



ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica



Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2023



ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica



Lilian Coelho de Freitas
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

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

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^o Dr^o Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^o Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^o Dr^o Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^o Dr^o Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^o Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^o Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^o Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0946-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.465231601>

1. Energia elétrica. 2. Computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 623.3

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

O e-book intitulado “Engenharia elétrica e de computação: Docência, pesquisa e inovação tecnológica” está organizado em 12 capítulos e reúne importantes trabalhos científicos desenvolvido por pesquisadores de Norte a Sul do Brasil, que atuam em renomadas instituições de ensino e pesquisa.

Cada capítulo apresenta uma experiência única, com resultados práticos, consistentes e didáticos. Dessa forma, ao ler este livro, o leitor poderá aprofundar seus conhecimentos em desenvolvimento e teste de softwares, jogos digitais, aprendizagem de máquina, automação, geração de energia, entre outros assuntos relacionados à engenharia elétrica e de computação.

Além de uma base teórica aprofundada, nota-se que os autores de cada capítulo adotaram uma linguagem pedagógica e educativa. Assim, acredito que este livro é um excelente referencial teórico, especialmente para alunos de engenharia elétrica e de computação que estejam desenvolvendo trabalhos de conclusão de curso e que buscam exemplos de aplicações práticas para os conhecimentos teóricos estudados durante o curso. Através da reprodução dos resultados apresentados, é possível por exemplo propor melhorias, apresentar soluções alternativas para os problemas propostos ou desenvolver estudos comparativos. Assim o conhecimento científico avança.

Registro meus sinceros agradecimentos aos autores deste e-book, pelas significativas contribuições e pela parceria com a Atena Editora para tornar o conhecimento científico acessível de forma gratuita.

Aos nossos leitores, desejo um ótimo estudo, repleto de *insights* criativos e inovadores.

Lilian Coelho de Freitas

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA O PROCESSO DE REVISÃO EM HOMOLOGAÇÕES DE RELEASES ANDROID | |
| Pedro Ivo Pereira Lancellotta | |
| Heryck Michael dos Santos Barbosa | |
| João Gabriel C. Santos | |
| Klirssia M. Isaac Sahdo | |
| Janisley Oliveira De Sousa | |
| Abda Myrria De Albuquerque | |
| Roger Porty Pereira Vieira | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316011 | |
| CAPÍTULO 2 | 11 |
| ENGENHARIA DE REQUISITOS E SUA IMPORTÂNCIA NO DESENVOLVIMENTO DE <i>SOFTWARE</i> | |
| Henderson Matsuura Sanches | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316012 | |
| CAPÍTULO 3 | 21 |
| ALGORITMOS NÃO SUPERVISIONADOS E <i>WEB SCRAPING</i> PARA DESCOBERTA DE CONHECIMENTO DE CONHECIMENTO EM REDES SOCIAIS | |
| Carlos Daniel de Sousa Bezerra | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316013 | |
| CAPÍTULO 4 | 38 |
| MODELOS MENTAIS DIFUSOS PARA TOMADA DE DECISÃO SOBRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL EM CIDADES INTELIGENTES USANDO TÉCNICAS COGNITIVAS | |
| Márcio Mendonça | |
| Caio Ferreira Nicolau | |
| Fabio Rodrigo Milanez | |
| Vicente de Lime Gonogora | |
| Luiz Henrique Geromel | |
| Marcio Aurélio Furtado Montezuma | |
| Rodrigo Henriques Lopes da Silva | |
| Marcos Antônio de Matos Laia | |
| Marco Antônio Ferreira Finocchio | |
| Renato Augusto Pereira Lima | |
| Edson Hideki Koroishi | |
| Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin | |
| André Luís Shiguemoto | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316014 | |
| CAPÍTULO 5 | 57 |
| CUSTOMIZED EXPERIENCE: DIGITAL GAMES POSSIBILITIES BEYOND | |

THEIR MECHANICS

Paula Poiet Sampedro
 Nicholas Bruggner Grassi
 Isabela Zamboni Moschin
 Vânia Cristina Pires Nogueira Valente
 Emilene Zitkus

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316015>

CAPÍTULO 673**O USO DA AUTOMAÇÃO DIGITAL PARA AGILIZAR PROCESSOS E SUPRIMIR ERROS NA EXECUÇÃO DE ROTINAS**

Geovane Griesang
 Pedro Henrique Giehl
 Mateus Roberto Algayer

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316016>

CAPÍTULO 780**HOSPITAL INTELIGENTE: UMA SIMULAÇÃO DE MONITORAMENTO DE PACIENTES UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

Júlia Borges Santos
 Vinicius da Rocha Motta
 Saymon Castro de Souza
 Ciro Xavier Maretto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316017>

CAPÍTULO 887**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO NO AMBIENTE *APP DESIGNER* DO *SOFTWARE* MATLAB® PARA PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DO ROBÔ PUMA 560**

Eber Delgado de Souza
 Flávio Luiz Rossini
 Luiz Fernando Pinto de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018>

CAPÍTULO 9110**ANÁLISE DE MOTIVAÇÃO E SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE MAPAS COGNITIVOS FUZZY**

Márcio Mendonça
 Angelo Feracin Neto
 Carlos Alberto Paschoalino
 Matheus Gil Bovolenta
 Emerson Ravazzi Pires da Silva
 Marcio Aurelio Furtado Montezuma
 Kazuyochi Ota Junior
 Marcos Antonio de Matos Laia
 Augusto Alberto Foggiato
 Vicente de Lima Gongora

Andre Luis Shiguemoto
Francisco de Assis Scannavino Junior
Nikolas Catib Boranelli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316019>

CAPÍTULO 10..... 126

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM CONTROLADOR PREDITIVO NÃO-LINEAR BASEADO EM MODELO QUASILINEAR MODIFICADO

Manoel de Oliveira Santos Sobrinho
Adhemar de Barros Fontes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.46523160110>

CAPÍTULO 11 140

IMPLEMENTAÇÃO DE ATERRAMENTO EM UMA RESIDÊNCIA COM DR PARA ELIMINAR O CHOQUE ELÉTRICO

Eliandro Marquetti
Elielton Christiano de Oliveira Metz
Luciana Paro Scarin Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.46523160111>

CAPÍTULO 12..... 156

PANORAMA DAS FONTES TÉRMICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Bruno Knevez Hammerschmitt
Felipe Cirolini Lucchese
Marcelo Bruno Capeletti
Renato Grethe Negri
Leonardo Nogueira Fontoura da Silva
André Ross Borniatti
Fernando Guilherme Kaehler Guarda
Alzenira da Rosa Abaide

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.46523160112>

SOBRE A ORGANIZADORA 171

ÍNDICE REMISSIVO..... 172

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA O PROCESSO DE REVISÃO EM HOMOLOGAÇÕES DE RELEASES ANDROID

Data de aceite: 02/01/2023

Pedro Ivo Pereira Lancellotta

Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia -
SIDIA, AM - Brasil

Heryck Michael dos Santos Barbosa

Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia -
SIDIA, AM - Brasil

João Gabriel C. Santos

Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia -
SIDIA, AM - Brasil

Klirssia M. Isaac Sardo

Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia -
SIDIA, AM - Brasil

Janisley Oliveira De Sousa

Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia -
SIDIA, AM - Brasil

Abda Myrria De Albuquerque

Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia -
SIDIA, AM - Brasil

Roger Porty Pereira Vieira

Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia -
SIDIA, AM - Brasil

complexo. Neste cenário, o sistema Android, um dos maiores softwares Open Source do mundo, possui rigorosos padrões de qualidade. Fabricantes de dispositivos que optem por utilizar o sistema operacional Android devem atender a regras e requisitos, desenvolvido pelo Google. Com o objetivo de atender os requisitos definidos nesta documentação, são realizados testes de qualidade nestes dispositivos para garantir que todos os requisitos foram atendidos devidamente. Este processo, que chamamos como homologação de releases Android, gera uma grande quantidade de artefatos de teste como resultado, tornando a revisão de todos os detalhes, um desafio no processo de garantia da qualidade. Por meio deste artigo, propomos uma metodologia para automatizar a etapa de revisão de resultados da homologação de releases Android com o intuito de mitigar as inconsistências encontradas. Através de resultados preliminares, identificamos um ganho de 52,84% com relação a inconsistências previamente encontradas ao aplicar a metodologia proposta. Para avanço de nossa pesquisa, pretendemos implementar a automação e avaliar seu impacto dentro do contexto real de qualidade de software em nossa empresa.

RESUMO: No atual contexto tecnológico de mercado, assegurar a qualidade de novos produtos tem se tornado um desafio

PALAVRAS-CHAVE: Homologação de releases Android, Dispositivos Móveis, Garantia de qualidade, Qualidade de software, Teste de software.

STUDY AND DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE REVIEW PROCESS IN ANDROID RELEASE HOMOLOGATION

ABSTRACT: In the current technology market context, assuring the quality of new products has become a complex challenge. In this scenario, the Android system, one of the most significant Open-Source software in the world, has rigid quality standards. Device manufacturers who choose to use Android operating system must comply with rules and contract requirements, developed by Google. In order to meet the requirements defined in this documentation, quality tests are performed on these devices to ensure that all requirements have been properly met. This process, which we call Android release approval, generates a great amount of test artifacts as a result, hence making the analysis regarding all the details a challenge in the quality assurance process. In this paper, we propose a methodology to automate the review step for approval of Android releases in order to mitigate the inconsistencies found. As a preliminary result, we identified 52.84% of improvement in relation to found inconsistencies applying the proposed methodology. In advance of this research, we intend to implement the automation and evaluate its impact within the real context of software quality in our company.

KEYWORDS: Android Release Homologation, Mobile, Quality Assurance, Software Quality, Software Testing.

1 | INTRODUÇÃO

Qualidade é um fator presente em todo e qualquer cenário de processo ou serviço prestado. No contexto de engenharia de software não é diferente. A qualidade desempenha um papel fundamental para a garantia de um produto estável e íntegro [Mishra and Otaiwi 2020]. O processo de aplicação e revisão de testes de software é uma importante etapa durante seu ciclo de vida, uma vez que a adoção desta prática apresenta ganhos diante de uma remoção de erros em fases prévias e a redução de tempo em processos de manutenção futuros [Hassan et al. 2019]. A aplicação de um processo de qualidade efetivo em software grandes e complexos ainda é um desafio [Shibl et al. 2021]. Como exemplo de cenário de aplicação citamos o sistema operacional Android, que é um dos maiores softwares Open Source do mundo, que conta com cerca de 71.93% de aderência em aparelhos mobile em janeiro de 2021 [Laricchia 2022]. Devido o Android ser utilizado tanto por empresas quanto por usuários comuns, deve-se atender rigorosos padrões de qualidade.

Neste cenário, os Original Equipment Manufacturers (OEMs) desenvolvem seus modelos particulares e em fabricas próprias [Possemato et al. 2021]. Caso estes fabricantes optem por utilizar o Android e os serviços Google Mobile Service (GMS) em seus dispositivos, deve-se atender um conjunto de regras e requisitos definidos em uma documentação disponibilizada pelo Google chamada Compatibility Definition Document (CDD) [Developers 2022], além disso existem definições sobre como os aplicativos

do Google devem vir instalados na release, este é conhecido como Mobile Application Distribution Agreement (MADA). Assim, os fabricantes realizam contratos com o Google de forma a estipular e atender as condições necessárias para manter a utilização do Android em seus aparelhos, como por exemplo, aplicando manutenções regulares e lançamentos de novas versões de software.

Com relação ao processo de homologação de releases Android, a partir do momento em que estiver pronta e o aparelho preparado, é possível embarcar o firmware para que os testes predefinidos pelo Google e pelo próprio OEM sejam aplicados e homologados. Tais validações são responsáveis por verificar a segurança, o desempenho e a compatibilidade do dispositivo com o sistema operacional Android e aplicativos pertencentes ao Google. Em nossa empresa, trabalhamos com releases da America Latina, aplicando manutenções e testes de builds para mais de 172 modelos, com customizações para mais de 60 operadoras. Alguns destes testes realizados tem um tempo de execução muito alto, visto a quantidade de casos que precisam ser executados para validação. Por exemplo, um plano completo de Testes de Compatibilidade (CTS) para validar o Android 12 pode possuir mais de 2 milhões de casos de teste, com tempo de execução de aproximadamente 14 horas, se executados em vários dispositivos mobile em paralelo. Considerando que para cada operadora são gerados mais de 10 artefatos de teste, necessitamos que um testador consiga revisar mais de 500 artefatos por teste ao fim do processo, no mínimo. Uma vez que dentro destes artefatos possuímos um conjunto de regras e grande quantidade de pontos de revisão, temos um imenso esforço e a necessidade de maior atenção para que nenhuma inconsistência venha a passar no resultado.

Neste sentido, os fabricantes oferecem o catálogo de seus modelos disponíveis e operadoras de telefonia, por sua vez, negociam quais irão comprar de acordo com seu público e demanda. Com a negociação, podem ser incluídas customizações de acordo com a região e necessidades da operadora, que constroem um firmware do sistema que possa ser aplicado nos modelos, também conhecidos como builds ou releases [Alure and Puri 2021]. As regras particulares das operadoras e fabricantes, como aplicativos próprios são customizações que devem ser validadas também no processo de homologação, por isso ele é composto por uma grande quantidade de arquivos, demandando um esforço significativo para análise e validação. Em conformidade, este processo de homologação será o objeto de estudo deste artigo, com o objetivo de tornar esse processo mais ágil e assertivo.

Este artigo é uma versão estendida do trabalho publicado em que foi realizado um estudo de caso da indústria [Lancellotta et al. 2022], onde visamos detalhar melhor sobre o processo e resultados encontrados durante aplicações iniciais de nossa metodologia. Como principais contribuições deste artigo podemos citar: o desenvolvimento de uma metodologia organizacional para revisão de testes durante a homologação de releases Android e o planejamento de uma arquitetura para a construção de uma automação da

revisão dos testes de acordo com as regras necessárias para aprovação do Google e OEMs. Constatamos um ganho de 52,84% na identificação de inconsistências ao utilizar nossa metodologia quando aplicados em um conjunto de testes reais de nossa empresa.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, iremos abordar sobre os trabalhos relacionados; na seção 3, apresentamos a nossa metodologia e como ela foi aplicada, apontando os pontos técnicos pertinentes; e na seção 4, revelamos nossas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 | TRABALHOS RELACIONADOS

Os problemas relacionados a grande quantidade de customizações do Android foram analisados em estudos anteriores por meio de diferentes pontos de vista. Os fabricantes podem introduzir graves problemas de segurança dentro dos seus sistemas durante o desenvolvimento de novos componentes dentro do framework Android [Aafer et al. 2016]. Por meio de outra perspectiva, estudos mostraram como as personalizações no sistema operacional podem ser uma causa direta nas releases de manutenção, demonstrando como os fabricantes, por vezes, falham no processo de implementação de todos os patches de segurança advindos do Google em um tempo hábil [Dai et al. 2020]. Ainda neste tópico, outro trabalho relaciona a demora no processo de entrega das atualizações diante o grande número de entidades envolvidas na cadeia de aprovação, que devem trabalhar em conjunto para que as devidas atualizações cheguem nos aparelhos [Thomas et al. 2015].

Atualmente, existem poucas pesquisas de engenharia de software que cobrem a etapa de homologação de releases, e tão pouco para o Android. Dentre elas, há duas pesquisas relevantes que merecem destaque: uma automação para detecção de problemas em Builds Android através de análise de Screenshots, substituindo a antiga tarefa manual realizada pelos testes [de Figueiredo et al. 2022]; e, uma proposta de melhoria na homologação de releases Android, só que por sua vez, implementando um novo processo chamado internal review, com objetivo de reduzir inconsistências nos resultados [Bernardon et al. 2022]. Ambos os trabalhos se referem a garantia da qualidade em um escopo complexo de resultados, visto a grande quantidade de artefatos de teste gerados para revisão, sendo este um cenário representativo para os profissionais de qualidade de software. Nossa proposta visa expandir essas soluções, não se limitando apenas as análises em screenshots, mas cobrindo todos os artefatos de testes e automatizando o processo de internal review.

3 | METODOLOGIA PARA HOMOLOGAÇÃO DE RELEASES ANDROID

Nesse trabalho iremos focar na etapa de homologação das builds. Para que possamos introduzir o conceito de como realizar a homologação e as validações pré-submissão ao Google, é necessário que detalhemos como são os artefatos de teste para,

de fato, considerar uma release como testada. Por fim, iremos identificar a abordagem atualmente utilizada e onde uma ferramenta de automação de testes se encaixa como sugestão de melhoria do processo.

