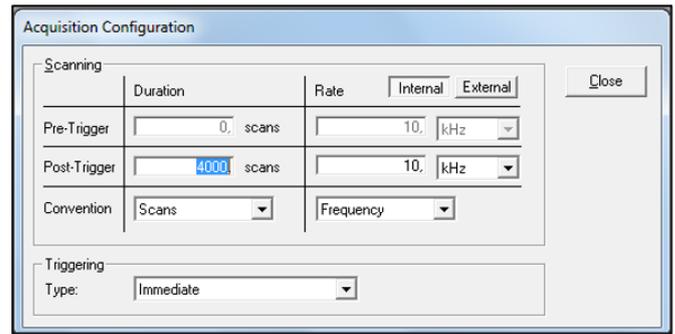


Fig. 2: Software Configuration.

The program employed also offers greater flexibility in selecting the number of waveforms to be represented simultaneously during the measurement, providing more effective monitoring of the observed data. Fig. 3 exemplifies the individual representation of the voltage waveform in channel 1, while Fig. 4 illustrates the joint representation of the waveforms of channels 1 to 3, as well as the current waveforms of channels 5 to 7.

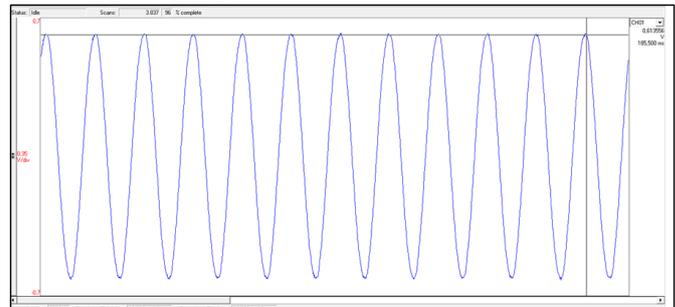


Fig. 3: Sinusoidal voltage waveform (channel 1).

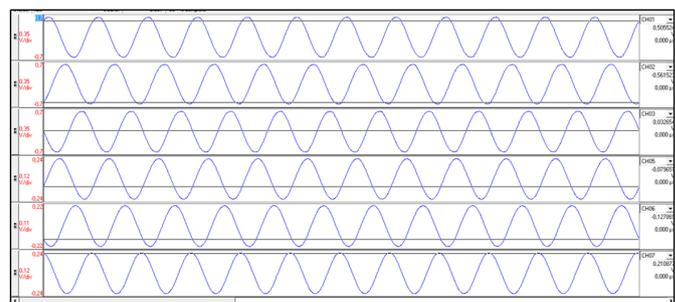


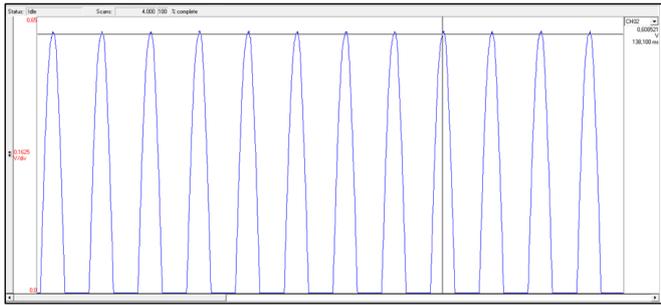
Fig. 4: Voltage (channels 1, 2, and 3) and current (channels 5, 6, and 7) waveforms.

It becomes evident that, by analyzing Fig. 4, the waveforms are extremely ideal, however, an electric engine has a considerable number of coils in its composition, so the magnetic variation rate will induce voltage and current from the stator to the rotor. Consequently, will have a reactive presence circulating in the circuit, therefore, the waveforms should not be perfectly sinusoidal.

The modifications of the operating levels in the program settings, shown in Table 2, result in the style of the waveform that will be plotted, as can be seen in Fig. 5. Since this figure presents the half-wave shape for just one channel, it should be noted that this behavior will be equivalent for all channels, considering that the user select the number of channels.

**TABLE 2: WAVEVIEW CONFIGURATION WITH HALF-WAVE GRAPH.**

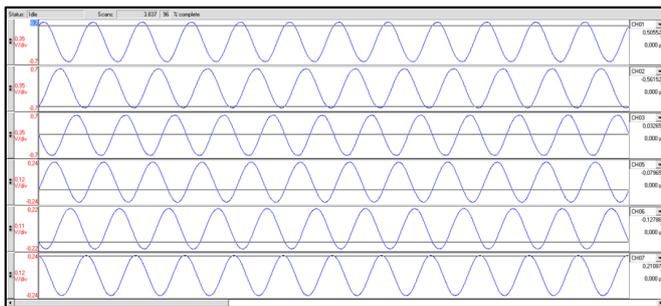
Channels	Mode	Input	Level
1	On	Voltage	0 to 10
2	On	Voltage	0 to 10
3	On	Voltage	0 to 10
4	Off	-	-
5	On	Current	0 to 10
6	On	Current	0 to 10
7	On	Current	0 to 10
8	Off	-	-



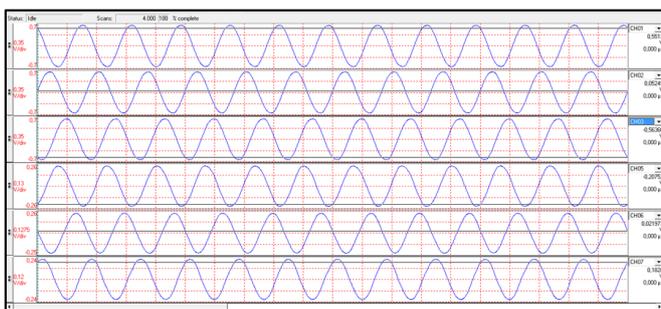
**Fig. 5:** Waveform with half-wave graph.

**b. Comparison of the engine at no load and with load**

In this subsection, the analysis of the behavior of the waveforms between the data collected from the engine with load and the data from the engine with no load will be explored. Fig. 6 depicts the six waveforms, three of which are voltage channels and three are current channels, recorded in the engine running at no load. Fig. 7 depicts the values and graphic result of the behavior of the data measured in the engine with the load.



**Fig. 6:** Engine voltage and current waveform at no load.

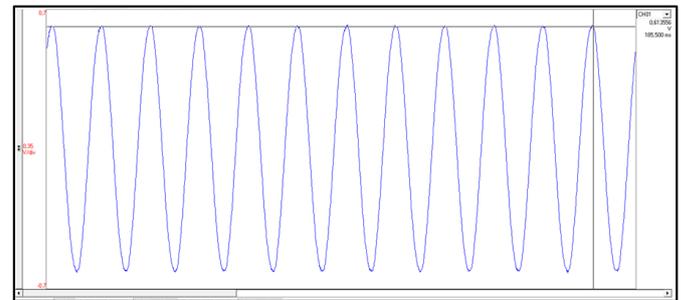


**Fig. 7:** Voltage and current waveforms of the engine with load.

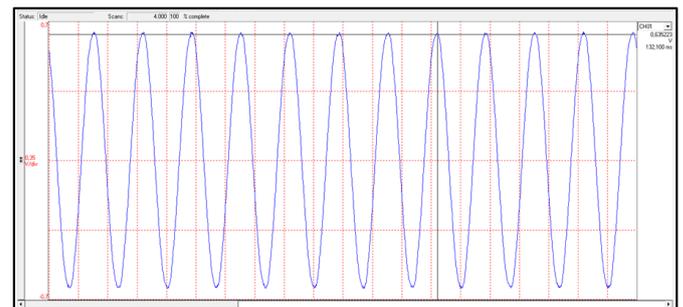
With predefined settings, the equipment plots the waveform according to them. Therefore, the default configuration

(highlighted above) is predefined with an input voltage of 150 volts. Therefore, both voltage and current behavior were analogous (Figs. 6 and 7). With this configuration, it was not possible to induce the presence of some kind of harmonic, which means that a more complex analysis of the waveforms could not be performed.

By plotting the graph on the program screen individually, in Figs. 8 and 9, one can see a flattening at the peak of the sinusoidal, so we deduce that there is some kind of harmonic present.



**Fig. 8:** Engine voltage and current waveform at no load (Channel 1).



**Fig. 9:** Engine voltage and current waveform with load (Channel 1).

**IV. CONCLUSION**

This study demonstrated the importance of accurately measuring electrical energy in three-phase motors using the WaveBook/516E instrument. The results have provided valuable insight into the behavior of motors under various operating conditions and have demonstrated the data storage capability and customizable analysis features of the instrument. The results provide a solid foundation for advancing measurement and analysis techniques in the field of three-phase motors, helping to improve energy efficiency, reduce costs and protect the environment. By providing researchers with this versatile tool, further advances in motor control can be made and a deeper understanding of motor characteristics and electrical variables can be promoted. This study highlights the critical role of precision measurement devices such as the WaveBook/516E in advancing scientific research and promoting efficient energy use in various industrial, commercial, and residential applications.

**REFERENCES**

[1] H.-S. P. D. A. Systems, *User's Manual*, Measurement Computing Corporation, Norton, MA, USA.

- [2] W. M. Reis and J. C. Silva, “Estudo de equipamentos medidores de grandezas relacionadas a energia elétricas em um motor trifásico,” 2017.
- [3] M. L. Verissimo, “Estudo teórico e prático de equipamentos de medição de energia elétrica e de um motor de indução trifásico,” 2019.
- [4] M. Alshbib and S. Abdulkerim, “An experimental and analytical investigation of the direct torque control method of a three-phase induction motor,” *Journal of Electrical Engineering & Technology*, pp. 1–13, 2023.
- [5] L. N. Fauzi, M. H. Ibrahim, and M. Nizam, “Low cost three-phase electrical power quality analyzer system using pc-based usb daq,” in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2674, no. 1. AIP Publishing, 2023.
- [6] W. S.A, *Especificação do Motor Elétrico*, WEG S.A, Jaraguá do Sul, SC, Brasil.

---

# Work in progress: analysis and evaluation of the impact of the code approximation for IoT applications

---

David Medeiros Cruz<sup>1</sup> and Tiago Almeida<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Universidade Federal do Tocantins (UFT), Computer Science Department Palmas/TO, Brasil*

<sup>2</sup> *University of Campinas (UNICAMP), Institute of Computing, Campinas/SP, Brazil*

Reception date of the manuscript: 25/07/2023

Acceptance date of the manuscript: 04/09/2023

Publication date: 16/10/2023

---

**Abstract**— Due to the need to improve resource management for computer systems in many levels and applications (mainly for embedded systems and energy consumption), how can we enhance the energy efficiency of computational methods? One approach is through approximate computing, which intentionally introduces controlled errors to save resources such as energy, area, or time. This research aims to empirically measure the impact of introducing approximations in an embedded system by conducting a controlled experiment. To focus on evaluating the impact of the approximations themselves rather than the best methods of implementing them, the approximations will be manually incorporated into the code. The benchmark chosen for evaluation is MiBench due to its widespread usage. All the codes can be recompiled to run on the MIPS architecture of the NodeMCU-ESP8266. A second NodeMCU-ESP8266 will be utilized, connected in series to measure the actual power consumption of the first board. The analysis of results will involve hypothesis tests, where the experiment hypotheses will be statistically evaluated at a specific significance level. By directly comparing variations and experiment data, the proposal's validity will be effectively demonstrated. Since this paper is a work in progress, we will explain the experiment planned to be run.

**Keywords**—Approximate Computing, Energy Efficiency, Internet of Things, Software Approximations.

---

## I. INTRODUCTION

Computing has changed over the last decades. The design of computing systems has shifted from single-core systems to multi-core and heterogeneous systems. The main reason for this transformation is the physical limitation of miniaturization of transistors to improve the performance of computational systems [1].

Another factor to consider in the current context is the decentralization of the processing. Where exactly is the application executed? In many cases, applications are exclusively run on a cloud system, while in others, embedded systems are used, or a combination of both solutions.

If we also consider the need for better resource management, each scenario will have different energy demands, making it more complex to find suitable designs for each case.

How could we improve the energy efficiency of computational systems? One paradigm that aims to address this question is approximate computing [2, 3]. In applications where there is a sensory limitation, meaning that humans would not be able to perceive errors in computation,

where an exact output does not exist, such as in machine learning, or where computation is based on probabilities, there is resilience to errors. These applications can exhibit outputs with a certain threshold of error, and there would be no issue. In such cases, approximate computing can introduce controlled errors to save physical resources of the computational system, such as energy, area, or time.

The scenario with good error resilience and significant energy and performance constraints is the embedded system scenario (or, depending on the context, the Internet of Things). There is a range of research addressing the use of approximations for high-performance systems, with only a few studies focusing on embedded systems. In this regard,

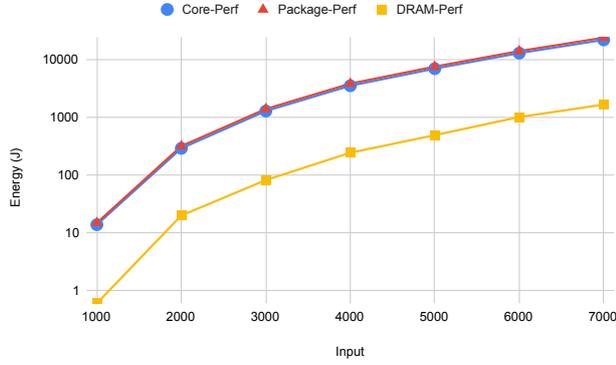
*What is the impact on energy consumption of a set of approximation techniques in software on a controlled system?*

Based on this research question, the remaining part of the research project will be based on, experimented with, and discussed in the following sections.

## II. PROBLEM DEFINITION

To illustrate the problem, consider a simple matrix multiplication application. Considering i) square matrices with sizes of 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, and 7000; ii)

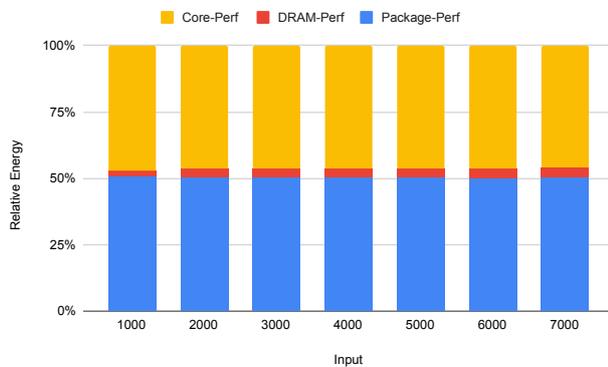
randomly generated values from a uniform distribution; iii) an Intel Core i5-9300H 2.40GHz CPU (Kaby Lake processor with 8 cores in one encapsulation) and; iv) ten repetitions for each input size. Thus, Fig. 1 shows how energy consumption scales in this scenario. Measurements were taken using the `perf` tool available for the Linux operating system and using embedded power counters on Intel processors.



**Fig. 1:** Variation of energy consumption according to input size for a matrix multiplication application.

In Fig. 1, energy consumption is measured in joules, which represents  $J = \frac{W}{s}$ , where  $W$  is power measured in watts and  $s$  is time measured in seconds. "Core" represents the energy consumption measured in the processing core, "Package" represents the energy consumption measured across the entire chip encapsulation, and "DRAM" represents the energy consumption measured by the RAM. The energy consumption of "Core" and "Package" is quite similar since it is a serial application, meaning the processing is performed by a single core.

Fig. 2 presents the breakdown of the processing for each input size. It shows how much each component, "Core," "Package," and "DRAM," contributes to the total application energy consumption. For all input scenarios, the behavior is the same: "Core" and "Package" account for the majority of energy consumption, as this is a CPU-bound application, meaning it is more dependent on processing rather than data traffic with memory.



**Fig. 2:** Breakdown by each part and its respective energy consumption according to the input size for a matrix multiplication application.

Therefore, the objective of this study is to conduct a controlled experiment to empirically measure the impact of

introducing approximations in an embedded system. In what context will these approximations be inserted? Although the focus is on software approximation, there are different insertion contexts, such as compile-time or real-time for adjustment of approximations. However, the objective of this study is to evaluate the impact of the approximations themselves and not the best ways to insert them, so the approximations will be manually inserted into the code.

In line with this, the experiment will be conducted on a NodeMCU-ESP8266 microcontroller. This is a widely used microcontroller model with relatively low cost and is also used for educational purposes.

The dependent variables in this experiment, that is, the variables that are measured to assess the cause-and-effect relationship, are power (measured in watts), energy (measured in joules), time (measured in seconds), and the application error (all error metrics used are described in Table 1 [4]).

**TABLE 1:** DESCRIPTION OF THE ERROR METRICS USED IN THIS PROJECT.

Metrics	Description	Equation
MAE*	Mean Absolute Error	$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n  O_i^{ac} - O_i^{ax} $ (1)
WCE*	Worst-Case Error	$\max \forall i  O_i^{ac} - O_i^{ax} $ (2)
MRED*	Mean Relative Error Distance	$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \frac{ O_i^{ac} - O_i^{ax} }{O_i^{ac}}$ (3)
MSE*	Mean Squared Error	$\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (O_i^{ac} - O_i^{ax})^2$ (4)

\*  $O_i^{ac}$  is a  $i$ -th precise output, and  $O_i^{ax}$  é a  $i$ -th approximate output.

Finally, the following research hypothesis is considered, based on the research question stated in the previous section [5]:

*Null hypothesis ( $H_0$ ): There is no difference in energy consumption and performance in an embedded application when software approximations are introduced.*

*Alternative hypothesis ( $H_a$ ): There is a difference in energy consumption and performance in an embedded application when software approximations are introduced for at least one pair  $i$  and  $j$ , where  $i \neq j$ , and  $i$  represents the precise application, and  $j$  represents the same application with an approximation from a set of approximations.*

In this experiment, the objective is to empirically evaluate the stated hypothesis, and there is no need to perform a statistical hypothesis testing method, as it is beyond the scope of this project to analyze the significance of any existing differences. The presentation of line, bar, and scatter plots is sufficient to interpret the results.

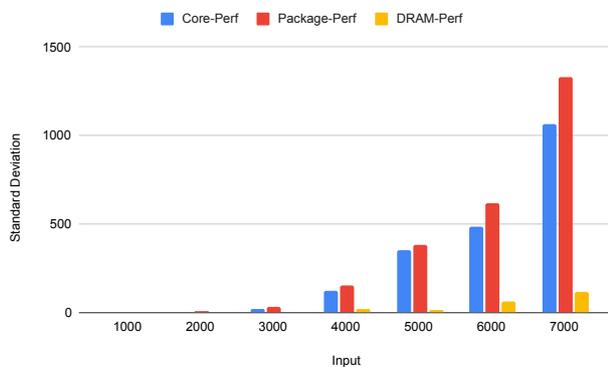
**a. Experimental setup**

Regarding the types of software approximation, the following types will be used [6, 7]: i) Code Perforation: This involves identifying parts of the code that are resilient to errors and can be "skipped" during execution, such as functions and code segments. ii) Loop Perforation: This involves identifying loops that are also resilient to errors and partially executing these loops. iii) Bitwidth transformation: This involves identifying variables in the code that can be transformed into representations with fewer bits, or transforming floating-point variables into integers, or integers into unique characters.

In terms of the benchmark to be evaluated, the MiBench [8] will be considered due to its widespread use. This benchmark consists of applications divided into six categories: Industrial applications; Consumer applications; Office applications; Network applications; Security applications; Telecommunication applications.

Although MiBench was designed to evaluate the ARM architecture, all codes can be recompiled to run on the MIPS architecture of the NodeMCU-ESP8266.

Another important point is how the measurement data will be collected. In this regard, a second NodeMCU-ESP8266 will be used, connected in series to measure the real power consumption of the first board. Since the NodeMCU-ESP8266 system already has an embedded WiFi antenna, it is a viable platform for collecting data and sending it to a traditional computer with measurement information. The first step of this research project will be the construction and testing of the energy consumption measurement platform.

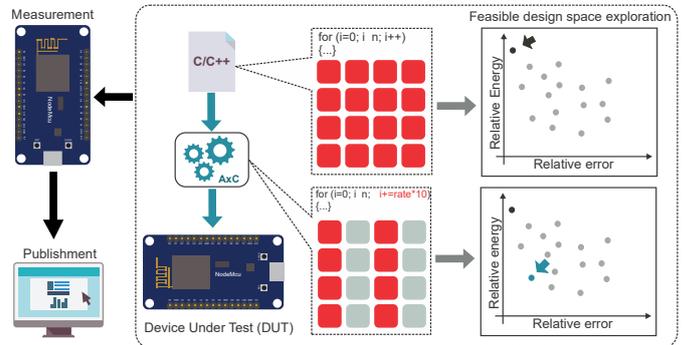


**Fig. 3:** Standard deviation of energy consumption according to input size for a matrix multiplication application over ten replicates of the experiment.

Returning to the motivational example of the matrix multiplication application explained earlier, Fig. 3 demonstrates the standard deviation for ten different repetitions. As the size of the input increases, the standard deviation also increases, growing almost exponentially. This highlights the need for an external system, such as the proposed one, to measure consumption and obtain more reliable results.

Fig. 4 shows the general idea of this project. An original code in C/C++, for a matrix multiplication, gives a design with no error and the maximum energy consumption, represented in the Pareto front plot. Each gray dot represents a possible approximation inserted to save energy. When applying a loop perforation by a specific rate, the run

flow will skip some iteration to save energy, introducing acceptable error in the application and also improving the efficiency, represented by the green dot in Fig. 4. Since other NodeMCU-ESP8266 will be used, for real energy consumption, we can publish on web the measurements.



**Fig. 4:** General diagram and data flow of the whole project exemplifying the usage of loop perforation to improve energy efficiency.

**III. EXPECTED RESULTS AND FINAL CONSIDERATIONS**

After collecting experimental data, descriptive statistics can be used to describe and graphically present interesting aspects of the dataset. These aspects include measures that indicate, for example, where the data are placed on a scale and how concentrated or dispersed the dataset is [5]. In this sense, by the next months, we expect to have a measurement system and analyze the impact of approximations in an embedded system. As far as we know, many researchers have explored energy-efficient with approximate computing in IoT nodes based on FPGAs and ARM architecture, and our proposal has not been explored yet.

**REFERENCES**

- [1] M. Alioto, V. De, and A. Marongiu, "Energy-quality scalable integrated circuits and systems: Continuing energy scaling in the twilight of moore's law," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, vol. 8, pp. 653-678, 2018.
- [2] N. E. Jerger and J. S. Miguel, "Approximate computing," *IEEE Micro*, vol. 38, pp. 8-10, 2018.
- [3] A. Aponte-Moreno, A. Moncada, F. Restrepo-Calle, and C. Pedraza, "A review of approximate computing techniques towards fault mitigation in hw/sw systems," in *2018 IEEE 19th Latin-American Test Symposium, LATS 2018*, vol. 2018-Janua, 2018, pp. 1-6.
- [4] J. Castro-Godínez, M. Shafique, and J. Henkel, "Ecax: Balancing error correction costs in approximate accelerators," *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, vol. 18, 10 2019.
- [5] P. R. C. Wohlin, M. H. Ohlsson, M. C. Bjorn Regnell ost, and A. Wesslén, *Experimentation in Software Engineering*. Elsevier, 2013, vol. 1.
- [6] L. M. Miranda, "Llvm-act: uma ferramenta baseada em profiling para seleção de técnica de computação aproximada," Master's thesis, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2022.
- [7] L. O. P. dos Reis, "Targeting broad software approximations with the accept framework: Ampliando aproximações em software com o framework accept," Master's thesis, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação, Campinas, SP, 2021.
- [8] M. R. Guthaus, J. S. Ringenberg, D. Ernst, T. M. Austin, T. Mudge, and R. B. Brown, "Mibench: A free, commercially representative embedded

benchmark suite,” in *Proceedings of the Workload Characterization, 2001. WWC-4. 2001 IEEE International Workshop*, ser. WWC '01. USA: IEEE Computer Society, 2001, p. 3–14.

# Cidades Inteligentes: Energia e Sustentabilidade

## *Smart Cities: Energy and Sustainability*

Beatriz de Barros Brito<sup>1</sup>, Stefani Carolline Leal de Freitas<sup>1</sup>, Kathy Camila Cardozo Osinski Senhorini<sup>1</sup> e Jadiel Caparros da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Curso de Engenharia Elétrica, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 01/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 30/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**— À medida que a população cresce, surgem desafios significativos que enfrentaremos nos próximos anos, especialmente para governos, empresas e universidades. Entre esses desafios, o crescimento populacional nas áreas urbanas se destaca, causando preocupação em relação ao futuro dos recursos energéticos. O desenvolvimento sustentável depende cada vez mais de uma gestão eficiente que englobe as dimensões econômica, social e ambiental. Para alcançar esse objetivo, os setores público e privado estão investindo em tecnologias e outros recursos, buscando implementar o conceito de cidade inteligente. Embora o termo "cidade inteligente" seja amplamente utilizado, ainda não existe um consenso geral sobre seu significado. No entanto, há certa unanimidade em dizer que essas cidades são caracterizadas pelo uso generalizado de tecnologias de informação e comunicação (TIC), que auxiliam as cidades a aprimorar o uso de seus recursos em diversos domínios urbanos. O presente artigo almeja realizar uma concisa introdução ao conceito de cidade inteligente, estabelecendo uma relação intrínseca com a energia e a sustentabilidade, haja vista a relevância que essa temática assume na sociedade contemporânea. Ademais, serão apresentadas algumas das principais cidades nos continentes, bem como no contexto brasileiro, destacando as razões que as qualificam como cidades inteligentes.

**Palavras-chave**— Cidades inteligentes, Energia, Sustentabilidade.

**Abstract**— With population growth come significant challenges that we must address in the coming years, especially for governments, businesses, and universities. Among these challenges, population growth in urban areas stands out as a cause for concern about the future of energy resources. Sustainable development increasingly depends on effective management that encompasses economic, social and environmental dimensions. To achieve this goal, the public and private sectors are investing in technologies and other resources in an attempt to implement the smart city concept. Although the term "smart city" is widely used, there is not yet a general consensus on its meaning. However, there is some agreement that these cities are characterized by the widespread use of information and communication technologies (ICTs), which help cities improve the use of their resources in various urban areas. This article aims to provide a brief introduction to the concept of smart city, establishing a close relationship with energy and sustainability, given the importance of this issue in today's society. It also presents some of the most important cities in the continents, as well as in the Brazilian context, highlighting the reasons that qualify them as Smart Cities.

**Keywords**— Smart Cities, Energy, Sustainability, Development.

## I. INTRODUÇÃO

As cidades são sistemas complexos que abrigam uma grande população, empresas, meios de transporte, redes de comunicação, serviços e infraestrutura. O crescimento populacional e a urbanização apresentam desafios técnicos, sociais, econômicos e organizacionais que afetam a sustentabilidade econômica e ambiental das cidades [1].

Atualmente, as áreas urbanas abrigam cerca da metade da população mundial, resultando em uma pressão significativa

sobre diversos aspectos da vida nas cidades. Alguns fatores críticos incluem resíduos, tráfego, energia, água, educação, desemprego, saúde e criminalidade. Especificamente em relação à energia, as cidades consomem uma quantidade substancial, representando mais de 75% da produção mundial, além de serem responsáveis por 80% das emissões de gases de efeito estufa [2]. Nesse contexto, a busca por soluções tecnológicas sustentáveis e debates sobre o conceito de "Cidades Inteligentes" tornaram-se fundamentais para garantir o desenvolvimento adequado das áreas metropolitanas e a melhoria da qualidade de vida dos habitantes.

Diversos autores têm utilizado a expressão "Cidades Inteligentes" para se referir à capacidade de implementar e

utilizar tecnologias no ambiente urbano. Apesar do termo “Cidade Inteligente” ser amplamente utilizado, de acordo com Neirotti [1], “ainda não há, de fato, um consenso geral sobre o significado do termo Cidade Inteligente ou quais são seus atributos descritivos. No entanto, há um amplo consenso sobre o fato de que elas são caracterizadas pelo uso generalizado de tecnologias de informação e comunicação (TIC).

O conceito de cidades inteligentes foi a inspiração para o surgimento de diversos temas relacionados, como os *Smart Buildings*, que se concentram no desenvolvimento de práticas sustentáveis para a construção de imóveis, e as *Smart Grids* que são reconhecidas por estabelecer sistemas de rede elétrica de maneira sustentável, econômica e confiável.[3]

No âmbito do plano de desenvolvimento sustentável, destaca-se a discussão sobre as questões relacionadas à energia e ao desperdício de recursos naturais. Além disso, a amplitude do tema energético revela uma estreita conexão com os setores econômicos e sociais, evoluindo constantemente devido aos avanços científicos e tecnológicos. Nesse cenário, as cidades inteligentes têm o potencial de oferecer diversas soluções e serviços para enfrentar esse desafio.

Uma questão relevante no contexto energético diz respeito à crescente demanda por energia elétrica. Inicialmente, essa demanda pode ser atenuada pelo aumento da capacidade de geração de energia, entretanto, essa abordagem acarreta implicações significativas, devido à predominância de fontes de energia não renováveis na matriz energética global. Essa situação tem estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de fontes de energia renovável e ambientalmente mais limpas. De acordo com Yushchenko [4], em vez de simplesmente aumentar a capacidade de geração de energia, uma estratégia mais eficaz é promover a eficiência energética. Com esse objetivo em mente, tanto agências governamentais quanto empresas de distribuição de energia têm implementado programas de eficiência energética nos últimos anos. Esses programas visam incentivar a adoção de comportamentos e práticas conscientes no consumo de energia elétrica, oferecendo soluções para reduzir o desperdício.

Considerando o que foi previamente discutido, são diversas as vantagens intrínsecas às cidades inteligentes. Nesse contexto, o objetivo inicial deste estudo é conduzir uma revisão bibliográfica acerca das cidades inteligentes, com ênfase nas áreas da eletricidade, telecomunicações e sustentabilidade. Além disso, esta pesquisa visa realizar uma investigação das classificações das principais cidades inteligentes, tanto em âmbito mundial quanto no contexto brasileiro, na atualidade.

## II. CIDADES INTELIGENTES NO MUNDO

Com o objetivo de estabelecer um *Ranking* que identifique as cidades mais inteligentes em cada continente, o Mobilize, portal brasileiro inteiramente dedicado ao tema da mobilidade urbana sustentável, utiliza o método do climatologista Boyd Cohen [5]. Esse método considera diversos aspectos que caracterizam uma cidade como inteligente, de forma que as informações são organizadas em seis áreas principais e, posteriormente, é realizada uma análise cruzada dos dados. O método levou em consideração: (1) o status econômico; (2) a população; (3) o meio ambiente; (4) o governo, (5) a

mobilidade; e (6) a qualidade de vida.

Neste estudo observa-se dentre os exemplos externos de cidades inteligentes, a liderança dos continentes europeu e asiático. Ao discutir objetivamente as cidades destacadas nos *Rankings* mencionados, é crucial destacar a cidade de Barcelona, na Espanha, como líder no tema [6]. O autor lista diversas razões que corroboram essa posição, tais como: um sistema de transporte por ônibus interligado; um sistema de compartilhamento de bicicletas; um método de coleta subterrânea de lixo por sucção a vácuo, com lixeiras equipadas com sensores que monitoram a quantidade de resíduos depositados; iluminação pública baseada em lâmpadas LED de alta tecnologia; e a adoção de fontes de energia renováveis [7].

Destaca-se também nesse contexto, Copenhagen, capital da Dinamarca, que tem planos de implementar uma rede de iluminação inovadora baseada em tecnologia LED e conectividade sem fio. Esse projeto tem como finalidade não apenas aumentar a segurança nas ruas da cidade, mas também reduzir o consumo energético e melhorar a experiência dos motoristas. Com o objetivo de se tornar uma capital neutra em emissão de carbono, Copenhagen estabeleceu a meta ambiciosa de atingir a neutralidade de gases de efeito estufa até o ano de 2025 [8].

Em relação ao continente asiático, Japão, China, Coreia do Sul, Emirados Árabes Unidos e a Índia, são as que mais investem na criação de cidades inteligentes. Pode-se citar como exemplo de desenvolvimento de cidades inteligentes em construção, o caso de Songdo, localizada na Coreia do Sul. Nessa cidade, tudo está interligado à Internet, e até mesmo as garrafas pet possuem sensores para identificar se os moradores estão descartando o lixo no recipiente de reciclagem correto. Outro exemplo é a cidade de Masdar, em Abu Dhabi, nos Emirados Árabes, que está implementando painéis de energia solar para armazenar e gerar eletricidade para toda a cidade. Além disso, estão sendo implantados sistemas de transporte público com ônibus e carros elétricos. Essas iniciativas integradas demonstram o avanço na busca por soluções sustentáveis e tecnológicas [9].

Anualmente, o IMD (International Institute for Management Development), elabora o IMD Smart City Index, o principal *Ranking* mundial das cidades que estão adotando um modelo de futuro sustentável, eficiente e interconectado em benefício de seus habitantes. Na Tabela 1 é possível observar as dez melhores cidades inteligentes do mundo de acordo com esse *Ranking* [10].

**TABELA 1:** RANKING DAS CIDADES MAIS INTELIGENTES.

POSIÇÃO	CIDADES INTELIGENTES	PAÍS
1	Singapura	Singapura
2	Zurique	Suíça
3	Oslo	Noruega
4	Taipei	Taiwan
5	Lausanne	Suíça
6	Helsinque	Finlândia
7	Copenhagen	Dinamarca
8	Genebra	Suíça
9	Auckland	Nova Zelândia
10	Bilbao	Espanha

No Brasil, o progresso no desenvolvimento de cidades inteligentes ainda está em estágios iniciais. Essa situação não ocorre por acaso, uma vez que é possível observar a pouca infraestrutura tecnológica na maioria das cidades do país. Essa carência afeta a implementação de soluções inteligentes e inovadoras, dificultando a criação de ambientes urbanos mais conectados e eficientes. No entanto, é importante ressaltar que existem iniciativas e projetos em andamento visando superar esses desafios e impulsionar o avanço das cidades inteligentes no Brasil. A conscientização sobre a importância dessas tecnologias e o investimento em infraestrutura adequada são passos cruciais para viabilizar um progresso significativo nesse sentido.

A cidade de Curitiba, amplamente reconhecida como a capital ecológica do Brasil, desponta como um notável exemplo nacional no que tange à sua preocupação com a preservação do meio ambiente. Curitiba está entre as vinte e uma cidades mais inteligentes do mundo, segundo o Intelligent Community Forum (ICF) de 2023, uma organização sem fins lucrativos com sede no Canadá, cujas pesquisas se concentram predominantemente nas políticas relacionadas a comunidades inteligentes [11]. Desde a década de 1970, esta cidade tem sido internacionalmente reconhecida como um modelo global de transporte, urbanização e respeito ao meio ambiente. Um dos principais elementos desse sucesso é o sistema de transporte baseado em uma extensa rede de BRT (Bus Rapid Transit), implantada em 1974. Esse sistema beneficia atualmente mais de 1,3 milhão de passageiros, proporcionando um transporte público eficiente, rápido e sustentável. A estrutura de BRT de Curitiba se destaca pela integração entre diferentes linhas, corredores exclusivos para ônibus, estações bem localizadas e planejadas, além de sistemas de pagamento simplificados [7].

Em outubro de 2017, a prefeitura do Rio de Janeiro deu um passo significativo no campo das TICs com o lançamento da plataforma Data.Rio [7]. A plataforma é um recurso fundamental para acessar dados relevantes sobre a cidade do Rio de Janeiro, fornecendo suporte para tomadas de decisão embasadas em evidências concretas. Essa plataforma representa um avanço significativo no uso estratégico das TIC, contribuindo para aprimorar a qualidade de vida dos cidadãos cariocas e impulsionar o desenvolvimento sustentável da cidade.

Com o intuito de proporcionar uma melhor compreensão das cidades brasileiras que se destacam como cidades inteligentes, a Tabela 2 apresenta a classificação das dez cidades do Brasil que obtiveram o melhor desempenho no *Ranking Connected Smart Cities* da edição de 2022 [12].

No contexto do exposto, a análise das iniciativas em cidades inteligentes desempenha um papel essencial na busca por abordagens necessárias para preservar o planeta e a espécie humana. Embora as iniciativas em cidades inteligentes sejam indispensáveis para promover práticas sustentáveis, melhorar a qualidade de vida e otimizar a gestão urbana, é importante reconhecer que desafios complexos exigem mudanças estruturais.

### III. CONCLUSÃO

Apesar dos inegáveis benefícios proporcionados pelas TICs para a sociedade contemporânea, é imprescindível

**TABELA 2:** RANKING DAS CIDADES BRASILEIRAS MAIS INTELIGENTES.

POSIÇÃO	CIDADES INTELIGENTES	ESTADO
1	Curitiba	Paraná
2	Florianópolis	Santa Catarina
3	São Paulo	São Paulo
4	São Caetano do Sul	São Paulo
5	Campinas	São Paulo
6	Brasília	Distrito Federal
7	Vitória	Espírito Santo
8	Niterói	Rio de Janeiro
9	Salvador	Bahia
10	Rio de Janeiro	Rio de Janeiro

destacar que a concepção e implementação de cidades inteligentes não se restringem meramente à adoção de soluções tecnológicas. A verdadeira essência de uma cidade inteligente transcende o âmbito tecnológico, demandando uma abordagem abrangente que leve em consideração diversos aspectos interdependentes, como o bem-estar dos indivíduos, a preservação do meio ambiente e a efetiva gestão pública, entre outros fatores.

Portanto, é crucial promover um diálogo amplo e inclusivo, envolvendo diversos setores da sociedade, a fim de explorar diferentes perspectivas e buscar soluções integradas. Além das iniciativas em cidades inteligentes, é necessário avaliar criticamente o sistema existente e considerar alternativas que abordem as causas fundamentais dos problemas enfrentados.

### REFERÊNCIAS

- [1] P. Neirrotti, A. De Marco, A. C. Cagliano, G. Mangano, and F. Scorrano, "Current trends in smart city initiatives: Some stylised facts," *Cities*, vol. 38, pp. 25–36, 2014.
- [2] Á. C. Depiné *et al.*, "Fatores de atração e retenção da classe criativa: o potencial de Florianópolis como cidade humana inteligente," 2016.
- [3] G. A. Rizzardi *et al.*, "Monitoramento de energia elétrica em residências no ambiente de cidades inteligentes," 2020.
- [4] A. Yushchenko and M. K. Patel, "Cost-effectiveness of energy efficiency programs: How to better understand and improve from multiple stakeholder perspectives?" *Energy Policy*, vol. 108, pp. 538–550, 2017.
- [5] B. Cohen, "The smartest cities in the world 2015: Methodology," *Fast Company*, vol. 11, no. 20, p. 2014, 2014.
- [6] M. P. Cohen, "Cities in times of crisis. the response of local governments in light of the global economic crisis: the role of the formation of human capital, urban innovation and strategic planning," Working Paper, Tech. Rep., 2011.
- [7] B. L. M. Manzolillo, "A experiência com cidades inteligentes no Brasil e no mundo: Visões de um futuro para políticas públicas em planejamento urbano," *Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade*, vol. 6, no. 1, pp. 44–58, 2020.
- [8] B. S. Buckner and I. C. d. Souza, "Mobilidade urbana com segurança através da tecnologia das cidades inteligentes," 2018.
- [9] A. Lemos, "De que forma as novas tecnologias como a computação em nuvem, o big data e a IoT podem melhorar a condição de vida nos espaços urbanos," *GV executivo*, vol. 12, no. 2, pp. 46–49, 2013.
- [10] Telefônica. (2023) The ten smartest cities in the world. Tomado de <https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/the-ten-smartest-cities-in-the-world/> (06/07/2023).
- [11] I. C. Forum. (2023) The smart21 communities of the year. Tomado de <https://www.intelligentcommunity.org/smart21> (09/09/2023).

- [12] C. S. Cities. (2022) Ranking connected smart cities. Tomado de [https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2022-10/relatoriorankingcsc2022.pdf](https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-10/relatoriorankingcsc2022.pdf) (06/07/2023).

# Estabilidade da atividade antioxidante e compostos bioativos da geleia de araticum (*Annona Crassiflora* Mart.) em diferentes embalagens e temperaturas

Stability of antioxidant activity and bioactive compounds of Araticum jelly (*Annona crassiflora* Mart.) in different packages and temperatures

Maria Olivia dos S. Oliveira<sup>1,2</sup>, Gabriela F. Leal<sup>2</sup> e Glêndara Aparecida de S. Martins<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Goiás, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Tocantins, Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos, Tocantins, Brasil

Reception date of the manuscript: 03/08/2023

Acceptance date of the manuscript: 23/09/2023

Publication date: 16/10/2023

**Resumo** – Frutos exóticos são alvo constante de pesquisas e estudos que comprovam sua importância cultural, nutricional e alimentar. O araticum é uma fruta sazonal, nativa do Cerrado que possui características sensoriais únicas e alto valor nutritivo, pode ser consumido *in natura* ou processados na forma de doces, geleias, entre outros. Diante disso, este estudo teve como objetivo desenvolver geleias de araticum com substituição da pectina comercial por albedo de maracujá, bem como avaliar sua estabilidade a partir da avaliação da atividade antioxidante (AA), vitamina C (VIT C), carotenoides (CAR), flavonoides (FLV) e antocianinas (ANT) durante o armazenamento em embalagens de polietileno e polipropileno, a 25 °C e 35 °C durante 130 dias. Os resultados das análises em ambas as embalagens variaram para Atividade antioxidante (IC50) 43,70-264,14 g de geleia/g de DPPH, Carotenoides 0,21-1,27 mg/100g, Vitamina C 17,38-87,87 mg/100g, Flavonoides 0,0022-0,0010 mg/100g, Antocianinas 0,0417-0,0125 mg/100g. As geleias foram influenciadas pelo tempo, temperatura e tipo de embalagem durante o armazenamento, sendo a temperatura a variável que mais interferiu na qualidade do produto. O prazo de validade das geleias armazenadas nas embalagens de polietileno e polipropileno foi de 94 dias, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Annona Crassiflora* Mart., *shelf-life*, geleia, estabilidade.

**Abstract**— Exotic fruits are a constant target of research and studies that prove their cultural, nutritional and food importance. Araticum is a seasonal fruit, native to the Cerrado, which has unique sensory characteristics and high nutritional value. Therefore, this study aimed to develop araticum jellies replacing commercial pectin with passion fruit albedo, as well as to evaluate its stability based on the evaluation of antioxidant activity (AA), vitamin C (VIT C), carotenoids (CAR), flavonoids (FLV) and anthocyanins (ANT) during storage in polyethylene and polypropylene packages, at 25 °C and 35 °C for 130 days. The results of the analyzes on both packages varied for Antioxidant activity (IC50) 43.70-264.14 g of jam/g of DPPH, Carotenoids 0.21-1.27 mg/100g, Vitamin C 17.38-87, 87 mg/100g, Flavonoids 0.0022-0.0010 mg/100g, Anthocyanins 0.0417-0.0125 mg/100g. The jams were influenced by time, temperature and type of packaging during storage, with temperature being the variable that most interfered with the quality of the product. The shelf life of jams stored in polyethylene and polypropylene packages was 94 days, respectively.

**Keywords**— *Annona Crassiflora* Mart., *shelf-life*, jams, stability.

## I. INTRODUÇÃO

É crescente o interesse dos consumidores por produtos alimentícios naturais e com propriedades funcionais, tal comportamento tem estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de novas formulações que atendam a essas demandas [1] e [2]. Diante disso, as geleias de frutas se destacam como uma opção atrativa, por ser uma maneira prática de consumir os benefícios nutricionais e antioxidantes presentes nas frutas [3].

Nesse contexto, o processamento de frutas nativas tem sido alvo constante de pesquisas e estudos, uma vez que apresentam grande importância cultural, nutricional e alimentar [1], [4], [5], [6]. O araticum (*Annona crassiflora*

Mart.) é uma fruta nativa, nativa do Cerrado, possui características sensoriais únicas, propriedades nutricionais e potencial antioxidante [4]. No entanto, sua perecibilidade e sazonalidade podem limitar seu consumo ao longo do ano. O processamento desses frutos, além de agregar valor, permite o aumento da vida útil e o consumo de produtos independente do período de colheita [6], [7].

Além disso, o processamento de frutas sob a forma de geleias comerciais requer a utilização de pectina, um componente aditivo amplamente utilizado como agente geleificante [8]. Geralmente, o uso de pectina comercial pode ser oneroso e pouco sustentável para pequenos agricultores e produtores locais.

A indústria de processamento de polpa de maracujá é responsável por um elevado teor de resíduos provenientes da operação [8]. Durante processo de separação da polpa, a

casca do maracujá é descartada, porém é nela que se encontra o albedo.

O albedo, é a camada branca interna da casca do maracujá, tem sido alvo de estudos devido à presença de substâncias como pectina, compostos antioxidantes e outros fitoquímicos benéficos à saúde [8]. Portanto, o estudo propõe a substituição da pectina comercial por albedo de maracujá.

Diante do contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver geleias de araticum com substituição da pectina comercial por albedo de maracujá, bem como avaliar sua estabilidade e a influência das embalagens de polietileno e polipropileno e a temperatura de 25 °C e 35 °C durante 130 dias sob a atividade antioxidante (AA), vitamina C (VIT C), carotenoides (CAR), flavonoides (FLV) e antocianinas (ANT).

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### a. Desenvolvimento de geleia de araticum

As polpas de araticum utilizadas no preparo das geleias foram disponibilizadas pela Cooperativa Grande Sertão, de Montes Claros - Minas Gerais, Brasil, e encaminhadas para processamento no Laboratório de Cinética e Modelagem de Processos da Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, Brasil.

Os maracujás foram adquiridos no comércio local de Palmas, Tocantins. Os frutos foram lavados em água corrente e sanitizados em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200 ppm e posterior enxágue. O epicarpo (fina camada exterior de coloração verde a amarelo) foi removido manualmente, por meio de facas. O mesocarpo ou albedo (camada de coloração branca) foi cortado para retirada da polpa (direcionada para outro experimento). O albedo foi submetido a tratamento térmico para inativação de possíveis enzimas, por imersão em água em ebulição até que sua coloração se torne translúcida [8].

Os ingredientes utilizados para a elaboração das geleias foram: polpa integral de araticum, açúcar cristal, ácido cítrico monohidratado e albedo de maracujá como fonte de pectina. Após a realização de testes preliminares [5], estabeleceu-se a seguinte formulação para geleia de araticum: 50% de polpa e 50% de açúcar, 1,5% de albedo e 0,5% de ácido cítrico, e realizou-se determinação de vida de prateleira, avaliando compostos bioativos e atividade antioxidante.

Para o preparo foram seguidas as etapas descritas no fluxograma da Figura 1. As geleias foram processadas em panela aberta de inox, inicialmente com polpa, açúcar e albedo de maracujá. O ácido cítrico foi incorporado no final do processo de cozimento para evitar a degradação da pectina devido à acidez e alta temperatura. A cozedura terminava quando a geleia atingia um teor de sólidos solúveis de 78 °Brix. Após esta etapa, ocorreu a distribuição do produto em embalagens de polietileno e polipropileno, em seguida foram submetidos ao armazenamento.

### b. Planejamento experimental da estabilidade

Para avaliação da estabilidade das geleias durante o armazenamento foi seguido um planejamento fatorial completo triplo com 2 repetições. Os fatores avaliados

foram: Embalagens de Polietileno (PE) e Polipropileno (PP) X Temperatura (25, 35°C) X Tempo de armazenamento (0, 30, 60, 75, 100 e 130 dias). Todas as amostras foram avaliadas quanto a atividade antioxidante (AA), vitamina C (VIT C), carotenoides (CAR), flavonoides (FLV) e antocianinas (ANT).

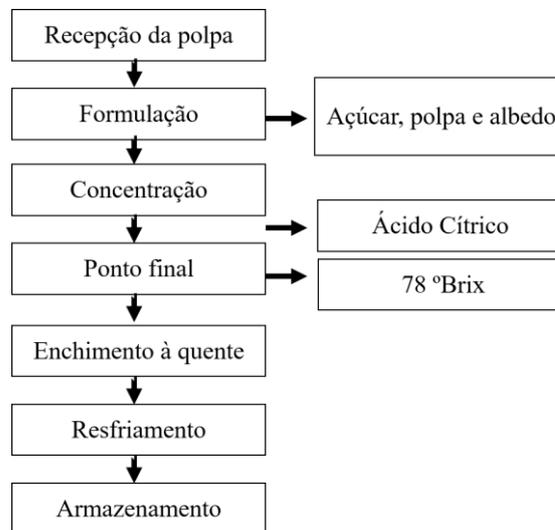


Figura 1: Fluxograma de processamento do doce em pasta de Araticum.

### c. Estabilidade de compostos bioativos e atividade antioxidante

A capacidade de eliminação de radicais livres de DPPH foi estimada a partir do método proposto por Brand - Williams e colaboradores [9] adaptado por Rufino e colaboradores [10]. Os extratos das geleias (0,1 ml) foram colocados para reagir com 3,9 ml da solução radical DPPH por 30 min em ambiente escuro. A absorbância foi medida a 515 nm contra um branco em espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800). Os resultados foram expressos em EC50 (g de geleia/g de DPPH).

O teor de vitamina C de cada geleia foi determinado pelo método colorimétrico com 2,4-dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH), conforme Strohecker e Henning [11]. O teor de ácido ascórbico foi extraído das amostras com o uso de ácido oxálico na concentração de 0,05%. A absorbância foi medida a 520 nm contra um branco em espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100g.

A determinação do teor de carotenoides totais foi realizada de acordo com o método de Higby [12]. Homogeneizou-se 10 g de amostra com 40 ml de solução extratora de álcool isopropílico:hexano (3:1). O conteúdo foi transferido para funil de separação de 125 ml, envolto em papel alumínio, ao qual foram adicionados 50 ml de água destilada. Deixou-se em repouso por 30 minutos. O conteúdo foi filtrado, utilizando-se algodão pulverizado com sulfato de sódio anidro. A absorbância foi medida a 450 nm contra um branco em espectrofotômetro digital (Rayleigh, UV-1800). Os resultados foram expressos em mg de carotenoides totais/100g.

Para a determinação de antocianinas totais e flavonoides, será seguido o método descrito por Lee e Francis [13], onde pesa-se 1,0 g da amostra, em seguida, adiciona-se 10 mL da

solução extratora etanol 95% - HCl 1,5 N na proporção 85:15; as amostras são então homogeneizadas por 1 minuto em agitador vórtex, e depois devem ser acondicionadas em frascos envoltos em papel alumínio, deixando-se descansar por uma noite em geladeira. Logo após filtra-se o material para recipiente sempre envolto com papel alumínio e as leituras são feitas para antocianinas ( $\lambda = 535$  nm) e flavonoides ( $\lambda = 374$  nm) em espectrofotômetro, com os resultados expressos em mg/100g.

#### d. Testes acelerados de vida de prateleira

Para estimar o prazo de validade foram determinados sequencialmente a ordem da reação, a constante de velocidade da reação (k), a energia de ativação e o fator de aceleração da temperatura usando dados de AA, VIT C, CAR, FLV e ANT [14]. Após determinar a ordem e as constantes de velocidade das reações, o gráfico de Arrhenius foi traçado, onde a inclinação da linha indica a razão de energia de ativação (Ea). O valor de Q<sub>10</sub> foi calculado usando a Equação 1.

$$Q_{10} = 10 \left( \frac{Ea}{0,46 \times T^2} \right) \quad (1)$$

Onde T é a temperatura média estudada em Kelvin.

#### e. Análises estatísticas

As alterações durante o armazenamento foram analisadas por meio do software SISVAR. A análise de variância foi realizada para indicar os efeitos das variáveis independentes e suas interações. A análise de regressão foi realizada para explicar as mudanças que ocorreram devido ao tempo, temperatura e embalagem. O modelo mais bem ajustado foi escolhido por meio do coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) acima de 0,5.

### III. RESULTADOS

A análise de variância (ANOVA) para as variáveis atividade antioxidante (AA), vitamina C (VIT C), carotenoides (CAR), antocianinas (ANT) e flavonoides (FLV), bem como as interações entre as variáveis independentes e dependentes são apresentadas na Tabela 1.

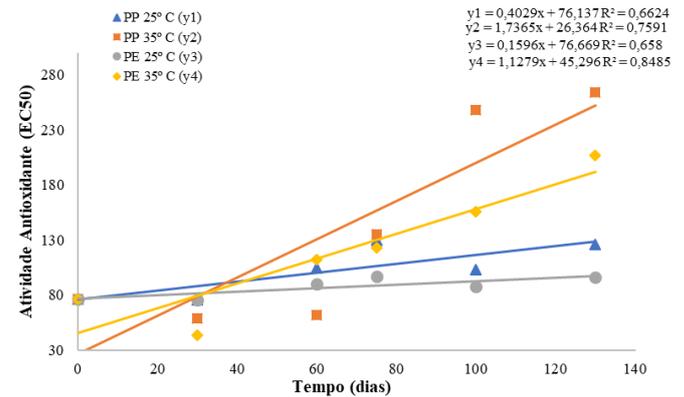
O tempo, a temperatura e a embalagem influenciaram significativamente ( $p \leq 0,05$ ) na estabilidade em todos os parâmetros avaliados (Tab. 1).

Os resultados da atividade antioxidante em ambas as embalagens oscilaram (Fig. 2). É possível observar que a atividade antioxidante diminuiu expressamente nos doces armazenados a 35°C em ambas as embalagens, de 76,53 no T0, para PP = 264,14 e PE = 206,50 g de geleia/g de DPPH, ao fim do armazenamento. A redução poderia ser explicada pela degradação de compostos bioativos termo sensíveis como antocianinas, flavonoides e ácido ascórbico em produtos submetidos a temperaturas acima de 20°C [15], [16].

**TABELA 1:** ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E COMPOSTOS BIOATIVOS DA GELEIA DE ARATICUM.

Causas de variação	Quadrado Médio das Variáveis					
	GL	AA	CAR	VIT C	ANT	FLV
<b>Tempo (t)</b>	5	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
<b>Temperatura (T)</b>	1	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
<b>Embalagem (E)</b>	1	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
<b>t x T</b>	5	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
<b>t x E</b>	5	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
<b>T x E</b>	1	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
<b>t x T x E</b>	5	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
<b>Erro</b>	0					
<b>Total corrigido</b>	23					
<b>CV (%)</b>		0,0	4,69	0,57	0,0	0,0
<b>Média Geral</b>		112,51	0,75	25,50	0,03	0,001

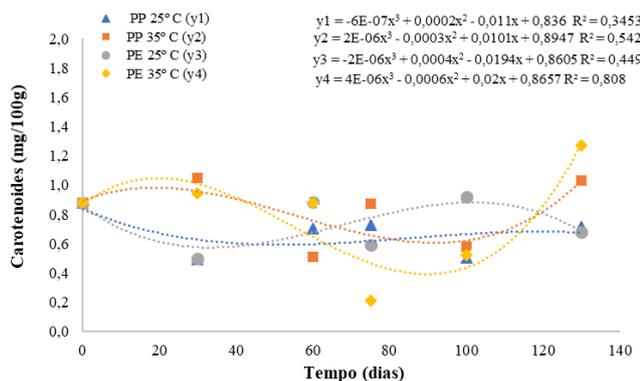
\*Significativo ao nível 5% pelo teste ANAVA.



**Figura 2:** Valores médios de atividade antioxidante da geleia de araticum durante o armazenamento. \*Embalagem polipropileno (PP) e embalagem polietileno (PE).

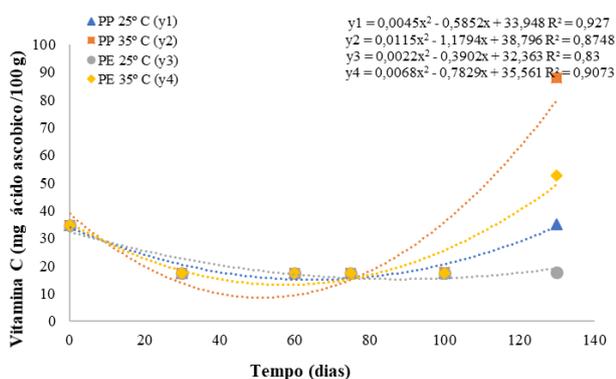
Observou-se o incremento significativo do teor de carotenoides totais nos doces armazenados a temperatura de 35°C, (Fig. 3) o que indica que eles foram concentrados em função da perda de água, corroborando com o observado por Silva et al. [17] ao avaliar o efeito da temperatura de tratamentos térmicos sobre os teores de carotenoides de polpa de araticum.

O teor de vitamina C apresentou um acréscimo durante o armazenamento em ambas as embalagens a 35°C (Fig. 4). A vitamina C é estável na presença de ácidos, o que pode justificar seu acréscimo, além do ácido cítrico adicionado a formulação, e ao acúmulo de ácidos durante o armazenamento [18], e conseqüentemente o aumento da acidez, como observado em Oliveira et al. [1].



**Figura 3:** Valores médios de carotenoides totais da geleia de araticum durante o armazenamento. \*Embalagem polipropileno (PP) e embalagem polietileno (PE).

Além disso, a sacarose apresenta um efeito conservador sob a vitamina C, devido a formação de uma camada de sacarose na superfície do produto, evitando assim a entrada de oxigênio para o interior das células e a consequente oxidação do ácido ascórbico [19].



**Figura 4:** Valores médios de vitamina C da geleia de araticum durante o armazenamento. \*Embalagem polipropileno (PP) e embalagem polietileno (PE).

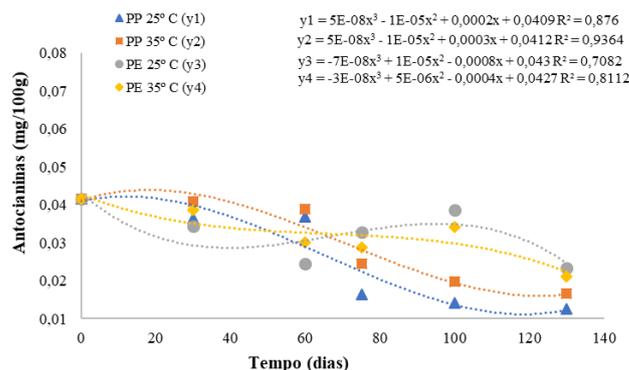
O teor de antocianinas totais reduz significativamente durante o aquecimento sob pH neutro e alcalino, o que explica um baixo teor na geleia, uma vez que o pH da polpa do araticum é 4,8 [2].

Portanto, a temperatura é um fator que afeta a estabilidade da estrutura molecular das antocianinas, de modo que com o aumento da temperatura ocorre a degradação desses compostos. Durante o armazenamento das geleias de araticum, as antocianinas apresentaram decréscimo em seu teor, reduzindo a concentração em cerca de 50% aos 130 dias, para embalagem PP e 70% na embalagem de PE.

Pesquisas atuais têm relatado que a estabilidade desses compostos está intimamente relacionada à sua estrutura química, onde a fração de açúcar é um fator importante. E ainda, que açúcares simples quando adicionados a produtos alimentícios aumentam a estabilidade de antocianinas [20].

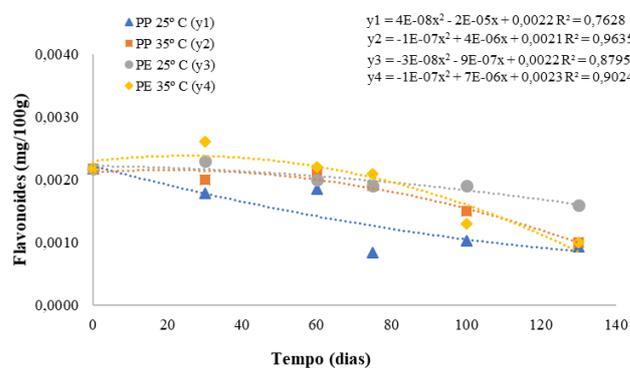
O efeito positivo do açúcar sobre a estabilidade das antocianinas pode ser devido à diminuição da atividade da água, uma vez que as moléculas de açúcar são eficazes na ligação às moléculas de água [21], [22]. E ainda, a sua interferência estérica com produtos da reação de

condensação (polimerização antocianina-fenólica) e pode ser barreira parcial ao oxigênio [19].



**Figura 5:** Valores médios de antocianinas da geleia de araticum durante o armazenamento. \*Embalagem polipropileno (PP) e embalagem polietileno (PE).

Flavonoides são um grupo de compostos fenólicos, no qual antocianinas fazem também parte, bem como flavonóis, flavonas, flavanóis, e isoflavonas E assim como as antocianinas (Fig. 6) apresentaram estabilidade durante o armazenamento, apresentando decréscimo aos 100 dias. A geleia armazenada em PE na temperatura de 25°C manteve 72% da concentração inicial até o fim do armazenamento (130 dias).



**Figura 6:** Valores médios de flavonoides da geleia de araticum durante o armazenamento. \*Embalagem polipropileno (PP) e embalagem polietileno (PE).

As geleias de araticum armazenadas em PP e PE (Fig. 7, 8 e 9), tiveram a ordem das reações e a taxa de reações de degradação dos parâmetros AA, ANT e FLV determinadas. Todos os resultados se ajustam ao modelo cinético de ordem zero, comuns em alimentos, principalmente quando há difusão, como a degradação enzimática de frutas e vegetais [1]; [23]. O efeito da temperatura na constante de velocidade da reação dos parâmetros (AA, ANT e FLV) se ajustaram ao modelo de Arrhenius [24].

Para estimar a vida de prateleira foram determinadas, sequencialmente, a ordem das reações, a constante de velocidade da reação (k), a energia de ativação e o fator de aceleração da temperatura através das variáveis que apresentaram ajuste satisfatório ao modelo de Arrhenius (AA, FLV e ANT).

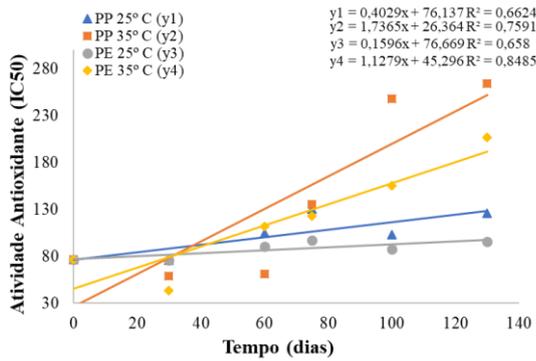


Figura 7: Modelo cinético da alteração na variável atividade antioxidante da geleia de araticum das embalagens polipropileno (PP) e polietileno (PE).

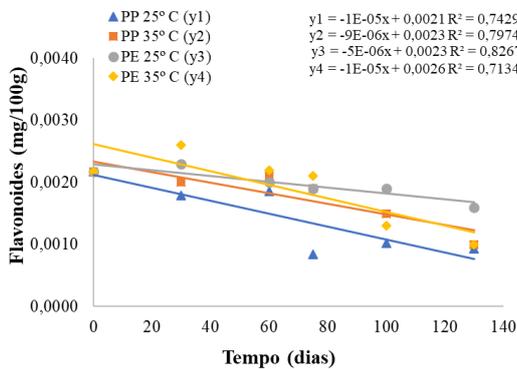


Figura 8: Modelo cinético da alteração na variável flavonoides da geleia de araticum das embalagens polipropileno (PP) e polietileno (PE).

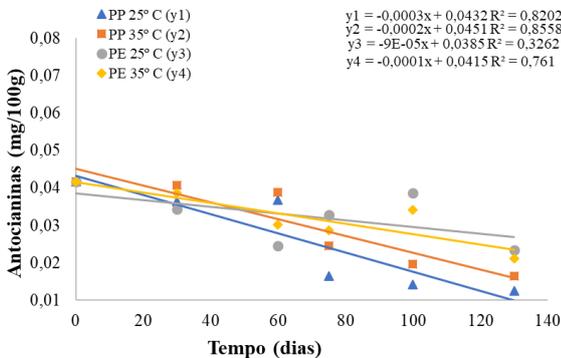


Figura 9: Modelo cinético da alteração na variável antocianinas da geleia de araticum das embalagens polipropileno (PP) e polietileno (PE).

As geleias armazenadas em PP apresentaram menores valores de energia de ativação (Tab. 2) para as variáveis AA = 29,02 Kcal/mol ( $Q_{10} = 1,02$ ), e FLV = 34,07 Kcal/mol ( $Q_{10} = 0,99$ ), quando comparados aos armazenados em PE (AA = 38,08 Kcal/mol e FLV = 45,75 Kcal/mol;  $Q_{10} = 1,02$  e  $Q_{10} = 1,00$ , respectivamente). A cada diminuição de 10 °C na temperatura de armazenamento das geleias, o prazo de validade é multiplicado pelo valor  $Q_{10}$ , com isso foi possível estimar um prazo de validade de 94 dias para geleias armazenadas em PP e PE, respectivamente.

Avaliando a influência das temperaturas na vida de prateleira, observou-se que no armazenamento a 25°C os parâmetros AA e FLV apresentaram uma estabilidade maior, quando comparados a temperatura maior de armazenamento (35°C). Comportamento contrário ao da variável ANT, que

na temperatura mais alta obteve uma maior estabilidade (35°C = 94 dias). Demonstrando que antocianinas nas geleias se apresentam mais estáveis a uma temperatura maior.

Quanto as embalagens, PE apresentou uma maior estimativa de vida de prateleira, em ambas temperaturas, se apresentando como uma excelente barreira contra a deterioração de geleias frente aos compostos avaliados. Além disso, o custo unitário da embalagem de PE é consideravelmente menor que a PP, apresentando um melhor custo-benefício a indústria e ao consumidor.

TABELA 2: ENERGIA DE ATIVAÇÃO E ESTIMATIVA DA VIDA-DE-PRATELEIRA DAS GELEIAS DE ARATICUM.

Tratamento	Atributo	Energia de Ativação ( $E_a$ ) kcal/mol	$Q_{10}$	Estimativa de vida-de-prateleira (Dias)	
				T 25 °C	T 35 °C
Geleia armazenada em embalagem de polipropileno	AA	29,02	1,02	69	46
	ANT	8,06	1,00	56	94
	FLV	34,07	0,99	70	39
Geleia armazenada em embalagem de polietileno	AA	38,8	1,02	77	65
	ANT	2,09	1,00	55	94
	FLV	45,75	1,00	70	47

#### IV. CONCLUSÃO

A embalagem de polietileno se apresentou com melhor barreira em relação as variáveis analisadas, conferindo as geleias uma maior estabilidade durante o armazenamento, acrescenta-se que o material tem um custo relativamente menor que o polipropileno.

Este estudo contribui para a valorização de frutos nativos, em especial, do araticum, possibilitando seu consumo ao longo de todo o ano. Ademais, essa iniciativa pode trazer benefícios econômicos aos pequenos agricultores que trabalham com essa fruta, ao agregar valor ao produto e abrir novas perspectivas de mercado. Por fim, o conhecimento gerado sobre a estabilidade dos compostos bioativos durante o armazenamento pode oferecer aos consumidores uma opção saudável e funcional de geleia, que mantém suas propriedades antioxidantes e nutricionais mesmo após longos períodos de armazenamento.

Diante dos resultados alcançados, espera-se que esse estudo seja um importante passo para incentivar a produção de geleias de araticum com albedo de maracujá, oferecendo uma alternativa promissora no mercado de produtos naturais e funcionais, com potencial para beneficiar tanto a indústria alimentícia quanto os consumidores preocupados com a saúde e o bem-estar.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. O. dos S. Oliveira, B. B. Dias, C. R. F. Pires, B. C. B. Freitas, A. O. de Aguiar, J. F. M. da Silva, G. A. de S. Martins, "Development of Araticum (*Annona crassiflora* Mart.) jams: evaluation of physical, microbiological, and sensorial stability in different packages". *J Food Sci Technol*. 2022;59(9):3399-3407. doi: 10.1007/s13197-021-05323-x.
- [2] A. O. Aguiar, D. D. S. Rodrigues, A. R. Souza, C. M. D. S. Soares, A. Ibiapina, A. A. D. M. Filho, G. A. S. Martins, M. O. S. Oliveira. "Use of passion fruit's albedo as a source of pectin to produce Araticum (*Annona crassiflora* Mart.) Preserves", *Chem Eng* 75:223–228, 2019 doi.org/10.3303/CET1975038
- [3] J. Vukoja, A. Pichler, M. Kopjar, "Stability of anthocyanins, phenolics and color of tart cherry jams", *Foods*, 8(7): 255, 2019.
- [4] H. S. Arruda, F. T. Borsoi, A. C. Andrade, Pastore, G. M., e M. R. Marostica Junior, "Scientific Advances in the Last Decade on the Recovery, Characterization, and Functionality of Bioactive Compounds from the Araticum Fruit (*Annona crassiflora* Mart.)". *Plants*, 12(7), 1536, 2023.
- [5] M. O. dos S. Oliveira, R. A. Morais, B. B. Dias, C. M. da S. Soares, J. F. M. da Silva, e G. A. de S. Martins, "Otimização e correlação sensorial de formulações de doces em pasta de Araticum (*Annona crassiflora* Mart.)", *Scientia Plena*, vol. 17, no. 8, 2021, 10.14808/sci.plena.2021.081503.
- [6] Oliveira, M.O.D.S.; Oliveira, B.B.; Morais, R.A.; Martins, G.A.d.S. Processamento de doce em pasta do araticum (*Annona crassiflora* Mart.) e viabilidade da inserção na alimentação escolar. DESAFIOS Rev. Interdiscip. Universidade Federal Tocantins 2020, 7, 87–93.
- [7] Arruda HS, Botrel DA, Fernandes RVDB, Almeida MEF (2016) Development and sensory evaluation of products containing the Brazilian Savannah fruits araticum (*Annona crassiflora* Mart.) and cagaita (*Eugenia dysenterica* Mart.). *Brazilian Journal of Food Technology* 19. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10515>
- [8] Canteri, M. H. G., de Paula Scheer, A., Ginies, C., Renard, C. M. G. C., & Wosiacki, G. (2010). Importância do tratamento térmico na casca de maracujá para extração de pectina. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 4(1).
- [9] Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, v.28, p.25-30. 1995.
- [10] Rufino, M. D. S. M.; Alves, R. E.; De Brito, E. S.; Morais, S. M.; Sampaio, C. D. G.; Pérez-Jimenez, J.; Saura-Calixto, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Embrapa Agroindústria Tropical-Comunicado Técnico (INFOTECA-E). Comunidade tecnico 127, 2007.
- [11] STROHECKER, R.; HENNING, H. M. Análisis de vitaminas, métodos comprobados. No. QP801. V5 S7e. 1967.
- [12] HIGBY, W. K. A simplified method for determination of some aspects of the carotenoid distribution in natural and carotene-fortified orange juice. *Journal of Food Science*, v. 27, n. 1, p. 42-49, 1962. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1962.tb00055.x>
- [13] LEES, D, H.; FRANCIS, F, J, LEES, D,H., FRANCIS, F J, Standardization of pigment analyses in cranberries, HortScience, Alexandria, 1972.
- [14] Heldman DR, Lund DB, Sabliov C (2018) Handbook of food engineering. CRC Press, Boca Raton, FL.
- [15] Wicklund, T. Rosenfeld, H. J., Martinsen, B. K., Sundfjør, M. W., Lea, P., Bruun, T., ... & Haffner, K Antioxidant capacity and colour of strawberry jam as influenced by cultivar and storage conditions. *Lebensmittel Wissenschaft und Technology*, v. 38, n. 4, p. 387-391, 2005.
- [16] Morais, R. A., Soares, C. M. D. S., SILVA, R. R. D., Gualberto, L. D. S., FREITAS, B. C. B. D., Carvalho, E. E. N., & Martins, G. A. D. S. (2022). Formulation and evaluation of guapeva jam: nutritional properties, bioactive compounds, and volatile compounds during storage. *Food Science and Technology*, 42.
- [17] Silva EP, Abreu WC, Gonçalves OAL, Damiani C, Vilas Boas EVB (2017) Characterization of chemical and mineral composition of marolo (*Annona crassiflora* Mart) during physiological development. *Food Science Technology* 37(1):13-18. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.0107>
- [18] Fellows PJ (2016) *Food Processing Technology: principles and practice*, 4th edn, Woodhead Publishing, Amsterdam.
- [19] Belitz HD, Grosch W, Schieberle P. *Food chemistry*. Springer Science & Business Media; 2008 Dec 21.
- [20] Kopjar, M., JAKŠIĆ, K., & PILIŽOTA, V. (2012). Influence of sugars and chlorogenic acid addition on anthocyanin content, antioxidant activity and color of blackberry juice during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(6), 545-552.
- [21] Brouillard, R., & Delaporte, B. (1977). Chemistry of anthocyanin pigments. 2. Kinetic and thermodynamic study of proton transfer, hydration, and tautomeric reactions of malvidin 3- $\beta$ -glucoside. *Journal of the American Chemical Society*, 99(26), 8461-8468.
- [22] Lewis, C.E.; Walker, J.R.L.; Lancaster, J.E. Effect of polysaccharides on the colour of the anthocyanins. *Food Chem*. 1995, 54, 315–319.
- [23] Anwar SH, Ayun SQ, Nasution IS (2019). Shelf life estimation of red dragon fruit jam using accelerated shelf life testing (ASLT) method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 365(1): 012029.
- [24] Arrhenius AS (1901) *Larobok I Teoretisk Elektroteni*, Quando & Handel, Leipzig.

# Uso da Manufatura Aditiva na criação de protótipos a partir de imagens obtidas em exames de Tomografia Computadorizada

## *Use of Additive Manufacturing in the creation of prototypes from images obtained in Computed Tomography exams*

Bianca de Barros Brito<sup>1</sup> e Warley Gramacho da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Curso de Ciência da Computação, Palmas, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 05/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 04/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**—Este trabalho apresenta a solução de impressão de órgãos, em específico o aparelho renal, em pacientes com câncer, tendo como entrada imagens de exames de Tomografia Computadorizada obtidas de uma base de dados de domínio público, que contém imagens médicas avançadas de câncer. São apresentados os passos para a construção de biomodelos desde a geração de superfícies 3D em um software médico, os ajustes em um software de modelagem 3D, em um software de fatiamento é feita a divisão de camadas e são adicionados os suportes necessário e por fim a impressão em uma Impressora FDM (Modelagem de Deposição Fundida), com filamento ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) na cor branca e verde.

**Palavras-chave**— Biomodelo, Impressão 3D, Segmentação de imagens, Simulação Cirúrgica

**Abstract**—This work presents a solution for printing organs, specifically the renal system, in cancer patients, having as input images of CT scans obtained from a public domain database, which contains advanced medical images of cancer. The steps for the construction of biomodels are presented, from the generation of 3D surfaces in a medical software, the adjustments in a 3D modeling software, in a slicing software the layers are divided and the necessary supports are added and finally the printing on an FDM Printer (Fused Deposition Modeling, with ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) filament in white and green.