3.1 Artefatos de Teste

A partir do momento em que o produto estiver pronto e com o sistema operacional Android embarcado, uma gama de testes pré-definidos pelo Google é requerido. Os testes são baseados no Tradedfed - Trade Federation, um framework contínuo desenvolvido para testes em aparelhos Android. A Tabela 1 lista e descreve os conjuntos de testes realizados durante o processo de homologação de releases Android. Todas essas suítes de teste são consideradas como testes automatizados, já que são executadas através de uma aplicação Java, porém ainda há parte do escopo que atende testes manuais e testes específicos dos OEMs.

| Suite de Testes | Validação |
|--------------------|--|
| CTS | Conjunto de Testes de Compatibilidade |
| CTS Verifier | Complemento ao CTS com APIs Manuais |
| VTS | Aprimoramento da Confiabilidade e Conformidade do Sistema |
| GTS | Aplicativos de GMS e Quesitos Contratuais da Google |
| STS | Conjunto de Testes de Segurança para CTS |
| Testes Caixa Preta | Testes Específicos para Aplicativos Exclusivos ao Fabricante |

Tabela 1. Testes Suite do processo de homologação Android mobile

Os testes são aplicados a começar pelo conjunto de Testes de Compatibilidade (CTS). Os testes de CTS abrangem um conjunto de testes que garantem a compatibilidade das implementações da estrutura do Android entre parceiros de desenvolvimento de produtos que fazem o uso do Android pelas OEMs e entre versões de plataforma. Em algumas versões do Android, o CTS pode chegar a ter mais de 2 milhões de casos de testes executados [Possemato et al. 2021]. O CTS Verifier, por sua vez, é um complemento do CTS ele fornece testes para Interfaces de Programação de Aplicação (APIs) e funções que não podem ser testadas em um dispositivo estacionário sem entrada manual, testes estes que não podem ser automatizados, consequentemente executados no Dispositivo em Teste (DUT) como: a qualidade de áudio, display, sensores, câmera, entre outros.

Além do CTS, há o Vendor Test Suite (VTS), um conjunto de atividades e casos de teste voltados a ajudar o aprimoramento da confiabilidade e a conformidade do sistema Android, como também de software de sistemas de baixo nível [Possemato et al. 2021]. Além desses, existem outros que OEMs só poderão obter por meio do Google, pois não se encontram disponíveis com código aberto no mercado. A começar pelo GMS Test Suite

(GTS), responsável por englobar um conjunto de verificações automatizadas pertencente ao Google, direcionado a validar a presença, ausência e funcionamento dos aplicativos de GMS integrados nos dispositivos, além de verificar se quesitos contratuais alinhados entre OEMs e as operadoras foram atendidos. O Security Test Suite (STS) é um novo conjunto de testes de segurança para testes do CTS, com atualizações mensais, auxilia OEMs a validar se os dispositivos não estão vulneráveis, verificando se foram corretamente corrigidos e se os testes de segurança foram devidamente aplicados.

Todas essas suítes de teste são consideradas como testes automatizados. Além destes, existem os testes manuais, ou seja, possuem casos de teste que precisam de interação humana para realizar etapas de processo, assim como algumas análises que não podem ser avaliadas automaticamente. Como por exemplo, verificação de imagens como o fundo de tela específico de alguma operadora, tirar fotos relacionadas a imagem de inicialização do modelo, sensores, giroscópios e entre outros. Alguns testes são específicos dos OEMs, classificados na Tabela 1 como testes de caixa preta onde são testados os aplicativos exclusivos destes fabricantes, sem levar em conta a estrutura do código-fonte, os detalhes de implementação ou os cenários de execução [Kong et al. 2018].

3.2 Inconsistências de Resultados

As inconsistências são definidas como não conformidades de um conjunto de atributos e regras necessárias em cada teste específico. A ocorrência de uma ou mais dessas inconsistências é nomeada como feedback. Caso algum resultado do conjunto de artefatos de teste que homologam a release contenha alguma inconsistência, a release será rejeitada pela Google, de tal forma que se deve responder o feedback com todos os resultados corretos. Em muitos casos, o procedimento de resposta do feedback pode gerar um atraso na aprovação de uma release e sua disponibilidade para os usuários finais, por consequência comprometendo prazos definidos em contrato com as operadoras, afetando economicamente os fabricantes e deteriorando a experiência do usuário com relação a qualidade do produto.

Devido ao volume de resultados, prazo para execução e alta demanda de testes, é passível de ocorrer inconsistências que passem despercebidas pelo tester que a certificou. Um levantamento foi feito e obtivemos a quantidade de releases submetidas com e sem feedbacks durante o ano de 2021 e durante o primeiro semestre de 2022 representados pelas Figuras 1 e 2, respectivamente. Nestas figuras pudemos observar a recorrência da incidência de problemas nos testes durante um período de 1 ano e meio dentro de nossa empresa.

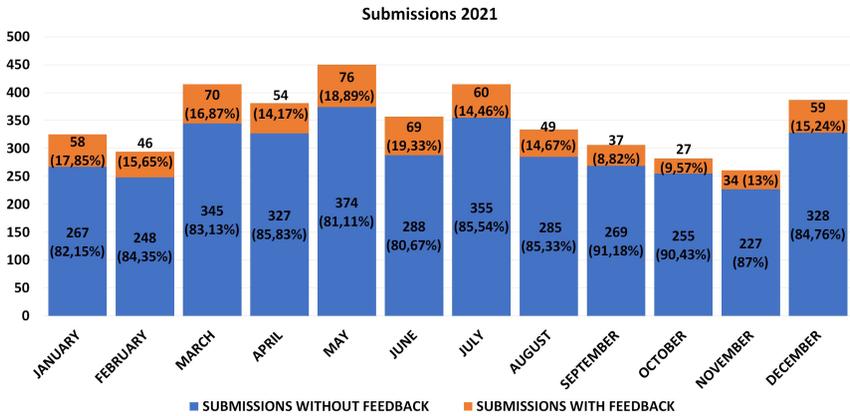


Figura 1. Submissões com e sem feedback do ano 2021.

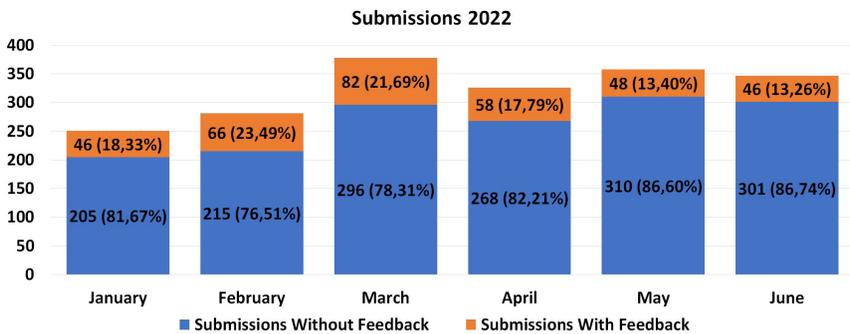


Figura 2. Submissões com e sem feedback no primeiro semestre de 2022.

3.3 Nossa abordagem: a revisão de testes por meio de uma plataforma automatizada

No contexto apresentado, com relação ao volume de artefatos de teste e recorrência de inconsistências observadas ao longo de 2021 e 2022, propomos neste artigo uma melhoria no processo de homologação de releases Android: a automatização da revisão dos artefatos de teste. Ela auxiliará na interpretação da informação contida nestes artefatos e irá comparar seus valores esperados de acordo com as regras corretas.

Em síntese, a automação irá conter um conjunto de regras para validar as informações contidas nos arquivos de artefatos de teste, advertindo ao testador através de um relatório simples, quaisquer inconsistências identificadas. Por exemplo, persistimos quais as versões mais atuais das ferramentas de teste que precisam ser executadas e comparamos com os artefatos de teste para checar se, de fato, todos foram executados nas ferramentas pertinentes, assim como outras regras mais complexas, como por exemplo a assinatura do serviço de voz, página do browser, entre outros. Uma vez informadas as inconsistências, esperamos que o testador possa resolver o problema e corrigir o resultado o mais breve possível, com o objetivo de eliminá-las antes da submissão de resultados.

Nossa proposta é de que essa ferramenta seja disponibilizada como uma interface web com arquitetura de micro serviços, facilitando o uso interno da empresa e a disponibilização para setores terceiros que necessitem de utilizá-lo. A Figura 3 representa um fluxo visual da metodologia proposta neste artigo.



Figura 3. Methodology process.

Para realizar a validação com nossa metodologia, necessitamos que os testers anexem os arquivos de artefatos de teste para que nosso processo extraia as informações e crie um arquivo com os pontos essenciais de revisão. Em seguida, comparamos os campos do arquivo obtido no passo anterior com as regras corretas. Por fim, geramos um relatório de saída que indique para o usuário todas as inconsistências encontradas com relação a regra correta e o campo encontrado nos artefatos de teste. Ao apresentá-las, o próprio testador deverá corrigi-las e se atentar para que não surjam outros erros novamente neste conjunto de teste.

Um dos grandes desafios é avaliar, dentro dos artefatos de teste, quais campos serão revisados de acordo com as regras em vigor. Tais regras podem ser adequadas sem um prazo definido, de acordo com novas atualizações providas pelo Google para as ferramentas de suíte ou testes de fabricante. Cada novo sistema Android lançado carrega consigo inovações, melhorias, e com isso os testes são adaptados para atender os novos requisitos de validação. A atualização de resultados esperados nessas novas regras é uma consulta que realizamos manualmente, devido à falta de centralização das informações sobre esses artefatos de validação. Para resolver esse problema, aplicamos os novos requisitos a partir de documentos técnicos fornecidos pelo Google e OEMs. Com isso, são realizados os processos de filtragem e criação das novas regras de revisão.

4 | CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo, apresentamos uma abordagem para automatizar a revisão de artefatos de teste ao final do processo de homologação de releases Android. Atualmente, nossa empresa não possui mecanismos automatizados que possam auxiliar os testadores na revisão dos arquivos destes resultados, desta forma a automação proposta atua como um agente facilitador, a fim de mitigar inconsistências observadas ao final do processo de

homologação. Como resultado preliminar de avaliação de nossa abordagem, identificamos um ganho de 52,84% com relação a inconsistências identificadas na revisão ao utilizar nossa metodologia. Notamos que, pela identificação destes feedbacks com antecipação, os projetos têm um ganho de aproximadamente 1 dia na etapa de aprovação, culminando em uma maior agilidade do processo de homologação. Para realizar esta avaliação, testamos a aplicação da validação de regras em um pequeno conjunto de testes de homologação e comparamos com uma revisão puramente manual.

Como principal contribuição deste artigo, citamos a criação de uma metodologia de automação do processo de revisão de artefatos de teste em homologação de releases Android, propondo uma ferramenta que auxilie o tester a maximizar a garantia de qualidade do produto, colaborando com questões estratégicas na redução de custos, prazos e inconsistências. Como trabalhos futuros, sugerimos: a criação dessa automação proposta em nossa metodologia, validando-se sua implementação no ambiente de nossa empresa através de um experimento, permitindo analisar melhor a eficácia da metodologia; a inclusão de recursos capazes de revisar os testes baseados em interpretação de imagens.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia que possibilitou a realização desta pesquisa por meio de suas instalações e equipamentos laboratoriais. Este trabalho foi parcialmente apoiado pela Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., sob os auspícios da Lei de Informática nº 8.387/91.

REFERÊNCIAS

Aafer, Y., Zhang, X., and Du, W. (2016). Harvesting inconsistent security configurations in custom android {ROMs} via differential analysis. In *25th USENIX Security Symposium (USENIX Security 16)*, pages 1153–1168.

Alure, S. and Puri, R. (2021). Firmware designing for android mobile. *INTERNATIONAL JOURNAL*, 5(12).

Bernardon, C., Lemos, D., Garcia, M., Souto, T., and Bonifacio, B. (2022). Improving the software homologation process through peer review: An experience report on android development environment. *International Journal of Computer and Systems Engineering*, 16(3):54–60.

Dai, J., Zhang, Y., Jiang, Z., Zhou, Y., Chen, J., Xing, X., Zhang, X., Tan, X., Yang, M., and Yang, Z. (2020). {BScout}: Direct whole patch presence test for java executables. In *29th USENIX Security Symposium (USENIX Security 20)*, pages 1147–1164.

de Figueiredo, L. P., Gomes, J. P., de S. Santos, F., Queiroz, G. M., Giuntini, F. T., and Sales, J. E. (2022). An automatic approach to detect problems in android builds through screenshot analysis. In *Proceedings of the 37th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing*, pages 926–932.

Developers, A. (2022). Android source documentation. <https://source.android.com/docs/compatibility/cdd>. Accessed: 2022-12-05.

Hassan, M., Hussain, M., Irfan, M., et al. (2019). A policy recommendations framework to resolve global software development issues. In *2019 International Conference on Innovative Computing (ICIC)*, pages 1–10. IEEE.

Kong, P., Li, L., Gao, J., Liu, K., Bissyande, T. F., and Klein, J. (2018). Automated testing of android apps: A systematic literature review. *IEEE Transactions on Reliability*, 68(1):45–66.

Lancellotta, P. I. P., Barbosa, H. M. D. S., Santos, J. G. C., Sahdo, K. M. I., and De Sousa, J. O. (2022). An industry case study: Methodology application to the reviewing process on android releases homologation. In *Anais Estendidos do XIII Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática*, pages 13–16. SBC.

Laricchia, F. (2022). Market share of mobile operating systems worldwide 2012-2022. *Statista*.

Mishra, A. and Otaiwi, Z. (2020). Devops and software quality: A systematic mapping. *Computer Science Review*, 38:100308.

Possemato, A., Aonzo, S., Balzarotti, D., and Fratantonio, Y. (2021). Trust, but verify: A longitudinal analysis of android oem compliance and customization. In *2021 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, pages 87–102. IEEE.

Shibl, M. A., Helal, I., and Mazen, S. A. (2021). System integration for large-scale software projects: Models, approaches, and challenges. In *International Conference on Emerging Technologies and Intelligent Systems*, pages 99–113. Springer.

Thomas, D. R., Beresford, A. R., and Rice, A. (2015). Security metrics for the android ecosystem. In *Proceedings of the 5th Annual ACM CCS Workshop on Security and Privacy in Smartphones and Mobile Devices*, pages 87–98.

ENGENHARIA DE REQUISITOS E SUA IMPORTÂNCIA NO DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Data de aceite: 02/01/2023

Henderson Matsuura Sanches

Centro Universitário UDF
ORCID: 0000-0003-2354-3393

RESUMO: Diante das constantes mudanças e dos intensos avanços tecnológicos que vem ocorrendo nas últimas décadas, a informação passou a ser um recurso estratégico das empresas, sendo o objetivo deste trabalho é abordar o papel e a importância da Engenharia de Requisitos (ER) no desenvolvimento de software e definir os processos e atividades da ER, como a definição da ER, apresentar normas, a Unified Modeling Language (UML), a linguagem destinada à modelação e documentação das fases de desenvolvimento de softwares onde o Diagrama de Caso de Uso (DCU) sendo o diagrama fundamental para qualquer desenvolvimento de software permite dar uma visão global e de alto nível do sistema, descrevendo sua visão externa e as interações com o mundo exterior, tendo como metodologia bibliográfica com o intuito de demonstrar a importância da ER no desenvolvimento de software e a ER define, sem dúvida, um dos mais importantes

conjuntos de atividades a serem realizadas em projetos de desenvolvimento de software.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia de Requisitos, UML, Software, ISO/IEC, Desenvolvimento.

ABSTRACT: Faced with the constant changes and intense technological advances that have been taking place in recent decades, information has become a strategic resource for companies, where the objective of this work is to address the role and importance of Requirements Engineering (RE) in software development and defining the ER processes and activities, such as defining the ER, presenting standards, the Unified Modeling Language (UML), the language intended for modeling and documenting the software development phases where the Use Case Diagram (UCD) being the fundamental diagram for any software development, it allows giving a global and high-level view of the system, describing its external view and interactions with the outside world, having as a bibliographic methodology in order to demonstrate the importance of RE in software development and RE defines, without a doubt, one of the most important

sets of activities to be carried out in software development projects.

KEYWORDS: Requirements Engineering, UML, Software, ISO/IEC, Development.

1 | INTRODUÇÃO

Diante dos avanços tecnológicos que vem ocorrendo nas últimas décadas, a informação passou a ser um recurso estratégico das empresas. O *software* se tornou a força motora desta nova era. Sendo Ele capaz de manipular o bem mais importante para uma empresa – a informação. A fim de evitar que o desenvolvimento de *software* seja realizado com baixa qualidade e pouca previsibilidade de custos e recursos, surgiram técnicas de engenharia de *software* (MARTINS, 2013). O desenvolvimento e a implementação de um *software* visa a melhoria do desempenho organizacional diante dos mercados com a acirrada competição. A indústria de *software* vem demonstrando crescente interesse em Engenharia de Requisitos e percebendo que o tempo utilizado no entendimento do problema é um excelente investimento (COSTA, 2018).

Segundo Pádua (1998, apud Pressman, 2003) para projetar e construir um *software* que atenda às necessidades do cliente deve-se entender o que ele realmente deseja. E para tanto, o autor sugere o uso da Engenharia de Requisitos (ER), que inclui o conjunto de tarefas que levam ao entendimento de qual será o impacto do *software* sobre o negócio, do que o cliente quer e de como os usuários finais vão interagir com o *software*.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste artigo é abordar o papel e a importância da ER no desenvolvimento de *software* e definir os processos e atividades da ER.

2 | DEFINIÇÕES DE ENGENHARIA DE REQUISITOS (ER)

Antes de definir o processo de ER, inicialmente, é fundamental definir o que são requisitos.

Conforme Chichinelli e Cazarini (2003) requisito é uma condição ou uma capacidade que deve ser alcançada ou possuída por um sistema ou componente do sistema, para satisfazer um contrato, um padrão, uma especificação ou outros documentos impostos formalmente.

Para Alencar (1999) requisito é um conjunto de descrições de como o sistema pretendido deve se comportar, ou um conjunto de propriedades, de atributos do sistema e ou limitações do próprio processo de desenvolvimento do *software*.

Requisito pode ser definido como “algo que um cliente necessita”. Entretanto do ponto de vista do Engenheiro de software, requisitos pode ser definido como “algo que necessita ser projetado”. (MACAULAY, 1996, p.72).

3 | A CLASSIFICAÇÃO DOS REQUISITO

Os requisitos podem ser classificados como funcionais e não funcionais. Os requisitos funcionais dizem respeito à definição das funções que um sistema ou um componente de sistema deverá fazer, ou seja, as entradas que deverão ser transformada, e as saídas que deverão ser produzidas. Enquanto os requisitos não funcionais, dizem respeito às restrições e comportamentos que o software deverá satisfazer (TURINE e MASIEIRO,1996).

De forma simples, a diferença entre requisitos funcionais e não funcionais está no fato dos requisitos funcionais descreverem “o que” o sistema deverá fazer, enquanto os requisitos não funcionais fixam restrições sobre “como” os requisitos funcionais serão implementados.

4 | ISO/IEC E NORMAS EM ER

Durante o processo de *software* os requisitos mudam constantemente, seja em virtude do melhor entendimento do problema, com o amadurecimento da compreensão dos envolvidos acerca do que desejam que o *software* faça, ou em alterações de *hardware*, *software* ou ambiente organizacional no qual o sistema está inserido. Novos requisitos surgem à medida que novas necessidades e prioridades são descobertas por parte dos *stakeholders* ao longo do processo. Pode-se dizer desta forma, que os requisitos devem evoluir visando refletir as novas visões do problema (SOMMERVILLE, 2007).

A preocupação com a qualidade na produção de *software* inicialmente centrou foco na qualidade do produto; esta visão evoluiu e atualmente a preocupação com qualidade envolve tanto o processo de produção (o ciclo de desenvolvimento do *software*) quanto o resultado final (o produto ou *software* gerado) (SAYÃO, 2003).

Na busca de aprimoramento nas atividades do processo de desenvolvimento de *software* originou-se as normas ISO/IEC 12207 e ISO/IEC 15504, e os modelos de processo *Capability Maturity Model Integration* (CMMI) e Modelo de Processo do *Software* Brasileiro (MPS.BR). Essas normas e modelos apresentam o processo de *software* sob a ótica de seu funcionamento, mas não apresentam como estes processos devem ser definidos, sendo esta uma responsabilidade do engenheiro de *software*. Nelas é apresentado um conjunto de resultados esperados em termos de qualidade para a engenharia de requisitos (LAHOZ, 2003).

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), apresenta um documento que orienta os desenvolvedores quanto às atividades de especificação de requisitos de *software*.

Na Tabela 1 é apresentado algumas ISO/IEC e suas orientações.

| ISO/IEC | Orientações |
|----------------|---|
| ISO/IEC 9126 | Define um modelo de qualidade com um conjunto de características e <i>subcaracterísticas</i> de que aferem as capacidades do <i>software</i> no atendimento aos atributos de qualidade e apresenta um conjunto de características que definem um modelo de qualidade e podem ser aplicadas a qualquer produto de <i>software</i> . |
| ISO/IEC 12207 | É usada como referência por empresas produtoras e prestadoras de serviços de <i>software</i> em muitos países, com o objetivo de auxiliar os envolvidos na construção de <i>software</i> a definir seus papéis, e por meio de processos bem definidos, proporcionar a obtenção de um entendimento das atividades a serem executadas. Segundo esta norma os requisitos são divididos em requisitos de sistema e requisitos de <i>software</i> . |
| ISO/IEC 15504 | É uma norma que representa um padrão internacional emergente que estabelece um <i>framework</i> para construção de processos de avaliação e melhoria do processo de <i>software</i> . Sendo uma evolução da norma ISO/IEC 12207. |
| ISO 14598 | Guias para a avaliação de produtos de <i>software</i> , baseados na utilização prática da norma ISO 9126. |
| NBR ISO 9001 | Sistemas de qualidade – Modelo para garantia de qualidade em projeto, desenvolvimento, instalação e assistência técnica (processo). |
| NBR ISO 9000-3 | Gestão de qualidade e garantia de qualidade. Aplicação da norma ISO 9000 para o processo de desenvolvimento de <i>software</i> . |
| IEEE 830 | É uma recomendação prática para escrever especificações de requisitos de <i>software</i> . Seu objetivo é descrever o conteúdo e as qualidades fundamentais para a elaboração de um bom documento de especificação de requisitos de <i>software</i> . |

Tabela 1: ISO/IECs e suas Orientações.

Martins, 2013 apresenta o conjunto de requisitos a ser considerar os atributos de qualidade apresentados na IEEE 830 a seguir:

- **Correção:** um conjunto de requisitos é considerado correto se todos os requisitos representam algo que deve estar presente no sistema que está sendo desenvolvido, ou seja, os requisitos reais do usuário devem coincidir com os requisitos identificados.
- **Não-ambiguidade:** um conjunto de requisitos é considerado não ambíguo quando pode ser interpretado por todos os envolvidos em um projeto de uma única maneira.
- **Completo:** um conjunto de requisitos é dito completo quando descreve todas as demandas de interesse dos usuários. Estas demandas incluem requisitos funcionais, de desempenho, restrições, atributos e interfaces externas.
- **Consistência:** um conjunto de requisitos é dito consistente se nenhum subconjunto destes requisitos entra em conflito com os demais requisitos do sistema.
- **Classificabilidade:** um conjunto de requisitos é considerado classificável quando pode ser classificado por grau de importância e/ou estabilidade.
- **Verificabilidade:** um requisito é verificável se existe uma forma efetiva, em

termos de tempo e custo, para que pessoas ou ferramentas indiquem se um sistema cumpre o requisito.

- **Modificabilidade:** um conjunto de requisitos é modificável quando seu estilo e estrutura é tal que as alterações podem ser realizadas de forma simples e consistente com os demais requisitos.
- **Rastreabilidade:** um requisito é considerado rastreável quando se pode acompanhar a vida de um requisito em ambas as direções do processo de *software* e durante todo o seu ciclo de vida.

Martins, 2013 também nos apresenta as características de qualidade definidas pela norma ISO/IEC 9126 sendo:

- **Funcionalidade:** conjunto de atributos que evidenciam a existência de funções que satisfazem as necessidades explícitas e implícitas;
- **Usabilidade:** conjunto de atributos que evidenciam o esforço necessário para se poder utilizar o *software*;
- **Confiabilidade:** conjunto de atributos que evidenciam a capacidade do *software* de manter seu nível de desempenho sob condições estabelecidas durante um período de tempo estabelecido;
- **Eficiência:** conjunto de atributos que evidenciam o relacionamento entre o nível de desempenho do *software* e a quantidade de recursos usados, sob condições estabelecidas;
- **Manutenibilidade:** conjunto de atributos que evidenciam o esforço necessário para fazer modificações especificadas no *software*;
- **Portabilidade:** conjunto de atributos que evidenciam a capacidade do *software* de ser transferido de um ambiente para outro.

As características e subcaracterísticas definidas pela norma ISO 9126 adaptada de (ISO/IEC, 2003) são apresentadas na Tabela 2. Para cada subcaracterística é elencada uma pergunta chave que remete ao objetivo ao qual a mesma se propõe (MARTINS, 2013).

| Característica | Subcaracterística | Subcaracterística |
|--|---------------------|---|
| Funcionalidade (Satisfaz as necessidades?) | Adequação | Propõe-se a fazer o que é apropriado? |
| | Acurácia | Faz o que foi proposta de forma correta? |
| | Interoperabilidade | Interage com os sistemas especificados? |
| | Conformidade | Está de acordo com as normas, leis, etc? |
| | Segurança de acesso | Evita acesso não autorizado aos dados? |
| Confiabilidade (É imune a falhas?) | Maturidade | Com que frequência apresenta falhas? |
| | Tolerância a falhas | Ocorrendo falhas como ele reage? |
| | Recuperabilidade | É capaz de recuperar dados em caso de falhas? |
| Usabilidade (É fácil de usar?) | Inteligibilidade | É fácil de entender o conceito e a aplicação? |
| | Apreensibilidade | É fácil de aprender a usar? |
| | Operacionalidade | É fácil de operar e controlar? |
| Eficiência (É fácil, rápido e “enxuto”?) | Tempo | Qual é o tempo de resposta, a velocidade de execução? |
| | Recursos | Quanto recurso usa? Durante quanto tempo? |
| Manutenibilidade (É fácil de modificar?) | Analísabilidade | É fácil de encontrar uma falha quando ocorre? |
| | Modificabilidade | É fácil modificar e adaptar? |
| | Estabilidade | Há grande risco quando se faz alterações? |
| | Testabilidade | É fácil testar quando se faz alterações? |
| Portabilidade (É fácil de usar em outro ambiente?) | Adaptabilidade | É fácil adaptar em outros ambientes? |
| | Instabilidade | É fácil instalar em outros ambientes? |
| | Conformidade | Está de acordo com padrões de portabilidade? |
| | Substituibilidade | É fácil usar para substituir outro? |

Tabela 2: Características e Subcaracterísticas da ISO/IEC 9126 (MARTINS, 2013).

5 | ENGENHARIA DE REQUISITOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO ÁGIL

O surgimento dos métodos ágeis no cenário do desenvolvimento de *software* na atual área da engenharia de requisitos repensa alguns de seus procedimentos. Isto se deve principalmente porque estes métodos abdicam, em parte, de controles e documentação tão presentes nesta área. Os métodos ágeis em geral não mencionam como realizam, por exemplo, a documentação da especificação de requisitos, ou como mantêm a

rastreabilidade dos requisitos. Os princípios apresentados pelo manifesto ágil e discutidos por Fowler (2003, p.1) mostram que certos valores relacionados com a área de engenharia de requisitos continuam sendo importantes, como o entendimento dos requisitos, porém preocupam-se em não gerar muita documentação que, justificam, provavelmente nunca será lida.

As discussões em torno da compatibilidade dos métodos ágeis com modelos de qualidade de *software*, que possuem documentação em todos os processos, principalmente na área de requisitos, têm aumentado significativamente. Turner e Jain (2002, p.161) comentam que, apesar da existência de características distintas entre os métodos ágeis e o modelo *Capability Maturity Model Integration* (CMMI), ambos possuem planos específicos para o desenvolvimento de *software* e buscam o melhor para que a organização produza *software* com qualidade. O CMMI é um modelo de processo, criado e mantido pelo *Software Engineering Institute* (SEI), que recomenda um conjunto de “melhores práticas” para os processos de desenvolvimento de *software*. Atualmente, o CMMI é o modelo mais recomendado para empresas que pretendem exportar *software* ou serviços de TI, devido a sua ampla aceitação no mercado comprador internacional (TAURION, 2005).

O Processo de *Software* Brasileiro (MPS-BR) é uma metodologia voltada à área de desenvolvimento de sistemas e que foi criada por um conjunto de organizações ligadas ao desenvolvimento de *software*. O MPS-BR é um modelo de referência brasileiro para o processo de *software*, adequado ao perfil das empresas nacionais e compatível com os padrões de qualidade aceitos internacionalmente pela comunidade de *software*.

No que tange o método ágil *Scrum* segundo Schwaber (2002, p.2) tem como objetivo definir um processo para projeto e desenvolvimento de *software* orientado a objeto, que seja focado nas pessoas e que seja indicado para ambientes em que os requisitos surgem e mudam rapidamente. As práticas gerenciais do Scrum são: *Product Backlog*, *Daily Scrum*, *Sprint*, *Sprint Planning Meeting*, *Sprint Backlog* e *Sprint Review Meeting*.

A atividade de gestão ou gerência de requisitos é utilizada para compreender e controlar as mudanças dos requisitos de *software* (SOMMERVILLE, 2007). É importante que os requisitos de um projeto sejam acompanhados individualmente, mantendo ligações entre os requisitos dependentes, de forma que seja possível avaliar o impacto de possíveis mudanças. Para isso, um processo de gerenciamento deve ser estabelecido e mantido (SOMMERVILLE, 2011).

O planejamento é um estágio essencial no processo de gestão dos requisitos. Nesse momento deve-se decidir sobre (SOMMERVILLE, 2011):

- **Identificação de requisitos:** forma como cada requisito será identificado unicamente de modo que possa ser feita referência cruzada entre este e outros requisitos e para que ele possa ser utilizado nas avaliações de rastreabilidade.
- **Processo de gerenciamento de mudanças:** conjunto de atividades que avaliam o impacto e o custo das mudanças.

- **Políticas de rastreabilidade:** regras que definem os relacionamentos entre os requisitos e entre os requisitos e o projeto do sistema, que devem ser registrados, e como esses registros serão mantidos.
- **Apoio de ferramentas CASE:** uma ferramenta automatizada adotada como forma de apoio para a atividade de gerenciamento. Essas ferramentas trazem benefícios quanto ao armazenamento dos requisitos, o gerenciamento de mudanças e o gerenciamento de rastreabilidade.

As informações de rastreabilidade são geralmente representadas através de matrizes de rastreabilidade, podendo relacionar os requisitos aos stakeholders que os propuseram, a outros requisitos numa relação de dependência, ou aos módulos de um projeto, nos quais esses requisitos são implementados (SOMMERVILLE, 2011).

6 | MODELAGEM DE REQUISITOS

Segundo Pádua (1998, apud Pressman, 2003) a ER, como todas as outras atividades da engenharia de *software*, precisa ser adaptada às necessidades do processo, projeto, produto e do pessoal que está desenvolvendo o trabalho. Na perspectiva do processo de *software*, a ER começa durante a atividade de comunicação e continua durante a atividade de modelagem, sem ela, o *software* tem uma alta probabilidade de não satisfazer as necessidades do cliente.

A *Unified Modeling Language* (UML), é uma linguagem de notação destinada à modelação e documentação das fases de desenvolvimento de softwares orientados a objetos sendo padrão para a elaboração da estrutura de projetos de *software* sendo empregada na visualização, na especificação, na construção e na documentação de artefatos que façam uso de sistemas complexos de *software*. Em outras palavras, na área de engenharia de *software*, a UML é uma linguagem de modelagem que permite representar um sistema de forma padronizada (com intuito de facilitar a compreensão pré-implementação).

A UML não é uma metodologia de desenvolvimento, o que significa que ela não diz para você o que fazer primeiro e em seguida ou como projetar seu sistema, mas ela lhe auxilia a visualizar seu desenho e a comunicação entre os objetos (e em certos casos a identificação dos processos).

Um diagrama que é condensa entre inúmeros autores é o Diagrama de Caso de Uso (DCU) sendo o principal diagrama para a criação dos demais assim para toda a documentação, que de acordo com (Silva, 2001), um diagrama de caso de uso descreve a relação entre atores e casos de uso de um sistema. Isso permite dar uma visão global e de alto nível do sistema, descrevendo sua visão externa e as interações com o mundo exterior. Estes diagramas são utilizados preferencialmente na fase de especificação de requisitos, podendo ser utilizados também durante a modelagem dos processos de negócio (SILVA, 2001). Na Figura 1 é apresentado um Diagrama de Caso de Uso simples onde é observado

a relação entre os atores e algumas funcionalidades de um *software* criado somente como exemplo no aplicativo *Umbrello UML Modeller*.

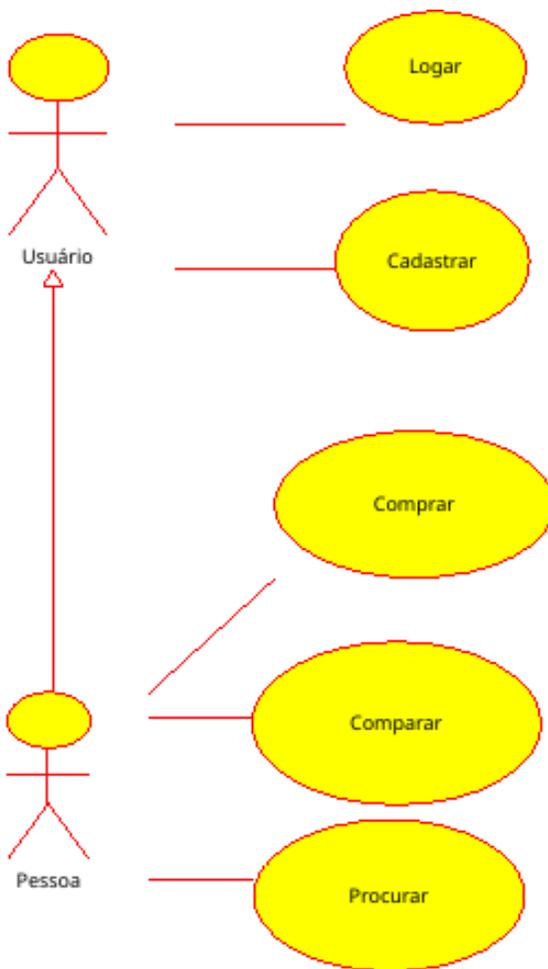


Figura 1: Diagrama de Caso de Uso Simples sendo Observado a Relação entre os Atores e Algumas Funcionalidades de um *Software*.