**Keywords**— Biomodel, 3D printing, Image segmentation, Surgical Simulation

## I. INTRODUÇÃO

A Manufatura Aditiva (AM), também conhecida como impressão tridimensional, é um recurso que permite a criação de objetos com base nas dimensões de altura, largura e profundidade, que são fornecidos através de um modelo concebido por um software em um computador. A impressão 3D é um sistema de impressão que ocorre por AM, pois o material usado é adicionado em várias camadas de modo gradual, até que o objeto esteja completo [1].

A medicina apresenta possibilidades da utilização da AM como fabricação de próteses [2], medicamentos [3], fabricação de protótipos para auxílio no planejamento cirúrgico [4], estudos acadêmicos [5], entre outros.

Segundo [6] a combinação das técnicas de impressão 3D com as imagens obtidas em exames de Tomografia Computadorizada (TC) proporciona a reconstrução de mod-

elos tridimensionais que auxiliam médicos no diagnóstico, avaliação, estudo do caso e assegura que os especialistas definam as melhores estratégias a serem utilizadas em cirurgias, com o objetivo de que sejam menos invasivas para o paciente e que a execução do procedimento seja feita com o menor tempo possível.

Esses modelos anatômicos são criados com o uso das imagens médicas geralmente no formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), obtidas em exames de Tomografias computadorizadas, Ressonância magnética e em alguns casos, apesar de serem menos frequentes, o Ultrassom. O Protótipo também pode ser criado diretamente em software de modelagem.

A fabricação do protótipo, para que seja realizada a simulação e o planejamento cirúrgico possibilitam o entendimento das estruturas anatômicas, tamanhos e identificação de anatomias de casos complexos. A utilização desses biomodelos em procedimentos pré operatórios é cada vez mais comum em casos de fraturas [7], deformidades craniofaciais [8], cirurgias em tumores renais [9] e [10].

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

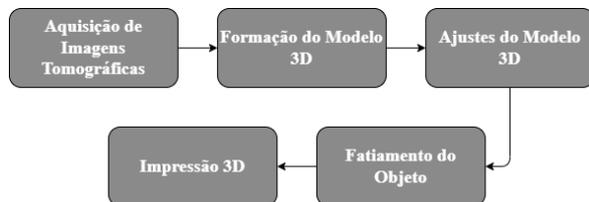
Os materiais utilizados para a fabricação dos protótipos são:

- Imagens tomográficas (domínio público);
- *software* Invesalius;
- *software* Blender;
- *software* Ultimaker Cura;
- Filamento ABS (Acrilonitrila butadieno estireno);
- Impressora 3D.

As imagens de tomográficas no formato DICOM utilizadas foram adquiridas no TCIA (*The Cancer Imaging Archive*) [11], uma base de dados de código aberto que hospeda uma grande quantidade de coleções organizadas de imagens, criada pelo NCI (*National Cancer Institute*) com a Universidade de Washington em Saint Louis, feito para apoiar pesquisas, desenvolvimento e iniciativas educacionais que utilizam imagens médicas avançadas do câncer [12].

Os equipamentos de AM utilizados para a realização da impressão dos protótipos, pertencem ao Laboratório de Tecnologias 3D (LABTEC) da Universidade Federal do Tocantins, sendo eles, as impressoras FDM (Modelagem de Deposição Fundida), desenvolvidas e fabricadas pela Sethi3D, nos modelos Sethi3D S3, S4X e os filamentos ABS.

A metodologia do presente trabalho seguirá os passos de execução apresentados no fluxograma da Figura 1.



**Figura 1:** Fluxograma de etapas da metodologia

Fonte: Autoria própria

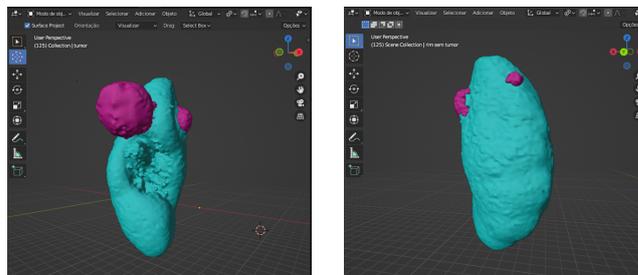
A base de imagens utilizada é chamada *Data from C4KC-KiTS* e está localizada no TCIA, nela contém imagens médicas de exames de tomografia computadorizada coletadas durante o atendimento de rotina de 210 pacientes com câncer renal que foram tratados por nefrectomia parcial ou radical [13].

Dentre os 210 pacientes foram analisadas as imagens DICOM dos exames e escolhidos três pacientes para a geração dos protótipos de acordo com a visualização mais clara do tumor, cores e menor quantidade de ruído:

- KiTS-00002 contém 969 imagens de um paciente do sexo masculino com 73 anos de idade;
- KiTS-00091 contém 994 imagens de um paciente do sexo masculino com 26 anos de idade;
- KiTS-00141 contém 794 imagens de um paciente do sexo masculino com 52 anos de idade.

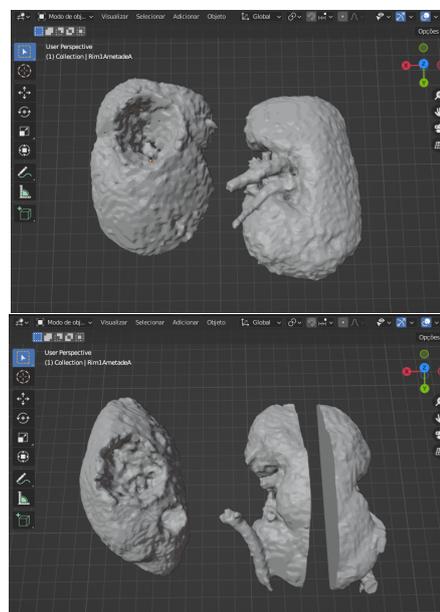
Para a formação do modelo 3D são indispensáveis a criação de máscaras no *software InVersalius*, pois são elas que permitem a seleção das áreas anatômicas que

serão utilizadas para criação dos modelos tridimensionais. A seleção das máscaras foi realizada de forma manual utilizando as ferramentas de *watershed* que possui as opções de seleção do objeto, fundo e apagar. Assim que o processo de seleção é finalizado e todas as máscaras e estejam concluídas, as superfícies 3D são criadas e exportadas para o *software Blender*, onde são corrigidos os erros ou deformações no modelo tridimensional. O modelo já ajustado é mostrado na figura 2.



**Figura 2:** Rim 3D do paciente KiTS-00141

Após a finalização dos ajustes, os modelos 3D dos órgãos foram divididos em duas ou três partes usando o modificador *boolean*. A divisão dos modelos foi realizada pois os órgãos não possuem superfície reta e dessa forma não são necessários o uso de suportes no fatiamento e impressão 3D evitando deformações nos objetos finais. Os objetos 3D após a divisão podem ser observados na Figura 3.



**Figura 3:** Vista superior no Blender dos rins do paciente KiTS-00002 após a divisão

Na etapa de fatiamento foram definidos alguns parâmetros importantes para a qualidade da impressão: 20% de preenchimento, padrão de preenchimento concêntrico, temperatura de impressão de 235.0°C, temperatura da mesa de 110.0°C, perfil de 0.15mm(normal) e filamento ABS. Na Figura 4 podem ser observados alguns modelos dos órgãos e tumores depois de fatiados na pré-visualização.

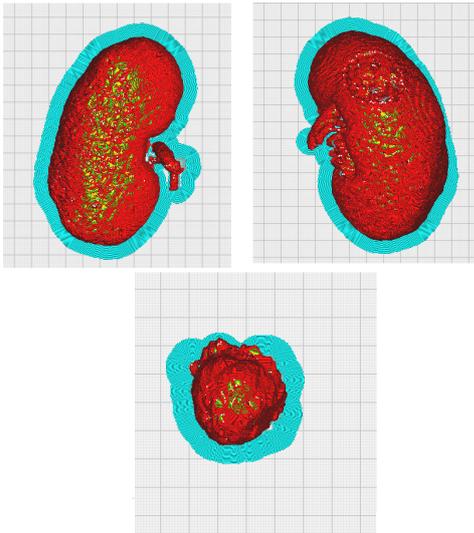


Figura 4: Modelos 3D fatiados no cura

### III. RESULTADOS

O tempo de impressão de cada rim foi em média 6 horas e de cada tumor aproximadamente 1 hora, utilizando o filamento ABS. Após o termino da impressão, as peças passaram por uma etapa de pós-processamento, no qual foram removidas as estruturas de suporte e retirados os excessos nas laterais dos modelos. Nas Figuras 5 e 6 a seguir, vê-se o resultado final de algumas impressões 3D.



Figura 5: Protótipos do rim do paciente KiTS-00091



Figura 6: Protótipos do tumor do paciente KiTS-00091

### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a impressora 3D em conjunto com softwares médicos e de modelagem 3D são ferramentas capazes de im-

primir objetos no formato de órgãos para auxiliar em ensinos acadêmicos na área da saúde trazendo melhor visualização e entendimento da anatomia humana para os estudantes. Os modelos 3D em tamanho real também possibilitam as equipes médicas definirem uma estratégia eficiente no procedimento cirúrgico com a vantagem de possuir uma visão detalhada de estruturas, órgãos e tecidos em escala real, antecipando riscos e dificuldades que serão enfrentadas posteriormente. Além disso, modelos anatômicos fabricados baseados em imagens de TC de pacientes com tumores trazem para os especialistas facilidade nos casos cirúrgicos de ressecção, observando a particularidade de cada caso e paciente.

### V. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação da Universidade Federal do Tocantins.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. M. Morandini and G. H. D. Vechio, "Impressão 3d, tipos e possibilidades: uma revisão de suas características, processos, usos e tendências," *Interface Tecnológica*, vol. 17, no. 2, 2020.
- [2] B. A. S. Coutinho, "Prótese modular de antebraço com auxílio de impressora 3d," *Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica)*, CEFET (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais), Divinópolis, Minas Gerais, Brasil, 2018.
- [3] D. G. Yu, L.-M. Zhu, C. J. Branford-White, and X. L. Yang, "Three-dimensional printing in pharmaceuticals: promises and problems," vol. 97, no. 9. Elsevier, 2008, pp. 3666–3690.
- [4] M. L. Basso, A. M. Gebran, J. D. Oliveira, K. M. Gebran, L. C. Bonatto, and M. C. K. Farah, "Impressão de protótipo tridimensional (p3d) de coração para aplicação na cardiologia pediátrica: Uma experiência inicial," *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, vol. 116, pp. 507–509, 2021.
- [5] G. E. de Aguiar Neto, C. M. F. de Oliveira, P. A. G. dos Santos, K. d. A. S. Bastos, and C. M. T. Veras, "A utilização de biomodelos em 3d no aprendizado da anatomia humana: uma experiência técnica e metodológica," *Research, Society and Development*, vol. 11, no. 14, pp. e388 111 435 207–e388 111 435 207, 2022.
- [6] B. Utiyama, C. Hernandez, T. Senra, M. Gospos, R. Sá, J. Leme, J. Fonseca, E. Drigo, T. Leão, I. Pinto *et al.*, "Construção de biomodelos por impressão 3d para uso na prática clínica: experiência do instituto dante pazzanese de cardiologia," in *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, 2014, pp. 316–9.
- [7] C. J. Mendonça, "Aplicação da tecnologia de impressão 3d no tratamento de fratura coronal do côndilo femoral," Master's thesis, Engenharia Elétrica e Informática Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Dez 2018.
- [8] J. H. Steck, R. Miquelino, A. L. G. Souza, M. d. F. Gouveia, and J. V. L. d. Silva, "Planejamento de cirurgias complexas em cabeça e pescoço-o uso de modelos tridimensionais," *Rev. bras. cir. cabeça pescoço*, pp. 171–173, 2007.
- [9] N. Wake, T. Rude, M. Stifelman, J. F. Borin, D. K. Sodickson, W. C. Huang, and H. Chandarana, "3d printed renal cancer models derived from mri data: Application in pre-surgical planning," *Abdominal Radiology*, vol. 42, no. 5, p. 1501–1509, 2017.
- [10] C. Mercader, A. Vilaseca, J. L. Moreno, A. López, M. C. Sebastián, C. Nicolau, M. J. Ribal, L. Peri, M. Costa, and A. Alcaraz, "Role of the three-dimensional printing technology in complex laparoscopic renal surgery: a renal tumor in a horseshoe kidney," *International Brazilian Journal of Urology*, vol. 45, no. 6, pp. 1129–1135, 2019.
- [11] N. C. Institute. (2013) The cancer imaging archive. Tomado de <https://www.cancerimagingarchive.net/> (01/09/2023).

- [12] K. Clark, B. Vendt, K. Smith, J. Freymann, J. Kirby, P. Koppel, S. Moore, S. Phillips, D. Maffitt, M. Pringle *et al.*, “The cancer imaging archive (tcia): maintaining and operating a public information repository,” *Journal of digital imaging*, vol. 26, no. 6, pp. 1045–1057, 2013.
- [13] N. Heller, N. Sathianathen, A. Kalapara, E. Walczak, K. Moore, H. Kaluzniak *et al.*, “Data from c4kc-kits [data set],” *The Cancer Imaging Archive*, vol. 10, 2019.

# Modelagem e Impressão 3D do Mapa Tátil do Estado do Tocantins para Alunos com Deficiência Visual

## *3D Modeling and Printing of the Tactile Map of the State of Tocantins for Students with Visual Impairments*

Arthur Silva Souza<sup>1</sup> e Warley Gramacho da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Curso de Ciência da Computação, Palmas, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 06/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 01/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**— Diante das dificuldades encontradas no dia a dia das pessoas com deficiência visual, as diversas áreas de estudo podem ser utilizadas em prol de tornar os ambientes inclusivos, por meio de recursos de Tecnologia Assistiva. Desta forma, este projeto propõe a combinação das técnicas de Cartografia Tátil com modelagem e impressão tridimensional, para a produção de mapas táteis do estado do Tocantins através de impressoras 3D, mostrando que a combinação dessas técnicas pode ser uma alternativa para a fabricação de materiais didáticos táteis voltados para alunos com deficiência visual. A proposta deste trabalho consiste em produzir três diferentes versões do mapa do Estado: a primeira que delimita o território do Estado, outra versão indicando também as fronteiras dos municípios, e a terceira versão, que além de delimitar o território dos municípios, indicam também as regiões do Tocantins em objetos separados em tamanho proporcional, de forma que quando se encaixem, formem o mapa do Estado completo. Esses materiais são úteis para que os alunos com deficiência visual consigam estudar a geografia do Estado, uma disciplina que frequentemente utiliza imagens para proporcionar o entendimento do conteúdo, porém através de um material que cria uma representação tátil baseada nessas imagens, tornando assim o ambiente de aprendizado inclusivo, através de um material adaptado que pode ser utilizado por todos os alunos.

**Palavras-chave**— Inclusão Educacional, Modelagem e Impressão Tridimensional, Cartografia Tátil, Tecnologia Assistiva, Deficiência Visual

**Abstract**— *In the face of the obstacles faced in the daily lives of people with visual impairments, many study fields can be used to make environments inclusive through the use of Assistive Technology resources. Therefore, this project proposes the combination of Tactile Cartography techniques with three-dimensional modeling and printing to produce tactile maps of the Brazilian state of Tocantins using 3D printers, demonstrating that the combination of these techniques can be an alternative for the production of tactile educational materials for visually impaired students. The aim of this work is to produce three different versions of the state map: the first version delineating the state's territory, another version indicating the boundaries of municipalities, and the third version, which not only delineates the municipalities' territories but also indicates the regions of Tocantins as separate objects in proportional sizes, so that when they are assembled, they form the complete state map. These materials are useful for visually impaired students to study the geography of the state, a subject that often relies on images to convey content understanding. However, through a material that creates a tactile representation based on these images, the learning environment becomes inclusive, providing an adapted resource that can be used by all students.*

**Keywords**— *Educational Inclusion, Three-Dimensional Modeling and Printing, Tactile Cartography, Assistive Technology, Visual Impairment*

## I. INTRODUÇÃO

É importante ponderar sobre o termo utilizado como modo de tratamento, para evitar expressões que carregam preconceito, e apesar de não haver uma expressão

definitiva, a que é mais utilizada atualmente é "pessoa com deficiência", termo adotado pela ONU e que está presente no documento da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência [1]. Entende-se por deficiência visual, uma perda total ou parcial da visão, que pode ser adquirida ao longo da vida ou desde o nascimento [2], e segundo a Organização Mundial da Saúde [3], atualmente existem 2,2 bilhões de pessoas com deficiência visual no mundo. Já no Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no

Dados de contato: Arthur Silva Souza, arthursilvasouza98@gmail.com

censo mais recente (feito em 2010), a deficiência visual estava presente em cerca de 6,5 milhões de pessoas no país, sendo que 23.803 delas vivem no Tocantins [4]. O número elevado de pessoas com deficiência ao redor do mundo reforça a importância de projetos de inclusão voltados à este público, logo, o tema tem sido discutido nos últimos anos em busca do desenvolvimento de recursos que proporcionam inclusão.

No ambiente escolar, pessoas com deficiência visual podem passar por impactos nos resultados educacionais, e o ensino da Geografia pode ser desafiador para estudantes com deficiência visual, pois não é possível ensinar apenas descrevendo ou verbalizando o conteúdo, porém uma possível solução para esse desafio é a Cartografia Tátil [5], um dos recursos de Tecnologia Assistiva que consiste em adicionar relevo aos mapas, podendo incluir legendas em Braille, para complementar a descrição dos locais que representam. Assim, um novo método de ensino que abrange à todos os estudantes é aplicado, proporcionando a inclusão no ambiente educacional [6].

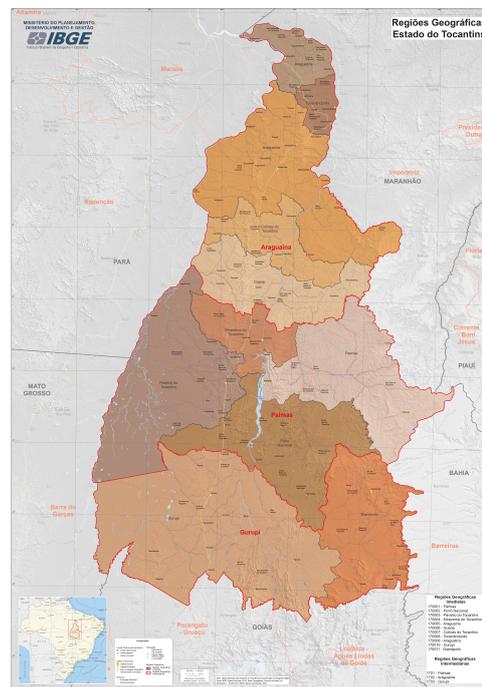
Nos últimos anos, as técnicas de Manufatura Aditiva, popularmente conhecidas como Impressão Tridimensional estão sendo frequentemente aplicadas na produção de mapas táteis. Essas técnicas possibilitam a fabricação de objetos através de uma impressora 3D, que irá construir cada camada do objeto até fabricá-lo por completo a partir de modelos tridimensionais produzidos digitalmente em um *software* de modelagem 3D [7]. Portanto, a proposta deste trabalho consiste na elaboração do modelo tridimensional do mapa do estado do Tocantins, para fabricá-lo em uma impressora 3D e analisar a sua eficiência como um material didático para o ensino da geografia do Tocantins, afirmando que as técnicas de modelagem e impressão 3D são uma alternativa para a produção de mapas táteis que garantem inclusão aos estudantes do Estado[6].

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção do modelo do mapa, foram tidos como referência a imagem do mapa do Tocantins e os dados relacionados ao Estado, encontrados no site do IBGE [8], através da imagem é possível definir a divisão das 11 regiões geográficas do Estado e seus municípios, possibilitando a delimitação dos territórios através do relevo e manipular o modelo de acordo com as especificações de cada uma das seguintes versões do modelo tridimensional do mapa:

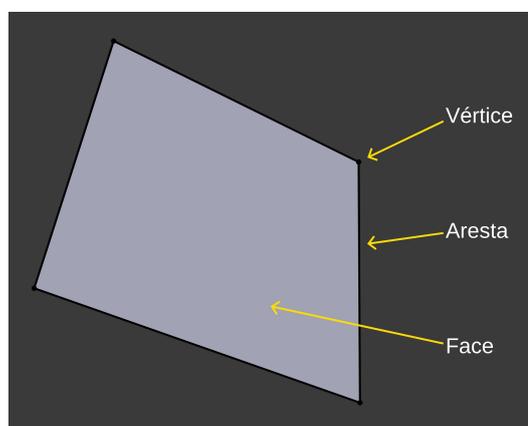
- Versão 1: Não indica as fronteiras dos municípios, contendo apenas o formato do Estado;
- Versão 2: Contém o relevo, que representa as fronteiras de todos os 139 municípios que compõe o estado do Tocantins[9];
- Versão 3: Contém detalhes no mapa, além dos relevos representando as fronteiras entre os municípios, divide as regiões geográficas imediatas [8] separadas em peças, de tamanho proporcional, para que juntas formem uma espécie de quebra-cabeças do mapa completo, que possui indicações em Braille para cada município e é acompanhando da legenda feita em escrita convencional e também em Braille, contendo o nome completo dos

municípios e das regiões associadas aos sinais em Braille que estão presentes na superfície do mapa;



**Figura 1:** Mapa do Estado do Tocantins e suas Regiões Geográficas [8]

No processo de modelagem tridimensional, o "Blender" foi o *software* escolhido para criar a representação tridimensional dos objetos, um *software open source* lançado em 2002 [10], que oferece diversas funcionalidades e está disponível nas principais plataformas (Linux, macOS e Windows) [11]. No "Blender", ao iniciar a modelagem de qualquer peça, começa-se adicionando um objeto inicial em formato geométrico, e para entender como o processo de modelagem funciona é preciso ressaltar, que a malha de todo objeto representado tridimensionalmente no "Blender" é composta por vértices, arestas e faces [12], e o processo de modelagem consiste na manipulação desta estrutura, modificando as posições e os tamanhos desses atributos no modo de edição.



**Figura 2:** Estrutura da malha da representação tridimensional de um objeto [12]

O objeto geométrico adicionado foi um pequeno quadrado

plano, este objeto é localizado em uma determinada linha da fronteira presente na imagem do mapa do Estado utilizada como base. Para criar as fronteiras no modelo de acordo com a imagem adquirida através do IBGE [8], foram utilizados apenas vértices durante o processo de modelagem. Desta forma, no modo edição, a parte do quadrado que não é utilizada foi removida, deixando apenas as arestas inferiores e seguindo com o processo estendendo os vértices nos eixos x e y, criando novas arestas no modelo, que contornam as fronteiras do mapa até que o formato do Estado esteja completo.

Para criação das outras versões do modelo do mapa, o mesmo processo de estender os vértices nos eixos x e y foi feito para criar a representação de todos os 139 municípios. Por fim, as arestas foram selecionadas para criar a face que representa cada município individualmente, e posteriormente estendidas no eixo z, adotando um critério de que cada município não possua a mesma altura dos seus adjacentes presentes na mesma peça, desta forma foi criado o relevo que representa os territórios dos municípios do Estado, podendo ser manipulado para realizar a divisão seguindo o critério das regiões geográficas do Tocantins fornecido pelo IBGE [8].

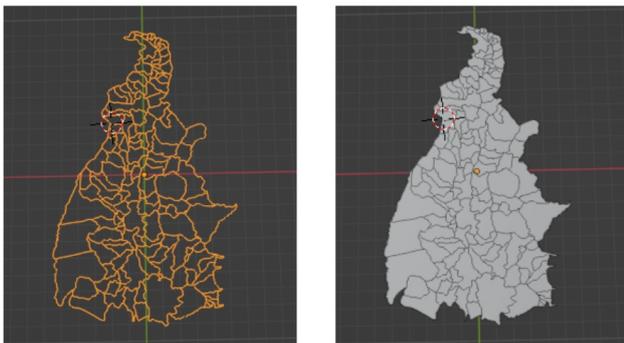


Figura 3: Delimitação do território dos municípios.

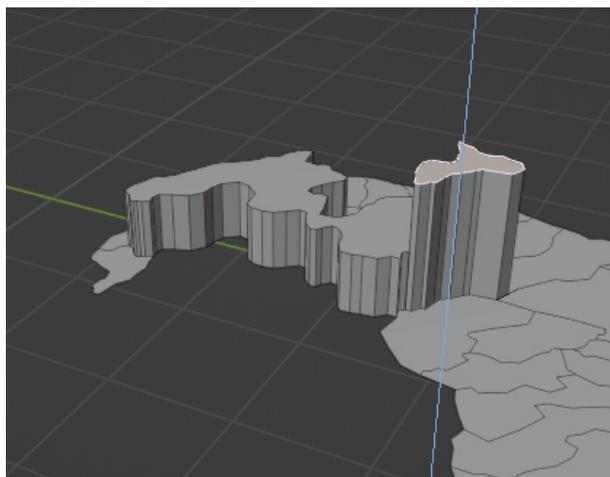


Figura 4: Estendendo no eixo z para criar o relevo

Para a elaboração do mapa, é necessário incluir o nome das cidades, porém o tamanho do mapa não permite implementar os nomes completos em Braille diretamente no modelo, então é necessário criar uma forma de representação que ocupe um espaço menor para ser adicionado no mapa, possibilitando a identificação dos municípios com o auxílio de uma legenda, segundo o critério orientado por Loch[13].

Uma solução pensada para solucionar o problema de espaço, são utilizados apenas dois caracteres, atribuindo uma letra para cada uma das regiões e outra letra para os municípios, de forma que cada um tenha uma combinação que não se repete em outro local do mapa, desta forma, também é possível identificar a região pelo primeiro caractere presente na combinação, e para identificá-las, é utilizada uma legenda que contém a combinação dos dois caracteres e o nome completo do município correspondente[13]. Na tentativa de encontrar um tipo de relevo ideal para o braille, a forma geométrica escolhida para iniciar a modelagem do relevo no "Blender" foi um cilindro, que teve as suas arestas replicadas duas vezes no eixo z para baixo e a escala é aumentada para criar uma base que fixa o cilindro na superfície, assim como na figura 5:

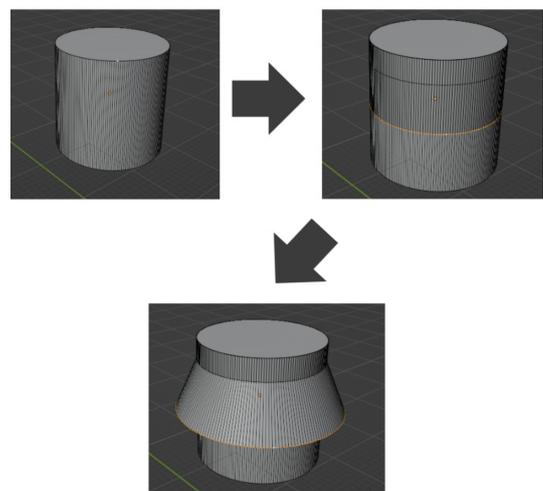


Figura 5: Processo de Modelagem do Braille

Para determinar a distância exata entre os relevos dos caracteres, foi utilizado o modificador "Array", ferramenta disponível no "Blender" que permite replicar um determinado objeto e definir uma distância exata e uniforme entre cada um [12], e com a distância de 1,45mm entre os dois relevos no eixo x e 1,60mm entre cada um dos três relevos no eixo y, os relevos ficaram legíveis. A partir disso, o "Array" é utilizado novamente para replicar o conjunto matricial de acordo com a quantidade de caracteres, numa distância de 1,5mm no eixo x entre cada conjunto. Assim, os relevos que não serão utilizados são removidos, criando o formato dos caracteres de acordo com o alfabeto em Braille presente no documento da Grafia Braille da Língua Portuguesa [14]. Ao formar o conjunto de letras desejado, é definida a escala ideal de 0.242257mm nos eixos x, y e z no "Blender" para os caracteres em Braille. Desta forma o modelo aprovado pela Central de Acessibilidade e Educação Inclusiva (SASSP) da UFT, e foi implementado no modelo tridimensional do mapa no "Blender".

A legenda que faz a correlação entre a combinação de caracteres presentes na superfície do mapa e os nomes completos dos municípios permite a compreensão detalhada das informações das quais o mapa fornece[15] foi produzida com o auxílio da Central de Acessibilidade e Educação Inclusiva (SASSP) da UFT, utilizando uma impressora Braille e o *software* "Braille Fácil", responsável por realizar

a conversão do texto convencional para o Braille.

O processo de impressão das peças tridimensionais se inicia com a definição do tamanho, e o fatiamento de cada objeto através do "Ultimaker Cura", *software* de fatiamento que cria o arquivo G-code que armazena o conjunto de instruções para a impressora fabricar cada objeto. Para a fabricação da terceira versão do mapa foi necessário aumentar o tamanho. Então, para aumentar o tamanho das peças e manter a proporção de forma que ainda pudessem se encaixar, todas tiveram o seu tamanho original multiplicado por 3,8704mm eixo x, lembrando que no "Ultimaker Cura", o escalonamento em um dos eixos, muda o escalonamento nos eixos x e y. Porém desta forma foi necessário subdividir algumas regiões para tornar viável a fabricação das peças.



**Figura 6:** Resultado Impresso do Braille implementado diretamente no mapa

A execução deste trabalho, foi realizada no LabTec, laboratório da UFT responsável por desenvolver projetos ligados a impressão 3D dentro da Universidade Federal do Tocantins, que conta com os equipamentos e as impressoras 3D FDM (*Fused Deposition Modeling*), utilizados para a fabricação das peças que compõe este trabalho. FDM, ou em português: modelagem de deposição fundida, é o método de impressão em que camadas são fundidas até que o objeto esteja pronto. O material é derretido em uma determinada temperatura, e extrudado pelo motor da impressora, formando cada camada do objeto, até que ele esteja completamente construído [16], no caso deste trabalho, foi utilizado o material ABS, um copolímero derivado de petróleo, obtido a partir de reações de três monômeros diferentes: acrilonitrila, butadieno e estireno [17]. Dentre os projetos desenvolvidos com as impressoras 3D na UFT, pode-se citar o projeto de impressão de protetores faciais para suprir a falta de equipamentos de proteção no início da pandemia de Covid-19 [18], e também projetos que foram selecionados para a "Premiação de Produto/Serviço de Extensão da PROEX/PROPESQ" na UFT, entre eles o curso de "Impressão 3D e Robótica: Drones de Baixo Custo", e o projeto do "Jogo de Xadrez personalizado: Estratégia para motivar o estudo da cultura indígena e potencializar o processo educacional indígena" [19].

### III. RESULTADOS

Os mapas deste trabalho foram apresentados à dois avaliadores voluntários, ambos são pessoas com deficiência

visual, que analisaram e expressaram suas perspectivas sobre o projeto (Figuras 7 e 8). As avaliações foram realizadas individualmente, em dias e locais diferentes. Ambos os voluntários foram orientados sobre como o mapa funciona, observaram os materiais, e por fim, manifestaram as suas opiniões sobre o resultado do projeto. Ambos relataram que o Braille estava legível e conseguiram identificar as combinações presentes na superfície do mapa. Nesta etapa, ambos falavam qual combinação de letras encontravam no mapa, e quem os acompanhava no processo, procurava a combinação na legenda e os informava sobre o nome completo do município. Desta forma, um dos avaliadores procurou por Natividade, e a encontrou sem que ninguém mostrasse a localização, houve também um interesse em observar o tamanho dos municípios que eles conheciam. Ambos os avaliadores relataram que a legenda é efetiva para a compreensão do mapa, principalmente acompanhado com outra pessoa para auxiliar, e este auxílio pode vir de outra pessoa com deficiência ou não, devido à legenda estar presente tanto em Braille como em escrita convencional. Durante a avaliação, profissionais da educação que estavam presentes aprovaram a utilização do material, dizendo que é ótimo para ser trabalhado com todos os estudantes, não só com os deficientes visuais. Provando que os materiais táteis produzidos durante este trabalho cumprem às orientações sobre materiais didáticos táteis que visam a inclusão [20].

Quanto aos mapas menores (Figuras 9 e 10), os avaliadores afirmaram que funcionam como um complemento do mapa detalhando, pois dão um direcionamento sobre o formato completo do mapa, o que foi fundamental para que eles compreendessem o lado correto de utiliza-lo. Segundo os avaliadores, é uma ideia criativa, prática e efetiva para inclusão, e ainda ressaltaram que conforme o mapa é utilizado por pessoas com deficiência visual, acaba se tornando familiar para a pessoa, de forma que a frequência com que o material é utilizado torne-o mais fácil de se compreender com o passar do tempo.



**Figura 7:** Um dos avaliadores analisando o mapa tátil



**Figura 8:** O segundo avaliador analisando o material



**Figura 9:** Mapa que delimita o território do estado do Tocantins.



**Figura 10:** Mapa menor com o relevo delimitando o território dos municípios.

#### IV. CONCLUSÃO

Com a finalização e o teste deste trabalho, nota-se que ele cumpre os requisitos esperados e definidos por Loch [13] para a utilização de um mapa tátil como material didático, pois durante as avaliações, gerou-se um efeito positivo para os voluntários, logo, os mapas permitiram que os avaliadores criassem uma noção de espaço e de localização para os municípios que eles já conheciam, o tamanho dos municípios, e em que região do Estado se localizam, fatores que ambos nunca tiveram oportunidade de observar em um mapa tátil produzido através de Manufatura Aditiva ou de qualquer outro método.

Este é um material adaptado pode ser utilizado por todos os estudantes, mesmo que não possuam deficiência, e isto mostra que os mapas cumprem o objetivo esperado de um material de Tecnologia Assistiva, pois é efetivo na implementação da inclusão em um ambiente educacional, que segundo especialistas, o conceito ideal de inclusão consiste na adaptação dos materiais para a utilização de todos os alunos presentes [6].

Portanto, levando em conta estes resultados, e os impactos positivos observados através do material, pode-se afirmar que as técnicas de modelagem e impressão 3D, associadas à Cartografia Tátil são efetivas na produção de recursos que se encaixem no conceito de Tecnologia Assistiva, garantindo a acessibilidade aos estudos da Geografia do Estado.

#### V. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação da Universidade Federal do Tocantins.

#### REFERÊNCIAS

- [1] T. S. Nascimento, S. M. F. Machado, and E. da Silva Costa, "Ensino de química e a deficiência visual: análise dos inventários descritivos sobre materiais didáticos," 2019.
- [2] M. da Saúde, "Ministério da saúde art.1º, portaria-nº:3.128," 2008. [Online]. Available: [https://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/gm/2008/prt3128\\_24\\_12\\_2008.html](https://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/gm/2008/prt3128_24_12_2008.html)
- [3] OMS, "Blindness and vision impairment," 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- [4] IBGE, "Snig - pesquisa nacional de informação de gênero," 2010. [Online]. Available: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/pesquisa/11/0>
- [5] B. Zucherato, P. C. S. Juliasz, and M. I. C. de Freitas, "Cartografia tátil: mapas e gráficos táteis em aulas inclusivas," 2012.
- [6] T. G. Filho, "A construção do conceito de tecnologia assistiva: Alguns novos interrogantes e desafios," 2013. [Online]. Available: [http://www.galvaofilho.net/TA\\_desafios.pdf](http://www.galvaofilho.net/TA_desafios.pdf)
- [7] B. Berman, "3-d printing: The new industrial revolution," 2012.
- [8] IBGE, 2010. [Online]. Available: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/panorama>
- [9] —, "Pessoas com deficiência," 2010. [Online]. Available: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/20551-pessoas-com-deficiencia.html>
- [10] L. Flavell, *Beginning Blender: Open Source 3D Modeling, Animation, and Game Design*. Apress, 2011, 2011.
- [11] J. van Gumster, *Blender For Dummies*. John Wiley & Sons, 2020, 2020, vol. 4.
- [12] Blender, "Blender 3.5 reference manual," 2022. [Online]. Available: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/>
- [13] R. E. N. Loch, "Cartografia tátil: Mapas para deficientes visuais," 2008.
- [14] M. da Educação MEC, "Grafia braille para a língua portuguesa," 2018.
- [15] R. E. Nogueira, "Padronização de mapas táteis: um projeto colaborativo para a inclusão escolar e social," 2007.
- [16] K. Kun, "Reconstruction and development of a 3d printer using fdm technology," 2016.
- [17] M. Besko, C. Bilyk, and P. G. Sieben, "Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3d," 2017. [Online]. Available: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>

- [18] C. Barreto, “Uft confecciona protetores faciais para profissionais da saúde pública de palmas,” 2020. [Online]. Available: <https://ww2.uft.edu.br/index.php/ultimas-noticias/27047-uft-confecciona-protetores-faciais-para-profissionais-da-saude-publica-de-palmas>
- [19] UFT, “Resultado provisório da chamada pública para premiação de produto/serviços de extensão - proex/propesq,” 2022.
- [20] L. P. da Cunha, T. de Brito Martins, L. L. F. da Silva, and A. I. Marinho, “A cartografia tátil como recurso didático inclusivo: construção de um mapa,” 2020.