Fonte: Autor.

7 | METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, com o intuito de demonstrar a importância da ER no desenvolvimento de *software*, na busca de sobre o tema, bem como publicações e artigos científicos em torno do assunto.

8 | CONCLUSÃO

A ER define, sem dúvida, um dos mais importantes conjuntos de atividades a serem realizadas em projetos de desenvolvimento de *software*. Embora não garanta a qualidade dos produtos gerados, o DCU é fundamental permitindo dar uma visão global e de alto nível do sistema, sendo o principal diagrama para o desenvolvimento do *software*, descrevendo sua visão externa e as interações com o mundo exterior e um pré-requisito básico para que se obtenha sucesso no desenvolvimento do *software*, podendo ser utilizados também durante a modelagem dos processos de negócio. Por mais que não se deseje, os requisitos estarão sempre mudando durante o desenvolvimento do *software* e quanto melhor for o processo de ER desenvolvido por todos, menores serão os problemas encontrados.

REFERÊNCIAS

COSTA, E. C. DA. Importância Da Engenharia De Requisitos No Processo De Desenvolvimento De Sistemas De Informação. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 203–214, 2018.

LAHOZ, Carlos H. N.; SANTANNA, Nilson. Os Padrões ISO/IEC 12207 e 15504 e a Modelagem de Processos da Qualidade de Software. In: III Workshop dos Cursos de Computação Aplicada do INPE, 2003, São José dos Campos. Anais do III WORKCAP, 2003. p. 43-48

MACAULAY, L. Requirements Engineering. Berlin: Springer Verlag, 1996.

MARTINS, R. D. PROPOSTA DE UM PROCESSO DE ENGENHARIA DE REQUISITOS PARA O NUSIS. 2013.

PÁDUA, Fabiana Serralha Miranda de. A importância da técnica de modelagem organizacional EKD no desenvolvimento de diagramas Use Case. 2003. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SAYÃO, Miriam; STAA Arnd V.; LEITE, Julio C. S. de P. Qualidade em Requisitos. Rio de Janeiro: Departamento de Informática, PUC-Rio, 2003 (Monografia).

SILVA, Alberto M. R.; VIDEIRA, Carlos A. E. UML - Metodologias e Ferramentas CASE. Lisboa: Centro Atlântico, 2001.

SOMMERVILLE, Ian. Engenharia de Software, 8a edição. São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2007.

SOMMERVILLE, Ian. Engenharia de Software, 9a edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

TAURION, Cezar. Software embarcado: oportunidades e potencial de mercado. Rio de Janeiro: Brasport, 2005.

ALGORITMOS NÃO SUPERVISIONADOS E WEB SCRAPING PARA DESCOBERTA DE CONHECIMENTO DE CONHECIMENTO EM REDES SOCIAIS

Data de aceite: 02/01/2023

Carlos Daniel de Sousa Bezerra

A Respectiva Publicação é resultado do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso à Distância de Especialização em Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de especialista.

RESUMO: Os algoritmos denominados *word embedding (WB)*, são técnicas computacionais capazes de realizar a representação de palavras como vetores densos e conseqüentemente transformação de dados textuais em numéricos para processamento computacional eficaz, permitindo a execução de cálculos matemáticos importantes no campo de mineração de textos e análise de sentimentos, bem como o uso de técnicas de aprendizagem de máquinas e inteligência artificial (IA). Este trabalho, originalmente um trabalho de conclusão de curso, atua na linha de desenvolvimento de “**Inteligência Artificial na Análise de Dados da Web e das Redes Sociais**” e baseia-se na seguinte hipótese: se é possível hibridizar

as técnicas de *WS* e *word2vec*, bem como aplicação de aprendizagem de máquina para obter conhecimento não obvio em redes sociais, mais especificamente no *Instagram*. A metodologia e software proposto possui aplicações comerciais, principalmente na área de jornalismo de dados e administração de redes sociais.

PALAVRAS-CHAVE: Exploração de Dados, Processamento de Linguagem Natural, *word2vec*.

ABSTRACT: Algorithms called *word embedding (WB)* are computational techniques capable of performing the representation of words as dense vectors and consequently transforming textual data into numerical ones for efficient computational processing, allowing the execution of important mathematical calculations in the field of text mining and analysis. of feelings, as well as the use of machine learning techniques and artificial intelligence (AI). This work, originally a course completion work, operates in the line of development of “**Artificial Intelligence in Web and Social Networks Data Analysis**” and is based on the following hypothesis: if it is possible to hybridize *WS* and *word2vec* techniques, as well as applying machine learning to obtain

non-obvious knowledge on social networks, more specifically on Instagram. The proposed methodology and software has commercial applications, mainly in the field of data journalism and social media management.

KEYWORDS: Data Exploration, Natural Language Processing, word2vec.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.1.1 Redes sociais e exploração de dados

De acordo com Junior (2008) a partir da 3ª revolução industrial, com advento da *internet* e comunicação de dados, grandes volumes de informações digitalizadas passaram a surgir no cotidiano da sociedade global. A atual implementação de conceitos de *indústria 4.0* passou a aumentar o fluxo de dados nas organizações, assim um dos principais desafios desta década é lidar com esta massa crescente de dados.

Desta forma a vida da sociedade tende, cada vez mais, a ser pautada em dados e as redes sociais contribuem significativamente com o crescente volume massivo de informações. A extração e compreensão destas informações passa a ser uma estratégia competitiva entre as grandes organizações, seja para obtenção de dados valiosos e consequente vantagem comercial, quanto para auxílio nas tomadas de decisões internas, bem como a análise do *feedback* dos usuários. Consequentemente surgem novas áreas de estudo em computação, como a descoberta de conhecimento (*Knowledge Discovery in Database – KDD*), mineração de texto na *web* e recuperação da informação em redes sociais agregadas com as tradicionais técnicas de processamento de linguagem natural (PNL).

A *internet* é a mais popular fonte de informação do mundo e é utilizada para instruir e esclarecer pessoas sobre assuntos diversos. Por exemplo, segundo uma pesquisa eleitoral realizada no ano de 2018, pelo Instituto Paraná, 42,5% dos entrevistados afirmaram que a *internet* é o principal meio de informação sobre as eleições daquela época, superando meios de comunicação como a televisão e jornais impressos. “As mídias sociais conferem nova perspectiva ao termo cidadania, com um público que lê, interpreta e passa adiante as mensagens recebidas. As redes provocaram uma mudança na forma de se comunicar e, ao alterar a comunicação, as modificaram igualmente as relações sociais” (CAGGIANO, 2014,p.239). Dessa forma, minerar dados na *web* se torna importante em diversas análises e áreas de conhecimento, principalmente para análise de redes sociais.

Uma das técnicas mais conhecidas para minerar textos na *Internet* é a *raspagem de dados* (*web scraping - WS*). Segundo Guimarães (2018) define-se a técnica *WS* como um programa computacional capaz de obter informações e dados em sites da *web* de forma ágil e automática, emulando o comportamento da navegação humana.

Como supracitado, o *WS* é uma ferramenta poderosa e ampla, por tanto é inevitável que ela possa ser utilizada para fins antiéticos, uma vez que a legislação no Brasil ainda é incerta e nebulosa no campo jurídico. Segundo Michel (2019), a proteção dos direitos autorais é uma das preocupações legais desta prática, entretanto a proteção de direitos autorais engloba principalmente trabalhos criativos, não incluindo estatísticas ou fatos, itens estes que a maioria dos *scapers* (programa do *WS*) procuram executar em sua busca. Ou seja, projetar um *software* baseado em *WS* que colete informações estatísticas ou dados factuais sobre determinado site não é violação de direitos autorais. Além disso os *softwares* que não coletam dados privados dos usuários, não desrespeitam as políticas de privacidade da página *web* (*robot.txt*), utilize os dados que estejam dispostos de forma pública e não sobrecarregue a página com números exagerados de requisições são vistos como práticas legais e éticas de coleta de dados (COELHO e BEZERRA 2020).

1.1.2 Representação de Palavras

Os algoritmos denominados *word embedding* (*WB*), são técnicas computacionais capazes de realizar a representação de palavras como vetores densos e conseqüentemente transformação de dados textuais em numéricos para processamento computacional eficaz, permitindo a execução de cálculos matemáticos importantes no campo de mineração de textos e análise de sentimentos, bem como o uso de técnicas de aprendizagem de máquinas e inteligência artificial (IA).

Destaca-se na área de *word embedding* o algoritmo de aprendizagem não supervisionado *word2vec*, proposto por Mikolov et.al (2013). Segundo Li (2019), esta técnica vem se tornando a mais popular para vetorização utilizando redes neurais artificiais (RNA). O principal objetivo do *word2vec* objetivo é extrair conhecimento semântico em documentos textuais. Algumas das aplicações destes algoritmos estão na área de análise de sentimentos, sistemas de recomendação e mineração de textos.

O *word2vec* pode ser dividido em duas técnicas inteligentes: O Saco de Palavras Contínua (*Continuous Bag of Words - CBOW*) e o *Skip Gram*. Ambos os algoritmos utilizam RNA e possuem a capacidade de prever palavras similares dentro de uma janela espacial pré sintonizada. A diferença entre eles é a arquitetura da rede neural, onde o *Skip Gram* é capaz de prever o contexto de uma determinada palavra, já o *CBOW* prediz a palavra em função de um determinado contexto. A Figura 1 exemplifica espaço vetorial da representação de palavras proposta pelo *word2vec*, bem como a arquitetura de predição *CBOW* associada a uma rede neural artificial para classificação de uma palavra em função do contexto.

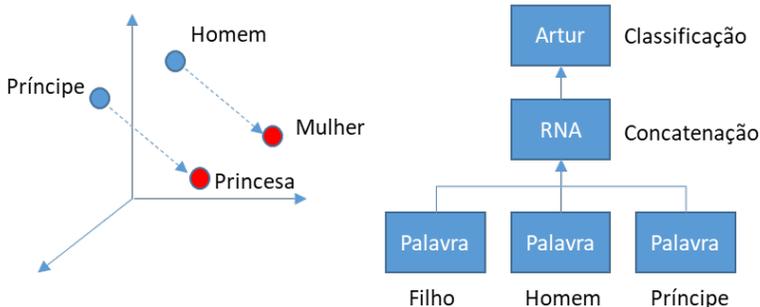


Figura 1- Fluxo de Operação do Word2vec. Autoria Própria

Este trabalho de conclusão de curso atua na linha de desenvolvimento de **“Inteligência Artificial na Análise de Dados da Web e das Redes Sociais”** e baseia-se na seguinte hipótese: se é possível hibridizar as técnicas de *WS* e *word2vec*, bem como aplicação de aprendizagem de máquina para obter conhecimento não óbvio em redes sociais, mais especificamente no *Instagram*. A metodologia e *software* proposto possui aplicações comerciais, principalmente na área de jornalismo de dados e administração de redes sociais. Tem-se como objetivo principal a criação de uma metodologia para implementação de sistema inteligente que explore estes dados em textos de comentários dispostos por usuários desta rede social.

1.1.3 Aplicação em Ambiente Comercial

1.2 O problema proposto

Propõe-se neste trabalho a hibridização de quatro técnicas computacionais para o desenvolvimento metodológico de exploração de dados e análise de sentimento em redes sociais:

- *WS*: técnica responsável para a obtenção dos dados referentes aos comentários na rede social *Instagram*;
- *word2vec*: Técnica não supervisionada para exploração semântica de palavras e vetorização numérica para aplicação de aprendizagem de máquina;
- *doc2vec*: Variação da técnica *word2vec*, porém busca realizar a representação numérica de um documento por inteiro.
- *k-means*: Técnica de Aprendizado de máquina para classificação dos comentários obtidos na rede social.

Observa-se que os algoritmos de inteligência artificial são respectivamente: o ***word2vec***, ***doc2vec*** e o **classificador *k-means***, pois eles utilizam de uma estrutura não supervisionada (ou semi supervisionada como citada por alguns autores) para obter

aprendizado sobre os dados dispostos. O *WS* é uma metodologia complementar para a extração de dados na *web*.

A linguagem de programação utilizada para implementação do *software* proposto é o *Python*. A Tabela 1 dispõe os frameworks recorridos para auxílio da construção dos algoritmos.

| Framework | Finalidade |
|-------------------|---|
| <i>Gensim</i> | Implementação dos algoritmos <i>word2vec</i> e <i>doc2vec</i> |
| <i>nltk</i> | Processamento de linguagem natural |
| <i>Pandas</i> | Visualização dos Dados Obtidos |
| <i>Requests</i> | Realização do <i>WS</i> no Instagram |
| <i>sklearn</i> | Implementação do classificador <i>kmeans</i> |
| <i>matplotlib</i> | Visualização em forma de gráfico dos dados e resultados |

Tabela 1- Frameworks Utilizados

Utiliza-se no *WS* de dados contas do *Instagram* de órgãos governamentais para atendimento ao público, onde o feedback da população passa a ser importante na relação usuário/administrador, podendo ser utilizado, inclusive, para o compreensão da satisfação da população ao atendimento de um determinado órgão ou governo.

Para a execução dos testes do algoritmo proposto, o perfil selecionado para a coleta de dados referentes aos comentários dos usuários foi o ***Instagram do Ministério da Cidadania***, órgão governamental para atendimento à população e prestação de serviços. Atualmente, em função do período de crise sanitária em que vivemos (COVID-19) é importante compreender o nível de satisfação dos usuários e necessidades da população principalmente em relação a prestação de serviços públicos. Os administradores da página devem compreender também de que maneira devem realizar o feedback, ou responder, estes usuários e a descoberta de conhecimento, ou conteúdo, referente aos comentários pode auxiliar neste quesito.

A coleta e análise de dados proposta possui o seguinte objetivo geral: Obter conhecimento não obvio e útil nos comentários dos usuários, isto é, obter informações e padrões a partir de dados processados, estruturados e organizados intencionalmente para tal fim. O conhecimento não obvio é obtido por características consideradas como 'julgamentos, ou seja questionamentos aprofundados sobre a base de dados em busca de conhecimento novo e não observável inicialmente.

Desta forma, as seguintes características são exploradas nos dados obtidos:

Frequência da Ocorrência de Palavras, Nuvem de Palavras e Similaridade Vetorial. Ao final, cria-se um modelo inteligente capaz de obter as três características quando submetido à um determinado comentário. A Figura 2 ilustra o fluxo do modelo proposto.

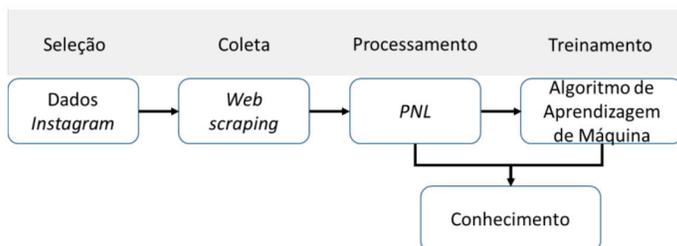


Figura 2- Etapas do Modelo Proposta. Autoria Própria

São coletados dados referentes a 20 publicações no *Instagram* ministério da cidadania (@**mincidadania**), que ocorreram entre os dias 03 a 17 de Agosto de 2020.

2 | COLETA DE DADOS

Nesta etapa, verifica-se a aplicação dos dois primeiros blocos da Figura 2, ou seja, a seleção dos dados e o *WS*. Para coleta dos dados no *Instagram* utiliza-se de uma interface de aplicação (API), ou seja, um padrão de comunicação entre servidores e *softwares* mesmo que escritos em linguagem diferentes. Portanto, realiza-se uma requisição a API que fornece uma resposta em formato JSON (*Java script object notation*). Ressalta-se que para coleta de dados utilizou-se da API pública, e mais antiga, do *Instagram* ('/?__a=1') e desta forma alguns recursos são limitados, como por exemplo o número de comentários por publicação, que são reduzidos em relação ao número de comentários originais.

Para realizar a requisição a API utiliza-se do *framework* da linguagem *Python requests*. Além desta ferramenta permitir o *download* de dados obtidos por uma requisição ela possibilita ainda a decodificação de JSON para linguagem *Python* dispondo os dados obtidos sob a forma de dicionário. Como os principais dados coletados para o problema em questão são os comentários dos usuários, necessita-se realizar o acesso a chave específica do dicionário criado.