# Uma Breve Investigação Sobre Grafos $B_1$ -EPG $_t$

## *A Brief Investigation on $B_1$ -EPG $_t$ Graphs*

Jackson Pereira dos Santos<sup>1</sup> e Tanilson Dias dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Ciência da Computação, Tocantins, Palmas

Data de recebimento do manuscrito: 08/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 13/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**— Os grafos EPG correspondem exatamente à classe de grafos de aresta-interseção de caminhos sobre uma grade. A maioria dos resultados na literatura envolvendo grafos EPG consideram problemas onde o hospedeiro da representação é uma grade retangular simples que possui somente duas direções (horizontal e vertical). Neste trabalho de conclusão de curso iremos explorar uma nova classe dos grafos EPG, pouco estudada na literatura, os grafos  $B_1$ -EPG $_t$ . Definida como a classe dos grafos de aresta-interseção cujos caminhos possuem no máximo uma dobra e o hospedeiro da representação é uma grade triangular com 3 direções (horizontal, vertical e uma diagonal). Esta pesquisa contém resultados iniciais inéditos sobre a exploração da classe  $B_1$ -EPG $_t$  e apresenta pontos interessantes para continuação da investigação.

**Palavras-chave**— Grafos de interseção,  $B_1$ -EPG $_t$ , Grades triangulares.

**Abstract**— EPG graphs correspond exactly to the class of edge-intersection graphs of paths on a grid. Most results in the literature involving EPG graphs consider problems where the host of the representation is a simple rectangular grid with only two directions (horizontal and vertical). In this undergraduate thesis, we will explore a new class of EPG graphs, which has been relatively less studied in the literature, the  $B_1$ -EPG $_t$  graphs. This class is defined as the class of edge-intersection graphs whose paths have at most one bend, and the host of the representation is a triangular grid with three directions (horizontal, vertical, and one diagonal). This research contains novel initial results on the exploration of the  $B_1$ -EPG $_t$  class and presents interesting points for further investigation.

**Keywords**— Intersection graphs,  $B_1$ -EPG $_t$ , Triangular grids

## I. INTRODUÇÃO

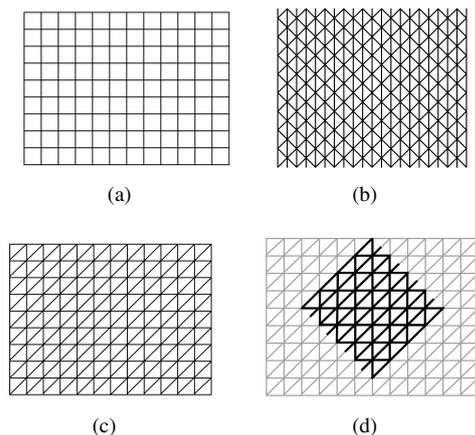
Uma classe particular de grafos de interseção é a classe dos grafos EPG (Edge-intersection Graph of Paths on a Grid), definida por Golumbic et al em 2009 [1]. A classe de grafos EPG corresponde exatamente à classe de grafos que possuem um modelo de interseção sobre uma grade retangular, onde cada vértice é representado por um caminho na grade. Além disso, dois vértices são adjacentes, i.e. possuem uma aresta entre si, se e somente se, os caminhos correspondentes compartilham no mínimo uma aresta da representação.

A maioria dos resultados na literatura envolvendo grafos EPG consideram problemas em uma grade retangular simples, e.g. [2], [3],[4],[5],[6], [7] e [8]. Grades retangulares simples possuem somente duas direções (horizontal e vertical), veja Figura 1(a). Além desse modelo de grade, existem na literatura trabalhos que fazem uso da grade triangular *lattice*, e.g. [9] e [10], com 3 direções (vertical

e com duas diagonais), veja Figura 1(b). No contexto deste projeto estudaremos as representações de grafos de interseção de arestas sobre uma grade triangular com 3 direções (horizontal, vertical e uma diagonal), denotadas como  $B_k$ -EPG $_t$ , veja Figura 1(c). Note que a grade representada na 1(b) corresponde exatamente à grade da 1(c) rotacionada adequadamente, isto é são ambas grades equivalentes, veja Figura 1(d).

Como os trabalhos envolvendo grafos EPG em geral, se limitam a representações sobre uma grade retangular tradicional, esperamos obter novos resultados com essa nova abordagem de representação de grafos introduzida por [11]. Neste contexto, o presente trabalho lança os seguintes questionamentos: A adição de uma nova direção na grade retangular, facilita a representação EPG de algum grafo? As classes  $B_k$ -EPG e  $B_k$ -EPG $_t$  coincidem, são distintas, estão contidas propriamente uma na outra ou são incomparáveis? Em tempo, também é um interessante problema de investigação saber se: dado um grafo  $G$  que é  $B_k$ -EPG existe uma representação  $B_{k-i}$ -EPG $_t$  para esse grafo, para algum  $i \leq k$ , onde  $i$  é inteiro e positivo?

Dados de contato: Tanilson Dias dos Santos, tanilson.dias@uft.edu.br



**Figura 1:** Representação de (a) grade retangular, (b) grade triangular *lattice*, (c) grade triangular tradicional e (d) grade *lattice* rotacionada

## II. DEFINIÇÕES INICIAIS

Uma grade retangular é um espaço euclidiano de coordenadas ortogonais inteiras. Ela exerce a função de hospedeiro para as representações. A grade é hospedeira da representação porque suporta/hospeda os elementos (caminhos) que vamos utilizar, de forma similar ao que ocorre em outros modelos de representação, e.g. com os grafos arco-circulares, que utilizam respectivamente um círculo como base/hospedeiro para as representações, [12], [13],[14]. Na grade, hospedeira da representação, os pares de coordenadas inteiras correspondem a um ponto ou vértice da grade. A título de exemplo de grade, observe as grades ilustradas na Figura 1.

A sigla EPG é utilizada para denotar a classe de grafos de aresta-interseção de caminhos sobre uma grade. Uma representação EPG de um grafo  $G$  é um modelo de aresta-interseção de caminhos para  $G$ , denotada por  $\langle \mathcal{P}, \mathcal{G} \rangle$  onde  $\mathcal{P}$  é o conjunto de caminhos e  $\mathcal{G}$  é a grade da representação. Dizemos que um grafo é um grafo EPG quando ele possui uma representação EPG. É comum também falarmos que  $\langle \mathcal{P}, \mathcal{G} \rangle$  é uma representação  $B_k$ -EPG quando existe uma representação EPG para o grafo  $G$  onde todo caminho nesta representação pode ser representado com no máximo  $k$ -dobras, i.e.  $k$  mudanças de direção. Além disso, existe uma função bijetora entre os vértices do grafo  $G$  e os caminhos da representação. Uma vez que um grafo EPG é um grafo de interseção, a função bijetora correspondente pode ser descrita da seguinte forma:

- Cada vértice  $v_i \in V(G)$  corresponde a exatamente um caminho  $P_i \in \mathcal{P}$ , onde  $\mathcal{P}$  consiste do conjunto de caminhos da representação EPG;
- Dois vértices  $(v_i, v_j) \in E(G)$  se e somente se os caminhos correspondentes  $P_{v_i}, P_{v_j} \in \mathcal{P}$  possuem interseção em pelo menos uma aresta da grade, i.e.  $E(P_{v_i}) \cap E(P_{v_j}) \neq \emptyset$ ; e
- Além disso, se a representação é  $B_k$ -EPG, então todo caminho  $P_i \in \mathcal{P}$  possui no máximo  $k$ -dobras.

A seguir, definiremos a classe que é o principal foco de estudos nesta pesquisa, a classe de grafos EPG $_T$ , introduzida

por [11].

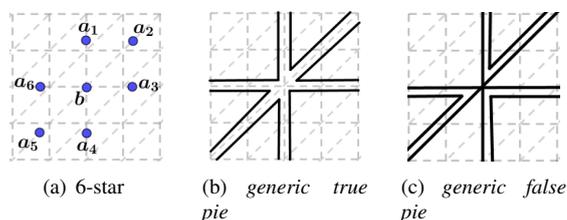
A classe de grafos EPG $_T$  corresponde exatamente à classe de grafos de aresta-interseção de caminhos sobre uma grade triangular. Essa classe está relacionada com a classe EPG, uma vez que a única diferença entre essas duas classes é o hospedeiro. Uma representação EPG $_T$  de um grafo  $G$  é um modelo de aresta-interseção de caminhos para  $G$ , denotada por  $\langle \mathcal{P}, \mathcal{G}_T \rangle$  onde  $\mathcal{P}$  é o conjunto de caminhos e  $\mathcal{G}_T$  é a grade triangular. Além disso, denotamos por  $B_k$ -EPG $_T$  a representação  $\langle \mathcal{P}, \mathcal{G}_T \rangle$  onde todo caminho possui no máximo  $k$ -dobras, i.e.  $k$  mudanças de direção. Analogamente ao definido para grafos EPG, um grafo EPG $_T$  também é um grafo de interseção com função bijetora descrita da mesma forma. Além disso, se a representação é  $B_k$ -EPG $_T$ , então todo caminho  $P_i \in \mathcal{P}$  possui no máximo  $k$ -dobras.

Nesta pesquisa utilizamos a grade triangular como hospedeiro para as representações EPG $_T$ . Na grade triangular, análogo ao que ocorre na grade retangular, os pares de coordenadas inteiras correspondem a um ponto ou vértice da grade. A Figura 2 ilustra um exemplo de representação  $B_1$ -EPG $_T$  para o ciclo  $C_6$  na grade triangular.

**Definição 1.** *Uma generic true pie é um  $n$ -estrela tal que cada 'fatia'  $(a_i, b) \cup (a_{i+1}, b)$  para  $i = 1, \dots, n$  está contido em um membro diferente de  $\mathcal{P}$ , onde a adição é assumida como o módulo  $n$ . Em uma true pie, cada um dos  $n$  caminhos dobram no mesmo ponto além de respeitar a adjacência entre os caminhos do ciclo. Conforme a Figura 2.*

**Definição 2.** *Uma generic false pie é um  $n$ -estrela tal que cada 'fatia'  $(a_1, b) \cup (a_4, b), (a_1, b) \cup (a_2, b), (a_2, b) \cup (a_5, b), (a_3, b) \cup (a_6, b), (a_3, b) \cup (a_4, b), (a_4, b) \cup (a_6, b)$ , está contido em um membro diferente de  $\mathcal{P}$ , conforme a Figura 2. Em uma false pie, pelo menos dois dos caminhos dobram em  $b$ .*

**Definição 3.** *Dado um ponto  $c$  qualquer de uma grade triangular. Sejam  $r_1, r_2$  e  $r_3$ , respectivamente, as retas que cruzam  $c$  nas direções vertical, horizontal, diagonal. Então essas retas dividem o plano em 6 porções  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6$ .*



**Figura 2:** Representação  $B_1$ -EPG $_T$  do  $C_6$

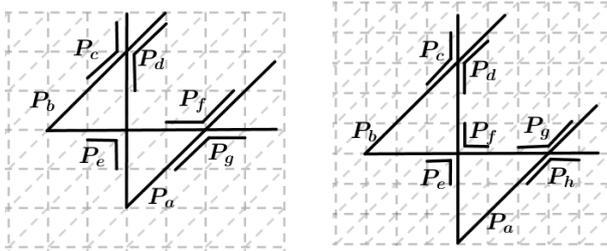
A seguir, apresentamos uma seção com os resultados iniciais obtidos em nossa pesquisa.

## III. RESULTADOS INICIAIS

O início da pesquisa nos traz alguns resultados interessantes que apresentamos a seguir. Primeiro, vamos provar que existe uma relação de continência própria entre as classes  $B_1$ -EPG e  $B_1$ -EPG $_T$ , é o que nos mostra o Lema 4.

**Lema 4.**  $B_1$ -EPG  $\subset B_1$ -EPG $_T$ .

**Demonstração.** Observe, em primeiro lugar, que o hospedeiro da representação  $B_1$ -EPG $_t$  nada mais é do que uma grade  $B_1$ -EPG com a adição de uma nova direção (diagonal). Dessa forma, essa observação é suficiente para provar que toda representação  $B_1$ -EPG é também uma representação  $B_1$ -EPG $_t$ . Para provarmos que a continência é própria, é suficiente apresentar 1 grafo que possua representação  $B_1$ -EPG $_t$  porém não possua representação  $B_1$ -EPG. A Figura 3 ilustra a representação  $B_1$ -EPG $_t$  dos grafos  $K_{2,5}$  e  $K_{2,6}$  que não são  $B_1$ -EPG, [1] e [2], entretanto são  $B_1$ -EPG $_t$ .



**Figura 3:** Exemplo de representação  $B_1$ -EPG $_t$  para o grafo  $K_{2,5}$  e  $K_{2,6}$

É fato conhecido que em representações  $B_1$ -EPG, é possível representar, no máximo, os ciclos de tamanho 4 por *true/false pie*, enquanto os ciclos  $C_n$  para  $n \geq 5$  podem ser representados por *frames* ou outras estruturas distintas, [1]. A seguir, o Lema 5 nos mostra que o maior ciclo que conseguimos representar por *generic true pie* ou por *generic false pie* é o de tamanho 6 em  $B_1$ -EPG $_t$ .

**Lema 5.** Em qualquer representação  $B_1$ -EPG $_t$ , o grafo  $C_6$  é maior ciclo induzido que pode ser representado por *generic true pie* ou por *generic false pie*.

**Demonstração.** Por contradição, considere que é possível obter representações  $C_n$  para  $n > 6$  por *generic true/false pie* em  $B_1$ -EPG $_t$ . Distinguindo em casos, teremos:

- **Caso 1.** As representações de  $C_n$  para  $n > 6$  são construídas por *generic true pie*. Veja que em uma *generic true pie* cada caminho  $P_i$ , onde  $1 \leq i \leq n$ , ou seja cada ‘fatia’ está contida em uma das 6 diferentes porções existentes, sempre respeitando a adjacência entre os caminhos do ciclo, definições 1 e 3. Perceba que pelo princípio da casa dos pombos teremos então 6 porções e 7 ou mais caminhos para alocar nestas porções, portanto necessitaremos alocar um ou mais caminhos na mesma porção, contrariando assim a definição de *generic true pie*.
- **Caso 2.** As representações de  $C_n$  para  $n > 6$  são construídas por *generic false pie*. Sabemos que cada caminho  $P_i$ , onde  $1 \leq i \leq n$ , pode ser uma ‘fatia’ e pode estar contida em no máximo uma das 3 porções possíveis. Analogamente, até 3 desses caminhos cruzam o ponto central  $c$ . Note que, quando ampliamos para casos onde temos um  $n > 6$ , apesar de ser possível alocar esses novos caminhos na representação, estes não irão respeitar a adjacência existente entre os vértices do ciclo.

Considerando os Casos 1 e 2, podemos concluir que é um absurdo supor que é possível representar um  $C_n$  com  $n > 6$  em  $B_1$ -EPG $_t$  por *generic true/false pie*. Com isso, concluímos que, o grafo  $C_6$  é, de fato, o maior ciclo induzido que pode ser representado por *generic true/false pie* em  $B_1$ -EPG $_t$ .

Resultados similares aos encontrados nesta pesquisa podem ser encontrados em [11].

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa corresponde a um trabalho de investigação e exploração de uma classe de grafos pouco estudada na literatura. Os resultados preliminares são animadores e lançam luz sobre algumas questões ainda desconhecidas sobre a classe de grafos EPG $_t$ . Na literatura existem poucos trabalhos que estudam a representação de grafos EPG sobre grades triangulares, podemos citar [11].

Há pontos positivos e negativos em se estudar uma classe de grafos tão pouco explorada. Como maior ponto positivo, vem o fato de a classe ser necessariamente pouco explorada, o que dá uma grande margem para levantamento de resultados inéditos. Talvez o pior contraponto seja o fato da escassez de material de pesquisa e consulta correlato.

Como trabalhos futuros desejamos saber se é possível delimitar uma família de subgrafos induzidos proibidos para  $B_1$ -EPG $_t$ . Seria também de interesse, investigar o parâmetro *bend number*, construir um mapeamento de relacionamento entre classes de grafos na hierarquia  $B_k$ -EPG $_t$ , e investigar se existe um comportamento monótono na hierarquia  $B_k$ -EPG $_t$ .

#### REFERÊNCIAS

- [1] M. C. Golumbic, M. Lipshteyn, and M. Stern, “Edge intersection graphs of single bend paths on a grid,” *Networks: An International Journal*, vol. 54, no. 3, pp. 130–138, 2009.
- [2] A. Asinowski and A. Suk, “Edge intersection graphs of systems of paths on a grid with a bounded number of bends,” *Discrete Applied Mathematics*, vol. 157, no. 14, pp. 3174–3180, 2009.
- [3] L. F. dos Santos Marinho, K. A. Silva, and T. D. dos Santos, “ $B_2$ -EPG Split,” *Academic Journal on Computing, Engineering and Applied Mathematics*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [4] C. F. Bornstein, U. S. Souza, T. D. Santos, M. C. Golumbic, and J. L. Szwarcfiter, “The complexity of Helly- $B_1$ -EPG graph recognition,” *Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science*, vol. 22, 2020.
- [5] C. F. Bornstein, G. Morgenstern, T. D. Santos, U. S. Souza, and J. L. Szwarcfiter, “Helly and strong Helly numbers of  $B_k$ -EPG and  $B_k$ -VPG graphs,” *Discussiones Mathematicae Graph Theory*, vol. 43, no. 4, May 2021.
- [6] T. D. dos Santos, “On the Helly property of some intersection graphs,” Ph.D. dissertation, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.
- [7] D. Heldt, K. Knauer, and T. Ueckerdt, “On the bend-number of planar and outerplanar graphs,” *Discrete Applied Mathematics*, vol. 179, pp. 109–119, 2014.
- [8] J. Cardinal, H. Ito, M. Korman, and S. Langerman, “Helly numbers of polyominoes,” *Graphs and Combinatorics*, vol. 29, no. 5, pp. 1221–1234, 2013.
- [9] Y. Zhang, Q. Shi, A. El-Makadema, L. Danoon, and A. K. Brown, “Triangular grid interconnected crossed rings antenna for large-scale ultra-wideband dual-polarised arrays,” *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 14, no. 15, pp. 2115–2122, 2020.
- [10] N. A. Fleck, V. S. Deshpande, and M. F. Ashby, “Micro-architected materials: past, present and future,” *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 466, no. 2121, pp. 2495–2516, 2010.

- [11] V. T. de Luca, M. P. Mazzoleni, F. S. Oliveira, T. D. Santos, and J. L. Szwarcfiter, "Edge intersection graphs of paths on a triangular grid," *arXiv preprint arXiv:2203.04250*, 2022.
- [12] E. J. F. Primrose, "Combinatorial geometry in the plane. by h. hadwiger and h. debrunner. translated by v klee. pp. vii, 113. 30s. 1964. (holt, rinehart and winston, london)," *Mathematical gazette*, vol. 49, no. 367, pp. 112–112, 1965.
- [13] V. Klee, "What are the intersection graphs of arcs in a circle?" *The American Mathematical Monthly*, vol. 76, no. 7, pp. 810–813, 1969.
- [14] L. Alcón, F. Bonomo, G. Durán, M. Gutierrez, M. P. Mazzoleni, B. Ries, and M. Valencia-Pabon, "On the bend-number of circular-arc graphs as edge intersection graphs of paths on a grid," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 234, pp. 12–21, 2016.

# Deconvolução: uma introdução

## *Deconvolution: an introduction*

Maxwell Diógenes Bandeira de Melo<sup>1</sup>, Sergio Ricardo Gobira<sup>1</sup>, Sergio Manuel Rivera Sanhueza<sup>1</sup>, Eduardo Simões<sup>2</sup> e Adson Ferreira da Rocha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Tocantins, Curso de Engenharia Elétrica, Palmas, TO, BR

<sup>2</sup>Universidade Federal do Tocantins, Curso de Filosofia, Palmas, TO, BR

<sup>3</sup>Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica, Brasília, DF, BR

Reception date of the manuscript: 14/08/2023

Acceptance date of the manuscript: 13/09/2023

Publication date: 16/10/2023

**Resumo-** Convolução é uma maneira de se combinar dois sinais para se obter um terceiro sinal. É uma importante técnica em sistemas lineares. Utilizando a estratégia da decomposição de um impulso, os sistemas são descritos por um sinal chamado de resposta ao impulso. Convolução é importante porque relaciona três sinais de interesse: o sinal de entrada, o sinal de saída e a resposta ao impulso. A operação inversa da convolução é às vezes conhecida como deconvolução. Neste trabalho falamos de deconvolução, a operação inversa à convolução. Apresentamos a teoria generalizada e um breve estudo de caso com e sem ruído.

**Palavras-chaves**—Convolução, Deconvolução, Ruído.

**Abstract-** Convolution is a way of combining two signals to obtain a third signal. It is an important technique in linear systems. Using the strategy of decomposing an impulse, systems are described by a signal called the impulse response. Convolution is important because it relates three signals of interest: the input signal, the output signal and the impulse response. The inverse operation of convolution is sometimes known as deconvolution. In this paper we talk about deconvolution, the inverse operation to convolution. We present the generalised theory and a brief case study with and without noise.

**Keywords-**Convolution, Deconvolution, Noise.

## I. INTRODUÇÃO

Convolução é uma operação amplamente usada em sistemas físicos. É a maneira matemática de combinar dois sinais, obtendo-se um terceiro, sendo um conceito muito importante em processamento digital de sinais [1]. É um conceito fundamental em matemática e é amplamente utilizado em sistemas físicos, em sistemas de engenharia, em processamento de sinais, em processamento de imagens e em muitas outras áreas [5]. Com base no princípio da superposição, os sistemas podem ser descritos por sua resposta ao impulso. Convolução é um conceito importante porque relaciona três sinais de interesse, a saber: a entrada, a saída e a resposta ao impulso. Convolução é uma operação matemática formal, tal como multiplicação, adição e integração. A adição, dados dois números, produz um terceiro número, e a convolução, dados dois sinais, produz um terceiro sinal [5]. Em sistemas lineares e invariantes no tempo (LTI), a convolução é um processo

natural. Para sistemas discretos lineares e invariantes no tempo, a expressão da convolução pode ser dada pela equação (1).

$$y[n] = \sum_{m=0}^{N-1} h[n-m]x[m] \quad (1)$$

Onde  $x[m]$  é o sinal discreto de entrada de um sistema,  $h[n-m]$  é a resposta discreta no tempo ao impulso desse sistema, e  $y[n]$  é o sinal de saída discreto no tempo. Então, dado que um sistema é linear e invariante no tempo, uma vez que seja possível obter a resposta ao impulso desse sistema, é possível obter a resposta desse sistema para qualquer entrada. Em trabalhos que envolvem o computador geralmente usa-se sinais discretos, e os sinais  $x[n]$ ,  $h[n]$  e  $y[n]$  correspondem a sequências de números amostrados a uma frequência conveniente [3].

Deconvolução é o processo inverso da convolução. É usada, por exemplo, para melhorar fotografias digitais. O conceito é que, dada a resposta de um sistema, se pudermos obter o inverso da resposta ao impulso, pode-se reconstruir exatamente o sinal de entrada. O problema no domínio do tempo corresponde à inversão de uma matriz, o que o torna, algumas vezes, um pouco mais demorado e mais instável,

sendo, em geral, mais fácil resolvê-lo no domínio da frequência.

A equação (1) pode ser reescrita de forma mais sintética como

$$y_n = \sum_{m=0}^{N-1} h_{n-m} x_m \quad (2)$$

onde  $x_m$  é o sinal discreto de entrada de um sistema,  $h_{n-m}$  é a resposta discreta no tempo ao impulso desse sistema, e  $y_n$  é o sinal de saída discreto no tempo.

O problema da equação (1) pode ser descrito por meio de uma relação matricial, que é indicado de forma mais sintética, pela equação (3).

$$[y] = [h][x] \quad (3)$$

Em que  $[y]$  é o vetor de saída do sistema,  $[h]$  é a matriz de Toeplitz representando a convolução discreta e  $[x]$  é o vetor discreto de entrada. Uma matriz de Toeplitz é uma matriz em que cada elemento da diagonal principal é igual e os elementos acima e abaixo da diagonal principal são constantes ou seguem um padrão regular. Em outras palavras, os elementos da matriz são constantes ao longo de cada linha e ao longo de cada coluna

Lembrando que, neste caso,  $M=N$ , expandindo a equação (3) chega-se à matriz circulante, mostrada na equação (4), que é um caso especial da matriz de Toeplitz.

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_{N-4} \\ y_{N-3} \\ y_{N-2} \\ y_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_1 & h_0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_2 & h_1 & h_0 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ h_3 & h_2 & h_1 & h_0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{M-7} & h_{M-8} & h_{M-9} & h_{M-10} & \dots & \dots & \dots & h_0 & 0 & 0 & 0 \\ h_{M-3} & h_{M-4} & h_{M-5} & h_{M-6} & \dots & \dots & \dots & h_1 & h_0 & 0 & 0 \\ h_{M-2} & h_{M-3} & h_{M-4} & h_{M-5} & \dots & \dots & \dots & h_2 & h_1 & h_0 & 0 \\ h_{M-1} & h_{M-2} & h_{M-3} & h_{M-4} & \dots & \dots & \dots & 0 & h_2 & h_1 & h_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_{N-4} \\ x_{N-3} \\ x_{N-2} \\ x_{N-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Em que  $[y_0 \dots y_{N-1}]$  é o vetor de saída do sistema,  $[h]_{M \times N}$  é uma matriz de Toeplitz representando a convolução discreta e  $[x_0 \dots x_{N-1}]$  é o vetor discreto de entrada [2]

## II. DECONVULÇÃO

O problema da deconvolução pode ser encarado como a solução inversa do sistema linear proposto pela equação (3). Assim, para realizar a deconvolução é necessário achar o vetor  $x_n$  tal que:

$$[x] = [h]^{-1}[y] \quad (5)$$

Em que  $[y]$  é o vetor de saída do sistema,  $[h]^{-1}$  é a matriz de Toeplitz inversa representando a convolução discreta e  $[x]$  é o vetor discreto de entrada.

Entretanto, na prática o problema da inversão de uma matriz nem sempre é uma tarefa simples e, sempre que possível, procura-se evitar este procedimento, embora, é com o desenvolvimento computacional dos dias atuais, esse procedimento é bastante usado. As vezes, o motivo das instabilidades na inversão ocorre porque pequenos erros em alguns coeficientes podem levar a soluções completamente instáveis. Então, para resolver esse problema, frequentemente usa-se a matriz da Transformada de Fourier Discreta (DFT). A matriz da DFT é mostrada na equação (6),

$$[W] = \frac{1}{N} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & W^{-1} & W^{-2} & \dots & W^{-(N-1)} \\ 1 & W^{-2} & W^{-4} & \dots & W^{-2(N-1)} \\ M & M & M & M & M \\ 1 & W^{-(N-1)} & W^{-2(N-1)} & \dots & W^{-(N-1)^2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

onde  $W = e^{-j \frac{2\pi}{N}}$  [4] e  $[W]$  é a matriz da DFT. Multiplicando ambos os lados da equação (3) pela matriz de Fourier obtém-se a equação (7).

$$[W][y] = [W][h][x] \Leftrightarrow [W][y] = [W][h][W]^{-1}[W][x] \Leftrightarrow [Y] = [H][X] \quad (7)$$

A matriz  $W^{-1}$  é simplesmente a matriz complexa conjugada da matriz  $W$ . Não é difícil mostrar que  $[W].[h].[W]^{-1}$  é uma matriz diagonal. Então, passa-se de um domínio temporal para um domínio onde há apenas a necessidade de multiplicações, e no plano da frequência teremos que resolver a equação (8),

$$X = [H]^{-1} \cdot [Y] \quad (8)$$

onde  $[H]^{-1}$  é uma matriz diagonal cujos elementos são os recíprocos (índice  $r$ ) da matriz  $[H]$ . A inversão de uma matriz diagonal tem como elementos os recíprocos dos elementos da matriz  $[H]$ . A inversão de uma matriz diagonal é relativamente simples, pois basta calcular o recíproco de cada elemento da diagonal. Em outras palavras, se  $x$  é um número real diferente de zero, o recíproco de  $x$  é representado como  $1/x$ . É importante notar que uma vantagem de se usar a DFT (Discrete Fourier Transform) é evitar uma inversão de matriz que muitas vezes é lenta no domínio do tempo, e é comum usar uma operação mais eficiente, a FFT (Fast Fourier Transform), que é implementada por um algoritmo mais rápido.

### Deconvolução no domínio do tempo: estudo de um caso

É interessante observar como se comporta o problema da deconvolução no domínio do tempo quando há ruído envolvido. Vejamos um caso em que o sistema possui uma

resposta ao impulso que é uma exponencial. Esse sistema pode ser um sensor de temperatura baseado em um termopar em um meio convectivo, e supomos que a resposta ao impulso do mesmo é uma exponencial. Assume-se então que a função  $h[n]$  seja a seguinte exponencial:

$$h[n] = 2e^{-3n} \quad (9)$$

em que  $h[n]$  é um vetor representando a convolução discreta de um sistema e  $n$  é a variável de tempo discreta.

O gráfico correspondente a  $h[n]$  é mostrado na Figura 1. A função exposta está normalizada dividindo-se a amplitude de cada ponto pela soma das amplitudes de todas as amostras, de forma que o sistema não introduza energia no sinal. O intervalo de tempo em questão é 10s e o período de amostragem é 0.1s (frequência de amostragem de 10 Hz).

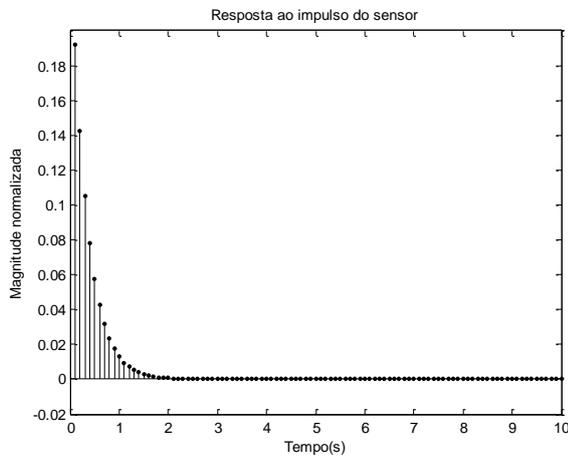


Figura 1. Resposta ao impulso para o sistema em análise. Para o sistema em análise nesta seção supomos uma resposta ao impulso exponencial.

Neste caso o sinal de entrada é um degrau unitário deslocado ( $u(n-50)$ ) e é ilustrado na Figura 2. A convolução dos sinais discretos das Figuras 1 e 2 é mostrada na curva superior da Figura 3. Aplicando a matemática exposta na introdução deste artigo, usando-se a matriz de Toeplitz, obtém-se a curva mostrada na parte inferior da Figura 2, que reproduz exatamente a curva da entrada do sistema exposto inicialmente na Figura 2.

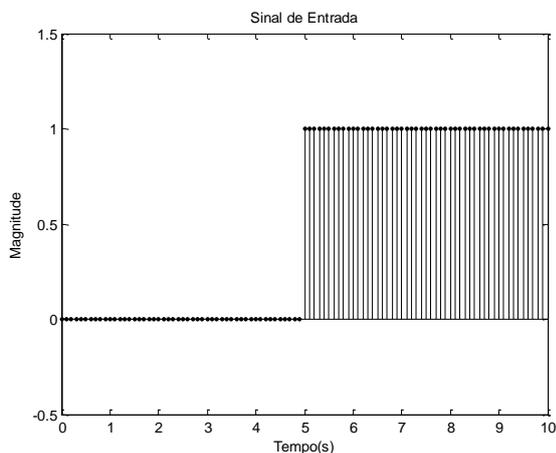


Figura 2. Entrada para o sistema em análise. Um degrau unitário.

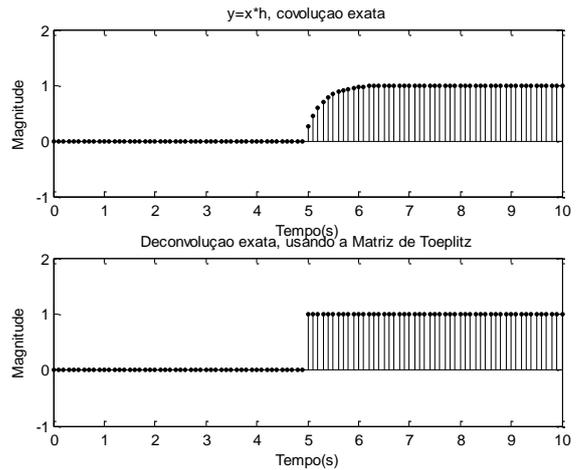


Figura 3. Convolução (curva superior) e deconvolução (curva inferior) para o sistema em análise. A convolução ( $y[n]=h[n]*x[n]$ ) para o sistema em discussão é mostrada na curva superior, e a deconvolução é mostrada na parte inferior da curva. Notar que se não há ruído e a deconvolução é exata.

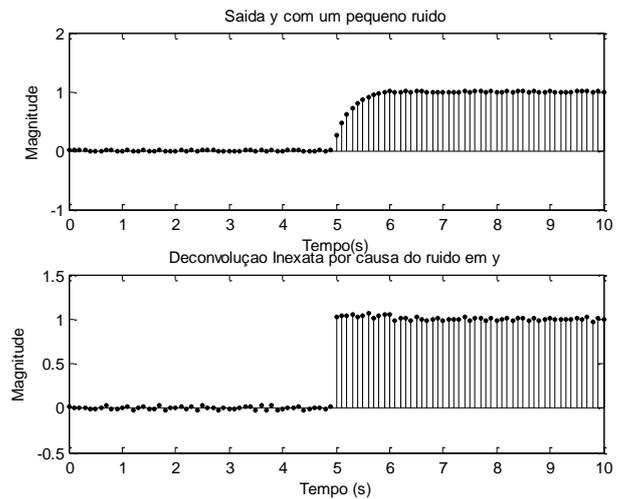


Figura 4. Saída do sistema com um pequeno ruído (curva de cima) e deconvolução inexata (curva de baixo) devido ao ruído. A saída do sistema, ilustrada na curva superior, possui agora um pequeno ruído superposto. Notar o efeito deste pequeno ruído na deconvolução ilustrada no gráfico inferior desta figura.

### III. CONCLUSÃO

Neste trabalho a principal intenção foi a de trabalhar o conceito de deconvolução a partir de uma introdução na operação matemática conhecida como convolução. A partir de uma resposta ao impulso clássica, uma exponencial decrescente, obteve-se uma resposta na saída de um sistema hipotético LTI, para uma entrada degrau. Logo após, com essa resposta, usamos uma inversão de matriz, a inversão da matriz de Toeplitz, e obtemos uma entrada para esse sistema, que obviamente é a entrada degrau unitário. Em seguida, desenvolvemos o mesmo problema com um ruído acrescido ao sinal de entrada e logo após, com essa saída, obtemos novamente o sinal de entrada, que agora é um

degrau unitário com um ruído acrescido. Além de pontuarmos a relevância da operação de convolução e de seu problema inverso, a deconvolução, também verifica-se neste trabalho que ruídos distorcem um sinal deconvoluído. O resultado para um ruído em  $y[n]$  (ruído gaussiano, média zero, desvio padrão zero e valores variando entre 0 e 0.1 de amplitude) é mostrado na Figura 4. Percebe-se que o sinal deconvoluído no tempo está distorcido. Tais distorções podem ser tratadas usando-se filtros digitais.

## REFERÊNCIAS

- [1] GOODFELLOW I., BENGIO Y and COURVILLE A. Deep Learning. The Mit Press 2016.
- [2] MELO, M. D. B, GOBIRA, S. R., SANHUEZA, S. M. R., SIMÕES, E. e ROCHA, A. F. da. Convolução como um apelo da natureza. International Journal of Development Research. Volume:13, July, 2023.
- [3] OPPENHEIM, A. V., Schafer, R. W., “Discrete-Time Signal Processing”, Prentice-Hall International, Inc, 1989.
- [4] ROCHA, A. F. DA, “The Dynamic Behavior of Thermistor Probes”, Dissertation for degree of Doctor of Philosophy, University of Texas, Austin, May 1997.
- [5] SMITH, S. W., “The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing”, California Technical Publishing, San Diego, California, USA, 1999.

---

# Experimental Analysis of Fluke 345 Measurement Instrument Laboratory: Unloaded and Loaded Engines Case Studies

---

João Pedro Ferraz Mourão Maya Barbosa<sup>1</sup>, Wesley Mota dos Reis<sup>1</sup> and Jadiel Caparrós da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Federal University of Tocantins, Electrical Engineering Department, Tocantins, Brazil*

Reception date of the manuscript: 16/08/2023

Acceptance date of the manuscript: 02/10/2023

Publication date: 16/10/2023

---

**Abstract**—This scientific initiative project was carried out using the resources available in the laboratories of the Federal University of Tocantins (UFT), focusing on the Fluke 345 measuring equipment. The experiment presented in this paper involved two different approaches: one with an unloaded engine and another with a load consisting of a DC generator, both powered by a 60-volt supply. The Fluke 345 measures the voltage RMS, current RMS, and power factors and plots them along with the harmonic analyzes. The experiment showed that no harmonics were detected at no load, while harmonics occurred under load. The data collected validates the theoretical concepts through practical application. This study provides valuable insights for power engineering, especially regarding the performance of the devices under different conditions.

**Keywords**—Electric energy, Power Quality, Fluke 345, Validation, Theoretical Conceptions, Experimental Data.

---

## I. INTRODUCTION

The aim of this paper is to study and analyze the device Fluke 345 [1] which was used to measure magnitudes related to electrical energy in three-phase engines. The results demonstrate the coherence of the recorded measurements both when the engine is unloaded and during operational loaded, underscoring the capacity of this apparatus to facilitate a thorough statistical assessment of the gathered data. This insight holds significant implications, as it enriches the comprehension of the interplay between engine attributes and the quantified electrical parameters by the Fluke 345 equipment. Furthermore, users have the flexibility to tailor the input configuration of the device, broadening its utility in scientific investigations focused on the evaluation and resolution of electrical power-related issues [2, 3]. The results also establish a robust foundation for advancing sophisticated measurement and analytical methodologies applicable to three-phase engines, thereby enhancing the progression of research in this domain. Consequently, this paper furnishes substantial and authenticated content through empirical investigations and theoretical frameworks rooted in the scientific approach.

The significance of researching methods for quantifying electrical energy within three-phase engines is widely acknowledged within the scientific community [4]. Prior

investigations have contributed a plethora of invaluable insights to the entire subject domain. In a study conducted by [5], which presents 3Ph-oZm, an affordable open-hardware device for precise monitoring in smart grids. It measures energy and power quality in three-phase networks, handles voltage, current, frequency, power, and energy. 3Ph-oZm processes harmonics, logs power quality disturbances using custom software, surpassing commercial devices in versatility and data processing. Validated through lab testing and real-world applications like photovoltaic power plants, it also supports engine health monitoring, energy savings, and microgrid estimation.

Given the intricate nature of three-phase engines and the nuanced interactions between their operational attributes and electrical parameters [6], the selection of a robust measurement methodology is paramount. The utilization of the Fluke 345 device in this study offers distinct advantages. Its advanced technology ensures precise and reliable measurements, even under varying load conditions, guaranteeing the accuracy of recorded data. The device's adaptability in configuring input parameters facilitates tailoring measurements to specific engine setups, a crucial feature when dealing with the diverse array of three-phase engines configurations. Moreover, the Fluke 345's capability to capture both instantaneous and average values enables a comprehensive understanding of dynamic changes occurring during engines operation [1]. By harnessing these capabilities, the methodology provides a comprehensive framework for obtaining meticulous and insightful data, establishing a solid foundation for the subsequent analysis and interpretation of the intricate interplay between engine

behavior and electrical parameters.

Next, Section II (Methodology and Tools) describes the approach of the study, Section III presents the Results, and Section IV contains the Conclusions.

## II. METHODOLOGY AND TOOLS

The principal objective of this work is to meticulously investigate, as expounded in this manuscript, the analysis of the Fluke 345 equipment [1], as illustrated in Fig. 1. To accomplish this, the experimentation encompassed the utilization of the WEG induction engine unloaded and loaded, powered by a DC generator operating under unloaded conditions. The outcomes of the investigation distinctly demonstrate that the utilization of the Fluke 345 yields enhanced effectiveness for deployment within modern industrial and laboratory environments.



Fig. 1: Fluke 345 [1].

The analysis revolves around some theses that form the central point of the discussion. Complementary theoretical sources are also integrated to provide a comprehensive understanding of the conceptual path. For full technical details on the Fluke 345 meter [1] and the used Engine [4], refer to their respective manuals, which are a comprehensive source of accurate information on this scientific endeavor.

## III. RESULTS

### a. Initial considerations

The data presented in this section were obtained through measurements conducted in the Federal University of Tocantins machine laboratory. To gain a comprehensive understanding, two distinct experimental approaches were employed. The first approach involved testing the engine under unloaded conditions, while the second approach involved adding a load in the form of an unloaded direct current generator. Also, the experiment was conducted with a voltage of 60 Volts.

The Fluke 345 equipment [1] is capable of measuring various parameters, including RMS voltage, RMS current, and the different powers within the power triangle (active, reactive, and apparent power). Additionally, the instrument displays voltage, current, and harmonic graphs on its screen.

### b. Comparison of the engine at Unloaded and Unloaded load

This section shows the engine's comparative results in unloaded and load, which Fig. 2, measurements of data from an unloaded engine are depicted, with the frequency indicating a value different from 60 Hz, and at the Fig. 3, the values of the aforementioned quantities are illustrated for the engine with the attached load. This indicates that all values increased as a consequence of the load increment. The equipment displays voltage waveforms, as shown in Figs. 4 and 5. In addition, the Fluke equipment has an internal memory that can store data, providing software that allows users to access the information stored within.



Fig. 2: Measured values for the engine unloaded.

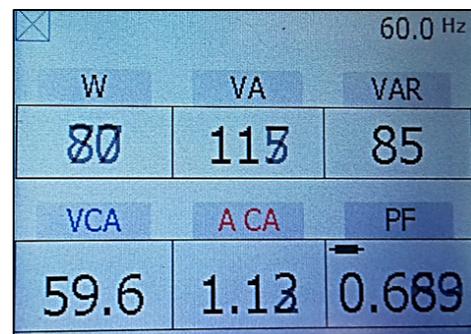


Fig. 3: Measured values for the engine with load.

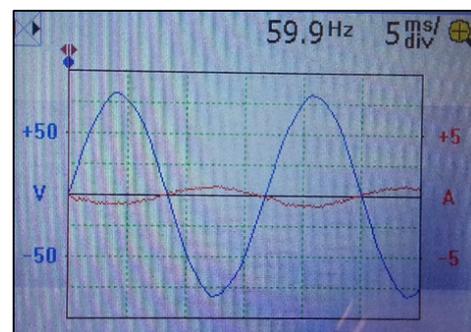


Fig. 4: Voltage and current waveform for the engine without load.

The values acquired with this equipment in the experiment conducted with the unloaded engine did not exhibit harmonics, as shown in Fig. 6, and Fig. 7 presents values related to harmonics for the loaded engine.



Fig. 5: Voltage and current waveform for the engine with load.



Fig. 6: Harmonics in the engine without load.

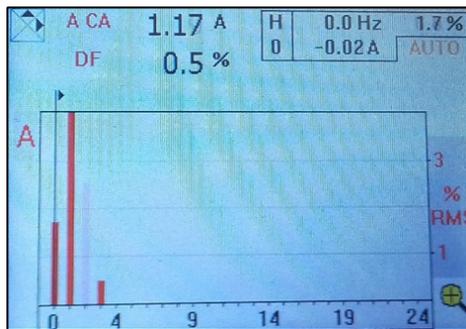


Fig. 7: Harmonics in the engine with load.

### c. Final Considerations

A comprehensive comparison of the experimentally obtained data can be found in Table 1, which meticulously lists the measured values for both the unloaded and loaded engines. These values cover a spectrum of important parameters, including: RMS Voltage (V), RMS Current (A), Active Power (W), Reactive Power (VA), Apparent Power (VA), Power Factor Harmonics (%).

The tabulated data enables a systematic evaluation of the equipment's performance in different conditions, facilitating insights into their interactions. To better visualize the values recorded by the Fluke 345 measurements, Fig. 8 shows a graphical representation in the form of a bar chart.

This graph shows the variations in the measured parameters - RMS voltage, RMS current, active power, reactive power, apparent power, power factor, and harmonics - between the unloaded and loaded engine configurations. The bar graph provides an intuitive display and helps identify power differences in different operating conditions.

TABLE 1: COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASURED PARAMETERS.

Measured Parameters	Engine Empty	Engine With Load
RMS Voltage (V)	60.7	59.6
RMS Current (A)	0.6	1.12
Active Power (W)	36	77
Reactive Power (VA)	37	117
Apparent Power (VA)	8	85
Power Factor	0.972	0.89
Harmonics (%)	0	0.5

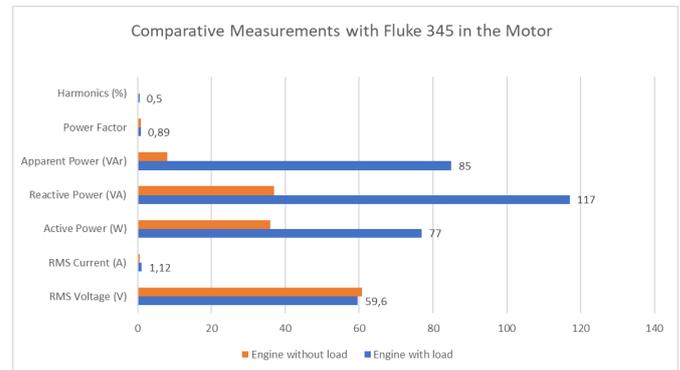


Fig. 8: Performance evaluation via bar chart.

## IV. CONCLUSIONS

In this investigation, the Fluke 345 meter proved to be a key instrument for comprehensively evaluating the electrical parameters of engines. The results shed light on the nuanced behavior of engines in different operating contexts, highlighted by the instrument's robust data storage and analysis capabilities. These results provide a solid foundation for further development of measurement methods in the field of engines systems.

The importance of the precise measurement of electrical parameters enabled by the Fluke 345 is consistent with the broader drive to improve energy efficiency, cost effectiveness and environmental protection. By providing researchers with a versatile tool, this study promotes the development of engine control strategies and improves the understanding of engine characteristics and electrical variables.

Fluke 345 reaffirms the central role of accurate measurement instruments in scientific research and in promoting efficient energy practices in industry, commerce, and homes. The findings from this study will lead to transformative advances in engine technology and contribute to sustainable energy practices.

## V. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Federal University of Tocantins, in particular, the Electronic Laboratory.

## REFERENCES

- [1] F. Corporation, *FLUKE 345 - Power Quality Clamp Meter*, Fluke Corporation, Everett, WA, USA.
- [2] M. L. Verissimo, "Estudo teórico e prático de equipamentos de medição de energia elétrica e de um motor de indução trifásico," 2019.
- [3] W. M. Reis and J. C. Silva, "Estudo de equipamentos medidores de grandezas relacionadas a energia elétricas em um motor trifásico," 2017.

- [4] W. S.A, *Especificação do Motor Elétrico*, WEG S.A, Jaraguá do Sul, SC, Brasil.
- [5] E. Viciania, F. M. Arrabal-Campos, A. Alcayde, R. Baños, and F. G. Montoya, "All-in-one three-phase smart meter and power quality analyzer with extended iot capabilities," *Measurement*, vol. 206, p. 112309, 2023.
- [6] J. Mamede Filho, *Instalações elétricas industriais*. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

---

# Explore Electrical Insights: Evaluation of the Tektronix THS3024 Handheld Oscilloscope for Engine Analysis

---

João Pedro Ferraz Mourão Maya Barbosa<sup>1</sup>, Gabriel Gonçalves Pereira<sup>1</sup>, Emanuella Carvalho Almeida<sup>1</sup>, Wesley Mota dos Reis<sup>1</sup> and Jadiel Caparrós da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Federal University of Tocantins, Electrical Engineering Department, Tocantins, Brazil*

Reception date of the manuscript: 19/08/2023

Acceptance date of the manuscript: 02/10/2023

Publication date: 16/10/2023

---

**Abstract**— The Tektronix THS3024 handheld oscilloscope is explored in this study by examining its efficiency in electrical measurements. In this study, the potential of the instrument is used to evaluate its performance in both unloaded and loaded engines. The THS3024 is equipped with 8 channels and allows the measurement of current and voltage. For this work, 6 channels were enabled due to the delta configuration of the engine, providing 3 voltage channels and 3 current channels. Using a 60 volt supply, the channels were configured to measure voltage and current parameters with appropriate attenuations. Through analysis, this study examines the behavior of the engine at startup and steady state, both with and without load. The plots showing the current waveforms during startup and steady state with and without load highlight the ability of the device to automatically adjust its scale to capture even subtle variations. The study acknowledges that while intrinsic factors have hindered the analysis of harmonics, the THS3024 still provides the ability to display harmonic spectra. By examining the voltage and current response during engine startup, this study demonstrates the value of the THS3024 in capturing essential transient characteristics and precise parameter changes. The negligible differences between loaded and unloaded engines underscore the reliability of the instrument in evaluating electrical behavior. This study thus demonstrates the potential of the THS3024 for precise electrical measurements and promotes its applicability in electrical engineering research.

**Keywords**— Tektronix THS3024, Oscilloscope, Electrical Measurement, Electrical Analysis, Handheld Device, Performance Evaluation

---

## I. INTRODUCTION

The purpose of this study is to investigate and examine devices used to measure magnitudes associated with electrical energy in three-phase engines [1]. This focus is directed to Tektronix THS3024 [2] device notable for its ability to store information, enabling customized analyzes according to the user's demands. The results obtained evidence of the consistency of the stored values, both during the engine at no load and under load. This highlights the ability of this device to enable a detailed statistical analysis of the collected data. These functions are fundamental when deepening the understanding of the correlation between the characteristics of the engine and the captured electrical quantities. In addition to this aspect, the customization of the Tektronix THS3024 device's input parameters by the user, expands its applicability in scientific investigations aimed at measuring and analyzing issues concerning electrical energy. The results obtained establish a solid foundation for the development of advanced measurement and analysis

methodologies in three-phase engines, thus contributing to the continuous progress in this evolving field of research.

The relevance of research aimed at quantifying electrical energy in three-phase engines is widely recognized within the scientific community, as electrical energy is one of the most important products consumed by homes and industries [3]. Previous studies have contributed significantly with valuable information in this field of study, allowing a solid base for the continuous evolution of research and development in this domain [4, 5]. The prior investigative approach is crucial to understanding the complexities inherent in three-phase engines and their interactions with electrical properties, thus facilitating the advancement of technical solutions and effective measurement methodologies [6].

Due to the complex characteristics of three-phase engines and the subtle interactions between their performance attributes and electrical properties [7], choosing a reliable measurement approach is extremely significant. To address this critical need for reliable measurement methodologies, it is imperative to consider the use of specialized equipment. In this context, the Tektronix THS3024 portable oscilloscope [2] emerges as a potentially valuable tool for the precise and detailed analysis of three-phase engines. With its ability to capture and visualize complex three-phase waveforms, the THS3024 offers deep insights into the electrical behavior

of these engines, enabling the detection of anomalies and the assessment of interactions between performance attributes and electrical properties [2]. Thus making it suitable equipment for this study, as explained in Section II

## II. METHODOLOGY AND TOOLS

The primary objective of this project resides in carrying out a thorough analysis of the Tektronix THS3024 device operation manual [2], to investigate and analyze information associated with three-phase engines [1]. This analysis will cover both the operating conditions of the engine at no load and with a small load.

In this section of the work, a theoretical study is carried out through the use of a careful bibliographic survey. Additionally, other theoretical resources were consulted within the scope of the bibliographical survey, aiming to clarify the complexities that could arise during the outlined theoretical course. Finally, as shown in Section III, the measurements of the magnitudes were: Starting Voltage (in Voltage - V), Post-start Voltage (in Voltage - V), Starting Current (in Amps - A) and Post-start Current (in Amps - A). Next, the tools used in this work are explained: Tektronix THS3024 and engines

### a. Instrumentation: Tektronix THS3024

The Tektronix THS3024 is an oscilloscope with significant technological potential suitable for use as a power quality analyzer. This instrument can be used for data acquisition in the laboratory and for characterization of household appliances. Its manual [2] highlights that the THS3024 oscilloscope is equipped with 4 isolated channels and a battery life of up to 7 hours, so you can safely perform various types of measurements on your workbench or in the field.

This instrument offers distinctive features that set it apart from other handheld oscilloscopes. The Tektronix THS3024 has excellent bandwidth and a remarkable sampling rate with a significant number of data points in the recording length per channel [2], as shown in Fig. 1.



**Fig. 1:** The Tektronix THS3024 [2].

With a bandwidth of 200 MHz and a maximum sample rate of 5 GS/s, no other handheld oscilloscope offers this much bandwidth and sample rate in a portable format. The THS3024 has a recording length of 10,000 points per channel, so you can capture more signal information at high

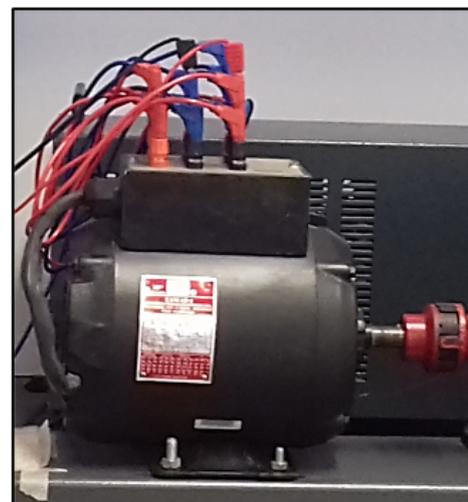
sampling rates to clearly see signal details. For applications where it is important to measure slowly changing signals over long periods of time, the THS3024 offers Roll mode, which extends the length to 30,000 data points [8].

Figure 1 shows the Tektronix THS3024 navigation panel, which serves as the primary means of accessing the tools in this device [4]. The navigation panel consists of buttons, each of which is associated with a command of the THS3024 device, such as the bottom left button responsible for turning the device on and off. Once the device is activated, certain functions can be changed using these buttons. Tektronix [2] clarifies that when any button on the front of the device is pressed, the associated menu appears on the screen. To navigate the menus, Tektronix [2] recommends using the up, down, right, and left arrow keys to move through the submenu. To select a submenu item, press the "Enter" key.

The screen of the Tektronix THS3024 is responsible for displaying data acquired from measurements on a specific circuit, as illustrated in the following section's (III) figures. It allows users to interact with this data and manipulate it using the navigation panel [4]. Signal input into the THS3024 involves enabling channels Ch1, Ch2, Ch3, and Ch4. The top section of this equipment features four inputs where measurement probes can be connected. These probes can be replaced with current clamps for alternative measurements [2].

### b. Engine Specifications

This subsection presents the collected data from a WEG asynchronous engine [1], as shown in Fig. 2, running both unloaded and with a small load generated by an idle direct current generator, utilizing Tektronix THS3024 equipment [2].



**Fig. 2:** WEG asynchronous engine [1].

A 1 HP engine was employed, which represents a relatively low power rating. Nevertheless, this power level permits a direct start of the engine, implying that the rated power of an electric machine can influence the starting moment. Moreover, initiating the engine with no load or with a minor load also allows for the experiment to function as a direct start. In this regard, Mamede [7] asserts that:

- Engine can only undergo a direct start if the following

conditions are met: the nominal current of the power supply is so high that the engine's starting current is insignificant;

- The engine's starting current is low due to its small power;
- The engine starts with no load, reducing the impact of the starting current and consequently mitigating its effects on the power supply system.

The principal characteristics of the electric engine are typically contained within the nameplate data, thus ensuring that operations with the electric machine are executed as safely as possible. Consequently, the key information within the nameplate data for this engine is summarized in Table 1 [1].

TABLE 1: PLATE DATA OF THE WEG ENGINE USED.

Characteristics	Values
Frequency	60Hz
Voltage	220V (phase-neutral)
	380 V (phase-phase)
Power	1Hp
SF	1.5
Insulation	F

The coil configuration employed for this engine was the delta configuration, which eliminates the need for a neutral connection within the circuit. Subsequently, an automatic voltage regulator (Variac®) [9] was connected to the input of the three-phase power supply, and from its output, the engine was linked to the idle DC generator. Fig. 3 illustrates the configuration with the engine connected to the unloaded DC generator.

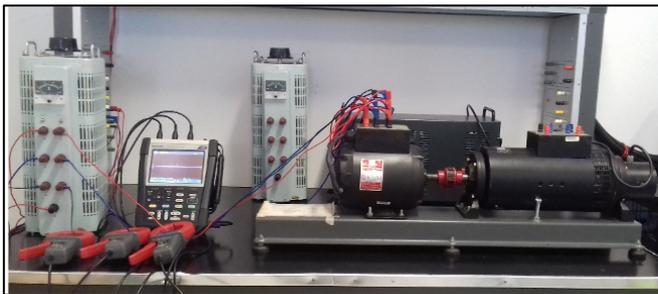


Fig. 3: Configuration for engine connected to DC generator.

### III. RECORDED RESULTS

#### a. Initial considerations

The Tektronix THS3024 equipment [2], has a total of eight channels, four of which are dedicated to measuring electric current, and the other four are for measuring voltage. However, due to the specific configuration of the engine coils[1], it was selected only six channels. It should be noted that the engine under consideration adopts a delta configuration due to the lack of a neutral point current. At the same time, it should be noted that the operating system is three-phase, thus requiring three channels for voltage

measurement. In this experimental context, a voltage of 60 Volts was adopted.

In this sense, it is worth noting that channels 1, 2, and 3 are associated, respectively, with the R, S, and T phases of the system, while channels 5, 6, and 7 were designated to measure the currents of the same phases. To proceed properly, the selected configuration incorporates a current attenuation of 100 mV/A and a voltage attenuation of 1:1, as detailed in Figs. 4 and 5.

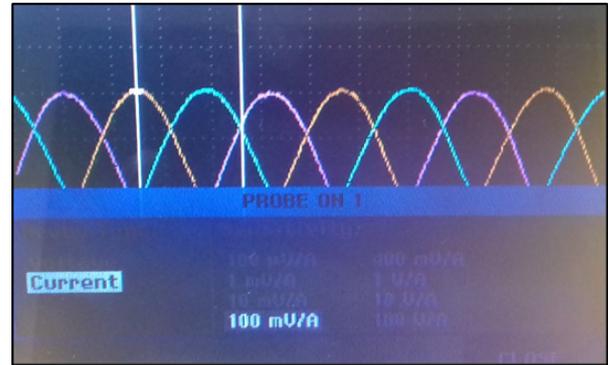


Fig. 4: Current attenuation THS3024.



Fig. 5: Voltage attenuation THS3024.

#### b. Comparison of the engine at no load and with load

When starting up a given engine, the current demanded by it exceeds the current requested during its operation by that device. This discrepancy is reflected in the electric current graph, which shows a significant variation between the starting moment and the moment when the engine operation stabilizes. These aspects are shown in Figs. 6, 7, 8 and 9, representing the graphs corresponding to the engine start and the subsequent period of operational stability, both in the absence and in the presence of load.

It is important to note that the equipment automatically adapts the representation scale due to considerable differences between the recorded current values. While the graph shown in Figs. 6 and 7 shows a scale of 100 amps per division, the graph depicted in Figs. 8 and 9 is characterized by the use of a scale of 500 amps per division.

Although the quantification of harmonics using this equipment has been unfeasible due to intrinsic factors such as calibration and the device's precision, it is capable of measuring and graphically representing the harmonic spectra, as shown in Fig. 10, which illustrates the harmonic

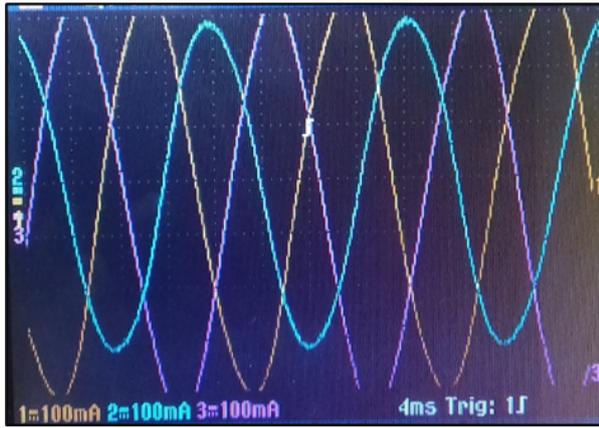


Fig. 6: Engine at no load starting current waveform.

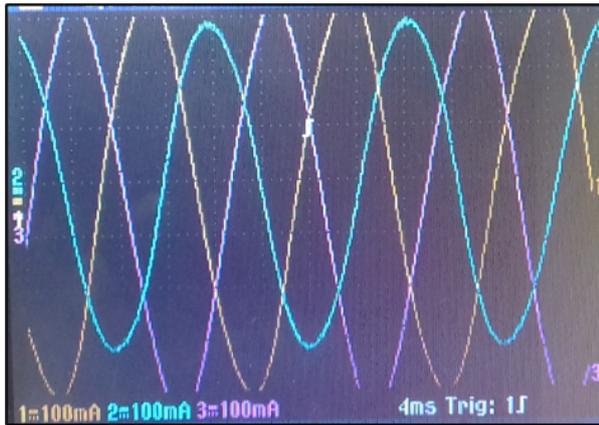


Fig. 7: Engine starting current waveform with load.

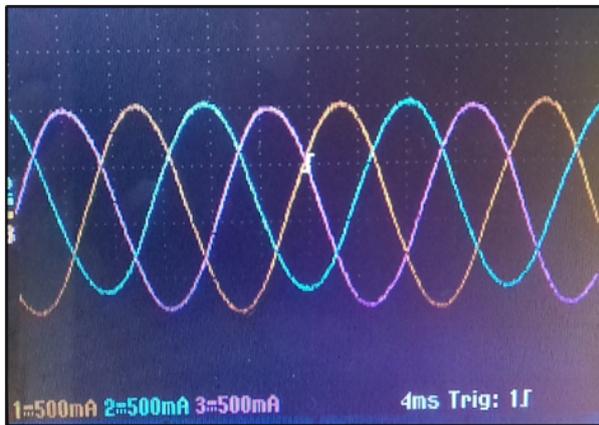


Fig. 8: Peak-peak current waveform in phases R, S and T, engine at no load.

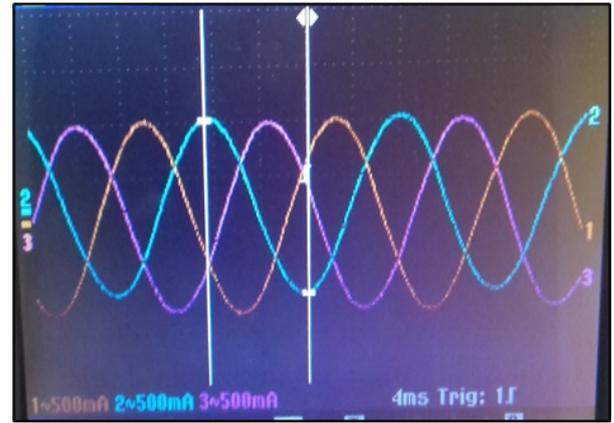


Fig. 9: Peak-peak current waveform in phases R, S and T, engine with load.

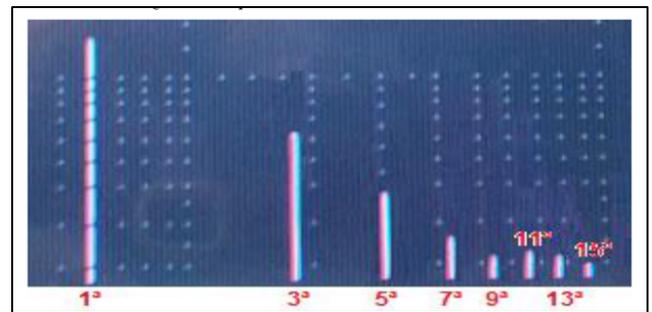


Fig. 10: Harmonic spectra obtained with the THS3024.

unloaded and loaded engine. The quantities include Starting Voltage (in V), Post-start Voltage (in V), Starting Current (in A) and Post-start Current (in A).

TABLE 2: COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASURED PARAMETERS.

Measured Parameters	Engine Empty	Engine With Load
Starting Voltage (V)	1.586	3.421
Post-start Voltage (V)	1.863	3.874
Starting Current (A)	14.452	34.869
Post-start Current (A)	11.641	32.158

On the other hand, Fig. 11 visually summarizes the data presented in Table 2 and provides a more accessible statistical analysis. Figure 11 clearly shows that the deviations between the values obtained for the loaded and unloaded engines are minimal. This graphical representation highlights the consistency of the results and shows that the small differences in the measured quantities do not affect the effectiveness of the Tektronix THS3024 in evaluating the electrical performance of the engines under various conditions.

Thus, looking at both the details in Table 2 and the visual representation in Fig. 11, it is clear that the Tektronix THS3024 has a remarkable ability to provide accurate and consistent analysis of electrical quantities in engines, regardless of the applied load. These robust findings support the utility of this handheld oscilloscope in the context of electrical system analysis and promote a more refined and informed approach to engine performance evaluation.

spectrum up to the 15<sup>th</sup> order and the quantification of each individual harmonic order can be registered with the moving cursor on the device itself. Information such as total harmonic distortion can also be recorded.

#### IV. FINAL CONSIDERATIONS

When analyzing the obtained results, the slight variation of the voltage during the engine start is noticeable, as highlighted in Table 2. It is important to emphasize that the values presented in this table are affected by the damping assumed in this study. Table 2 provides a overview of the quantities measured during the experiment, for both the

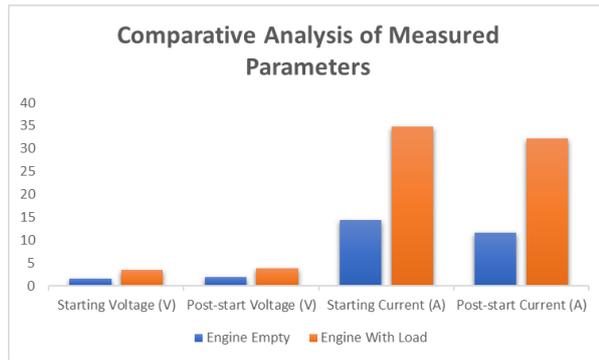


Fig. 11: Comparison of measurements.

## V. ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Federal University of Tocantins. At the same time, we would like to thank the The Electronic Laboratory.

## REFERENCES

- [1] W. S.A, *Especificação do Motor Elétrico*, WEG S.A, Jaraguá do Sul, SC, Brasil.
- [2] T. S. Oscilloscopes, *User's Manual*, Tektronix, Inc, Beaverton, OR, USA.
- [3] L. C. E. Bem, B. de Barros Brito, P. H. P. de Oliveira, A. B. de Moura Santos, and J. C. da Silva, "Development of an application for the verification of electricity rates," *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 3, p. 100122, 2023.
- [4] W. M. Reis and J. C. Silva, "Estudo de equipamentos medidores de grandezas relacionadas a energia elétricas em um motor trifásico," 2017.
- [5] M. L. Verissimo, "Estudo teórico e prático de equipamentos de medição de energia elétrica e de um motor de indução trifásico," 2019.
- [6] L. N. Fauzi, M. H. Ibrahim, and M. Nizam, "Low cost three-phase electrical power quality analyzer system using pc-based usb daq," in *AIP Conference Proceedings*, vol. 2674, no. 1. AIP Publishing, 2023.
- [7] J. Mamede Filho, *Instalações elétricas industriais*. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- [8] T. S. Pereira, "Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletroeletrônicos," 2016.
- [9] G. R. Company, *Variac® Automatic Voltage Regulators*, Variac®, West Concord, Massachusetts, USA.



# Simulações e avaliação da cobertura e desempenho da tecnologia 5G em Palmas - TO

*Simulations and evaluation of coverage and performance of 5G technology in Palmas - TO*

Bruno de Oliveira Lysike<sup>1</sup>, Hernane Mendes de Souza<sup>1</sup> e Kathy Camila Cardozo Osinski Senhorini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Departamento de Engenharia Elétrica, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 21/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 12/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**— Neste estudo, foram realizadas simulações da cobertura da tecnologia 5G em Palmas/TO por meio do software MATLAB®. O objetivo consiste em avaliar a cobertura e desempenho da conexão 5G na região, dado que a tecnologia encontra-se em fase de implantação para uso comercial e seus benefícios já são amplamente difundidos na sociedade. Vale ressaltar que apenas a cobertura não garante uma experiência tecnológica excepcional, tornando assim, fundamental a análise do desempenho do serviço. As simulações foram baseadas nas localizações das estações e no modelo de propagação close-in. Foram considerados dois parâmetros de qualidade do sinal: Razão Sinal-Ruído e a Potência de Referência do Sinal Recebido, ambos acima de 13 dB e -80 dBm, respectivamente, indicativos de conexão de qualidade. A antena utilizada para transmissão foi a microstrip retangular de meio comprimento de onda, com patch de cobre e substrato FR4, em um arranjo MIMO 64x64, e, na recepção, uma antena dipolo de meia onda. A área de melhor cobertura foi no Plano Diretor Sul de Palmas, com destaque para a Vivo, que ofereceu ampla cobertura e alta qualidade de sinal, conforme os padrões de referência. Esses resultados destacam a relevância das simulações precisas na avaliação do desempenho da tecnologia 5G em áreas urbanas.

**Palavras-chave**— Telecomunicações, Tecnologia, 5G, Propagação, Qualidade de cobertura.

**Abstract**— In this study, simulations of 5G technology coverage in Palmas/TO were carried out using MATLAB® software. The objective is to evaluate the coverage and performance of the 5G connection in the region, given that the technology is in the implementation phase for commercial use and its benefits are already widely disseminated in society. It is worth noting that coverage alone does not guarantee an exceptional technological experience, making it essential to analyze the service's performance. The simulations were based on station locations and the close-in propagation model. Two signal quality parameters were considered: Signal-to-Noise Ratio and Received Signal Reference Power, both above 13 dB and -80 dBm, respectively, indicative of quality connection. The antenna used for transmission was the half-wavelength rectangular microstrip, with copper patch and substrate FR4, in a 64x64 MIMO arrangement, and, for reception, a half-wave dipole antenna. The area with the best coverage was in the Southern Palmas Master Plan, with emphasis on Vivo, which offered broad coverage and high signal quality, in accordance with reference standards. These results highlight the relevance of accurate simulations in evaluating the performance of 5G technology in urban areas.

**Keywords**— Telecommunications, Technology, 5G, Propagation, Coverage quality.

## I. INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, a indústria móvel passou por cinco gerações de revolução tecnológica, trazendo impactos significativos à sociedade. A primeira geração (1G) foi totalmente analógica, transmitindo apenas voz. A segunda geração (2G) trouxe a interoperabilidade global, confiabilidade e mensagens SMS. Com a terceira geração

(3G), dados em alta velocidade, acesso à internet e segurança na comunicação se tornaram realidade. A quarta geração (4G) aumentou a capacidade e velocidade dos dados, viabilizando serviços online, internet móvel rápida e redução do consumo de energia dos terminais móveis. A quinta geração (5G) é a mais avançada até o momento, oferecendo dados excepcionais, conectividade aprimorada, velocidades gigabit e cobertura expandida, até mesmo em áreas remotas [1]. A sexta geração (6G), atualmente em pesquisa e desenvolvimento, promete aprimorar conquistas anteriores e expandir capacidades tecnológicas nas telecomunicações [2].

as ambições anteriores: buscar consolidar-se firmemente como um recurso vital na integração das tecnologias digitais em diversos âmbitos econômico e social, desempenhando um papel crucial no avanço de setores como a indústria 4.0, mobilidade automotiva, transporte, saúde, energia, mídia e entretenimento. A sua capacidade de gerar novas cadeias de valor e fomentar modelos de negócios inovadores está pronta para redefinir os padrões [3].

Com o advento da Internet das Coisas (IoT), espera-se que até 2030 cerca de 25,4 bilhões de dispositivos se interconectem [4]. Com as redes 5G em destaque, o compartilhamento de infraestrutura se torna crucial para economias de custo, podendo chegar a 20-30%, sendo especialmente relevante, dada a necessidade de investimentos significativos por parte das operadoras para implementar essas tecnologias avançadas [5]. Essa colaboração é destacada em uma análise mais minuciosa, como mostrado na Tabela 1, com dados sobre a cobertura percentual das cinco melhores Unidades da Federação (UFs) no Brasil [6].

**TABELA 1:** RANKING DO PERCENTUAL DE MORADORES ATENDIDOS PELO 5G POR UF [6].

Classificação	UF	Moradores cobertos (%)
1°	Distrito Federal	99,14
2°	Alagoas	79,64
3°	Rio de Janeiro	78,23
4°	São Paulo	72,07
5°	Amapá	63,45

O estado do Tocantins ocupa a 20ª posição em termos de percentual de residentes já beneficiados pela tecnologia 5G, com uma cobertura ampla de 37,88% [6]. A Tabela 2 resalta os principais municípios que se destacam no Tocantins, onde Palmas ocupa a segunda posição com uma abrangência de 96,70% da população[6], embora seja crucial reconhecer que alta cobertura percentual não garante automaticamente uma experiência tecnológica satisfatória [7].

**TABELA 2:** RANKING DO PERCENTUAL DE MORADORES ATENDIDOS PELO 5G POR MUNICÍPIO NO TOCANTINS [6].

Classificação	Município	Moradores cobertos (%)
1°	Gurupi	96,71
2°	Palmas	96,70
3°	Paraíso do Tocantins	94,70
4°	Araguaína	72,07
5°	Porto Nacional	63,45

Um dos principais indicadores de qualidade em redes móveis 5G é a Relação Sinal-Ruído mais Interferência (SINR). Ela expressa a relação entre o sinal desejado e os ruídos ou interferências presentes, frequentemente em decibéis (dB) para facilitar a compreensão [7]. A fórmula matemática para o cálculo do SINR é apresentada na Equação 1:

$$\text{SINR}(X) = \frac{P}{I+N} \quad (1)$$

Nesse contexto, os símbolos têm significados específicos: P para a potência do sinal de entrada, I para a potência das interferências de outros sinais e N para o componente

de ruído [7]. No ambiente MATLAB® [8], ferramentas automatizam o cálculo da SINR e geram visualizações gráficas para estimativas de cobertura em mapas de Estações Rádio Base (ERBs).

## II. METODOLOGIA

Foram conduzidas simulações no *software* MATLAB® [8] para prever a propagação da cobertura 5G em Palmas. Essas simulações resultaram da combinação de códigos da literatura relevante [9, 10].