A Tabela 2 dispõe as 37 chaves com o conteúdo obtido na requisição. A chave "***edge_media_to_parent_comment***" contém os comentários dos usuários em cada publicação explorada.

| Dicionário da Requisição | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|
| Chave | Chave | Chave |
| <i>accessibility_caption</i> | <i>fact check overall rating</i> | <i>edge media to sponsor user</i> |
| <i>caption is edited</i> | <i>gating info</i> | <i>edge media to tagged user</i> |
| <i>commenting_disabled_for_viewer</i> | <i>has_ranked_comments</i> | <i>edge_related_profiles</i> |
| <i>comments_disabled</i> | <i>id</i> | <i>edge_web_media_to_related_media</i> |
| <i>dimensions</i> | <i>is_ad</i> | <i>fact check information</i> |
| <i>display_resources</i> | <i>is video</i> | <i>viewer in photo of you</i> |
| <i>display url</i> | <i>location</i> | <i>taken at timestamp</i> |
| <i>edge_media_preview_comment</i> | <i>media_overlay_info</i> | <i>tracking_token</i> |
| <i>edge media preview like</i> | <i>media_preview</i> | <i>viewer can reshare</i> |
| <i>edge media to caption</i> | <i>owner</i> | <i>viewer has liked</i> |
| <i>edge_media_to_hoisted_comment</i> | <i>sensitivity_friction_info</i> | <i>viewer_has_saved</i> |
| <i>edge_media_to_parent_comment</i> | <i>shortcode</i> | <i>viewer_has_saved_to_collection</i> |

Tabela 2 - Parâmetros do Dicionário Resultante da Requisição

Inicialmente os comentários de uma respectiva publicação são obtidos com o acesso a chave do dicionário da requisição, conforme supracitado. Em seguida este comentário é salvo em uma variável do tipo lista. O fluxo se repete para cada publicação. A Figura abaixo ilustra o trecho da codificação do software desenvolvido para obter a coleta dos dados. A variável *shortcode* é uma identificação do *Instagram* para cada publicação em uma determinada página.

```

###
#Coletando no site do Ministério da Cidadania
i = 1
comentariosfinal = []
shortcode = ['CD_7zSCJA91', 'CD_kkhUJ8Cx', 'CD9Nk59pMtg', 'CD4dw9gpR6x', 'CD1bIAEpGe1',
            'CDzH0ZEpyOP', 'CDy0rFNpIT6', 'CDwyzPsJqaU',
            'CDwHMRxJO8T', 'CDtgOqSpago', 'CDq7tsEpabq', 'CDoUbjMJa6n',
            'CDmketmJqIU', 'CDjQyJlJmIz', 'CDhLASfJ6Df', 'CDgx5wapAvR',
            'CDepxjHJlGt', 'CDb8gampkKp', 'CDWhsjoJuYf', 'CDRr-SZp8mt' ]
for shortlist in shortcode:
    url2 = 'https://www.instagram.com/p/' + shortlist + '/?_a=1'
    r2 = requests.get(url2)
    dados2 = r2.json()
    comentarios = dados2['graphql']['shortcode_media']['edge_media_to_parent_comment']['edges']
    for comentario in comentarios:
        usuario = 'usuario'
        texto = comentario['node']['text']
        comentariosfinal.append(texto)
        print(usuario, texto, '\n')
        i+=1
print (i)

```

Figura 3 - Trecho da Codificação Para Extração dos Dados

Após o preenchimento por completo da lista, os dados são salvos em uma planilha no formato *CSV* para facilitar a visualização e futuro carregamento dos dados no mesmo

programa.

```
###  
#Criando a Planilha  
arquivo = open('mincida_fil.csv', 'w', encoding='utf8', newline='')  
planilha = csv.DictWriter(arquivo, fieldnames=['Source', 'Target'], )  
planilha.writeheader()  
for comentario in novo_c:  
    # com = comentario['node']['text']  
    planilha.writerow({'Source': 'usuario', 'Target': comentario})  
arquivo.close()
```

Figura 4 - Trecho da codificação para criação da planilha

3 I PROCESSAMENTO/TRATAMENTO DE DADOS

A etapa de processamento e tratamento consiste em operar sobre os dados obtidos para que estes possam estar aptos a serem utilizados por técnicas de aprendizagem de máquina. Nesta etapa o PNL é fundamental para desempenhar este papel. Além disso, a visualização dos dados, com o auxílio da biblioteca *pandas*, permite identificar atributos que devem ser removidos, como por exemplo os *emojis* utilizados pelos usuários.

Do PNL, utiliza-se as seguintes técnicas: *tokenização* e *stopwords*. A tokenização consiste em separar, por exemplo um comentário unificando em forma de “string”, em palavras separadas, ou seja, segmentando-as em *strings* separadas. Os algoritmos *word2vec* e *doc2vec* utilizam *tokens* (palavras separadas) para desempenhar seus cálculos e por isto a importância da aplicação dessa etapa.

As *stopwords* são palavras que não trazem conteúdo semântico para um texto. Desta forma a sua filtragem permite a retirada destas expressões de comentários aumentando o processamento computacional do algoritmo.

A Figura 4 apresenta uma amostra dos 306 comentários obtidos nas 20 publicações analisadas. Ressalta-se a limitação da API em obter todos os comentários originais. Por motivos de privacidade o nome do perfil dos usuários foi suprimido. Observa-se a presença de diversos *emojis* (vide detalhe das setas em vermelho) nos dados iniciais obtidos, sem o processamento e tratamento necessário.

| Usuário | Comentário |
|---------|--|
| usuario | Eu morro no sítio e não tenho nem uma caixa d'água já coloquei meu esposo colocou o nome é ainda não veio as cisternas |
| usuario | Tira o povo dessa avaliação de bosta🤔🤔🤔🤔🤔 @dataprev @mincidadania @jairmessiasbolsonaro @onyxlorenzoni 🤔🤔🤔🤔🤔@datena.ofc |
| usuario | Tá mais e o pessoal da Avaliação? Quando é a Estimativa? |
| usuario | 👊👊 |
| usuario | Cheio de golpista por aí tempo todofico com pena de quem não tem esclarecimento ,cai fácil 😊 |
| usuario | Quando sai a quinta parcela do auxílio |
| usuario | 👊👊👊👊 |
| usuario | Avaliação eterno #ficamosprtras |
| usuario | 👊👊👊 |
| usuario | Tira nois dessa avaliação 🤔🤔🤔🤔@jairmessiasbolsonaro @mincidadania @dataprev @caixa @datenareal @datena.ofc |
| usuario | @mincidadania quando será dado uma posição para liberação do auxílio pra quem teve a 3° e 4° parcela do auxílio bloqueada (em reavaliação) ? |
| usuario | Quem tá Avaliação 4 meses |
| usuario | Avaliação de pessoas desde abril ninguém fala ! |
| usuario | Impacto desastroso na vida de milhares de cidadãos desempregados e que estão passando fome pois ficaram para trás com seus saldos bloqueados indevidamente , desde maio, pelo INEFICIENTE MINISTÉRIO DA CIDADANIA. #AuxilioEmergencial só no nome . Os recursos não lhes pertencem, PAGA O POVO que estão HÁ 4 MESES em reavaliação e PASSANDO FOME. |

Figura 5- Exemplo de Comentários obtidos no Instagram sem Tratamento

| Usuário | Comentário |
|---------|---|
| usuário | ['morro', 'sítio', 'caixa', 'd'água', 'coloquei', 'esposo', 'colocou', 'nome', 'ainda', 'veio', 'cisternas'] |
| usuário | ['tira', 'povo', 'dessa', 'avaliação', 'bosta', '@dataprev', '@mincidadania', '@jairmessiasbolsonaro', '@onyxlorenzoni', '@datena.ofc'] |
| usuário | ['tá', 'pessoal', 'avaliação?', 'é', 'estimativa?'] |
| usuário | ['anos', 'esperando', 'cisterna'] |
| usuário | ['cheio', 'golpista', 'aí', 'tempo', 'todo', '.....fico', 'pena', 'esclarecimento', 'cai', 'fácil'] |
| usuário | ['saí', 'quinta', 'parcela', 'auxílio'] |
| usuário | ['avaliação', 'eterno', '#ficamosprtras'] |
| usuário | ['tira', 'nois', 'dessa', 'avaliação', '@jairmessiasbolsonaro', '@mincidadania', '@dataprev', '@caixa', '@datenareal', '@datena.ofc'] |
| usuário | ['https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-972-de-11-de-agosto-de-2020-271713731'] |
| usuário | ['recebi', 'hj?', '????'] |
| usuário | ['@mincidadania', 'dado', 'posição', 'liberação', 'auxílio', 'pra', '3°', '4°', 'parcela', 'auxílio', 'bloqueada', '(em', 'reavaliação)'] |
| usuário | ['tá', 'avaliação', '4', 'meses'] |
| usuário | ['avaliação', 'pessoas', 'desde', 'abril', 'ninguém', 'fala'] |
| usuário | ['impacto', 'desastroso', 'vida', 'milhares', 'cidadãos', 'desempregados', 'passando', 'fome', 'pois', 'ficaram', 'trás', 'saldos', 'bloqueados', 'indevidamente', 'desde', 'maio', 'ineficiente', 'ministério', 'cidadania', '#auxilioemergencial', 'nome', 'recursos', 'pertencem', 'paga', 'povo', '4', 'meses', 'reavaliação', 'passando', 'fome.'] |

Figura 6- Exemplo de Comentários obtidos no Instagram com Tratamento

Na Figura 5 é possível observar os mesmos comentários, entretanto com a remoção de *emojis*, *stopwords* e sob a forma de *tokens*. Após o tratamento os dados foram reduzidos para 277 comentários, pois 29 comentários eram formados exclusivamente por *emojis*.

4 | CRIAÇÃO DE MODELOS DE MACHINE LEARNING

4.1 Algoritmos Word2vec e Doc2vec

O modelo de *machine learning* utilizado para extrair conhecimento dos dados obtidos no perfil do ministério da cidadania é o *word2vec*. Este algoritmo faz parte do processo de *embedding*. Este modelo baseia-se em uma rede neural artificial, ou seja, um modelo

computacional do neurônio biológico humano, capaz de realizar cálculos complexos e aproximar funções universais. A rede neural artificial utilizada no processo de *embedding* é relativamente simples, duas camadas rasas (*shallow*) e pode ser ilustrada pela Figura 5.

A arquitetura de *embedding* ilustrada é a *Skip-Gram*. A rede neural recebe em sua entrada vetores de palavras sob a forma de *tokens*, codificados em *hot-hot vector*, ou seja, um vetor esparso com codificação binária (1 ou 0). Este vetor é multiplicado por um conjunto de pesos da matriz de projeção P (referentes a camada oculta da rede). Os valores são concatenados na matriz de saída M onde aplica-se a função de ativação *softmax*. Deseja-se maximizar a probabilidade de ocorrência de uma palavra w a partir das palavras de contexto (palavras próximas a ela). Os pesos da camada de projeção P representam matematicamente os vetores de *embedding* e são estes elementos que a rede neural deve aprender e atualizar durante o processo de treinamento.

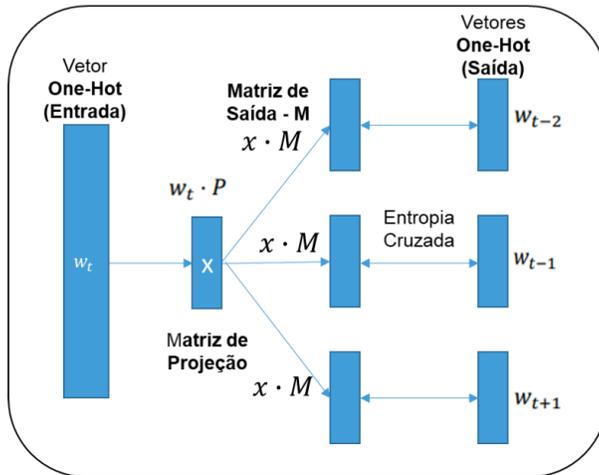


Figura 7 - Rede Neural Artificial em Arquitetura Skip-Gram. Autoria Própria

O modelo *doc2vec* é uma variação do *word2vec* e possui o mesmo princípio de funcionamento. A diferença é que este algoritmo é especializado em obter vetores para parágrafos, frases e documentos maiores. Desta forma acrescenta-se na camada de entrada da rede neural um vetor referente ao número (*tag*) do parágrafo para que ele atue como uma memória do tópico do parágrafo. Portanto, devido a sua maior aplicabilidade no problema em questão, para a obtenção dos vetores referente aos comentários dos usuários na rede social *Instagram* utiliza-se o modelo *doc2vec*.

4.2 Framework GENSIM

O algoritmo *doc2vec* é implementado em linguagem *Python* utilizando o *framework*

GEMSIM. A Figura abaixo apresenta o trecho da codificação utilizada na programação. O primeiro bloco apresenta a importação da biblioteca e um laço (**for**) que atua sobre a planilha de dados criando a lista de *tokens* que será repassada ao modelo. No segundo bloco o modelo *doc2vec* é importado do módulo GEMSIM. A parametrização do algoritmo envolve os seguintes valores: *vector size*, *window*, *min_count* e *epochs*. O *vector size* representa o tamanho do *embedding* a ser desenvolvido. Já o parâmetro *window* determina o contexto, isto é tamanho da janela, ou faixa, em que se considera um palavra-chave e as que a cercam. O *min_count* é o número mínimo de repetições de um termo para considerá-lo no modelo. O número de épocas de treinamento da rede neural é dado pela variável *epochs*.

```
###
#Testando o Modelo Doc2vec
import gensim
token_train = [] #Gerando Tokens para Treinamento
for i in range(0,len(plan)):
    if i in plan.index:
        token_c = plan["Target"][i]
        token_train.append(token_c)
###
from gensim.models.doc2vec import Doc2Vec, TaggedDocument
from gensim.models import doc2vec
model = gensim.models.doc2vec.Doc2Vec(vector_size=100, window=5, min_count=5,
                                     epochs=100)
sentences = [TaggedDocument(d, [i]) for i, d in enumerate(token_train)]
model.build_vocab(sentences)
```

Figura 8 - Trecho da codificação para determinação do modelo doc2vec

5 | ANÁLISE E EXPLORAÇÃO DOS DADOS

A etapa de análise e exploração de dados tem como objetivo demonstrar os dados obtidos de forma clara e visual, através de gráficos e demais representações, ao usuário do programa. Com as informações dispostas, estes usuários têm condições de inferir sobre os resultados da análise e tirar suas conclusões. Para explorar os dados utiliza-se das seguintes representações:

- Nuvem de Palavras
- Distribuição de Frequências
- Semelhança do Cosseno entre Vetores

Utiliza-se do gráfico de distribuição de frequências entre as palavras mais utilizadas nos comentários, bem como representação visual da nuvem de palavras.

Através da aplicação dos algoritmos *word2vec* e *doc2vec* é possível obter a probabilidade da similaridade entre palavras do texto e assim extrair o contexto destes comentários, sendo possível também, a compreensão mesmo que de forma não sofisticada

e não automatizada, dos sentimentos destes usuários, correlacionando adjetivos e advérbios similares a mesma.

Foram realizadas três baterias de testes para a melhor determinação modelo *doc2vec*, onde alterou-se os hiperparâmetros do modelo, como: Número de camadas da rede (*workers*), Tamanho do vetor a ser gerado no *embedding* (*vector_size*), tamanho da janela (*window*) e épocas de treinamento (*epochs*). Também foi alterado as topologias do modelo (*skip gram* ou *CBOW*).

| Bateria de Testes para Treinamento do Modelo <i>Doc2vec</i> | | |
|---|---|-----------|
| Nº da Bateria | Configuração | Modelo |
| 1ª | vector_size = 50, workers = 2, epochs = 50, window = 3, min count = 1 | Skip Gram |
| 2ª | vector_size = 100, workers = 5, epochs = 100, window = 10, min count = 5 | Skip Gram |
| 3ª | vector_size = 50, workers = 2, epochs = 50, window = 3, min count = 1 | CBOW |
| 4ª | vector_size = 100, workers = 5, epochs = 100, window = 10, min count = 5 | CBOW |

6 | APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

6.1 Distribuição de Frequências

Os resultados referentes à análise e exploração dos dados obtidos por *WS* são apresentados nas Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12. Foram utilizados, respectivamente, gráficos que dispõem a frequência de ocorrência das palavras nos comentários e a nuvem de palavras. A Figura 9 apresenta a distribuição de frequências dos 20 principais termos presentes nos comentários. Entretanto observa-se que alguns caracteres considerados “*stopwords*” não foram filtrados com eficiência (caracteres “q” e “d”). Além disso observou-se que a palavra auxílio apareceu duas vezes no gráfico, com e sem acento, devido as diferentes formas de escrever dos usuários que interagem com o perfil o *Instagram*.