Os códigos foram ajustados para refletir as configurações das antenas MIMO 64x64 em frequências de 3,45 GHz e 3,55 GHz, usadas na tecnologia 5G. Para a simulação, os dados necessários, como frequência da Antena Transmissora (Tx), frequência da Antena Receptora (Rx), ganho da antena, altura da antena e potência do transmissor, são inseridos no script correspondente [11]. A simulação usa o modelo de propagação *close-in*, invocado por uma função no MATLAB® [8, 11].

As posições das ERBs são determinadas com base nos registros das operadoras no banco de dados Mosaico, mantido pela Anatel [12]. Após a realização de 16 simulações, o estudo foi dividido em duas partes, nas quais cada uma delas concentrou-se na análise das duas melhores ERBs de cada operadora, a Vivo e a Tim. Estas estações operam com potências de transmissão de 200W e 100W, respectivamente, como detalhado na Tabela 3:

**TABELA 3:** CONFIGURAÇÕES DAS ERBs 5G DAS OPERADORAS VIVO E TIM EM PALMAS - TO [11].

Nome ERB	Local (Lat.,Long.)	Freq. Tx (MHz)	Freq. Rx (MHz)	Ganho (dB)	Altura (m)
Vivo 1	-10.19028, -48.33861	3450	3450	25	71
Vivo 2	-10.193778, -48.362142	3450	3450	25	44
Tim 1	-10.254389, -48.317222	3550	3550	25	50
Tim 2	-10.179444, -48.335833	3550	3550	25	48,3

Destaca-se que essas ERBs pertencem à TELEFONICA BRASIL S.A. (Vivo) e à TIM S.A., utilizando antenas transmissoras da Huawei AAU5636 pela prestadora Vivo e da Ericsson AIR 6419 B42 pela prestadora Tim [11].

Dois fatores cruciais na avaliação da qualidade são o SINR e a Potência Recebida do Sinal de Referência (RSRP). O SINR é visualizado em um mapa, possibilitando a análise da cobertura da ERB com base em um modelo de propagação em áreas próximas. A escala do SINR varia de -5 a 20 dB, com categorias de alcance típicas:  $\geq 20$  dB (Excelente); 13 dB a 20 dB (Bom); 0 dB a 13 dB (Razoável a Ruim);  $\leq 0$  dB (Sem conexão). Assim, áreas com valores próximos a 20 dB oferecem uma conexão superior, otimizando a experiência de uso e aproveitando o potencial do 5G [13].

A simulação utiliza três Rx com sensibilidade de -70 dBm para verificar a RSRP, sendo que os níveis de qualidade do sinal são definidos assim:  $\geq -80$  dBm (Excelente); -80 dBm a -90 dBm (Bom); -90 dBm a -100 dBm (Razoável a Ruim);  $\leq -100$  dBm (Sem conexão) [13]. Isso implica que acima de -80 dBm a conexão é excelente, enquanto abaixo desse valor, a qualidade diminui. A próxima seção aborda os resultados das simulações de cobertura das ERBs, baseados nas premissas discutidas neste trecho.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As etapas de simulação no *software* MATLAB® [8] foram estrategicamente conduzidas de maneira individual para analisar diversas regiões na cidade de Palmas. A seleção das posições das Rx foi realizada de maneira a simular a experiência dos usuários nesses pontos, com suas respectivas localizações descritas na Tabela 3.

Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 4, permitindo uma análise abrangente e comparações de cada cenário simulado. Essa abordagem fornece uma visão sistemática da potência recebida para cada antena, facilitando a avaliação das características individuais de cada ERB.

**TABELA 4:** COMPARATIVOS DOS RESULTADOS DAS ERBS [11].

Antena Receptora	Distância de Tx (m)	Superfície de elevação Tx (m)	Superfície de elevação Rx (m)	Potência recebida (dBm)
ERB Vivo 1				
Rx 1	270	243	237	-59,3
Rx 2	510	243	253	-66,9
Rx 3	700	243	253	-70,8
ERB Vivo 2				
Rx 1	230	229	224	-56,8
Rx 2	70	229	229	-43,9
Rx 3	490	229	231	-65,9
ERB Tim 1				
Rx 1	150	273	271	-55,5
Rx 2	620	273	277	-72,4
Rx 3	410	273	275	-67,2
ERB Tim 2				
Rx 1	330	258	262	-65,0
Rx 2	690	258	245	-74,2
Rx 3	1020	258	241	-79,1

Após simular ambas as ERBs da Vivo, os resultados são significativos. As Rx foram localizadas de forma precisa em relação à Tx, que asseguram um SINR estimado superior a 20 dB e uma potência RSRP que ultrapassa o limite de -70 dBm. Essa disposição garante não apenas alta qualidade de conexão 5G, mas também evidencia a capacidade dos dispositivos de maximizar o potencial dessa tecnologia. Além disso, a análise da segunda ERB da Vivo, próxima à UFT, indica um SINR na faixa entre 11 e 20 dB, sugerindo previsões promissoras de conexões 5G em pontos específicos da universidade.

Ao analisar as ERBs da Tim, os resultados revelam cenários distintos. Na ERB Tim 1, a Rx 2 supera o limite de potência recebida, embora dentro do SINR. As antenas Rx 1 e Rx 3 têm RSRP que promovem uma conectividade eficiente. Já na ERB Tim 2, Rx 2 e Rx 3 excedem a potência recebida, mantendo-se no SINR de 13 dB. A antena Rx 1 mantém uma conexão de melhor qualidade, estando na região do SINR e com potência recebida acima do limite de referência. Vale destacar que a antena Rx 3 é a mais distante entre todas as simulações realizadas. Esses resultados fornecem percepções sobre os diferentes desempenhos das ERBs das operadoras.

### IV. CONCLUSÕES

Com base nas 16 simulações e na seleção das 2 melhores antenas, constatou-se que uma parte significativa da área urbana de Palmas atende aos requisitos mínimos de SINR e RSRP para o 5G. Essa conclusão é visível nas regiões próximas à Praça dos Girassóis, Avenida JK e no Plano Diretor Sul, que foram prioritárias na instalação das ERBs. Destaca-se que as ERBs da Vivo superaram as da Tim em desempenho, devido à potência de transmissão de 200 W das antenas da Vivo, enquanto as da Tim operaram com 40 W e 100 W. Como sugestão para futuros estudos, recomenda-se medidas de campo, simulações com várias antenas e testes em softwares comerciais para comparação e validação dos resultados simulados. Essas investigações visam aprimorar a infraestrutura 5G na região, assegurando qualidade na experiência tecnológica dos usuários dentro dos requisitos necessários para a mesma.

### V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio à Universidade Federal do Tocantins e ao Programa de Educação Tutorial (PET) de Engenharia Elétrica pelo apoio fornecido durante o desenvolvimento desta pesquisa.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. R. Mishra, *Fundamentals of Network Planning and Optimisation 2G/3G/4G: Evolution to 5G*. New York, USA: Wiley, 2018.
- [2] A. V. D. Araújo and A. C. d. O. Júnior, "Desafios no desenho do escopo arquitetônico 6G," *Workshop de Redes 6G (W6G)*, pp. 1–6, 2022.
- [3] J. Navarro-Ortiz, P. Romero-Diaz, S. Sendra, P. Ameigeiras, J. J. Ramos-Munoz, and J. M. Lopez-Soler, "A survey on 5g usage scenarios and traffic models," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 2, pp. 905–929, 2020.
- [4] L. S. Vailshery. (2022) Number of internet of things (iot) connected devices worldwide from 2019 to 2030. Tomado de <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/> (24/08/2023).
- [5] R. Spadinger, *Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e indústria 4.0.*, Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura., Brasil, 2021.
- [6] A. N. de Telecomunicações. (2023) Panorama da cobertura da telefonia móvel no brasil. Tomado de <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/panorama> (20/08/2023).
- [7] R. C. Bentes, "Cálculo de cobertura na faixa de 3.5 ghz e aplicação de modelos de propagação em ambientes urbanos aplicados a sistemas 5g-tdt." 2021.
- [8] Mathworks. (2022) Matlab. Tomado de <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (15/08/2023).
- [9] —. (2022) Visualize antenna coverage map and communication links. Tomado de <https://www.mathworks.com/help/antenna/ug/visualize-antenna-coverage-map-and-communication-links.html> (15/08/2023).
- [10] —. (2022) Sinr map for a 5g urban macro-cell test environment. Tomado de <https://www.mathworks.com/help/phased/ug/sinr-map-for-a-5g-urban-microcell-test-environment.html> (15/08/2023).
- [11] H. M. de Souza, "Simulação de cobertura da telefonia móvel 5g em palmas," 2022.
- [12] A. N. de Telecomunicações. (2022) Mosaico. Tomado de <https://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento.php> (15/08/2023).

- [13] A. Bellary, K. Kandasamy, and P. H. Rao, "Analysis of Wave Propagation Models With Radio Network Planning Using Dual Polarized MIMO Antenna for 5G Base Station Applications," *IEEE Access*, vol. 10, no. 1, pp. 29 183–29 193, 2022.

---

# Sistemas de recomendação de música usando a plataforma JINA.AI

## *Music Recommendation System using the Jina.AI platform*

---

Matheus Alves Sousa e Silva<sup>1</sup> e Rafael Lima de Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, Brasil*

Data de recebimento do manuscrito: 23/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 30/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

---

**Resumo**— Nos últimos anos, o consumo de música passou por mudanças significativas, com o *streaming* online se tornando uma opção popular. Grandes plataformas como *Spotify* e *Apple Music* oferecem vastos catálogos, impulsionando sistemas de recomendação para atender aos usuários. Tais sistemas são complexos e precisam ser escaláveis para lidar com volumes de dados. O Jina.AI, uma plataforma líder em inteligência artificial multimodal, destaca-se entre as opções para criar soluções escaláveis. Assim, o presente trabalho tem por objetivo mostrar a criação de um sistema de recomendação de músicas, baseado em conteúdo e usando-se o conceito de *embeddings* para indexação e busca neural usando a plataforma Jina.AI. Os resultados do experimento apresentado demonstra a viabilidade, versatilidade e facilidade para criação de um sistema de recomendação baseado em conteúdo com Jina.AI.

**Palavras-chave**—Sistemas de Recomendação, Recomendação Musical, Jina.AI

**Abstract**— *In recent years, music consumption has undergone significant changes, with online streaming becoming a popular option. Major platforms like Spotify and Apple Music offer vast catalogs, powering recommendation systems to cater to users. Such systems are complex and need to be scalable to handle data volumes. Jina.AI, a leading multimodal artificial intelligence platform, stands out among the options for creating scalable solutions. Thus, this study aims to demonstrate the creation of a content-based music recommendation system using the concept of embeddings for indexing and neural search using the Jina.AI platform. The experiment's results presented show the viability, versatility, and ease of creating a content-based recommendation system with Jina.AI.*

**Keywords**—*Recommender Systems, Music Recommendation, Jina.ai.*

---

## I. INTRODUÇÃO

A música transcende as fronteiras do cotidiano e se estabelece como um elemento intrínseco à vida humana, participando ativamente de momentos triviais e significativos, enquanto influencia a evolução da espécie e da sociedade [1]. Sua presença histórica se manifestou por meio de diferentes meios, desde apresentações ao vivo até a era dos suportes físicos como discos de vinil, CDs e fitas K7. Enfitretanto, a era digital, impulsionada por avanços na velocidade de transmissão de dados e na infraestrutura da internet, trouxe uma revolução no consumo musical, onde o acesso via internet representa atualmente uma parcela significativa, atingindo 64% de todos os formatos de consumo [2].

Plataformas de *streaming*, como Spotify e Apple Music, emergiram como catalisadoras dessa transformação, ofere-

cendo catálogos vastos, contendo centenas de milhões de faixas [3]. No entanto, essa profusão de escolhas também deu origem a um dilema: a vastidão do repertório disponível torna inviável para os usuários explorarem integralmente as opções. Nesse contexto, os sistemas de recomendação desempenham um papel fundamental [4].

Os sistemas de recomendação, embasados em algoritmos sofisticados, têm a função de filtrar e personalizar o vasto conjunto de itens musicais, entregando aos usuários uma seleção alinhada com suas preferências históricas, padrões de usuários semelhantes e características intrínsecas das próprias músicas [5]. O Spotify, por exemplo, opera em escala global, servindo inúmeras pessoas simultaneamente, o que demanda robustez e escalabilidade para lidar com o constante influxo de novos usuários e músicas.

Diante desse cenário, surge o Jina.AI, uma plataforma de *Machine Learning Operations* (MLOps) que se destaca como uma solução avançada para a construção e implementação de sistemas de recomendação [6]. Ao oferecer suporte a diversos algoritmos de busca vetorial e uma estrutura flexível para a integração de diversos modelos de aprendizado de

Dados de contato: Matheus Alves Sousa e Silva, matheus.alves1@uft.edu.br

máquina, a plataforma Jina.AI enfrenta o desafio de criar sistemas de recomendação personalizados e eficientes. Além disso, sua capacidade de expor serviços implementados à internet é facilitada pela inclusão de serviços nativos de computação em nuvem.

Assim, o presente artigo descreve experimentos computacionais que exploram a implementação de técnicas de sistemas de recomendação por meio da plataforma Jina.AI. Este artigo está estruturado da seguinte forma: na Seção II, são abordadas as bases de dados, algoritmos e ferramentas empregados, detalhando sua aplicação. A Seção III exhibe os resultados obtidos com os experimentos realizados. A Seção IV encerra o artigo com as considerações finais.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, apresenta-se a base de dados de letras de músicas utilizada para ilustrar a prova de conceito aqui proposta (subseção IIa). Em seguida, a subseção IIb apresenta uma rápida descrição da ferramenta Jina.AI. A subseção IIc descreve um experimento baseado em conteúdo (*content-based*) tendo por objetivo mostrar as etapas necessárias para montar um recomendador de músicas usando Jina.AI.

### a. Base de dados de letras de músicas

A disponibilidade de conjuntos de dados amplos é crucial para efetivamente conduzir as fases de treinamento e avaliação de sistemas de recomendação. Bases de dados específicas para sistemas de recomendação musical são elaboradas para facilitar a pesquisa, permitindo que os cientistas se concentrem nas técnicas e algoritmos subjacentes. Ao serem disponibilizadas publicamente, essas bases de dados também resolvem o desafio do licenciamento de músicas. Nesta seção, as principais fontes públicas de dados para sistemas de recomendação musical são apresentadas e detalhadas.

A base aqui considerada foi a "Song lyrics from 79 musical genres", disponível no Kaggle<sup>1</sup>, foi criada por Anderson Neise. Ela reúne letras de músicas de 79 gêneros musicais distintos, coletadas do site Vagalume. Os dados abrangem 379.893 letras de 4.239 artistas, acompanhadas de metadados como nome do artista, gênero, linguagem e uma métrica de popularidade. No estudo, somente letras em inglês foram utilizadas para garantir a compatibilidade com o modelo de extração de *embeddings*. Após filtragem, a base continha 191.385 letras, e devido a limitações de processamento, foi reduzida em 50%, totalizando 95.693 registros.

### b. A plataforma Jina.AI

Jina.AI trata-se de uma tecnologia de código aberto que permite criar aplicações de inteligência artificial multimodais com tecnologias nativas para a nuvem. Ela funciona através de quatro pilares a saber [6]: *Document*, *DocumentArray*, *Executors* e *Flow*. *Document* é uma estrutura de dados para representar a informação a ser tratada. No caso do presente trabalho, trata-se da estrutura que armazenará as letras das músicas. O *DocumentArray* é uma estrutura de dados capaz

de armazenar dados prontos para serem transmitidos via rede. O *DocumentArray* já possui embutida medidas de similaridade tais como cosseno e distância Euclidiana. Um *Executor* é capaz de realizar um trecho de código, sempre tomando como entrada um *DocumentArray* e emitindo como saída um *DocumentArray* (possivelmente modificado). Por fim, o *Flow* é responsável pela orquestração dos executores. Os executores podem ser classes Python feitas pelo próprio desenvolvedor como também códigos disponíveis no Jina Hub. Este é um hub de Executores de código aberto já prontos para serem usados. A Figura 1 exhibe o fluxo usado no experimento deste trabalho e sua configuração como Flow do Jina.AI na Figura 3.

### c. Recomendações utilizando letras de músicas usando Jina.AI

A execução do experimento acontece em duas etapas: o *flow* descrito na Figura 1 representa a etapa de indexação dos dados; enquanto o descrito na Figura 2 descreve a etapa de busca dos resultados e geração das recomendações. Todos os executores Jina.AI utilizados para esse experimento podem ser encontrados no Jina Ai Executor Hub [7].

#### Etapa de Indexação

O processo começa com letras de músicas a serem indexadas armazenadas em um *Document* do DocArray (Figura 1a). O executor *Sentencizer* divide o texto em pequenas partes chamadas *chunks*, armazenando-os no atributo `.chunks` do *Document* de entrada (Figura 1b). O executor *Tags Copier* replica os metadados da música para os *chunks*, permitindo a identificação durante a busca (Figura 1c).

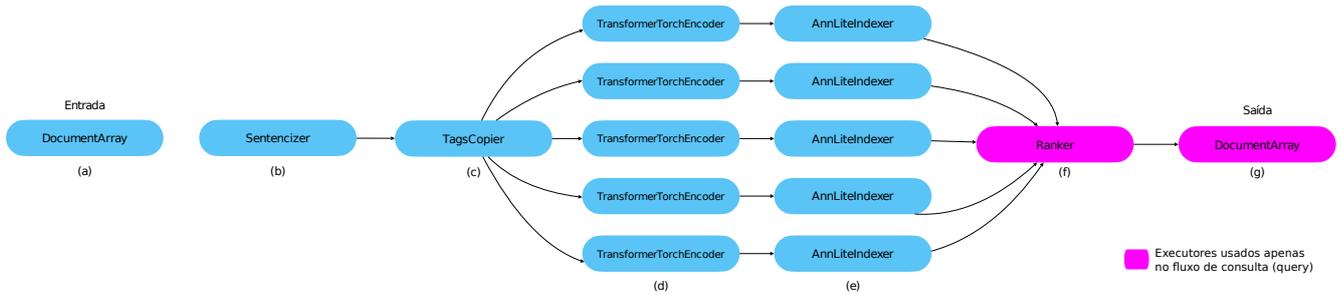
Os *embeddings* dos *chunks* são extraídos usando o *TransformerTorchEncoder* (Figura 1d). Isso cria representações vetoriais densas que capturam similaridades semânticas entre palavras e frases. O modelo usado é o *all-MiniLM-L6-v2*, um *sentence-transformer* de 384 dimensões. Cinco instâncias do *TransformerTorchEncoder* são usadas para processar vários documentos simultaneamente.

O *AnnLiteIndexer* recebe como entrada um vetor de documentos contendo as propriedades *chunks* e *embeddings*, armazena-os na memória ou na nuvem usando o banco de dados RocksDB [8]. No fluxo especificado, foram previstos cinco *shards* separados para otimizar a indexação. Parâmetros específicos são definidos para o *AnnLiteIndexer* para influenciar a precisão da indexação e qualidade das buscas. Detalhes dos parâmetros estão na Tabela 1.

TABELA 1: PARÂMETROS UTILIZADOS NO EXECUTOR ANNLITEINDEXER

Parâmetro	Valor
n_dim	384
ef_search	64
ef_construction	128
max_connection	32
index_access_paths	@c

<sup>1</sup><https://www.kaggle.com/datasets/neise/scrapped-lyrics-from-6-genres>



**Figura 1:** O flow definido para a indexação e busca das letras de músicas. Os executores apresentados em (f) e (g) fazem parte apenas da etapa de busca (ou geração da recomendação).

### Etapa de Busca

Conforme o que se apresenta na Figura 1, o fluxo inicia recebendo um *DocumentArray* contendo um único Document (consulta) onde será separado em chunks pelo *Sentencizer* chunks cujas *embeddings* serão calculados pelo *TransformerTorchEncoder*. Assim, ele executa buscas para comparar os *embeddings* dos chunks com os do banco de dados gerados na etapa de indexação, usando cinco shards.

O resultado da busca é armazenado no atributo `.matches` dos chunks no Document de busca. Dentro de `.matches` ficam armazenados os  $N = 10$  Documents mais semelhantes aos chunks do Document de busca, considerando-se a métrica de similaridade do cosseno.

A última etapa ocorre no *Ranker* (Figura 1f). Ele recebe Documents do executor anterior, contendo `.matches` com os chunks mais semelhantes. O *Ranker* coleta os matches para cada chunk, ordenando-os por similaridade de cosseno. Esses matches são armazenados na raiz do Document de busca, em `.matches`.

O resultado do flow de busca é o próprio Document de busca, contendo os Documents mais semelhantes encontrados no banco de dados indexado. Ambos os fluxos retornam recomendações em formato de Document, contendo *ids* e *tags* de artistas recomendados.

## Lyrics Recommender

Enter query

'Cause every time we touch\nI get this feeling\nAnd every time we kiss\nI swear I could fly\nI can't you feel my heart beat fast\nI want this to last\nNeed you by my side

Results

1 2 15

Search

```

[
  0: {
    "Matched text":
    "Got you feelin so fly when we're floating through the sky"
    "Artist name": "Brokencyde"
    "Song name": "Fly Away"
    "Genres": "Electronica; Hardcore; Hip Hop"
    "Popularity": "0.0"
    "Cosine distance": 0.369808554649353
  }
  1: {
    "Matched text":
    "cause I'm flyin' in the air, you all the way down, and I'm flyin' to the sky, I don't touch the ground."
    "Artist name": "Wiz Khalifa"
    "Song name": "Sky High"
    "Genres": "Rap; Hip Hop"
    "Popularity": "0.2"
    "Cosine distance": 0.3759859800338745
  }
]

```

**Figura 2:** Aplicação de prova de conceito mostrando a resposta do indexador construído com Jina.AI.

## III. RESULTADOS

Ao iniciar o fluxo definido na seção c, a plataforma Jina.AI permite que um serviço em formato *Representational State Transfer* (REST) fique disponível na porta e endereço configurado pelo desenvolvedor. A Figura 2 exibe uma aplicação *front-end* criada usando a biblioteca *Streamlit* onde é possível estipular o documento ou parte dele em formato de consulta e obter até 15 (quinze) documentos recomendados de acordo com a proximidade de cosseno.

## IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo mostrou a utilização da ferramenta de *MLOps* Jina.AI para a implementação de sistemas de recomendação de música. Para tanto, foi proposto um fluxo onde considera as letras de músicas em uma representação de *embeddings* gerada pelo modelo pré-treinado para palavras da língua inglesa *sentence-transformers*. Apresentou-se a versatilidade e simplicidade da ferramenta Jina.AI para

```
jtype: Flow
version: '1'
gateway:
  protocol: [grpc, http, websocket]
  port: [54324, 54325, 54326]
workspace: './workspace'

executors:
- name: sentencizer
  uses: jinaai://jina-ai/Sentencizer:latest

- name: transformer_encoder
  uses: jinaai://jina-ai/TransformerTorchEncoder:latest
  replicas: 5
  uses_with:
    pretrained_model_name_or_path:
      sentence-transformers/all-MiniLM-L12-v2
    traversal_paths: "@c"

- name: ann_indexer
  uses: ann_exec/config.yml
  install_requirements: true
  shards: 5
  polling: {'/index': 'ANY',
            '/search': 'ALL',
            '/update': 'ALL',
            '/delete': 'ALL',
            '/status': 'ALL'}
  uses_with:
    n_dim: 384
    ef_search: 64
    ef_construction: 128
    max_connection: 32
  workspace: './workspace'
  timeout-ready: -1

- name: ranker
  uses: jinaai://jina-ai/SimpleRanker:latest
  uses_with:
    metric: cosine
  install_requirements: true
```

**Figura 3:** Código Yaml definindo o fluxo de dados na plataforma Jina.AI.

a rápida prototipação de um sistema de recomendação de músicas baseado em conteúdo. Para a aplicação em consideração, utilizou-se a base de dados “Song lyrics from 79 musical genres”.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. Schulkin and G. B. Raglan, “The evolution of music and human social capability,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 8, 2014. [Online]. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2014.00292>
- [2] A. Alexander, “A visual breakdown of global music consumption,” Feb 2023. [Online]. Available: <https://www.visualcapitalist.com/cp/a-visual-breakdown-of-global-music-consumption/>
- [3] W. Apple, “Celebrating 100 million songs,” May 2023. [Online]. Available: <https://www.apple.com/newsroom/2022/10/celebrating-100-million-songs/>
- [4] C. C. Aggarwal, *Recommender Systems - The Textbook*. Springer, 2016.
- [5] B. Rocca, “Introduction to recommender systems,” Jun 2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-recommender-systems-6c66cf15ada>
- [6] B. Wang, C. Mitroi, F. Wang, S. Saboo, and S. Guzman, *Neural Search-From Prototype to Production with Jina: Build deep learning-powered search systems that you can deploy and manage with ease*. Packt Publishing Ltd, 2022.
- [7] J. ExecutorHub, “Executor hub,” Jun 2023. [Online]. Available: <https://docs.jina.ai/concepts/serving/executor/hub/index.html>
- [8] M. RockDB, “A persistent key-value store,” 2023. [Online]. Available: <https://rocksdb.org/>



# Esteganografia usando Algoritmo Genético de Chaves Aleatórias Viciadas

## *Steganography using Biased Random Keys Genetic Algorithm*

Getulio dos Santos Araujo<sup>1</sup> e Warley Gramacho da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Curso de Ciência da Computação, Palmas, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 30/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 31/08/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**— A esteganografia é vista com bons olhos no mundo digital como uma alternativa de envio de dados via arquivos em formato digital, mas há questionamentos quanto à sua qualidade e segurança, visto que uma simples degradação a expõe à interceptação de dados. Para minimizar isso, o uso da técnica da matriz de substituição tende a “mascarar” as informações embutidas, que, se remodeladas, podem ser representadas por um vetor de tamanho  $n$ , com  $n$  valores diferentes entre 0 e  $n - 1$  que são ordenados de uma maneira específica pode determinar a sequência de bits que substituirá uma determinada sequência de bits. Encontrar uma configuração ótima para uma matriz de substituição é um problema combinatório e deterministicamente inviável, exigindo o uso de heurísticas para encontrar uma solução quase ótima. No presente projeto aplicamos os conceitos de Algoritmos Genéticos com Chaves Aleatórias Aleatórias (BRKGA) para encontrá-lo, ao mesmo tempo que é atestada sua eficiência em relação à abordagem da esteganografia, aplicações de seus conceitos em Algoritmos Genéticos convencionais. Ao final, concluímos que alguns aspectos podem ter contribuído para sua eficiência em relação à abordagem AG proposta por [1].

**Palavras-chave**—esteganografia; matriz de substituição; problema combinatorial; técnicas heurística; BRKGA.

**Abstract**— *Steganography is seen favorably in the digital world as an alternative for sending data via files in digital format, but there is some questioning regarding its quality and security, given that a simple degradation exposes it to data interception. In order to minimize this, the use of the substitution matrix technique tends to “mask” the embedded information, which, if remodeled, can be represented by a vector of size  $n$ , with  $n$  different values between 0 and  $n-1$  that are ordered in a specific way can determine the sequence of bits that will replace a given sequence of bits. Finding an optimal configuration for a substitution matrix is a combinatorial problem, and deterministically infeasible, requiring the use of heuristics to find a quasi-optimal solution. In the present project we apply the concepts of Genetic Algorithms with Biased Random Keys (BRKGA) to find it, at the same time that its efficiency is attested in relation to the approach of steganography, applications of its concepts in conventional Genetic Algorithms. In the end, we concluded that some aspects may have contributed to its efficiency in relation to the GA approach proposed by [1].*

**Keywords**—steganography; substitution matrix; combinatorial problem; heuristic techniques; BRKGA.

## I. INTRODUÇÃO

O termo esteganografia pode ser definido como a arte de ocultar informações, tornando-as ocultas para não

Esta é uma versão revisada de um artigo de conferência apresentado em ARAUJO, Getúlio Dos Santos; SILVA, Warley Gramacho da. ESTEGANOGRAFIA USANDO ALGORITMO GENÉTICO DE CHAVES ALEATÓRIAS VICIADAS.. In: Anais do XVI Seminário de Iniciação Científica da Universidade Federal do Tocantins. Anais... Palmas (TO) DIGITAL (ONLINE), 2020. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/sicUFT/291845-ESTEGANOGRAFIA-USANDO-ALGORITMO-GENETICO-DE-CHAVES-ALEATORIAS-VICIADAS>.  
Dados de contato: Getulio dos Santos Araujo, getulio.santos@uft.edu.br

serem percebidas por terceiros. Ao utilizar a técnica de esteganografia para ocultar informações secretamente, é comum utilizar a substituição do LSB (Least Significant Bit) como técnica para ocultar tais dados, permitindo que, além de uma fácil implementação, tal processo tenha alta capacidade. armazenar dados com segurança, podendo minimizar a dispersão entre o arquivo original e o arquivo gerado pelo processo de esteganografia [2]. Porém, a substituição LSB quando aplicada à esteganografia, tem suas restrições quanto ao tamanho do arquivo e/ou ao tipo de arquivo no qual tal informação será ocultada, pois dependendo do tamanho da informação a ser ocultada, o aparecimento de tal arquivo após processo pode ser viável [3].

Visando reduzir tal dispersão e uma melhor esquema-

tização das substituições a serem realizadas, a utilização da Matriz de Substituição pode ser vista como uma forma eficiente, reversível e simples de mapear tais substituições, bastando estruturar quais e por qual determinada sequência LSB será substituído. Desta forma, a obtenção de uma matriz ótima permite, ao ocultar os dados em arquivos digitais, reduzir a sua degradação, bem como recuperar a informação oculta. No entanto, encontrar esta matriz ótima pode tornar este processo demorado, devido à abundância de matrizes possíveis, uma vez que para uma determinada sequência de LSBs de tamanho  $n$ , existem  $n!$  matrizes diferentes, continuando assim os algoritmos heurísticos a encontrar matrizes de substituições ótimas ou quase ótimas, isso é visto com bons olhos.

Uma das heurísticas analisadas neste projeto de pesquisa é a utilização do Algoritmo Genético de Chave Aleatória Viciadas (BRKGA) proposto por [4], sendo uma variação dos Algoritmos Genéticos de Chave Aleatória (RKGA) de [5], ambos aplicados à esteganografia.

## II. ALGORITMO DE CHAVES ALEATÓRIA VICIADAS (BRKGA)

Em geral, as etapas de um algoritmo genético podem consistir em etapas bem definidas. Essas etapas incluem gerar uma população inicial, iniciar o ciclo de geração realizando cruzamento entre indivíduos, simulando o processo evolutivo através da mutação dos genes dos indivíduos e submetendo-os à seleção para a próxima geração.

O Algoritmo Genético de Chave Aleatória Viciadas (BRKGA) é uma metaheurística baseada no Algoritmo Genético de Chaves Aleatórias (RKGA), que, por sua vez, é baseado no Algoritmo Genético. O sucesso do desempenho do RKGA na resolução de problemas de sequenciamento levou a comunidade científica a testá-lo em uma ampla gama de problemas combinatórios, onde as soluções podem ser representadas como vetores de permutação. Os genes desses vetores são chamados de chaves aleatórias, sendo essencialmente números reais gerados aleatoriamente no intervalo  $(0, 1]$ .

O BRKGA, embora semelhante ao AG, possui uma peculiaridade. Enquanto o AG favorece indivíduos bem avaliados, no BRKGA, de indivíduos  $P$ , apenas a elite  $PE$  e os mutantes  $PM$  da geração atual avançam. Além disso, estão incluídos novos indivíduos  $P - PE - PM$  provenientes de cruzamentos entre elites e não-elite.

## III. MÉTODOS

A substituição dos bits menos significativos nas imagens baseia-se na insignificância desses bits, tratados como ruído. Por exemplo, substituir o bit menos significativo (LSB) 1 em um byte de 00000000 (decimal 0) para 00000001 (decimal 1) faria pouca diferença em comparação com a substituição do bit mais significativo (MSB) para 10000000 (decimal 128).

Embora a substituição do LSB degrade ligeiramente a imagem e limite a capacidade, a substituição de vários bits por byte pode aumentar a carga, mas afeta gradualmente a imagem original. Um compromisso nos bits LSB é eficaz para carga e camuflagem.

Contudo, estas substituições devem permitir ao desti-

nário recuperar a mensagem original. O uso de uma matriz de substituição facilita a reversão das substituições, permitindo ao destinatário reconstruir a mensagem incorporada.

As substituições devem ser reversíveis para o destinatário recuperar a mensagem. O uso da matriz de substituição facilita esse processo, permitindo ao destinatário recuperar facilmente a mensagem incorporada. Matrizes de substituição por [1] utilizam um vetor de posições de tamanho  $N$  para LSBs a serem trocados, cada valor representando bits convertidos, únicos e entre 0 a  $N - 1$ . As imagens coloridas podem ter vários vetores, melhorando a camuflagem e a qualidade. A diversidade de vetores representa características de cores, dificultando a quebra e melhorando a qualidade da esteganografia.

Nos testes foi adotado um cruzamento uniforme parametrizado de [6] com ajustes para o problema. Cabe à mutação inserir  $PM$  em indivíduos mutantes aleatórios para evitar convergência prematura.

O vetor de chaves aleatórias foi decodificado para viabilizar a solução para problemas combinatórios discretos. O processo de decodificação envolveu o mapeamento de chaves para elementos classificados, mantendo a associação classificando o vetor de chaves e a nova ordem de bits representando a solução. Outro decodificador utilizado consiste basicamente na discretização de valores vetoriais, o processo decodificador atribuirá a cada alelo do vetor resultante, um valor discreto de 0 a  $N - 1$ , conforme a posição que tal alelo se encontra no vetor de chaves ordenadas.

Foi implementado um algoritmo genético para comparações, inspirado no trabalho de [1], com parâmetros ajustados para se assemelhar ao BRKGA, a fim de haver comparações justas das abordagens. Outros algoritmos foram implementados com base nas conclusões do pré-teste, como busca local em indivíduos mutantes, utilizando Hill Climbing e Simulated Annealing [7]. Essas abordagens foram utilizadas para compreender os resultados observados. Outra abordagem introduzida foi a combinação de conceitos de decodificadores e chaves aleatórias do BRKGA no algoritmo genético, alterando os processos de avaliação e a estrutura dos indivíduos para considerar valores discretos. Esta versão foi chamada  $AG + RK$ .

A função de avaliação foi o cálculo do  $PSNR$  da imagem resultante utilizando a matriz.

Algumas das mesmas imagens de coberturas e secretas usadas por [1], e presentes e adaptadas de [8] foram utilizados nos teste realizados. Como imagens de coberturas elencamos as figuras 1 e 2, e como imagens secretas as figuras 3, 4 e 5.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Independentemente das configurações dos parâmetros, o BRKGA produziu consistentemente melhores matrizes de substituição quando os parâmetros permitiram indiretamente que o processo de cruzamento, produza a maioria dos indivíduos, com uma população elite reduzida. Isto resultou em indivíduos progressivamente mais semelhantes às elites atuais, evitando a estagnação nos ótimos locais e promovendo a procura de melhores soluções. A discretização se destacou em relação aos demais decodificadores, embora algumas operações tenham piorado com o passar das

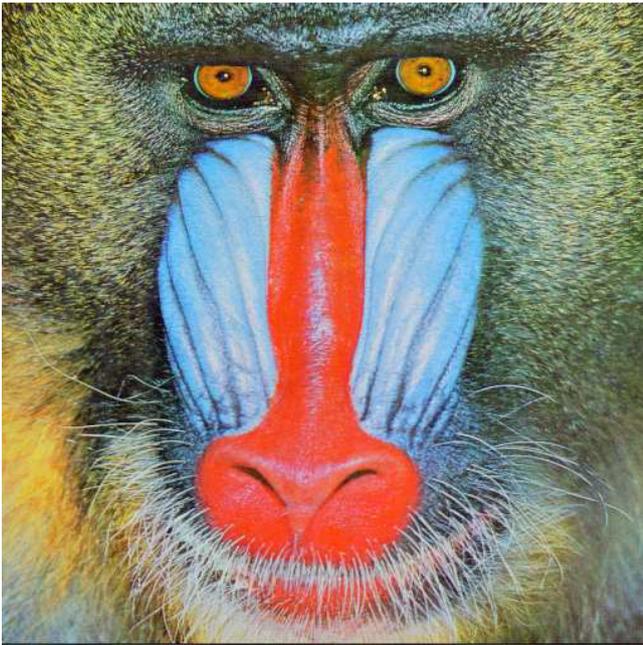


Figura 1: Imagens de Cobertura Babuíno.



Figura 2: Imagens de Cobertura Lena.



Figura 3: Imagens de Secreta Jato.

gerações devido às características das imagens. O primeiro decodificador com cruzamento parametrizado assemelha-se ao cruzamento de pontos, enquanto o segundo com



Figura 4: Imagem secreta Veleiro no lago.



Figura 5: Imagem secreta Casa.

cruzamento proposto é mais parecido com o cruzamento uniforme, indicando nenhuma relação direta entre valores vizinhos no cromossomo.

A figura 6 compara o AG de [1] com a melhor configuração de parâmetros do BRKGA, usando as mesmas gerações e população.

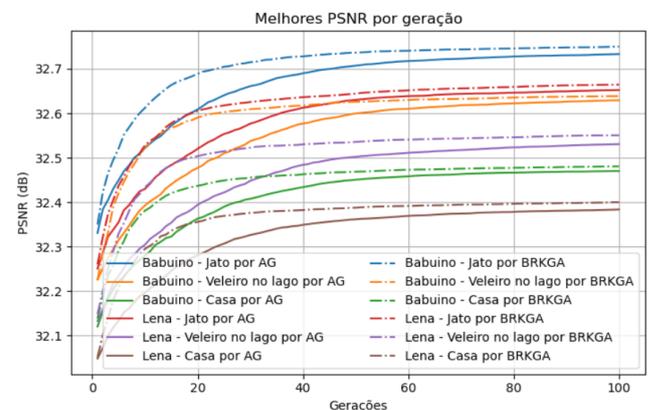
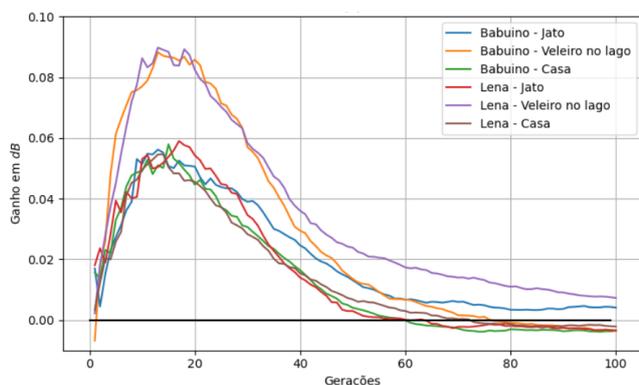


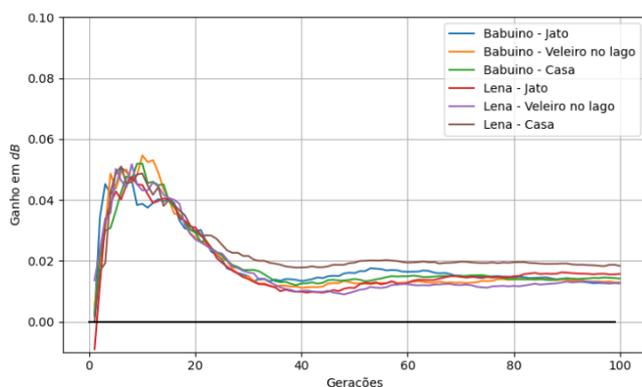
Figura 6: Comparação dos resultados obtidos entre o Algoritmo Genético abordado por [1] e BRKGA.

A abordagem com chaves aleatórias e o decodificador no BRKGA oferece a vantagem de permitir mudanças discretas nos indivíduos, como alterar um alelo para afetar sua representação no modelo discreto. Isso é notável nas operações de cruzamento, conforme mostrado na figura 7, onde a melhoria fica evidente ao aplicar esses conceitos ao algoritmo de [1]. Mas ainda assim não supera a abordagem do BRKGA, vide a figura 8.

Além do BRKGA, foi implementado um algoritmo genético baseado em configuração semelhante à do [1], assimilando ao máximo os parâmetros da abordagem proposta, em termos das operações realizadas, a fim de fazer uma avaliação justa comparação de ambas as abordagens.

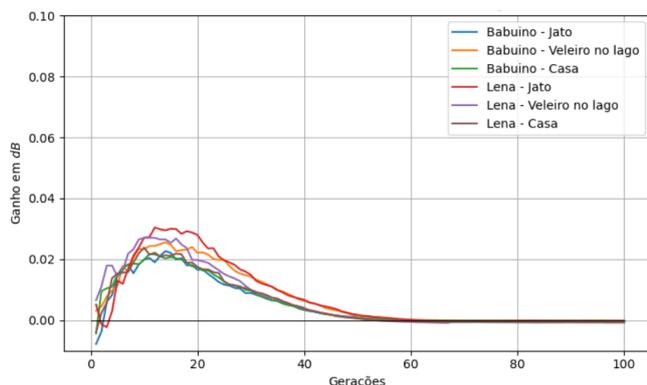


**Figura 7:** Ganho PSNR em dB de AG + RK comparado à abordagem AG simples



**Figura 8:** Ganho PSNR em dB do BRKGA comparado ao AG+RK

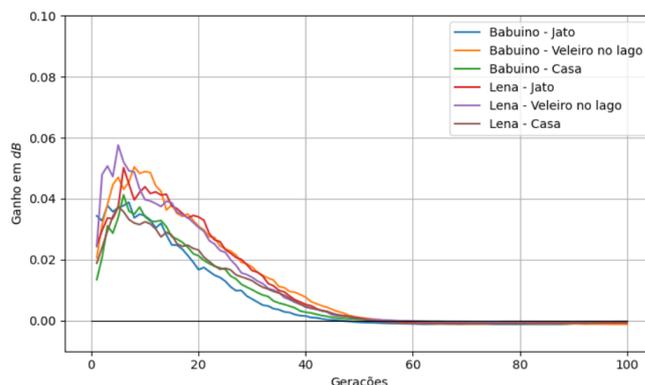
Algoritmos de busca local Hill Climbing e Simulated Annealing introduzidos como uma proposta de busca local no BRKGA. Tanto AG+RK quanto busca local em BRKGA e AG indicam ganhos relativos em dB em comparação com abordagens convencionais. A Figura 9 e 10 mostra que chaves aleatórias com decodificador melhoram a evolução populacional. Contudo, após a 50ª a 60ª geração, estes benefícios diminuem em ambas as abordagens.



**Figura 9:** Ganho PSNR em dB aplicando busca local por Hill Climbing em BRKGA com relação ao AG

## V. CONCLUSÃO

Em resumo, os conceitos BRKGA, como decodificador, vetor de chaves aleatórias, população elite e cruzamento parametrizado, oferecem melhorias nos resultados até um limite, condicionado pelos parâmetros escolhidos. Um



**Figura 10:** Ganho PSNR em dB aplicando busca local por Simulated Annealing em BRKGA com relação ao AG

estudo detalhado do problema em questão é crucial para a determinação desses parâmetros, conforme mostrado neste artigo.

## VI. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Brasil.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. L. Brazil *et al.*, "Path relinking and aes cryptography in color image steganography," 2009.
- [2] S. A. Laskar and K. Hemachandran, "High capacity data hiding using lsb steganography and encryption," *International Journal of Database Management Systems*, vol. 4, no. 6, p. 57, 2012.
- [3] M. PETRI, "Esteganografia," *Sociedade Educacional De Santa Catarina-SOCIESC, Instituto Superior Tupy. Joinville, TCC de sistemas de informação*, 2004.
- [4] J. F. Gonçalves and M. G. C. Resende, "Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization," *Journal of Heuristics*, vol. 17, no. 5, pp. 487–525, Aug. 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10732-010-9143-1>
- [5] J. C. Bean, "Genetic algorithms and random keys for sequencing and optimization," *ORSA Journal on Computing*, vol. 6, no. 2, pp. 154–160, May 1994. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1287/ijoc.6.2.154>
- [6] W. M. Spears, K. A. De Jong *et al.*, "On the virtues of parameterised uniform crossover." in *ICGA*, 1991, pp. 230–236.
- [7] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt Jr, and M. P. Vecchi, "Optimization by simulated annealing," *science*, vol. 220, no. 4598, pp. 671–680, 1983.
- [8] A. Weber, "The usc-sipi image database volume 3: miscellaneous."

---

# Progressos no posicionamento Tático do time iBots Baseado em Características Heterogêneas para a Categoria de Simulação 2D da RoboCup

*Progress in the Tactical Positioning of the iBots Team Based on Heterogeneous Characteristics for the 2D Simulation Category of RoboCup*

---

Eric Jonai Costa Souza<sup>1</sup>, Erick Santos Marçal<sup>1</sup>, Tanilson Dias dos Santos<sup>1</sup> e Alexandre Tadeu Rossini da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Ciência da Computação, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 30/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 12/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

---

**Resumo**— O futebol de robôs consiste na aplicação da inteligência artificial com objetivos e regras semelhantes ao futebol tradicional. Nesta pesquisa é abordado o progresso atingido no desenvolvimento tático para a equipe iBots/UFT de futebol de Robôs na categoria de Simulação 2D da RoboCup. A proposta do trabalho é mostrar as aproximações para buscar a melhoria do desempenho da equipe com base na análise de dados obtida por meio do agente treinador. Com posse desses dados, é possível configurar o agente treinador para efetuar intervenções no jogo, quando possível e necessário, a fim de efetuar substituição de jogadores, modificar a formação de jogo, ou simplesmente mudar o comportamento do time para que seja mais defensivo ou ofensivo.

**Palavras-chave**—Futebol, robôs, inteligência artificial, Robocup

**Abstract**— *Robot soccer consists of applying artificial intelligence with objectives and rules similar to traditional soccer. In this research, we address the progress achieved in the tactical development for the iBots/UFT team of Robot Soccer in the 2D Simulation category of RoboCup. The proposal of the work is to show the approaches to seek the improvement of the team's performance based on data analysis obtained through the trainer agent. With possession of this data, it is possible to configure the trainer agent to make interventions in the game, when possible and necessary, in order to make player substitutions, modify the game formation, or simply change the team's behavior so that it is more defensive or offensive.*

**Keywords**—*Soccer, robots, artificial intelligence, robocup*

---

## I. INTRODUÇÃO

O futebol de robôs é um problema científico padrão, como um dia foi o xadrez [1], que envolve diversos desafios tecnológicos. A padronização de problemas é importante pois permite aos pesquisadores mover esforços conjuntos e contribuir para o progresso da ciência.

No futebol de robôs existem diferentes ligas com objetivos próprios que contam com robôs de características heterogêneas, incluindo robôs humanóides em categorias de robôs físicos e simulados. A categoria de simulação pode ser bidimensional ou tridimensional, chamadas respectivamente de *Simulation league 2D* e *Simulation league 3D*. A

*Simulation league 2D*, que é tratada neste trabalho, é um ambiente estocástico e parcialmente observável (quando não é possível informar aos agentes envolvidos todas as informações disponíveis) para instaurar a tomada de decisões de 22 agentes em campo (11 jogadores de cada equipe) e dois agentes treinadores online (um por equipe). O jogo ocorre no ambiente criado pela *Robot Cup Initiative*, ou **RoboCup**, e impõe diversas condições para ser fidedigno ao desafio, isto é, produzir maior realismo e complexidade da simulação, dentre elas está a inserção de ruído [2] na informação recebida pelos agentes, campo visual e recepção de informações limitadas, etc. Como aproximação para lidar com estes problemas, aplica-se outras áreas de conhecimento como processamento de imagem, visão computacional, realidade virtual, comunicação multiagente, aplicação de inteligência artificial em ambientes dinâmicos e caóticos e aplicações teóricas do futebol [3].

Dados de contato: Eric Jonai Costa Souza, eric.jonai@mail.uft.edu.br

Neste artigo serão apresentados os resultados preliminares do desenvolvimento de táticas aplicáveis para a tomada de decisão de todos os agentes em campo no futebol de robôs bidimensional, mas com ênfase no treinador. O desenvolvimento partiu do time de base fornecido e documentado pela equipe vencedora do torneio internacional de 2022 [4], HELIOS. O time Helios Base [5] vem pré-programado com funções de movimentação, interpretação e análise do modelo de mundo, depuração e uma inteligência artificial satisfatória, além da implementação do protocolo UDP utilizado para a comunicação entre o time e o servidor.

## II. METODOLOGIA

Este trabalho dá continuidade à pesquisa desenvolvida pela equipe iBots/UFT desde sua criação [6–14]. O primeiro passo para a realização deste trabalho foi efetuar a atualização do código do iBots para o do código fonte do time Helios Base na versão mais recente 2023.3, para então iniciar a exploração das características heterogêneas dos jogadores, formações e do efeito observado na aplicação de diferentes estratégias inteligentes na mudança de comportamento dos agentes. As análises efetuadas aqui mostram como pequenas interações em partes da definição do código podem causar grande impacto devido à característica estocástica do futebol de robôs.

O desenvolvimento deste trabalho iniciou com uma revisão da literatura, estudo das principais estratégias utilizadas por times de futebol de robôs de todo mundo, em particular com o estudo de estratégias utilizadas na liga de simulação 2D. Na sequência foram analisadas as características heterogêneas dos jogadores, para então observar como o posicionamento inicial era definido. Foi possível identificar que a principal característica levada em conta para a definição do posicionamento tático inicial de cada agente era a velocidade. Os experimentos iniciais foram de tentar verificar o que ocorria quando essa característica era substituída por outras como estamina, precisão, alcance da área de chute, entre outras. A hipótese inicial é de que se for possível identificar qual é o melhor conjunto de características heterogêneas para cada posição, este conjunto permitirá melhorar o time ao posicionar os jogadores com as melhores características em cada posição. O próximo passo da pesquisa será efetuar uma série de experimentos testando diferentes características de cada jogador em diferentes posições e com uma formação definida.

A proposta geral da pesquisa é analisar os dados obtidos desse conjunto de experimentos para implementar a inteligência do agente treinador para elaboração de estratégias, escalção de jogo, modificação de esquema tático e outras interações permitidas de acordo com as regras da liga de simulação 2D e mensurar o impacto na qualidade do jogo.

A partir deste momento, o Helios Base se transforma no time iBots/UFT, assumindo o papel de referência. Embora não herde características do código fonte antigo da equipe, tendo recebido as últimas atualizações ao longo da última década [14], o iBots/UFT é o time autoral descrito nesta pesquisa, marcando uma nova fase de desenvolvimento e aprimoramento.

## III. FORMAÇÃO

A escolha da formação inicial foi feita de forma analítica considerando o futebol comum, 4-4-2 implica na presença de dois jogadores no ataque, enquanto os outros permanecem em funções intermediárias ou defensivas, esta formação é uma das mais tradicionais e populares no futebol. Essa formação oferece equilíbrio entre solidez defensiva e presença ofensiva, sendo amplamente utilizada por equipes ao redor do mundo, e se apresenta como uma solução viável para a formação inicial do time iBots/UFT.

## IV. SELEÇÃO DE CARACTERÍSTICAS DOS JOGADORES

Por padrão, o time base seleciona os jogadores mais rápidos e atribui às posições entendidas como prioritárias. Os jogadores centrais, respectivamente o centro avançado e os zagueiros, recebem as características de maior valor, seguidos dos laterais e volantes. Enquanto a ordem dos jogadores foi preservada nas alterações, a alteração das características lhes seria atribuída foi refeita para outros valores de heterogeneidade, isto é, com o objetivo analítico, outros índices de jogadores seriam atribuídos de forma ponderada. Os atributos considerados foram o custo de estamina por passo, alcance do chute e velocidade, com o propósito de controle.

## V. EXECUÇÃO E ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES

Para obter resultados mais elaborados, o time iBots/UFT jogará diversas partidas contra o Agent2D. A apresentação de resultados mais positivos, tanto no placar quanto na estamina final dos agentes, representa um marco de avanço na qualidade geral do time, esta medição será crucial para definir o limiar de melhoria obtida, pois o time iBots/UFT nasce como uma variação do Helios Base. Os jogos apresentarão a diversidade intermitente entre as características heterogêneas dos jogadores somada à formação escolhida e a análise dos resultados obtidos entre diversas partidas mostrará quais atributos se mostraram melhores para a qualidade do time. As características observadas que possuem efeitos potencialmente positivos serão passadas adiante como modelo para o início do desenvolvimento mais complexo da inteligência artificial dos jogadores.

## VI. RESULTADOS INICIAIS

O resultado observado ao alterar as características foi uma piora significativa na qualidade do time. Ao analisar aproximadamente 100 partidas contra o Agent2D, o time iBots/UFT venceu aproximadamente 18% das vezes, onde cada partida efetuava um lote de experimentos de quais qualidades dos jogadores era valorizada. O lote começa em velocidade, que é o padrão, depois custo de estamina por passo, valorizando o menor custo primeiro, e, por fim, o alcance do chute.

Não foi observada grande diferença no placar entre os lotes de qualidades, salvo que a maior parte das vitórias foram alcançadas enquanto se sorteavam os jogadores com base no custo de estamina por passo, mas este valor pode

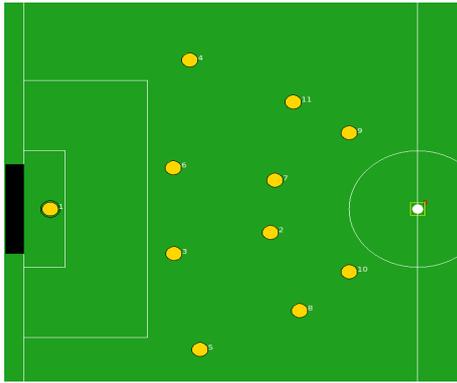


Figura 1: Formação inicial

ser coincidência, considerando o baixo número de análises. Se as características heterogêneas não são responsáveis pela piora na resposta do time, sobra a formação, e, felizmente, um dos papéis aplicáveis ao treinador é checar a condição de cada jogador.

O código fonte do Treinador Online foi alterado para que, quando o juiz apita o término do jogo, ocorra a emissão do quantitativo de estamina dos jogadores. É fácil inspecionar o impacto da formação 4-4-2 escolhida para o time quando se leva em consideração o cansaço dos jogadores. Cada círculo amarelo na Figura 1 é um jogador do time iBots/UFT, no final de uma partida os quatro jogadores mais próximos ao gol sempre terminam com estamina próxima ao máximo, enquanto os jogadores mais a frente normalmente terminam completamente exaustos.

O jogo pune a exaustão, um jogador que esgota a estamina, isto é, atinge nível zero (o início de estamina é fixado em 8.000 para todos os índices heterogêneos), recebe penalidades por parte do simulador: perda de aceleração, aumento no consumo de estamina por passo e perda de precisão no chute. É possível observar em times internacionais, como o Helios2022, a presença de um grande volume de jogadores em posições mais próximas do meio de campo, alcançando até cinco jogadores. Assim, observa-se que é atualmente característica do simulador instigar a maior presença de posições ofensivas, visto que os jogadores na retaguarda apresentam menor esforço e, conseqüentemente, menor rendimento.

O grande impacto negativo da formação e das características heterogêneas foi uma surpresa, mas é importante observar que o processo de desenvolvimento tático é feito por meio de tentativa e erro. Estas alterações estão sujeitas às características intrínsecas de competitividade do simulador e à inteligência artificial linear, isto é, um conjunto de ações fixas implementadas à mão. O desenvolvimento é complexo, mas é satisfatório observar os impactos e adaptar o time para encontrar soluções aos diversos obstáculos encontrados, desenvolvendo maior personalidade e, posteriormente, um time capaz de competir em ligas nacionais e internacionais.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada uma proposta de melhoria do desempenho da equipe iBots/UFT de futebol de robôs, utilizando o potencial de intervenção do agente treinador. Os resultados mostraram que a formação e as características

heterogêneas escolhidas para o time iBots/UFT apresentaram um impacto negativo no desempenho dos jogadores, pois os deixou mais cansados e menos precisos.

Como trabalhos futuros, espera-se melhorar o potencial do time ao realizar mais experimentos, testando modificações na formação, nas características heterogêneas dos jogadores e na exploração de outras técnicas de inteligência artificial, como aprendizado por reforço, para tornar o time mais flexível e adaptável às situações do jogo.

É esperado que este trabalho contribua para o avanço da pesquisa na área de futebol de robôs e inteligência artificial, bem como para o desenvolvimento da equipe iBots/UFT.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins - PIBIC/UFT.

## REFERÊNCIAS

- [1] L. Verle, "Deep blue x kasparov: a revanche," *Revista FAMECOS*, vol. 5, no. 9, pp. 7–14, 1998.
- [2] M. Chen, K. Dorer, E. Foroughi, F. Heintz, Z. Huang, S. Kapetanakis, and K. Kostiadis, "Robocup soccer server," *The RoboCup Federation*, 2003. [Online]. Available: [http://labss2.fuit.stuba.sk/TeamProject/2007/team16is-si/dokumenty/manual\\_soccer\\_server.pdf](http://labss2.fuit.stuba.sk/TeamProject/2007/team16is-si/dokumenty/manual_soccer_server.pdf)
- [3] A. T. Rossini, "Análise de conceitos táticos do futebol por meio de simulação computacional," Ph.D. dissertation, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, 2015. [Online]. Available: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/publicacao/2576.pdf>
- [4] Robocup. (2022) Final rankings of soccer simulation 2d league 2022. [Online]. Available: <https://ssim.robocup.org/soccer-simulation-2d/2d-competition/2022-2/final-rankings/>
- [5] H. Akiyama and T. Nakashima, "Helios base: An open source package for the robocup soccer 2d simulation," pp. 528–535, 2014.
- [6] H. G. Silva, "Futebol de robôs: Comportamento social cooperativo," 2009.
- [7] G. B. Ferreira, "Uso dinâmico de esquemas táticos com redes neurais perceptron de múltiplas camadas na equipe ibots de futebol de robôs simulados," Master's thesis, Universidade Federal do Tocantins, nov 2010.
- [8] A. T. R. da Silva, H. G. da Silva, E. Gonçalves Santos, G. B. Ferreira, T. D. dos Santos, and V. S. Silva, "ibots 2010: Descrição do time," *Latin American Robotics Competition*, 2010. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/7314467/iBots\\_2011\\_Descri%C3%A7%C3%A3o\\_do\\_Time](https://www.academia.edu/7314467/iBots_2011_Descri%C3%A7%C3%A3o_do_Time)
- [9] A. T. R. da Silva, G. B. Ferreira, T. D. dos Santos, V. S. Silva, E. G. Santos, H. G. da Silva, C. A. d. S. P. Rodrigues, and T. d. S. Arruda, "ibots 2011: Descrição do time," *Competição Brasileira de Robótica*, 2011.
- [10] T. D. dos Santos, "Jogadas coletivas por meio de comunicação multi-agente para a equipe ibots da categoria de simulação 2d da robocup," 2011. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/266854453\\_Jogadas\\_Coletivas\\_por\\_meio\\_de\\_Comunicacao\\_Multi-Agente\\_para\\_a\\_equipe\\_iBots\\_da\\_Categoria\\_de\\_Simulacao\\_2D\\_da\\_RoboCup](https://www.researchgate.net/publication/266854453_Jogadas_Coletivas_por_meio_de_Comunicacao_Multi-Agente_para_a_equipe_iBots_da_Categoria_de_Simulacao_2D_da_RoboCup)
- [11] A. T. R. Silva, C. A. d. S. P. Rodrigues, V. P. Jardim, R. A. Nascimento, V. S. Silva, and H. B. Rodrigues, "ibots 2012: Descrição do time," *Latin American Robotics Competition*, 2012.
- [12] V. S. da Silva, "Sistema de aprendizado por reforço para aprimoramento de passes na equipe ibots de futebol de robôs simulados 2d," 2012.
- [13] A. T. R. Silva, T. D. Santos, L. A. V. Carvalho, H. B. Rodrigues, and N. S. Marques, "ibots 2015: Descrição do time," *Sistema Olimpo*, p. 4, 06 2015. [Online]. Available: <http://sistemaolimp.org/midias/uploads/4998cf93bf2767f5952db96180b0fdb.pdf>

- [14] A. T. R. Silva and T. D. Santos, "ibots 2016: Descrição do time," *Sistema Olimpo*, p. 4, 06 2016. [Online]. Available: <http://sistemaolimp.org/midias/uploads/7d810636380b83b5ba09b3f3f1104947.pdf>

# Experimentos de Cálculo com Precisão Numérica Arbitrária

## *Experiments in Calculation with Arbitrary Numerical Precision*

Nathan Machado dos Santos<sup>1</sup>, José Lucas Carvalho Silva<sup>1</sup>, Rogério Azevedo Rocha<sup>1</sup>, Tanilson Dias dos Santos<sup>1</sup> e Mirray Víctor Lima Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins

Data de recebimento do manuscrito: 30/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 25/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**—No projeto de linguagens de programação muitas vezes o tamanho máximo alocado para alguns tipos de variáveis é limitado. Isso prejudica alguns tipos de aplicação que carecem de uma maior acurácia quanto a representação de números com uma quantidade de dígitos além da capacidade de representação dessa linguagem. Nesta pesquisa investigamos o problema de representação numérica e para contornar este problema nos valem de artifícios computacionais como o uso de bibliotecas de precisão arbitrária. Este artigo apresenta os resultados preliminares desta pesquisa para cálculo dos valores de constantes como Fibonacci e  $\pi$ , onde obteve-se um sucesso parcial, além de uma possível solução para os problemas encontrados.

**Palavras-chave**—Imprecisão numérica, problemas matemáticos, números irracionais, números transcendentais, número  $\pi$ , fibonacci

**Abstract**—*In programming language design projects, there is often a limitation on the maximum size allocated for certain variable types. This constraint poses challenges for applications that require more precise representation of numbers with a higher number of digits than the language's capacity allows. In this research, we delve into the issue of numeric representation and, in order to address this concern, we employ computational techniques such as the utilization of arbitrary precision libraries. This article presents the initial findings of our research in calculating constants like Fibonacci and  $\pi$ , where partial success was achieved, and a potential solution to the encountered issues is proposed.*

**Keywords**—*Numerical imprecision, mathematical problems, irrational numbers, transcendental numbers, number  $\pi$ , fibonacci*

## I. INTRODUÇÃO

Os computadores enxergam e lidam com os números os representando numa base binária, isto é, com bits, unidades que podem ser 0 ou 1. Os números inteiros, mais comumente utilizados, são representados por grupos de bits, onde o valor ocupa a totalidade desse grupo. Números muito extensos, sejam fracionais ou não, como números reais, irracionais, dentre outros, são representados pelo que são chamados de números de pontos flutuantes (ou em alguns casos números de pontos fixos), onde os bits são divididos em 3 partes distintas, o sinal, o expoente e a mantissa.

Os números de ponto flutuante são padronizados e definidos pela IEEE 754 (Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos), que foi estabelecida em 1985, contando com grandes revisões de tempos e tempos, e adotada por todas as grandes empresas produtoras de microchips e seus softwares/compiladores associados. Essa representação nada mais é do que uma expressão de notação científica, onde cada

parte dessa expressão possui um número predeterminado de bits, baseado na variável. Nos padrões da IEEE 754, Temos que para float, 1 bit se designa para o sinal, 8 para o expoente e 23 para a mantissa. Já para double, têm-se 1 bit para o sinal, 11 para o expoente e 52 para a mantissa, segundo [1].

Na definição de linguagens de programação, geralmente, são especificadas, no seu projeto, limites para o tamanho das variáveis utilizadas. Essas especificações são intrínsecas ao propósito de cada linguagem e agem como um gargalo em cálculos que exigem grande precisão e/ou muitas casas decimais para representar números com infinitas casas decimais (ou simplesmente com muitas casas), e.g. os valores de  $e$  e  $\pi$ .

A Tabela 1 apresenta o tamanho de alguns tipos de variáveis em linguagem de programação C<sup>1</sup>, considerando uma arquitetura e compilador de 32 bits, segundo [2] e [3]. Esses valores seguem o padrão da IEEE 754, e o intervalo apresentado demonstra o poder de representação dessa configuração de variável.

Observando a Tabela 1, é possível notar que há uma

TABELA 1: VARIÁVEIS EM C

Tipo de variável	Tamanho em bits	Intervalo	
signed int	32	-2.147.483.648	2.147.483.647
unsigned int	32	0	4.294.967.295
float	32	3,4E-38	3,4E+38
double	64	1,7E-308	1,7E+308

limitação para o tamanho de uma variável tipo double, que no caso apresentado, para a linguagem C que é o valor  $\pm 1.7^{308}$ . Quando um valor escapa do limite de uma variável, a IEEE 754 dita alguns tratamentos de exceções que devem ser aplicados nestes casos, a depender das configurações utilizadas, com a exceção mais comum no caso de um overflow se arredondar o resultado para infinito, ou o valor máximo possível.

Além destes limites existentes, outro fator extremamente importante é o fato de que existem erros de precisão relacionados aos números de ponto flutuante. É inerente a este tipo de representação a existência de erros de arredondamento, tendo em vista que a proposta é armazenar números infinitos ou simplesmente muito grandes, em um espaço finito de armazenamento.

Há na literatura registros de diversos trabalhos que investigam ou utilizam bibliotecas de precisão arbitrária em seu escopo, podemos citar por exemplo as pesquisas desenvolvidas em [4], [5], [6] e [7].

Nesta pesquisa efetuamos uma breve comparação de alguns cálculos de números com muitas casas decimais e fazemos uma breve comparação dos resultados retornados de vários tipos de variáveis com os resultados retornados pelo cálculo utilizando variáveis da biblioteca GMP (GNU Multiple Precision Arithmetic Library), que permite configurar a precisão da variável do modo desejado, a fim de verificar os casos de uso e o benefício dos aumentos de precisão e consequente poder de representação.

## II. METODOLOGIA E FERRAMENTAS

Este projeto aborda uma pesquisa de natureza aplicada, investigativa e experimental. O objetivo central é explorar a biblioteca GMP (GNU Multiple Precision Arithmetic Library) em cálculos que exigem precisão elevada. A pesquisa busca soluções práticas para problemas específicos de representação numérica, enquanto aprofunda a compreensão de problemas de interesse da comunidade científica em geral. A abordagem é também experimental, pois envolve identificar ferramentas e técnicas para calcular variáveis numéricas nos problemas selecionados, e avaliar a performance da biblioteca GMP. Assim, esta pesquisa contribui para a compreensão dos limites de representação de linguagens e programação e identifica cenários onde o uso de outros artifícios computacionais podem ser úteis.

Os experimentos desta pesquisa foram conduzidos em uma máquina Acer Aspire 5 A515-45-R4ZF AMD, equipado com 8GB de RAM e um SSD de 256GB, baseado na arquitetura x64. A configuração incluiu ainda uma máquina virtual com o sistema operacional Debian GNU/Linux de 64 bits, com 4 GB de memória, 20 GB de capacidade de armazenamento e 5 Unidades Centrais de Processamento (CPUs). Nessa máquina virtual, foram empregados os

compiladores GNU GCC (GNU Compiler Collection), Portugol Studio e Replit para compilar em linguagem Python. Para viabilizar a análise abrangente, os códigos foram implementados em três linguagens distintas: C, Python e Portugol. Para garantir que os resultados fossem precisos e não suscetíveis a erros de arredondamento, a precisão dos cálculos foi configurada, com a biblioteca GMP, para para 128 bits, portanto o dobro de precisão definido para a variável do tipo double, ver Tabela 1.

Existem diversos métodos para calcular o valor de  $\pi$ , que variam desde uso de séries infinitas à algoritmos iterativos mais simples. O método selecionado para o cálculo efetuado nesta pesquisa foi o Algoritmo de Chudnovsky, que é considerado o estado da arte atual para o cálculo de novas casas decimais em  $\pi$ , segundo [8]. O algoritmo utilizado tem boa eficiência e detem todos os recordes recentes de novas casas decimais para representação de  $\pi$ . O recorde mais recente, utiliza esse algoritmo, consegue representar o número transcendental com 100 trilhões de casas decimais, feito alcançado pela Google em um projeto sob comando da desenvolvedora Emma Haruka Iwao, com o intuito de demonstrar o poder computacional da Google Cloud, utilizando o programa Y-Cruncher (ferramenta de computação de constantes), que utiliza o algoritmo de Chudnovsky em uma versão super otimizada e de forma escalável, como explicado por [7].

Para os experimentos foi utilizada uma versão simples do algoritmo em C, em versões com e sem uso da biblioteca GMP, e em Python.

$$\frac{1}{\pi} = 12 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (6k)! (545140134k + 13591409)}{(3k)! (k!)^3 (640320^3)^{k+1/2}} \quad (1)$$

A seguir descrevemos os resultados preliminares da pesquisa.

## III. RESULTADOS

Nesta seção apresentamos os resultados obtidos nos experimentos realizados, identificando alguns erros de precisão notados em cada linguagem para diferentes tipos de dados. Além disso, efetuamos uma análise comparativa do desempenho da biblioteca GMP em relação às linguagens avaliadas.

### a. Cálculo de Fibonacci

Números em pontos flutuantes são representados utilizando a notação científica de base 2. Como foi dito anteriormente, eles possuem uma mantissa e um expoente, ver[1]. No entanto, a precisão é limitada, o que pode acarretar em arredondamentos indevidos de números muito extensos ou muito pequenos. Isso ocorre devido à limitação de bits disponíveis para a mantissa e ao alcance do expoente.

Nos experimentos, foram utilizados os 100 primeiros números da sequência de Fibonacci como base. Observamos que, durante os testes, os dados do tipo float em linguagem C foram os primeiros a apresentar erros de representação. Esses erros tornaram-se evidentes a partir do 37º termo. O número 24157817 é o 37º termo da sequência e possui 8 casas decimais, ver [9]. No entanto, foi notado que a

representação do tipo float foi arredondada para 24157816, resultando em uma imprecisão numérica. Até esse ponto, todos os outros tipos de dados conseguiram reproduzir com precisão o valor exato dos números já conhecidos da sequência, exceto pelo tipo float.

Um tipo de dado inteiro em linguagem C e Portugol possui 32 bits. Para esse tipo, o intervalo de representação é de -2147483648 a 2147483647 como mostra a Tabela 1. Uma operação que resulte em um valor maior que 2147483647 ou menor que -2147483648 resultará em um overflow caso ultrapasse o limite máximo, ou underflow se for menor que o limite mínimo. Portanto, quando um número inteiro ultrapassa o valor máximo que pode ser representado com o número de bits disponíveis, ocorre um rollover (estouro de representação com mudança no sinal), onde o bit mais significativo é usado para continuar contando a partir do valor mínimo. Ao lidar com tipos inteiros nas linguagens C e Portugol, observou-se um início de divergências a partir do 47º termo na sequência. O número conhecido nessa sequência é 2971215073, ver[9]. No entanto, em ambas as linguagens, os números foram representados de forma imprecisa, sendo este -1323752223, indicando um overflow.

O próximo tipo a demonstrar imprecisão em sua representação foi o tipo Double, em linguagem C, esse tipo de dado representa números de ponto flutuante usando uma quantidade finita de bits para representar a mantissa e o expoente. O arredondamento ocorre porque a representação binária de números fracionários não pode ser exata para todos os valores possíveis. Algumas frações decimais não têm uma representação binária precisa e isso pode levar a arredondamentos. Com isso, a partir do 79º termo, começaram a surgir divergências. Para ilustrar, o número correspondente ao 79º termo da sequência é 14472334024676221, ver[9]. No entanto, a representação em double foi 14472334024676220, ocorrendo um erro no último dígito, onde houve arredondamento de 1 para 0.

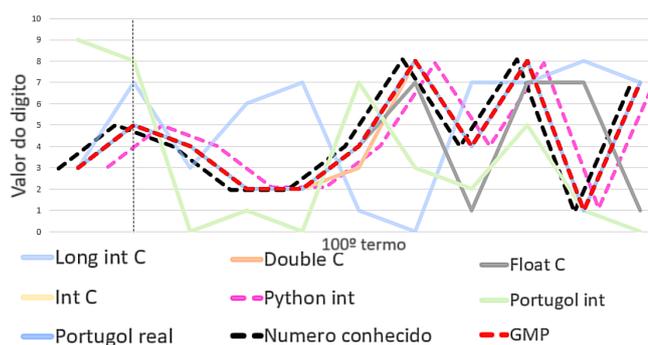


Figura 1: Gráfico representativo do 100º termo de Fibonacci

A última variável a apresentar falhas de representação durante o cálculo dos primeiros 100 números foi o tipo Unsigned Long Int, em linguagem C. Essa imprecisão surgiu no 94º termo. Para contextualizar, o valor correto para o 94º termo é 19740274219868223167 [9]. Entretanto, a representação do tipo Unsigned Long Int foi 1293530146158671551.

Na Figura 1, é apresentado um gráfico que ilustra a variação de desempenho entre os diferentes tipos de variáveis no cálculo do 100º termo da sequência de Fibonacci até o 11º dígito. Na Figura 2, essa análise é estendida até os últimos

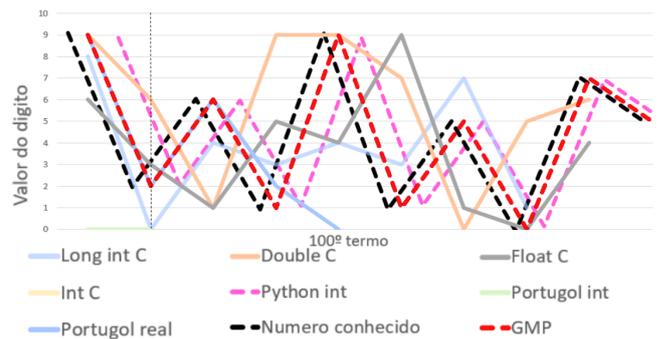


Figura 2: Continuação do gráfico representativo do 100º termo de Fibonacci

10 dígitos do mesmo termo. Este termo é representado pelo número identificado como 354224848179261915075, ver[9]. O eixo das abscissas (x) denota o i-ésimo dígito do 100º termo de Fibonacci, enquanto o eixo das ordenadas (y) representa o valor do correspondente dígito no 100º termo. A análise gráfica evidencia os comportamentos distintos exibidos por cada tipo de variável em relação à representação deste número. Importante destacar que o tipo inteiro em Python não se vê limitado em termos de tamanho. Em virtude desta particularidade da linguagem Python, foi possível o cálculo preciso de todos os termos da sequência até o limiar dos 100 números. Com isso novos experimentos foram conduzidos, abrangendo os primeiros 2000 números da sequência. Tanto em Python quanto com o uso da biblioteca GMP, foi possível representar com precisão esses 2000 números, uma vez que não houve perda de exatidão devido a limitações de tamanho de variáveis.