Na Figura 10 a técnica de processamento de linguagem natural “*Stemming*” (redução da palavra ao seu radical) foi aplicada, resolvendo o problema de variação da escrita da palavra em função da acentuação. Observa-se, por exemplo, que a palavra “avaliação” foi reduzida para “avali”. As variações “avali”, “auxili” e “receb” foram as três com maiores frequências de ocorrência, respectivamente 25, 22 e 20 repetições.

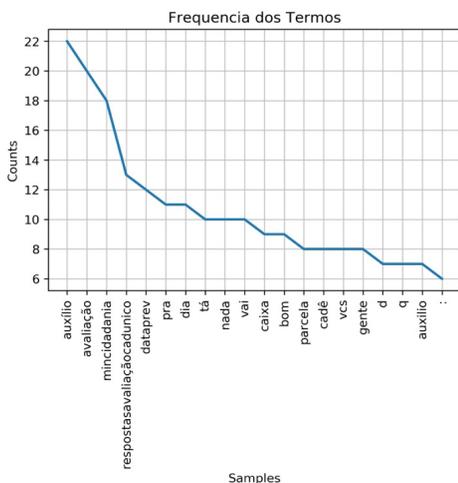


Figura 9- Frequência de Palavras (20 Termos)

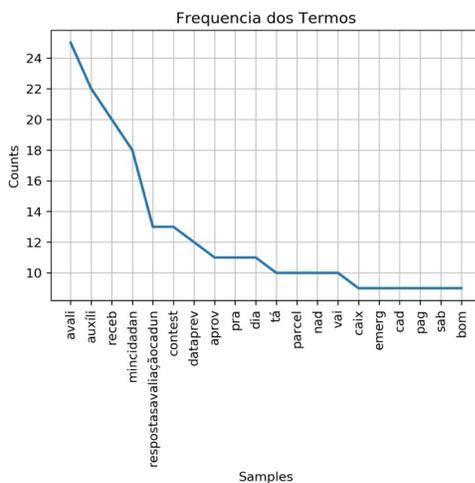


Figura 10- Frequência de Palavras com aplicação de Steam (20 Termos)

6.2 Nuvem de Palavras

A nuvem de palavras é uma representação visual dos principais termos obtidos nos comentários dos usuários. A partir desta representação pode-se inferir palavras chaves e os assuntos mais comentados. A importância de cada palavra é representada pelo tamanho da fonte e cor. A Figura 11 apresenta a nuvem de palavras dos dados sem tratamento de *Stemming* e a Figura 12 os dados com o tratamento de *Stemming*.



Figura 11- Nuvem de Palavras (20 Termos)

| Bateria 1 |
|--|
| % de Similaridade : Palavra "Avaliação" |
| ja', 0.3834 |
| saber', 0.3510 |
| próprio', 0.3502 |
| voltar', 0.3471 |
| brasileiro', 0.3370 |
| reverter', 0.3350 |
| mes', 0.3267 |
| repassé', 0.3260 |
| julho', 0.3249 |
| 2020', 0.3201 |

Tabela 3 – Resultados da Bateria 1

| Bateria 2 |
|--|
| % de Similaridade : Palavra "Avaliação" |
| repassé', 0.3075 |
| cadê', 0.2485 |
| direitos', 0.2424 |
| fica', 0.21457 |
| bonito', 0.1969 |
| federal', 0.1938 |
| parte', 0.1927 |
| recebeu', 0.1895 |
| todos', 0.1890 |
| governo', 0.1876 |

Tabela 4 - Resultados da Bateria 2

| Bateria 3 |
|--|
| % de Similaridade : Palavra "Avaliação" |
| ja', 0.3834 |
| saber', 0.3510 |
| próprio', 0.3502 |
| voltar', 0.3471 |
| brasileiro', 0.3370 |
| reverter', 0.3350 |
| mes', 0.3267 |
| repassé', 0.3260 |
| julho', 0.3249 |
| 2020', 0.3201 |

Tabela 5- Resultados da Bateria 3

| Bateria 4 |
|--|
| % de Similaridade : Palavra "Avaliação" |
| repassé', 0.3075 |
| cadê', 0.2485 |
| direitos', 0.2424 |
| fica', 0.21457 |
| bonito', 0.1969 |
| federal', 0.1938 |
| parte', 0.1927 |
| recebeu', 0.1895 |
| todos', 0.1889 |
| governo', 0.1876 |

Tabela 6 - Resultados da Bateria 4

Alterando a topologia do algoritmo *doc2vec*, baseado em *CBOW* ou *Skip-Gram* não houve mudanças no cálculo de similaridade realizadas pelo *framework* GENSIM. As mudanças significativas foram com relação aos demais parâmetros. Qualitativamente, observa-se que o modelo com *vector_size*, *workers* e *window* superior apresentaram palavras que melhores se ajustam ao contexto de "Avaliação", como "repassé" "cadê" e "direitos". Desta forma, deduz-se que os usuários estão, em sua maioria, questionando sobre a avaliação do repasse do auxílio emergencial.

A Figura 13 apresenta os pontos cartesianos bi dimensionais referentes aos vetores inferidos para as palavras mais similares. É possível verificar, por exemplo, a proximidade da palavra "avaliação" com "repassé".

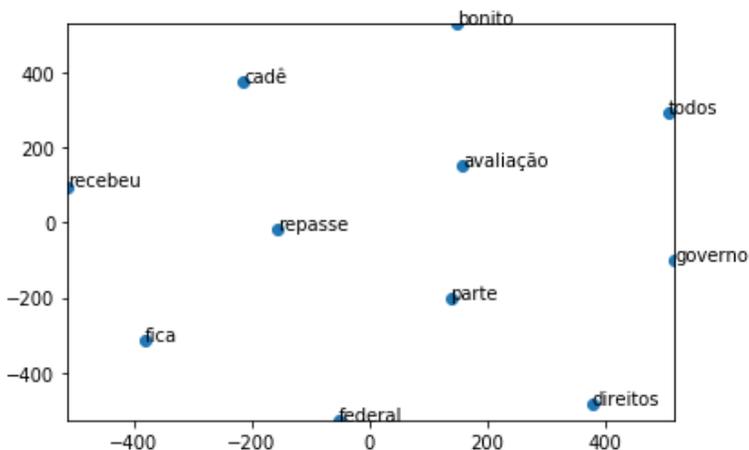


Figura 13- Distribuição das palavras mais similares

Como o *doc2vec* (ou *word2vec*) são técnicas não supervisionadas utilizou-se de dados não rotulados para extração de conhecimento. Diferentemente da aprendizagem supervisionada onde é possível utilizar métricas de avaliação objetivas, na aprendizagem não supervisionada estas métricas são subjetivas, como por exemplo a avaliação qualitativa supracitada. A tentativa de separação por classes e avaliação por *clusters* também é uma técnica avaliativa subjetiva deste tipo de aprendizagem e para este propósito o método não supervisionado *k-means* foi utilizado.

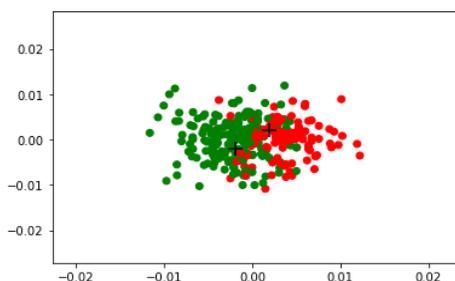


Figura 14- k-means com 100 iterações

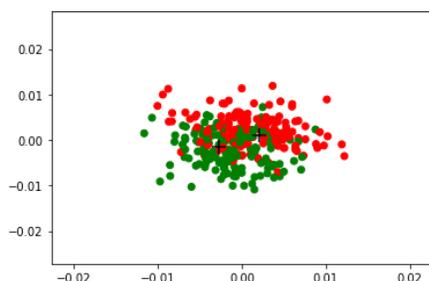


Figura 15- k-means com 200 iterações

Foi verificado, conforme ilustrado na Figura 14 e Figura 15 que o modelo de *embedding* proposto gerado pelo *doc2vec* não é completamente separável em classes. Observa-se que os dois *clusters* gerados possuem alta compactação, entretanto baixo *between* (distância entre os dois *cores*). Desta forma os comentários estão centrados, em sua maioria, em um único assunto, o auxílio emergencial da Caixa. Os pontos mais afastados mais afastados do *core*, podem provavelmente ser *outliers* (ruídos), ou seja,

comentários que não agregam valor semântico dentro desta temática.

71 CONCLUSÃO

O método proposto para exploração de dados em redes sociais possui recursos úteis e modernos no campo de inteligência artificial. A técnica de embedding utilizada permite extrair informações que a olho nu, sem os artifícios propostos, demorariam tempo maior ao administrador ou gestor da página da rede social. Utilizou-se como exemplo prático da metodologia, a exploração de dados no Instagram do Ministério da Cidadania, entretanto qualquer página pública do Instagram poderia ser empregada. Os resultados permitiram inferir informações importantes em relação ao assunto tratado e comportamento dos usuários.

Conforme tentativa de *clusterização*, os comentários estão centrados, em sua maioria, em um único assunto: auxílio emergencial da Caixa, onde os usuários demonstram descontentamento com a lentidão no serviço de análise e triagem para distribuição deste auxílio. Os pontos, coordenadas, mais afastadas do core (centro do cluster), são provavelmente outliers (ruídos), ou seja, comentários que não agregam valor semântico dentro desta temática. Conclui-se, portanto, que a técnica é eficaz e atingiu os objetivos propostos. Como estudos futuros recomenda-se o treinamento do modelo com comentários de outras redes sociais, por exemplo de outros ministérios, a fim de verificar a sua capacidade intrínseca de classificação. Recomenda-se ainda acrescentar ao modelo a capacidade de analisar sentimentos, seja por meio de um treinamento supervisionado através de uma base de léxicos, ou por outra metodologia.

REFERÊNCIAS

CASTANHO, Maria Augusta Ferreira. O processo eleitoral na era da internet: As novas tecnologias e o exercício da cidadania. Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 2014.

GUIMARÃES, Jonathan Wagner. Elaboração e construção de um protótipo mínimo viável para o Tingoram: Um sistema de mineração de dados web baseado em georreferenciamento para sugestão semi automatizada de doação de alimentos. Universidade Federal de Ouro Preto: Trabalho de Conclusão de Curso. João Monlevade, 2018.

JUNIOR, João Ribeiro Carrilho. Desenvolvimento de uma metodologia para mineração de textos. Pontifícia Universidade Católica do Rio: Dissertação de Mestrado, 2008. LI, Zhi. A Beginner's Guide to Word Embedding with Gensim Word2Vec Model. Disponível em: . Acesso em: 18 de Agosto de 2020.

MIKOLOV, Tomas. Distributed Representations of Sentences and Documents. Proceedings of the 31 st International Conference on Machine Learning, Beijing, China, 2014. MITCHELL, Ryan. Web Scraping com Python. São Paulo: Novatec Editora, 2019. SHPERBER, Gidi. A gentle introduction to Doc2Vec. Disponível em: Acesso em: 18 de Agosto de 2020.

CAPÍTULO 4

MODELOS MENTAIS DIFUSOS PARA TOMADA DE DECISÃO SOBRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL EM CIDADES INTELIGENTES USANDO TÉCNICAS COGNITIVAS

Data de aceite: 02/01/2023

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
UTFPR Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Caio Ferreira Nicolau

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Graduando de Engenharia Mecânica
UTFPR Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica- Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Vicente de Lime Gonogora

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica- Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Luiz Henrique Geromel

Departamento de Engenharia Elétrica – Instituto Federal – SP
Lattes <http://lattes.cnpq.br/3945660888230811>

Marcio Aurélio Furtado Montezuma

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Mecânica – DAEME – UTFPR – CP
<http://lattes.cnpq.br/2487283169795744>

Rodrigo Henriques Lopes da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
UTFPR Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5977232724834847>

Marcos Antônio de Matos Laia

Ciência da Computação - ccomp at ufsj.edu.br
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica – DAELE – UTFPR – CP
<http://lattes.cnpq.br/8619727190271505>

Renato Augusto Pereira Lima

Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (campus Cornélio Procópio)
<http://lattes.cnpq.br/3518337122740114>

Edson Hideki Koroishi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
UTFPR Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9465293262026260>

Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Mestrando no Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica (PPGEM-CP)
UTFPR Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3352701154826935>

André Luís Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica –
DAELE – UTFPR – CP
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

RESUMO: Os indicadores sugerem que o mercado global de inteligência artificial foi avaliado em US\$ 65,48 bilhões em 2020 e crescerá para aproximadamente US\$ 1.581,70 bilhões até 2030. Parte desse mercado está contido no desenvolvimento de Smart Cities, conceito que utiliza Inteligência Artificial para empregar técnicas computacionais inteligentes como IoT e Big Data. As Cidades Inteligentes já estão melhorando a qualidade de vida em diversas cidades do planeta em diferentes áreas do conhecimento, como segurança pessoal através do controle de tráfego e outras, conforme abordado ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Este trabalho utiliza Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) para auxiliar na tomada de decisão inerente ao processo de imigração nas cidades. Este trabalho visa quantificar, por meio de termos linguísticos, as variáveis envolvidas no processo inspirado na obra de Axelrod, com novos conceitos incluídos por meio da análise dos autores. Assim, para validar a proposta desta investigação científica, é feita uma comparação com dois casos distintos, uma cidade com desenvolvimento tecnológico significativo e outra com desenvolvimento tecnológico não significativo. O FCM ajuda a identificar possíveis melhorias no processo de imigração de uma cidade. Por exemplo, uma melhoria na modernização das cidades pode impactar os empregos. No entanto, as condições de saúde podem piorar. Os resultados, mesmo em estado preliminar, são apresentados e analisados. Por fim, os autores concluem e sugerem possíveis trabalhos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: *Fuzzy Cognitive Maps*, Sistemas Inteligentes de Computação, Cidades Inteligentes.

FUZZY MENTAL MODELS FOR DECISION-MAKING ABOUT THE POPULATION GROWTH OF A SMART CITY USING COGNITIVE TECHNIQUES

ABSTRACT: Indicators suggest that the global artificial intelligence market was valued at US\$ 65.48 billion in 2020 and will grow to approximately US\$ 1,581.70 billion by 2030. Part of this market is contained in the development of Smart Cities, a concept that uses Artificial Intelligence to employ intelligent computational techniques such as IoT, and Big Data. Smart Cities are already improving the quality of life in several cities around the planet in different fields of knowledge, such as personal safety through traffic control and others, as addressed throughout the development of this work. This paper uses Fuzzy Cognitive Maps (FCM) to assist in the decision-making inherent to the immigration process in cities. This work aims to quantify, through linguistic terms, the variables involved in the process inspired by Axelrod's work, with new concepts included through the authors, analysis. Thus, to validate the proposal of this scientific investigation, a comparison is made with two different cases, one city with significant technological development and another one with not significant technological development. The FCM helps identify potential improvements in a city's immigration process. For example, an improvement in the modernization of cities can impact jobs. However, health conditions can worsen. The results, even in preliminary state, are presented and analysed. Finally, the authors present a conclusion and addresses possible future work.

KEYWORDS: Fuzzy Cognitive Maps, Smart Cities, Intelligent Computing Systems.

1 | INTRODUÇÃO

As cidades inteligentes evoluem na direção da integração de todas as dimensões da inteligência humana, artificial e coletiva. Em outras palavras, cidades são consideradas inteligentes quando são construídas como aglomerados multidimensionais, combinando essas três principais dimensões (KOMNINOS, 2009).

São essenciais de uma cidade são as pessoas que nela vivem. Portanto, o bem-estar e a saúde são de relevantes para o conceito de cidades inteligentes (VON SON et al., 2017). Posto isso, com o número de habitantes de uma cidade crescendo, consequentemente haverá mais desafios em sua gestão. Neste contexto, muitos eventos podem ser relacionados de forma complexa, os quais dificilmente poderão ser controlados (PURNOMO et al., 2016).

A pressão da população diante à limitação dos recursos impulsiona as pesquisas para atender as demandas. O uso de Inteligência Artificial (I.A.) poderá reduzir a pressão sobre a escassez de infraestrutura e atenderá às necessidades da sociedade (RAGHUVANSHI, 2022).

Smart city and Internet of Things (IoT) solutions are suffering from fragmentation and lack of economies of scale. To address this issue, the National Institute of Standards and Technology (NIST) initiated the Global City Teams Challenge (GCTC) to catalyze collaboration among different stakeholders. The goal is to design and deploy that are replicable, scalable, and sustainable, thereby leading to the identification and adoption of a

consensus framework for smart city technologies. (Rhee, 2016).

Mapas cognitivos (CMs) foram propostos pela primeira vez por Axelrod (1976) para a tomada de decisões. Embora o FCM utilize dois elementos essenciais, conceitos e relações causais, o mapa cognitivo pode ser visto como um modelo matemático simplificado de um sistema de crenças (MILLER, 1979).

Assim, o FCM são modelos que utilizam o CM como uma das técnicas precursoras. Portanto, eles também podem ser considerados (MENDONÇA et al., 2015) modelos de crença.