No contexto da biblioteca GMP, cumpre salientar que a consecução do cálculo e a representação integral do número composto por 21 dígitos ocorreu sem manifestações de erros de arredondamento ou perda de acurácia. Este desfecho evidencia a proficiência da biblioteca GMP em lidar com cálculos que requerem altos níveis de exatidão numérica, mantendo a integridade da precisão mesmo ao lidar com valores numericamente extensos.

Os resultados iniciais dos experimentos evidenciam que o uso da biblioteca GMP é útil, por exemplo, para o cálculo da sequência de Fibonacci a partir do 79º termo da sequência na maioria das linguagens e tipos de variáveis utilizadas. No caso da linguagem Python há uma peculiaridade que o tamanho do inteiro possui como única restrição a capacidade de memória disponível, ver[10]. Esses foram os principais resultados inclusos neste lote de experimentos.

### b. Cálculo de $\pi$

O algoritmo de Chudnovsky proporciona uma convergência em  $\pi$  extremamente rápida, com cerca de 14 dígitos por iteração, segundo [8], o suficiente para estourar rapidamente o espaço de memória das variáveis comuns. Foram utilizadas 5 iterações do algoritmo, com o intuito de obter 50 casas decimais com uma relativa margem de segurança, para que o algoritmo não interfira negativamente na demonstração dos tipos de variáveis.

No tipo Float, para a linguagem C, o tamanho da variável não consegue comportar partes do cálculo do algoritmo

de Chudnovsky, o que fez com que o último dígito (7º dígito) recebesse um valor errado, mesmo ainda estando nos limites estabelecidos para essa variável, resultando no valor 3.141592502...<sup>2</sup>

A implementação do algoritmo de Chudnovsky utilizando o tipo Double para o cálculo de  $\pi$  é menos prejudicada pela precisão da variável. É possível obter exatamente o valor conhecido até 15º dígito, o último dígito comportado pela especificação do tipo Double, alcançando o valor de 3.141592653589793560...

Em Python, existe uma tipagem dinâmica, onde não se faz necessário especificar o tipo da variável, apenas inicializar um valor sobre ela, ver [10]. Porém, pela documentação da linguagem, é possível observar que os números de ponto flutuante são armazenados em um tipo denominado Float, mas que possui a mesma precisão do Double em C. Como o tamanho da variável Float em Python é o mesmo da variável Double em C, espera-se que a precisão da mesma seja exatamente igual, que é o resultado obtido. O valor resultante do cálculo em Python é 3.141592653589793560... onde é possível notar que até o erro resultante é o mesmo.

Por último, utilizando a biblioteca GMP em linguagem C, ainda com o algoritmo de Chudnovsky, porém, adaptado para a biblioteca. Foi utilizada primeiramente uma precisão de 128 bits, o dobro de uma variável Double comum, para efeitos de comparação. O valor resultante possui 39 casas decimais corretas, como pode ser observado abaixo:

3.14159265358979323846264338327950288419500...

Uma nova rodada de testes foi realizada, desta vez com 192 bits de precisão, para comprovar que o único fator limitante para o algoritmo retornar os 50 dígitos solicitados foi a precisão configurada, e o número calculado foi:

3.14159265358979323846264338327950288419716939937511

Contendo 49 casas decimais com o valor correto. Para fins de comparação, o valor exato de  $\pi$ , ver [11], com 50 dígitos é:

314159265358979323846264338327950288419716939937510

Percebe-se então que há uma falha na computação do último dígito solicitado utilizando a biblioteca GMP. Após mais alguns testes, percebeu-se que ao aumentar o número de casas decimais exibidas com 192 bits de precisão, o resultado voltou a se apresentar corretamente, e novamente o último dígito estava incorreto. Após algumas pesquisas, foi possível confirmar que tal falha se trata de um erro de arredondamento da própria biblioteca, que não apresenta uma solução de arredondamento exato, problema que foi corrigido por uma biblioteca de extensão/melhoria da própria GMP, a MPFR (Multiple-Precision Binary Floating-Point Library), ver [12].

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa investigamos características de precisão e intervalo de representação de variáveis de algumas

linguagens de programação e efetuamos uma comparação com a biblioteca de precisão arbitrária conhecida como GMP.

Algumas curiosidades interessantes merecem ser destacadas. Primeiro, notamos que em termos das linguagens Portugol, C e Python, todas elas possuem limitações parecidas, com a exceção do tipo inteiro da linguagem Python, que possui uma precisão dinâmica conforme a necessidade e o armazenamento disponível [10]. Fora essa exceção, as linguagens possuem um intervalo de representação relativamente próximo, o que era o resultado esperado, afinal todas seguem as especificações da IEEE 754 em suas variáveis de ponto flutuante.

Ademais, é possível observar que o uso da GMP ou de qualquer outra biblioteca de precisão arbitrária é útil quando necessário efetuar cálculos envolvendo muitas casas decimais e/ou inteiros muito extensos, proporcionando resultados mais precisos, sendo possível ajustar a precisão conforme necessidade. Um detalhe negativo sobre o uso da GMP é que devido ser uma biblioteca antiga, as referências encontradas estão, na maioria das vezes, defasadas.

Como trabalhos futuros pretendemos dar continuidade aos experimentos comparando resultados de cálculos de constantes reais, irracionais e transcendentais, como o número de euler, dentre vários outros, por diversos métodos, a fim de comparar quando é mais interessante o uso de cada método de cálculo e qual precisão necessária para utilizar cada um. Também é de nosso interesse investigar e comparar a eficiência de outras bibliotecas de precisão arbitrária como a MPFR, que além de permitir alterações de precisão, proporciona um arredondamento correto do número, ver [12]

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

#### REFERÊNCIAS

- [1] D. Goldberg, "What every computer scientist should know about floating-point arithmetic," *Association for Computing Machinery, Inc.*, 1991. [Online]. Available: <https://pages.cs.wisc.edu/~david/courses/cs552/S12/handouts/goldberg-floating-point.pdf>
- [2] B. W. Kernighan and D. M. Ritchie, *The C Programming Language*, 2nd ed. Prentice Hall Professional Technical Reference, 1988.
- [3] R. Dawson, "Programming in ANSI C," 7 2012. [Online]. Available: [https://repository.lboro.ac.uk/articles/book/Programming\\_in\\_ANSI\\_C/9405848](https://repository.lboro.ac.uk/articles/book/Programming_in_ANSI_C/9405848)
- [4] D. H. Bailey, R. Barrio, and J. M. Borwein, "High-precision computation: Mathematical physics and dynamics," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 218, no. 20, pp. 10 106–10 121, 2012.
- [5] G. Yarmish and J. Yarmish, "Finding large primes," *Utilitas Mathematica*, vol. 114, Mar. 2020. [Online]. Available: <https://utilitasmathematica.com/index.php/Index/article/view/1510>
- [6] D. W. Brzeziński and P. Ostalczyk, "Numerical calculations accuracy comparison of the inverse laplace transform algorithms for solutions of fractional order differential equations," *Nonlinear dynamics*, vol. 84, pp. 65–77, 2016.
- [7] E. H. Iwao, "Pi in the sky: Calculating a record-breaking 31.4 trillion digits of archimedes' constant on google cloud." [Online]. Available: <https://cloud.google.com/blog/products/compute/calculating-31-4-trillion-digits-of-archimedes-constant-on-google-cloud>

<sup>2</sup>Os dígitos sublinhados representam os valores incorretos da sequência. Apenas os 3 primeiros dígitos incorretos foram apresentados, os demais valores foram ocultados para evitar poluição textual.

- [8] J. Guillera, "History of the formulas and algorithms for pi," *arXiv: History and Overview*, 2009. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.0807.0872>
- [9] "Oeis sequence a000045: Fibonacci numbers," Online Encyclopedia of Integer Sequences. [Online]. Available: <https://oeis.org/A000045/b000045.txt>
- [10] P. S. Foundation, "Python 3.11.4 documentation," 2023. [Online]. Available: <https://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#typesnumeric>
- [11] R. Sedgewick and K. Wayne, "first 1 million digits of pi." [Online]. Available: <https://introcs.cs.princeton.edu/java/data/pi-1million.txt>
- [12] L. Fousse, G. Hanrot, V. Lefèvre, P. Pélissier, and P. Zimmermann, "Mpf: A multiple-precision binary floating-point library with correct rounding," *ACM Trans. Math. Softw.*, vol. 33, no. 2, p. 13–es, jun 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/1236463.1236468>



# Aprendizado de Máquina Aplicado a Avaliação da Qualidade de Frutos

## *Machine Learning Applied to Fruit Quality Assessment*

Armano. Barros Alves Junior<sup>1</sup> e Warley Gramacho da Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas, Tocantins, Palmas

Data de recebimento do manuscrito: 30/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 02/10/2023

Data de publicação: 16/10/2023

**Resumo**— O presente trabalho teve como objetivo explorar o uso de técnicas de visão computacional e aprendizado de máquina para a análise e classificação de frutas, com foco na qualidade e controle pós-colheita. Através da utilização de algoritmos de segmentação e extração de características, foi possível identificar atributos importantes das frutas, como cor, forma e textura, permitindo uma avaliação do fruto. A aplicação de redes neurais artificiais, como o MultiLayer Perceptron e Convolutional Neural Network, possibilitou a classificação automática das frutas com base em suas características físicas, o que facilita a detecção de defeitos. Os resultados obtidos demonstraram o potencial dessas técnicas para a automação do processo de seleção e classificação de frutas, contribuindo para a melhoria da eficiência e qualidade da produção na seleção de frutos.

**Palavras-chave**—Redes Neurais, Aprendizado profundo, Classificação

**Abstract**— *The present research project aimed to explore the use of computer vision and machine learning techniques for the analysis and classification of fruits, focusing on quality and post-harvest control. By employing segmentation and feature extraction algorithms, it was possible to identify important attributes of fruits, such as color, shape, and texture, enabling a more objective and precise evaluation. The application of artificial neural networks, such as the MultiLayer Perceptron and Convolutional Neural Network, allowed for the automatic classification of fruits based on their physical characteristics, facilitating the detection of defects and separation of fruits at different stages of ripeness. The results obtained demonstrated the potential of these techniques for automating the fruit selection and classification process, contributing to the improvement of agricultural production efficiency and quality.*

**Keywords**—*Neural Networks, Deep Learning, Classification*

## I. INTRODUÇÃO

Para garantir a qualidade dos alimentos oferecidos aos consumidores, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece padrões de identidade e qualidade para diversas frutas, como laranja, banana, uva e maçã [1]. Esses padrões visam garantir critérios como aparência, tamanho, peso e teor de sólidos solúveis das frutas.

Os autores como [2] e [3] apontam que a seleção e a classificação de frutas é algo que precisa ser desenvolvido em âmbito nacional, pois a decisão humana é subjetiva e pode apresentar falhas, culminando na procura pela automatização pós-colheita. Assim, o desenvolvimento de máquinas e sistemas de classificação tem sido cada vez mais explorado, para atender as exigências do mercado em relação

à qualidade dos produtos alimentícios.

Uma das técnicas de classificação que vem se destacando pela eficiência apresentada na extração e quantificação de modo não destrutivo das características relacionadas à qualidade e controle dos frutos é a visão computacional. Seu objetivo é promover a classificação de produtos de forma mais objetiva. Como destacado por [4], "A visão computacional é um campo interdisciplinar que se concentra em tornar as máquinas capazes de interpretar e entender o mundo visual". Essa ciência estuda as teorias e algoritmos que permitem a extração automática de informações úteis a partir de imagens de objetos ou cenas específicas.

Sistemas de visão computacional podem proporcionar a solução dos mais variados problemas a partir da extração e análise de informações de uma imagem. No caso da aplicação em frutos com atributos de qualidade como cor, forma e textura, o sistema consegue reconhecer esses atributos e relatar irregularidades como doenças, distúrbios e até mesmo o grau de maturação.

A utilização de técnicas de aprendizado de máquina tem

Dados de contato: Armano. Barros Alves Junior, armano.alves@uft.edu.br

se mostrado promissora na análise de frutos, permitindo a identificação de atributos de qualidade como cor, forma e textura, bem como a detecção de doenças e distúrbios. De acordo com [2], "é possível utilizar técnicas de aprendizado de máquina para a classificação automática de frutas com base em suas características físicas". De forma combinatória, as técnicas de visão computacional juntamente com o aprendizado de máquina podem ser aplicadas em diversos contextos, como na produção agrícola e no varejo, melhorando a eficiência do processo de seleção e classificação de frutas.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, serão apresentados de forma detalhada os materiais e métodos empregados no desenvolvimento e avaliação do modelo de Classificação de Frutos.

### a. Coletar dados e escolha de frutos

A maçã é uma das frutas mais consumidas em todo o mundo, produzida em grande escala em diversas regiões. Isso significa que há muitas informações disponíveis sobre as características e os defeitos das maçãs, o que permite que sejam criados conjuntos de dados ricos e diversificados para o treinamento e validação de algoritmos de Aprendizado de Máquina. Com isso, a maçã será tomando como objeto de pesquisa para avaliação da qualidade, pois utilizando uma determinada fruta será possível obter resultados mais consolidados, além de ser algo que se mostrou uma opção muito interessante e vantajosa, com base na produção [5], a utilização de uma fruta específica, auxilia na catalogação de características para a classificação.

### b. Pré-processamento de imagem

Foram utilizados algoritmos responsáveis pela extração de características e segmentação dos objetos a serem classificados [6]. Tais objetos serão considerados no passo seguinte para o reconhecimento de defeitos. Um dos algoritmos de segmentação utilizados será o *JESG* [6], apropriadamente aplicado para reconhecer os padrões de deterioramento das frutas analisadas. A segmentação por clusterização será realizada através do algoritmo *K-means*, que está entre os algoritmos mais usados para esta finalidade, aperfeiçoado por [7]. Já a segmentação por crescimento de região passará por dois estágios principais, a quantização do espaço de cores (processo de redução de número de cores distintas em uma determinada imagem) onde cada píxel será rotulado pela sua correspondente classe, criando um mapa de classes da imagem e a segmentação espacial responsável por pegar o mapa das classes e aplicar o crescimento de região, conforme descrito por [3]. Enquanto a segmentação utilizando o *JESG* será realizada utilizando o software elaborado por [6].

A Figura 1 mostra o resultado da imagem ao executar algoritmos de segmentação por *K-means*, com a definição de limites entre os segmentos e qualidade dependente dos parâmetros e dados de entrada. Entretanto, a Figura 2 mostra o resultado utilizando o algoritmo *JESG*, os resultados englobam a segmentação multimodal levando em consideração cores, texturas e luminosidade, a possibilidade



**Figura 1:** Imagem da maçã ao passar pelo algoritmo de segmentação por *K-means*.



**Figura 2:** Imagem da maçã ao passar pelo algoritmo *JESG*.

de hierarquia de segmentação, segmentos mais semânticos e representativos, bem como a redução de ruído e resultados mais suaves.

### c. Classificação da imagem

Nesta seção dedicada à classificação de imagens, foram empregados métodos avançados de aprendizado de máquina, mais especificamente, a utilização das redes neurais [8]. A abordagem adotada baseia-se na segmentação prévia dos objetos e na subsequente aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para realizar a classificação automática.

Inicialmente, é essencial definir um conjunto completo de classes que abranja todas as possíveis categorias de defeitos que podem ser identificadas. Essas classes e suas representações correspondentes nas imagens formam a base do processo de treinamento da rede neural. A rede neural é então alimentada com um algoritmo de treinamento que ajusta os pesos das conexões entre os neurônios, possibilitando que a rede aprenda a reconhecer padrões distintivos associados aos diferentes defeitos e, por conseguinte, classificá-los nas categorias corretas.

A etapa subsequente engloba a aplicação de uma Rede Neural Artificial (RNA) para executar a classificação das imagens. Nesse contexto, o processo assume um caráter supervisionado de aprendizado, uma vez que a rede é treinada utilizando exemplos de imagens previamente classificadas. Duas técnicas notáveis utilizadas são a *MultiLayer Perceptron* (MLP) e a *Convolutional Neural Network* (CNN), ambas amplamente reconhecidas em aplicações de visão computacional e processamento de imagens.

O algoritmo *JESG* pode ser empregado em conjunto com as redes neurais mencionadas anteriormente, proporcionando um aprimoramento na precisão e eficiência da classificação. Para avaliar a eficácia da abordagem proposta, os resultados obtidos com o *JESG* são comparados com outras soluções disponíveis na literatura, permitindo uma análise crítica do desempenho.

No desenvolvimento das técnicas de redes neurais para este artigo, utilizamos as bibliotecas TensorFlow (v2.13), PyTorch (v2.0), K-Means(v1.3.0) e Pandas(v2.1.0). Essas ferramentas são cruciais para construir, treinar e avaliar redes neurais eficazes. As operações essenciais incluem, cálculos de ativação onde funções como sigmoide, ReLU e tangente hiperbólica introduzem não-linearidade nas redes, permitindo que elas aprendam relações complexas nos dados. Em outro momento, são aplicadas funções de perda, como entropia cruzada e erro quadrático médio, avaliam o desempenho do modelo, medindo a diferença entre as previsões e os valores reais dos dados. E por fim, algoritmos foram implementados os SGD, Adam e RMSprop ajustam os pesos da rede para minimizar a função de perda durante o treinamento e realizando assim, a otimização dos modelos.

#### d. Testes computacionais

Nesta seção, é descrito os testes computacionais conduzidos para avaliar a eficácia do sistema proposto de avaliação da qualidade de frutos. Os testes foram desenvolvidos com o intuito de comparar os resultados gerados pelo sistema em relação a uma base de dados estabelecida. Como ponto de partida, os testes foram executados após a conclusão do treinamento da rede. Nessa fase, um conjunto de imagens previamente processadas e tratadas, foram inseridas no sistema. As imagens foram então processadas e classificadas com base no conhecimento adquirido pela rede durante o treinamento. A saída resultante das classificações foi registrada para posterior análise.

Os testes foram conduzidos em duas configurações distintas: uma usando imagens que passaram por um algoritmo de segmentação baseado no *K-means* e outra que utilizou o algoritmo *JESG*. Os Teste com Segmentação pelo Algoritmo *K-means*, inicialmente, foram aplicados no MLP, que foi treinado usando 70% do conjunto de dados de que consiste nas características extraídas das regiões segmentadas das imagens de maçãs. O treinamento envolveu a otimização dos pesos da rede neural para minimizar a função de perda, e a validação cruzada foi utilizada para avaliar o desempenho do modelo.

A CNN também foi treinada utilizando as mesmas regiões segmentadas das imagens de maçã como entrada e com os mesmos 70% do conjunto de dados. A rede neural convolucional foi projetada com camadas convolucionais, camadas de pooling e camadas totalmente conectadas. O treinamento incluiu a minimização da função de perda e a validação cruzada para avaliação. No teste com o Algoritmo *JESG* foi realizado o mesmo processo nas imagens de maçã, desta vez utilizando as características extraídas das regiões segmentadas pelo algoritmo *JESG*. O treinamento e a validação cruzada foram realizados da mesma forma que no primeiro conjunto de testes.

### III. RESULTADOS

Durante o processo de análise de imagens de frutas, foram utilizados algoritmos de extração de características e segmentação de objetos. Foram avaliados diferentes algoritmos de segmentação, sendo um deles o *JESG*, que foi aplicado para reconhecer padrões de deterioração das frutas

analisadas. Além disso, foi utilizado o algoritmo *K-means* para a segmentação por clusterização, que é amplamente utilizado para esse fim.

**TABELA 1:** ALGORITMOS, PORCENTAGENS DOS TREINAMENTOS E TESTES

Algoritmo	Treinamento	Teste
MLP + Segmentação por K-Means	96.87%	94.30%
CNN + Segmentação por K-Means	97.14%	94.65%
MLP + Algoritmo JESG	97.46%	95.32%
CNN + Algoritmo JESG	97.85%	96.02%

Na Tabela 1, é possível observar o percentual de precisão dos algoritmos de classificação implementados. E o *MultiLayer Perceptron* (MLP) utilizando o algoritmo de Segmentação por *K-Means*, obteve um resultado menor de 96.87% de acurácia no caso de treinamento e 94.30% em teste quando comparado ao algoritmo *JESG* que obteve 97.17% de acurácia no treinamento do algoritmo e 94.65% na seção de teste, assim, demonstrando toda a capacidade que o modelo *Convolutional Neural Network* (CNN) possui.

Por outro lado, ao aplicar ambos os modelos com a utilização do algoritmo *JESG* para a segmentação das imagens, observaram-se resultados ainda mais significativos. Notavelmente, nos casos de teste, o desempenho do MLP melhorou de 94.30% para 95.32%, enquanto o CNN aumentou a acurácia de 94.65% para 96.02%. Essa constatação evidencia que a escolha de um algoritmo de segmentação de alta qualidade exerce uma influência substancial sobre os resultados da classificação das imagens.

### IV. CONCLUSÃO

Este estudo explorou a aplicação do aprendizado de máquina na avaliação da qualidade de frutos. Nesse contexto, implementou-se os modelos MLP e CNN, que demonstraram a capacidade de identificar características e atributos das frutas, como cor, forma e textura, com resultados satisfatórios.

A análise comparativa dos algoritmos revelou que o MLP, quando utilizado com o algoritmo de segmentação por K-Means, apresentou um desempenho ligeiramente inferior em termos de acurácia, tanto no treinamento quanto no teste, em comparação com o algoritmo *JESG*. Este último, aplicado tanto ao MLP quanto ao CNN, demonstrou uma capacidade superior de classificação, ressaltando o potencial do modelo CNN.

Além disso, ao empregar o algoritmo *JESG* para a segmentação de imagens em ambos os modelos, os resultados foram aprimorados ainda mais. A acurácia do MLP aumentou de 94.30% para 95.32%, enquanto a do CNN subiu de 94.65% para 96.02%. Essa constatação enfatiza a importância da seleção adequada do algoritmo de segmentação, pois ele desempenha um papel fundamental no resultado da classificação de imagens.

Em síntese, os resultados apontam que a escolha criteriosa do algoritmo de segmentação e a adoção do modelo CNN podem contribuir substancialmente para a melhoria da precisão na classificação de frutos, tornando esse processo mais confiável e eficaz.

## V. AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins e Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins – FAPT/ Governo do Tocantins.

## REFERÊNCIAS

- [1] “Ministério fixa padrões visuais de qualidade para frutas, legumes e verduras.” [Online]. Available: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ministerio-fixa-padrees-visuais-de-qualidade-para-frutas-e-verduras>
- [2] Z. Li, R. Guo, M. Li, Y. Chen, and G. Li, “A review of computer vision technologies for plant phenotyping,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 176, p. 105672, 2020.
- [3] J. Sanches and A. C. L. Lino, “Uso de imagem digital para seleção e classificação de frutas e hortaliças,” *Infobibos–Informações Tecnológicas*, 2010.
- [4] Z. He, H. Li, Z. Wang, S. Xia, and W. Zhu, “Adaptive compression for online computer vision: An edge reinforcement learning approach,” *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, vol. 17, no. 4, pp. 1–23, 2021.
- [5] A. L. d. Rosa *et al.*, “Classificação de imagens de frutas utilizando aprendizado de máquina,” 2019.
- [6] Y. Deng and B. S. Manjunath, “Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 23, no. 8, pp. 800–810, 2001.
- [7] G. A. Baxes, *Digital image processing: principles and applications*. John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [8] C. M. Bishop, *Neural networks for pattern recognition*. Oxford university press, 1995.

---

# Análise de Usabilidade da Ferramenta BPMN Sketch Miner

## *Usability Analysis of the BPMN Sketch Miner Tool*

---

Ligia G. Silva<sup>1</sup>, Franciny M. Barreto<sup>1</sup> e Joslaine J. Freitas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Jataí

Data de recebimento do manuscrito: 31/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 02/10/2023

Data de publicação: 16/10/2023

---

**Resumo**—O objetivo desta pesquisa é apresentar a ferramenta BPMN Sketch Miner como uma alternativa ao *home office* bem como a sua usabilidade. Para tanto, um estudo sobre modelagem de processos foi realizado. A ferramenta BPMN Sketch Miner é um software para modelagem de processos de negócios utilizando a notação BPMN. Ela foi desenvolvida para ser utilizada por usuários sem conhecimentos profundos em BPMN e permite a criação de modelos de processos de forma rápida e intuitiva a partir de linguagem natural. A partir do estudo sobre usabilidade, foram selecionadas quatro heurísticas de Nielsen para avaliar a usabilidade da ferramenta BPMN Sketch Miner. Por fim, com base nas respostas adquiridas, é perceptível que a ferramenta pode ser adequada para o uso em *home office*, pois apresenta resultados claros baseados nas respostas da heurísticas de [1] de que a ferramenta está apta para ser utilizada.

**Palavras-chave**—Modelagem de processos, BPMN, BPMN Sketch Miner, Usabilidade, Heurísticas de Nielsen, Análise de Usabilidade

**Abstract**—The objective of this research is to present the BPMN Sketch Miner tool as an alternative to home office as well as its usability. For that, a study on process modeling was carried out. The BPMN Sketch Miner tool is software for modeling business processes using the BPMN notation. It was developed to be used by users without deep knowledge in BPMN and allows the creation of process models quickly and intuitively from natural language. From the usability study, the four Nielsen heuristics were selected to evaluate the usability of the BPMN Sketch Miner tool. Finally, based on the responses acquired, it is noticeable that the tool may be suitable for use in a home office, as it presents clear results based on the responses of Nielsen's heuristics that the tool is suitable for use.

**Keywords**—Process modeling, BPMN, BPMN Sketch Miner, Usability, Nielsen heuristics, Usability Analysis

---

## I. INTRODUCTION

A modelagem de processos reproduz o fluxo de trabalho de uma empresa, usando regras de negócios para melhorar a comunicação, compreensão e eficiência. Ela representa o planejamento da empresa a partir de espécimes de diagramas, onde se pode ver detalhadamente os planos da empresa, e o futuro de cada processo [2].

Na modelagem de processos, um processo de negócios possui perspectivas importantes, podendo ser modelado com pontos de vistas diferentes. Sendo os pontos mais relevantes, controle de dados, organizacional ou de recursos e tratamento de exceções [3].

Considerado um tipo de modelagem de processos, o BPM (*Business Process Management*), é a combinação de conhecimento tecnológico e de gestão de negócios, como descrito pelo autor de [4]. A modelagem BPM inclui métodos, técnicas e ferramentas para dar suporte ao projeto, execução, gerenciamento e análise dos processos de negócios

[5].

Desenvolvido no ano de 2004 e sendo considerado uma melhora do BPM, o BPMN, em inglês *Business Process Model and Notation*, é uma tipagem de modelagem de processos amplamente utilizada como um padrão de software com abordagens orientadas a objetos. As ferramentas BPMN na modelagem de processos organizam o mapeamento empresarial através de símbolos característicos, semelhantes a fluxogramas, para representar ações e retratar o mundo real através de sistemas [3].

A partir do dia 11 de março de 2020 foi declarado pela OMS (Organização Mundial da Saúde) estado de pandemia devido a COVID-19 [6], e atividades não essenciais foram paralisadas, gerando estreitamento na economia global. Com o intuito de se adaptar ao novo cenário que lhes foi imposto, grandes empresas passaram a optar por serviços em *home office*. Sendo assim, a relação de trabalho foi modificada, pois o colaborador passou a exercer sua função à distância, de forma remota. O que após o início da pandemia, juntamente com a falta de preparo de grande maioria da população para o trabalho remoto, causou grande impacto na vida dos trabalhadores. [7]

Levando em consideração a necessidade de

funcionamento das empresas, e o novo modo de trabalho que lhes foi oferecido, não lhes restaram opções além de optar por ferramentas de gerenciamento e controle do fluxo de processos que fossem colaborativas e *online*. Tendo em conta ferramentas de edição BPMN existentes que atendam ao menos um dos requisitos necessários pode-se citar: Sydle, Zeev, HEFLO!, Cawemo e Sketch Miner.

Outro fator importante para a escolha de ferramentas é com relação a usabilidade. Sendo algo crucial e que está definida na norma ISO (*International Organization for Standardization*) 9241 parte 11 [8], como a capacidade do usuário atingir objetivos de forma eficaz, eficiente e satisfatória. Mede-se o desempenho pela precisão, recursos usados e satisfação, sendo a principal atividade para avaliar a usabilidade [9].

A ferramenta *online* colaborativa BPMN Sketch Miner gera modelos visuais de processos de negócios a partir de texto em linguagem natural. Ela converte descrições em diagramas BPMN em tempo real, com boa sincronia visual e textual, tendo tempo médio de resposta de 77 ms e máximo de 513 ms, conforme avaliação feita por [4].

## II. ANÁLISE

Nielsen, um renomado especialista em usabilidade e design de interação [10], desenvolveu um conjunto de heurísticas para avaliação de usabilidade. Essas heurísticas são um conjunto de princípios para avaliar a qualidade da interação entre um usuário e um produto de software.

A fim de analisar a usabilidade da ferramenta BPMN Sketch Miner, foram selecionadas 4 (quatro) heurísticas, sendo estas:

- Consistência e Padronização
- Prevenção de Erros
- Reconhecimento em vez de Memorização
- Ajuda e Documentação

### a. Detalhamento das heurísticas escolhidas

Ao escolher heurísticas de usabilidade para avaliar o BPMN Sketch Miner, priorizaram-se princípios cruciais na experiência do usuário ao modelar processos de negócios.

A primeira heurística escolhida é a **Consistência e Padronização**, que visa tornar a ferramenta previsível e intuitiva ao manter uma interface uniforme em termos de comportamento e terminologia

A segunda heurística é a **Prevenção de Erros**, fundamental para minimizar equívocos na modelagem de processos, evitando retrabalho. A ferramenta deve alertar ou permitir correções fáceis e eficazes.

A terceira heurística, **Reconhecimento em vez de Memorização**, enfatiza a visibilidade das funcionalidades para evitar que o usuário precise memorizar comandos complexos na modelagem de processos.

Por fim, a heurística **Ajuda e Documentação** assegura que o usuário encontre facilmente informações e documentos relevantes. A ferramenta deve ter interface intuitiva e documentos acessíveis para promover aprendizado eficaz.

A avaliação da ferramenta BPMN Sketch Miner utilizando essas heurísticas permitirá uma análise da sua usabilidade.

### b. Perguntas a serem respondidas durante a avaliação

Para avaliar a usabilidade da ferramenta BPMN Sketch Miner, foram escolhidas quatro heurísticas de usabilidade. Com base nessas heurísticas, foram elaboradas perguntas que ajudarão a avaliar a experiência do usuário ao utilizar a ferramenta.

- Consistência e padronização:
  1. A ferramenta utiliza um padrão de interface comum para todas as suas funcionalidades?
  2. Os ícones e símbolos usados na ferramenta são consistentes e representam as mesmas funcionalidades em todas as partes da ferramenta?
  3. A terminologia utilizada na ferramenta é clara e padronizada em todas as suas funcionalidades?
  4. Os elementos da interface da ferramenta são organizados de forma consistente e intuitiva?
- Prevenção de erros
  1. A ferramenta fornece alertas e avisos para prevenir erros durante a modelagem de processos?
  2. Os erros cometidos pelo usuário durante a modelagem de processos são fáceis de corrigir?
  3. A ferramenta apresenta um histórico de alterações, permitindo que o usuário reverta a modelagem para um estado anterior?
  4. A ferramenta fornece validação em tempo real para garantir que o processo esteja correto antes de ser salvo?
- Reconhecimento em vez de memorização
  1. As funcionalidades mais utilizadas da ferramenta estão facilmente acessíveis na interface?
  2. Os ícones e símbolos usados na ferramenta são facilmente reconhecíveis e compreensíveis para o usuário?
  3. A ferramenta fornece dicas e sugestões para ajudar o usuário durante a modelagem de processos?
  4. A ferramenta utiliza uma linguagem clara e simples na sua interface para facilitar a compreensão do usuário?
- Ajuda e documentação
  1. A ferramenta fornece documentos claros e detalhados sobre suas funcionalidades?
  2. Os documentos da ferramenta são facilmente acessíveis a partir da interface?
  3. A ferramenta fornece tutoriais ou vídeos explicativos para ajudar o usuário a aprender a usá-la?
  4. A ferramenta fornece suporte ao usuário, como chat ou e-mail, para ajudar a solucionar dúvidas ou problemas?

### III. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados foram obtidos utilizando-se como base o *Search Quality Evaluator Guidelines*, (Diretrizes do Avaliador de Qualidade de Pesquisa) que se trata de um documento do Google criado para orientar avaliadores de qualidade externos que atribuem notas às páginas da web, a fim de auxiliar os buscadores a fornecer uma melhor experiência de pesquisa [11]. Tendo como fundamento o documento descrito, foram definidos 3 tipos de respostas para as perguntas sobre usabilidade: Cumpre, Não cumpre e Cumpre parcialmente.

É importante destacar que nos casos em que a resposta para as questões for "Cumpre parcialmente" ou "Não cumpre", sempre haverá uma justificativa para tal avaliação. Da mesma forma, mesmo nos casos em que a resposta for "Cumpre", mas não de forma direta, também será fornecida uma justificativa.

### IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos e apresentados na seção section IV, pode-se observar que, com relação a heurística Consistência e padronização, a ferramenta não cumpre o quesito padrão de interface comum, visto que a mesma não possui o padrão de ícones, tendo como exemplo o botão de Salvar.

Quando se trata da heurística prevenção de erros, os requisitos não cumpridos ou cumpridos parcialmente foram fornecimento de alertas e avisos para prevenção de erros e a facilidade de correção de erros. Em relação ao fornecimento de alertas e avisos para prevenção de erros, a ferramenta não cumpre, pois a mesma não emite avisos de advertências ao usuário, em casos como fechamento de abas e inserção de dados incompatíveis. Em relação a correção de erros, a ferramenta cumpre parcialmente a questão, já que é possível realizar a correção dos erros a partir da junção das teclas CTRL Z.

Em relação a heurística de reconhecimento em vez de memorização, a ferramenta não cumpre a questão de fornecimento de dicas e sugestões para a modelagem de processos, uma vez que a ferramenta não oferece tais sugestões. Existe uma seção intitulada "Exemplos" na parte superior da ferramenta, onde se encontram exemplos de estruturas que podem ser empregadas.

E já em relação a heurística ajuda e documentação, a ferramenta cumpre todos os quesitos apontados através de questões relacionadas a heurística.

Com base na análise realizada, é possível observar que a avaliação da ferramenta BPMN Sketh Miner é significativamente positiva.

Apesar dos resultados significativamente bons, é importante destacar a necessidade de melhorias na usabilidade de ferramentas de modelagem de processos, como a BPMN Sketch Miner. Os resultados mostram que ainda existem pontos que podem ser aprimorados para oferecer uma experiência de uso mais intuitiva e satisfatória para o usuário

### V. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi mostrar se a ferramenta BPMN Sketch Miner é adequada ou não para ser utilizada em *home office*. Sendo assim, o estudo de modelagem de processos e suas ferramentas foi indispensável para a utilização da ferramenta BPMN Sketch Miner.

A partir do estudo feito sobre a ferramenta BPMN Sketch Miner e sua usabilidade pode-se observar pontos positivos e/ou negativos na ferramenta. Foram criadas perguntas a fim de avaliar a usabilidade da ferramenta.

Com um total de 16 (dezesseis) perguntas, onde 12 (doze) perguntas foram respondidas com Cumpre, 3 (três) perguntas respondidas com Não cumpre e 1 (uma) pergunta respondida com Cumpre parcialmente, os resultados demonstraram que a ferramenta apresenta uma boa usabilidade e efetividade, mas também apontam para áreas que precisam ser aprimoradas.

Por fim, com base nas respostas adquiridas na seção section IV, é perceptível que a ferramenta pode ser adequada para o uso em *home office*, pois apresenta resultados claros baseados nas respostas da heurísticas de [1] de que a ferramenta está apta para ser utilizada.

### REFERÊNCIAS

- [1] J. Nielsen, *Usability engineering*. Academic Press, 1993.
- [2] E. TOTVS, "Bpmn: entenda o que é a modelagem de processos de negócios, como fazer e sua importância!" <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/bpmn/>, May 2022.
- [3] V. da Silva Palacios, "Mapeamento e modelagem de processos a partir de um programa bpm com utilização de tecnologias digitais de informação e comunicação: pesquisa-ação em um setor administrativo de uma universidade pública," *Repositorio Institucional da UNESP*, 2020.
- [4] W. M. Van der Aalst, "Business process management: a comprehensive survey," *International Scholarly Research Notices*, vol. 2013, 2013.
- [5] W. M. Van Der Aalst, "Business process management demystified: A tutorial on models, systems and standards for workflow management," in *Advanced Course on Petri Nets*. Springer, 2003, pp. 1–65.
- [6] OMS, "Declaração de estado de pandemia," <https://www.who.int/pt/news-room/speeches/item/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-2020>.
- [7] D. C. Mendes, H. N. Hastenreiter Filho, and J. Tellechea, "A realidade do trabalho home office na atipicidade pandêmica," *Revista Valore*, vol. 5, pp. 160–191, 2020.
- [8] ISO, "Ergonomia da interação homem-sistema - parte 11: Usabilidade: Definições e conceitos," <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-2:v1:en, 1998>.
- [9] S. R. Tiecher, "Potencialidades do uso de aplicativos móveis no compartilhamento de estratégias contemplando à atuação profissional docente," *Repositorio institucional UFSM*, 2020.
- [10] J. Nielsen, "Ten usability heuristics," 2005.
- [11] Conversion, "Inédito! baixe o search quality evaluator guidelines em português," [urlhttps://www.conversion.com.br/](https://www.conversion.com.br/), May 2020.







## Support



## Partners