Os FCMs, por outro lado, são geralmente assinados por gráficos fuzzy ponderados, geralmente envolvendo *feedbacks*, compostos por nós e ligações direcionados que os conectam. Os nós representam conceitos comportamentais descritivos do sistema, e os elos representam relações causa e efeito entre os conceitos. Na teoria FCM, o valor fuzzy de um conceito denota o grau em que o conceito específico está ativo no sistema geral, normalmente limitado em uma faixa normalizada de $[0,1]$. Além disso, os pesos das inter-relações no sistema refletem o grau de influência causal entre dois conceitos, e geralmente são atribuídos linguisticamente por especialistas (GLYKAS, 2010). Brevemente mencionados acima, os FCMs combinam aspectos de duas técnicas computacionais inteligentes, por exemplo, a robustez das Redes Neurais. E os termos linguísticos da lógica fuzzy (AGUILAR, 2001).

A motivação desta pesquisa reside na inclusão de informações linguísticas no modelo cognitivo, a priori desenvolvido com um objetivo social. Dito isto, a capacidade de inferência e convergência dos FCMs (NÁPOLES et al., 2016) pode contribuir para os fatores das cidades inteligentes.

Este trabalho visa principalmente abordar, entre outros conceitos, o bem-estar e a saúde das pessoas relacionadas à imigração e conseqüentemente o crescimento das cidades através de um FCM, uma técnica computacional inteligente que compila o conhecimento de especialistas na construção de um modelo cognitivo (MENDONÇA; CHUN; ROCHA, 2017). Entretanto, o objetivo principal é desenvolver uma ferramenta que ajude a identificar pontos que podem ser melhorados para que a cidade se torne inteligente. Para testar a ferramenta, dois cenários distintos serão formalizados, um com mais tecnologia e o outro com menos, e uma avaliação das duas situações.

A aplicação de técnicas computacionais é usual no desenvolvimento de cidades inteligentes. Alguns trabalhos serão citados utilizando o FCM aplicado no desenvolvimento de cidades inteligentes. Como por exemplo o trabalho de (KALTENRIEDER et al. 2016). Este artigo apresenta um *software* pessoal de um assistente digital 2.0. Baseado em métodos de *soft computing* (técnicas de computação inteligente) e computação cognitiva, esta aplicação inteligente de programação e gerenciamento de mobilidade em software. Estamos aplicando Fuzzy Maps e álgebra temporal, representando o próximo passo para a realização de cidades cognitivas (i.e., cidades inteligentes com cognição aprimorada).

O trabalho de (SUDHAGAR, 2019) estuda o FCM e seu papel no desenvolvimento de um sistema educacional inteligente. É proposto um modelo FCM, que pode superar algumas dificuldades no ambiente de aprendizagem estático e essencial em ambientes de aprendizagem digital. O modelo proposto pelo FCM para um sistema de aprendizagem identifica estilos de aprendizagem, avalia os fatores críticos de um sistema de gestão de aprendizagem, avalia o mecanismo de ensino e aprendizagem do FCM e seus desenvolvimentos. Pode-se trabalhar com o FCM aplicado na educação, que pode contribuir como um retorno ao nível de satisfação do estudante na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-Campus Cornélio Procópio), que pode contribuir para o desenvolvimento e adaptação da universidade, o que é essencial no desenvolvimento da cidade.

Como exemplo da aplicação da técnica computacional, o artigo de (KALTENRIEDER et al., 2016) pode ser citado; (PORTMANNRACH, 2015) apresenta uma visão sobre a gestão de cidades inteligentes, olhando em cidades cognitivas. Cidades Cognitivas e Pesquisa Computacional com os conceitos básicos de Gráficos do Conhecimento e FCM são apresentados e apoiados por ferramentas existentes e ferramentas projetadas. O artigo ilustra o FCM como um instrumento adequado para representar a informação/conhecimento em uma cidade ou ambiente impulsionado pela interação homem-tecnologia, impondo o conceito de cidades cognitivas.

Um projeto de artigo proposto como uma descoberta do artigo e mostra o próximo passo na implementação da meta-aplicação proposta.

Uma estrutura de sistemas de diálogo permite que os sistemas humanos sejam projetados para o ambiente urbano e ambientalmente projetado em particular o FCM (D'ONOFRIO, et al., et al., 2018). Este trabalho já está na segunda iteração de seu desenvolvimento. Duas experiências foram realizadas para confirmar a estabilidade dos fundamentos teóricos.

Um trabalho relacionado a este artigo, que apresentou uma proposta semelhante, mas com uma estratégia diferente na modelagem de imigrantes para uma cidade baseada no trabalho original de Axelrod, foi o trabalho (PEDRYCZ; JASTRZEBSKA; HOMENDA, 2016), que modelou como relações causais através de dados históricos, e não através de conhecimento especializado como será apresentado na seção de desenvolvimento. Outra diferença é que este trabalho planeja modelar através de um FCM mais genérico.

Ilustra-se o FCM como um instrumento para representar as informações de uma cidade ou ambiente impulsionado pela interação homem-tecnologia, impondo o conceito de cidades inteligentes. Permitindo aos gestores e especialistas uma melhor análise do problema. Este trabalho possibilita identificar possíveis problemas no processo de gestão de uma cidade, exemplificando a correlação entre essas variáveis.

A seção 2, trará uma breve discussão sobre cidades inteligentes, a seção de fundamentos do FCM será discutida em 3. Na seção 4, a abordagem para o problema é proposta neste artigo. A seção 5 comentará os itens ou conceitos formalizados no modelo

cognitivo e seus resultados.

Além disso, a seção 6 conclui e aborda os trabalhos futuros.

2 | CIDADES INTELIGENTES

Cidades ao redor do globo têm demonstrado interesse em utilizar a tecnologia da informação e comunicação para resolver seus problemas urbanos. O conceito de cidades inteligentes como uma solução tecnológica aos desafios gerados a partir do aumento populacional e da complexidade das cidades, nas áreas de transporte, meio ambiente, energia e nas relações sociais (YANG, 2021).

Segundo a Comissão da Ciência e da Tecnologia a Serviço do Desenvolvimento de 2016, as cidades estão se tornando maiores e complexas conforme sua população aumenta. Além disso, segundo dados de 2008 mais de 50% da população mundial, cerca de 3.3 bilhões de pessoas, vive em áreas urbanas e até 2030, a expectativa é de que este número aumente para cerca de 5 bilhões.

Em países emergentes, a implementação do conceito é ainda mais desafiadora e capaz de produzir resultados mais relevantes, devido aos maiores índices de crescimento populacional associado às limitações de recursos geram maiores desafios sociais (HAYAR, 2018).

As cidades inteligentes podem ser estudadas de 4 formas diferentes segundo pesquisas recentes. A primeira maneira analisa as características individuais em desenvolvimento ao redor do mundo levando-se em conta suas regiões. Por exemplo, cidades inteligentes da Europa tem seu foco em resolver problemas urbanos de cidades já existentes utilizando tecnologia (GIFFINGER, 2007).

De acordo com o artigo supracitado o Brasil se enquadra na classe dos países emergentes. Onde há uma maior concentração de indicadores sociais e a prevalência das grandes cidades sobre as cidades de médio porte (MACHADO JUNIOR, 2018).

O segundo modo, analisa os elementos comuns entre as cidades e demonstra como as tecnologias das cidades inteligentes são aplicadas (NEVES, 2020).

O terceiro modo, obtém métodos para a criação das cidades inteligentes, além de gerar exemplos de desenvolvimento de cidades através de empresas de tecnologia (KOLK, 2019).

O quarto tipo aplica os conceitos de cidades inteligentes e compara a sua implementação em diferentes cidades e cenários (YIGITCANLAR, 2018). Como neste trabalho, este estudo compara duas possíveis cidades inteligentes utilizando aproximações conceituais, comparando dois cenários diferentes, como supracitado, tratando de situações com menos e mais utilização de I.A.

3 I FUNDAMENTOS MAPAS COGNITIVOS

Proposta em 1986 por Bart Kosko (1986), os FCMs formam uma classe de Redes Neurais Artificiais (RNA) (HAYKIN, 2000), que representam conhecimento de forma simbólica e relatório de estados variáveis com base em eventos de saídas e entradas, utilizando uma abordagem de causa e efeito.

Os FCMs, quando comparados às Redes Neurais Artificiais, têm várias vantagens significativas, tais como a relativa facilidade de representar estruturas de conhecimento e a simplicidade da inferência calculada por operações de matriz numérica (PARSOPOULOS et al., 2003).

Esses grafos cognitivos têm como objetivo a modelagem e simulação de sistemas dinâmicos. Eles apresentam inúmeras vantagens, como transparência de modelos, simplicidade e adaptabilidade a um determinado domínio, para citar algumas. Os FCMs têm sido aplicados a numerosas áreas industriais, como o trabalho de Mendonça (MENDONÇA et al., 2013). Alguns deles podem ser encontrados em (2014). Uma das dificuldades na utilização do FCM é determinar os aspectos, variáveis ou conceitos do FCM. A construção destes modelos pode ser feita de duas maneiras, com base no conhecimento de especialistas na área, como foi o caso nesta pesquisa, e com base em dados históricos (YESIL et al., 2013) ou mesmo uma abordagem que utiliza ambos os métodos.

Além disso, os FCMs podem ser cíclicos ou acíclicos. Os cíclicos formam um ou mais ciclos entre os conceitos e suas relações causais. Assim, como mostrado na Figura 1 (YESIL et al., 2013a). Neste exemplo, é possível observar várias conexões cíclicas entre os conceitos (círculos) e suas relações causais (setas), tais como as conexões dos conceitos C3, C4 e C5.

Teoricamente, um FCM pode não convergir, resultando em resultados caóticos e, como no caso deste trabalho, convergir e alcançar um ciclo limite, um ciclo de atração (MENDONÇA et al., 2017).

A figura 1 mostra um exemplo de um FCM acíclico para quantificar o nível de satisfação dos alunos de acordo com algumas variáveis pertinentes.

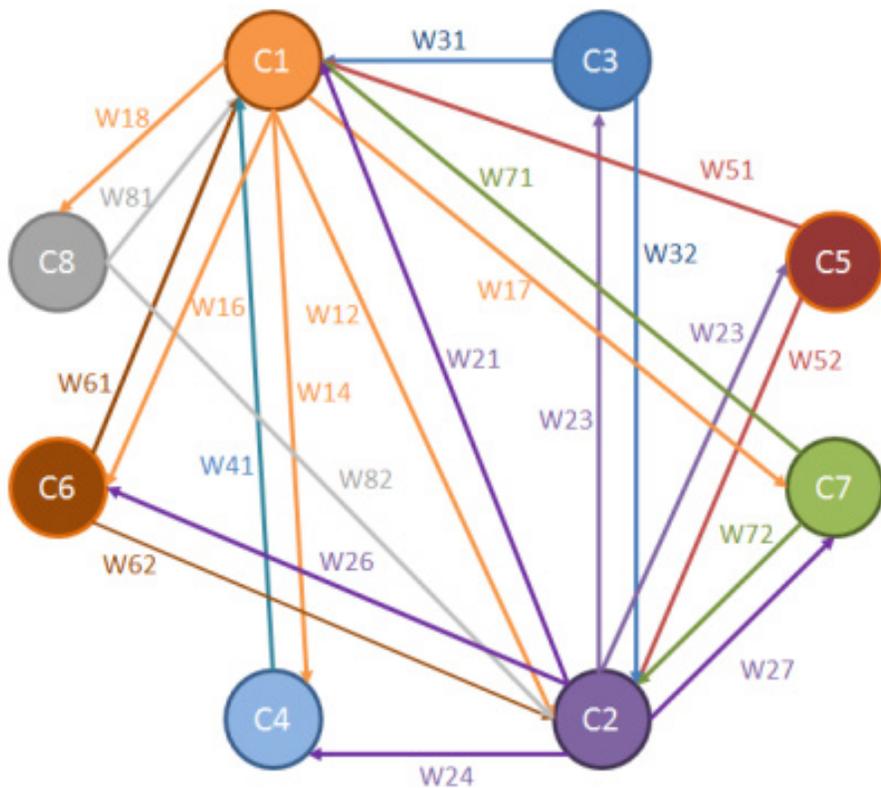


Fig. 1 FCM: Nível de Satisfação Acadêmico - Adaptado.

4 | PROBLEMÁTICA DAS CIDADES INTELIGENTES

O FCM proposto é uma instanciação do modelo clássico do Axelrod na figura 2. Este modelo cognitivo permite uma visão macro do problema em análise e apresenta apenas uma relação simplista entre os conceitos. Além disso, ele só se apresenta se a influência for positiva ou negativa entre eles.

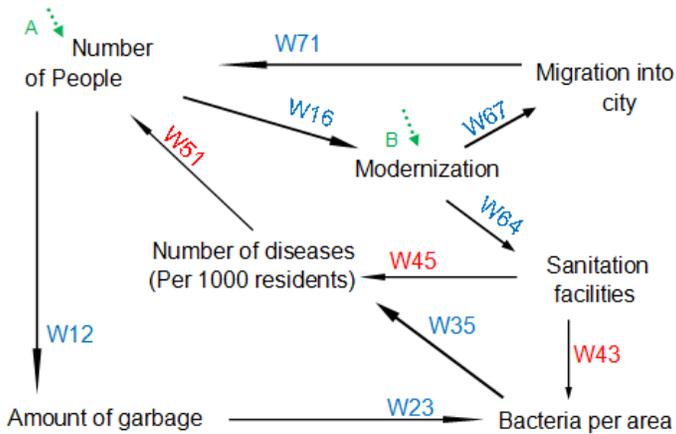


Fig. 2 Mapa Cognitivo Axelrod.

O modelo não faz nenhuma inferência; entretanto, permite que os especialistas o utilizem para analisar o problema. A figura 3 mostra o FCM, de forma específica, um modelo clássico semelhante ao proposto por Kosko nos anos 80. O primeiro passo no desenvolvimento do FCM foi precisamente o do mapa cognitivo de Kosko.

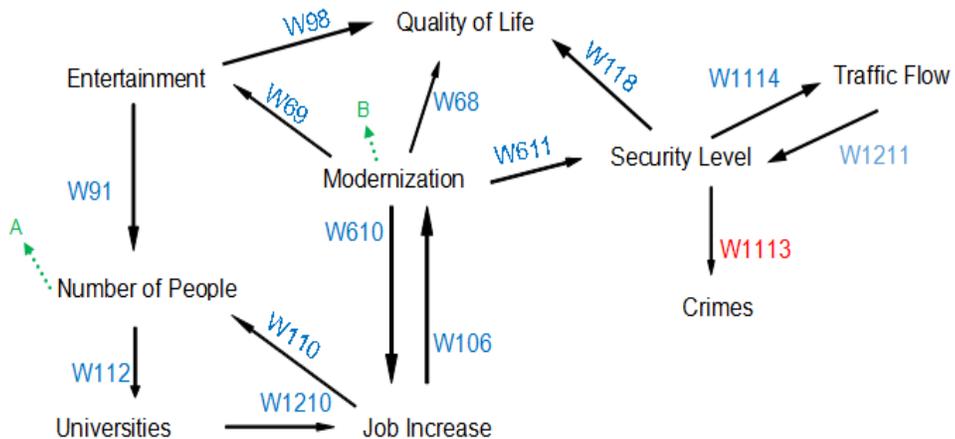


Fig.3 FCM Axelrod.

A vantagem do FCM é que o conhecimento especializado foi adicionado ao modelo através de variáveis fuzzy. Além disso, os termos linguísticos foram quantificados por especialistas, podendo ser alterado posteriormente levando-se em conta as prioridades de cada gestor e as singularidades de cada cidade.

Para Colldahl (2013), a *Smart Economy* refere-se a um mercado de trabalho competitivo, com inovações marcantes, produtividade e flexibilidade de mão de obra, assim

como *Smart People* que trazem um aumento de capital humano qualificado e capacitado, isto pode ser notado no relacionamento entre universidades, aumento do emprego e modernização. A *Smart Mobility*, não apenas o transporte de tecnologia de informação e comunicação, mas também a infraestrutura e a segurança do tráfego, como pode ser visto na relação entre modernização e tráfego.

Smart Living está diretamente relacionado com a qualidade de vida, proporcionando boa saúde e qualidades financeiras e sociais sólidas, já o *Smart Governance* fortemente ligado a processos democráticos e sistemas de transparência. Finalmente, o *Smart Environment* busca a manutenção sustentável dos recursos e a proteção do meio ambiente

De acordo com a ISO 37122:2019, os valores que envolvem modernização impactam significativamente uns aos outros, cumprindo com as seis características de uma cidade inteligente, como mostrado na Figura 4.

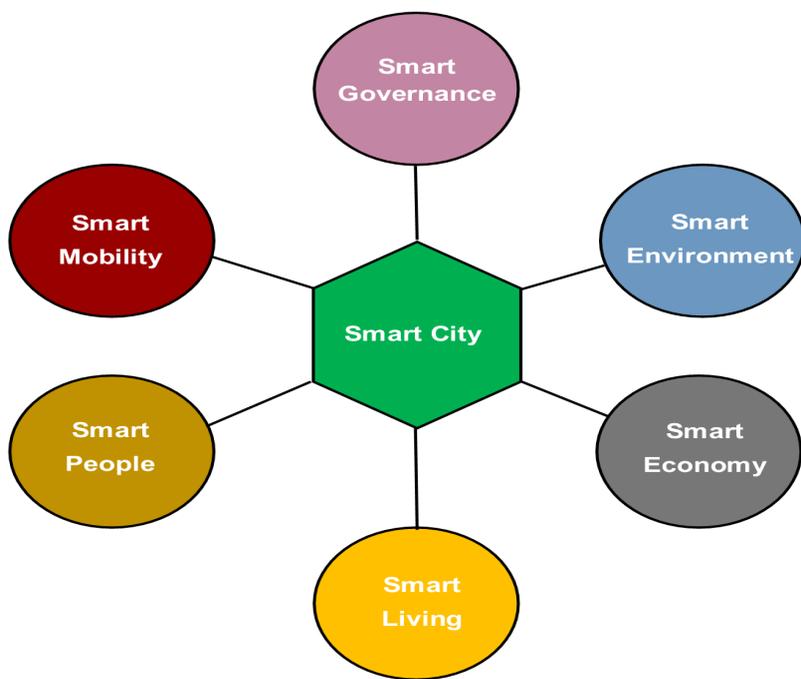


Fig. 4 Pilares da Cidade Inteligente.

A partir dos pilares de Colldahl (2013) e tomando como referência a aproximação do GCTC de Rhee (2016), utilizando dados disponíveis para consulta, pode-se realizar a inferência mostrada na figura 5.

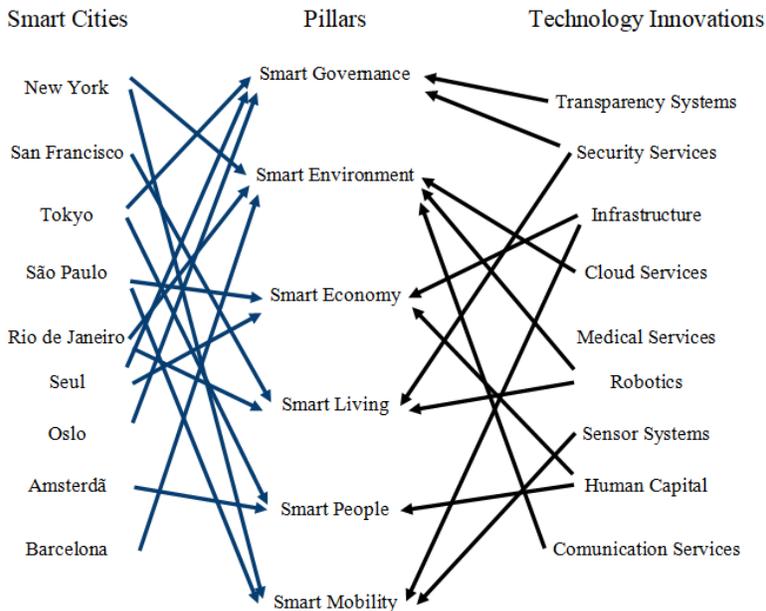


Fig. 5 Inferência – Adaptado Rhee (2016)

No modelo proposto, foram utilizados indicadores para entender melhor o cenário estudado, que pode ser modificado de acordo com as necessidades de cada cidade.

Ambos os cenários utilizam o mesmo modelo cognitivo: “Quais conceitos serão potencialmente implementados em uma cidade inteligente”? como sugerem os indicadores do trabalho de Colldahl (2013). Dado este espectro, dois cenários possíveis foram pensados. O primeiro cenário (cenário 1) apresenta uma menor utilização da Inteligência Artificial (I.A) e um aspecto menos futurista e tecnológico. Apesar da atual modernização, os índices ligados à tecnologia não apresentam um crescimento tão contemporâneo próximo ao estado da arte.

O segundo cenário (cenário 2), por sua vez, traz uma modernização mais avançada e futurista, com intensa utilização da I.A., comunicações mais avançadas, especialmente observando itens de relevância que estão presentes na maioria das análises, com base no trabalho clássico de Axelrod; segurança que parece estar subestimada em muitos estudos, e se apresenta como um componente crucial para a qualidade de vida em várias cidades (LACINÁK, 2017) e; finalmente, Qualidade de Vida, altamente relevante no planejamento de políticas públicas e territoriais (MOLINA-MORALES e MARÍNEZ-FERNÁNDEZ, 2010).

As cidades inteligentes utilizam os dados para resolver problemas urbanos. Por exemplo, os modernos sistemas de monitoramento e gerenciamento de tráfego são baseados em dados em tempo real para ajustar o tempo de chegada ao destino, permitindo uma maior eficiência e encaminhamento de veículos.

Após a construção do FCM, foi possível fazer uma inferência utilizando um sistema computacional, e não apenas um modelo de análise. Apesar das diferentes equações de inferência, uma das mais utilizadas na literatura, dá-se pelas equações 1 e 2 (SOUZA et al., 2017).

$$A_i(k+1) = f\left(A_i(k) + \sum_{j=1, j \neq i}^N A_j(k)W_{ji}\right) \quad (1)$$

Onde:

- $A_i(k+1)$ é o valor do próximo passo do conceito implementado.
- A função f é a função de ativação sigmoide da equação 2.

A somatória $\sum_{j=1, j \neq i}^N A_j(k)W_{ji}$ é a relação de causa e efeito dos outros conceitos conectados ao analisado.

O resultado da equação (1) será um valor entre 0 e 1. Já a equação (2).

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}} \quad (2)$$

Onde:

- λ é um número realmente positivo, chamado fator de esquecimento da rede.
- X é o valor da I.A. no ponto de equilíbrio.

A manipulação de dados por máquinas requer, de maneira informal, uma descrição hierárquica dos conceitos de um domínio, denominando-se ontologia (GHORBEL, 2010). Uma possível sequência ou ontologia para construir um FCM clássico é apresentada na Tabela 1.

A validação é a parte das etapas mais críticas de sistemas computacionais inteligentes, e consequentemente Fuzzy Cognitive Maps tem a mesma dificuldade

Em áreas de aplicação puramente tecnológica, como por exemplo controle de processo e controle de um robô móvel, esse processo tende a ser mais simplista, devido ao cumprimento dos objetivos do controlador. Como por exemplo, observar em diferentes situações de um robô móvel cumpre com seus objetivos previamente projetados, hipoteticamente atingir o ponto ou região alvo sem colidir com nenhum obstáculo sem esgotar sua bateria em diferentes cenários.

Desse modo, de acordo com o parágrafo supracitado, empregou-se duas situações diferentes e comparou-se as duas para uma possível justificativa da proposta dessa investigação científica.

| Item | Conceito |
|------|--|
| 1 | Identificação de conceitos, suas relações e sua natureza. |
| 2 | Aquisição de dados iniciais por conhecimento especializado ou dados de processo, quando conhecidos. |
| 3 | Apresentação de dados e entrevista com especialistas para determinar o peso das relações causais ou causa-efeito do FCM. |
| 4 | Análise e possível refinamento dos valores das relações causais obtidas para a otimização do FCM. |
| 5 | Validação do modelo. |

Tabela 1 - Ontologia de um FCM Clássico

5 | RESULTADOS

De acordo com a ISO 37122:2019, uma cidade inteligente cresce à medida que fornece soluções econômicas, sociais e sustentáveis para o crescimento populacional, a instabilidade econômica e a mudança climática. Ela usa dados e tecnologias modernas para fornecer melhores serviços e qualidade de vida para seus habitantes.

Os resultados obtidos na figura 6 pelo modelo proposto, apontam para uma taxa de imigração de aproximadamente 69%, sem a utilização de grandes investimentos em I.A., sendo influenciado principalmente pela modernização e aumento de empregos, como nota-se nos mapas cognitivos apresentados no item anterior. No segundo cenário, contendo um investimento substancial na modernização das condições sanitárias, há também uma migração mais significativa devido ao aumento de empregos e mão-de-obra qualificada.

Além disto, outras variáveis, como universidades influenciam de maneira indireta e, são responsáveis pela maior concentração de pessoas, como podemos ver nas análises a seguir.

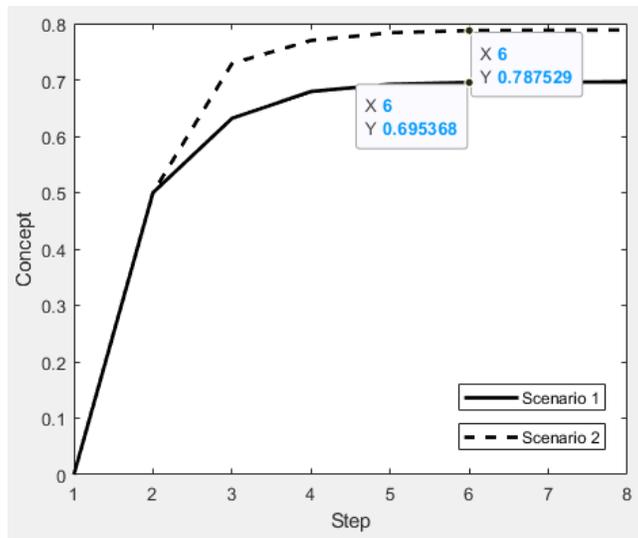


Fig. 6 Imigração: Cenários 1 e 2.

A qualidade de vida pode estar relacionada a numerosos indicadores, desde a saúde até a economia e a governança de uma cidade. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a qualidade de vida está relacionada à percepção de cada pessoa na sociedade, levando em conta seus objetivos, expectativas e contexto cultural.

Diferentes indicadores para cada país podem ser observados, mas este trabalho considera a modernização como o item com o peso mais significativo nas correlações.

Outro indicador a ser observado é a segurança, e esta variável procura fortalecer o direito à privacidade e a proteção da segurança pública e prevenir e gerenciar riscos nas comunidades (ISO 37101:2016). Além da modernização e do desenvolvimento de novas tecnologias é o controle do fluxo de carros autônomos e até mesmo não-autônomos, através da análise de dados em tempo real e da comunicação entre veículos, permitindo a localização de melhores rotas e a possibilidade de notificação de serviços de emergência, melhorando a eficiência e a segurança na condução de carros (LACINÁK, 2017).

Em um cenário mais tecnológico, a ISO 37122 sugere aumentar a porcentagem de vigilância através de câmeras, além disso o uso de I.A. e um tráfego de veículos autônomos interligados através de um sistema de malhas, seriam componentes cruciais para segurança. A figura 8 demonstra um aumento de cerca de 10% em níveis de segurança utilizando uma maior modernização e tecnologia.

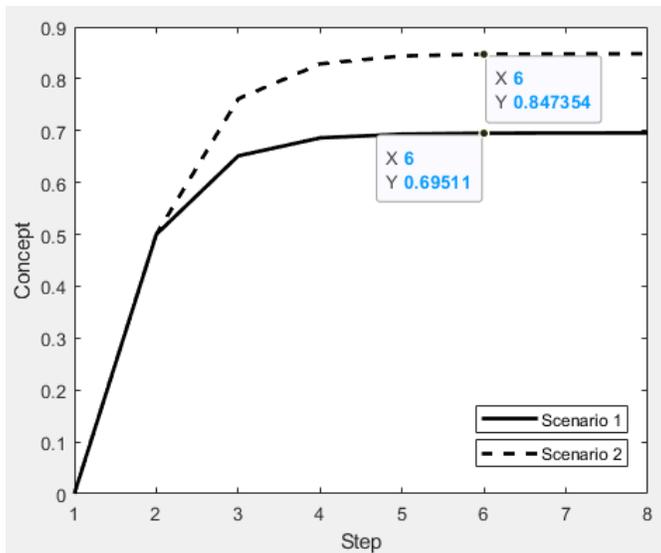


Fig. 7 Qualidade de vida: Cenários 1 e 2.

A Figura 7 mostra um crescimento de aproximadamente 24% na qualidade de vida, considerando o aumento da modernização.

De acordo com os índices dos dois cenários hipotéticos, esta tecnologia inteligente pode auxiliar na gestão de uma cidade para a tomada de decisões ou apoio à decisão e pode ser modificada para cada área e índice que deseje ser mapeado.

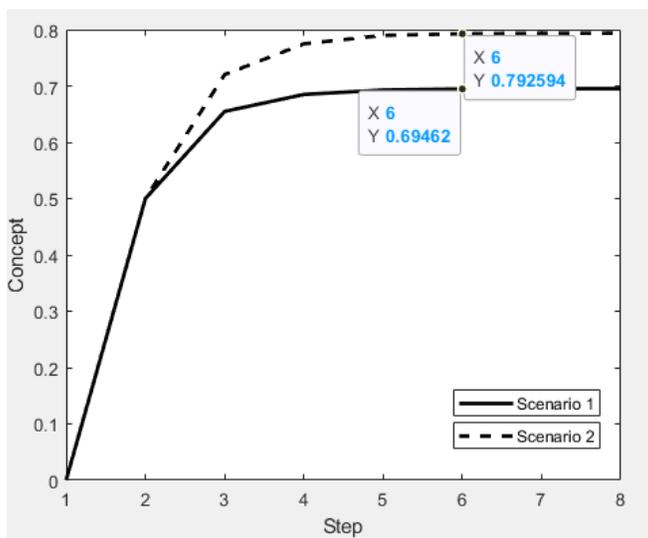


Fig. 8 Segurança: Cenários 1 e 2.

Cidades inteligentes apresentam inúmeras vantagens. Entretanto, existem algumas possíveis desvantagens desse novo conceito.

Segundo o relatório publicado pela *Transparency International*, o alto nível de coleção de dados levantou questões sobre invasão da privacidade dos cidadãos. A concentração da informação de cidadãos em um banco de dados contribui para a criação de um espaço urbano vigiado. Já em países com maior nível de pobreza, com dificuldades básicas para a maioria da população. Esse conceito pode intensificar as desigualdades. Estes sistemas também estão sujeitos a vulnerabilidade a ataques maliciosos de hackers (KITCHIN, 2017). E, além disso, a alta vigilância pode colaborar com a repressão de movimentos sociais devido a inserção de sensores e câmeras.

6 | CONCLUSÃO

A ferramenta proposta aponta para resultados satisfatórios, a partir dos resultados obtidos. Nesse sentido, pode-se observar aumento nos níveis estudados de imigração, qualidade de vida e segurança.

Em segurança, acredita-se o aumento considerável ao uso de sistemas integrados, em especial o uso de veículos autônomos e sua relação com serviços de emergência e rotas mais seguras. Ainda, ao se aumentar os níveis de integração do sistema, maiores são as mudanças.

Dentre as variáveis coletadas, o aumento mais expressivo foi na qualidade de vida, dada sua associação com as melhorias proporcionadas pelas novas tecnologias, especialmente em suas ligações com entretenimento e segurança. Estas características estão associadas às percepções sociais e culturais individuais e dependem da política pública de cada cidade.

Por ser um modelo mental, o modelo pode ter seu peso de relação causal alterado de acordo com a realidade de uma cidade especificamente modelada. Por exemplo, o modelo de Vancouver deve diferir do modelo da cidade de São Paulo.

Trabalhos futuros devem abordar a inclusão de novos conceitos, como segurança cibernética e aquisição de dados históricos, para um modelo FCM mais preciso e mais próximo do estado da arte para esses modelos mentais. Por exemplo, para cidades brasileiras, a inclusão de métricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ou do *Office of National Statistics* (ONS) para cidades do Reino Unido, além de planos diretores das cidades.

REFERÊNCIAS

Acampora, G.; Loia, V (2011). About Temporal Granularity in Fuzzy Cognitive Maps. *Ieee transactions in Fuzzy Systems*.

Aguilar, J. A Fuzzy Cognitive Map Based on the Random Neural Model (2001). Intelligent Systems Engineering.

Colldahl, C. Et Al. Smart Cities: Sustainable Strategic Development for an Urban World (2013).

D'onofrio, S. Et Al. Fuzzy Reasoning in Cities: an Exploratory Work on Fuzzy Analogical Reasoning Using Fuzzy Cognitive Maps (2018).

Dickerson, J. A.; Kosko, B. Virtual Worlds as Fuzzy Cognitive Maps (1993). Virtual Reality Annual International Symposium.

D. van den Buuse; A. Kolk. An exploration of smart city approaches by international ICT firms. Technol. Forecasting Social Change, vol. 142, p. 220–234, May 2019.

Founoun, A., & Hayar, A. (2019). Evaluation of the concept of the smart city through local regulation and the importance of local initiative. 2018 IEEE International Smart Cities Conference, ISC2 2018, 1–6.

Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., & Meijers, E. (2007). City-ranking of European medium-sized cities. Centre of Regional Science, Vienna UT, October.

Glykas, M. Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications. [S.L.] (2010).

Ghorbel, H., Bahri, A., & Bouaziz, R. (2010). Fuzzy ontologies building method: Fuzzy ontomethodology. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS.

Hagiwara, M. Extended Fuzzy Cognitive Maps (1992).

Hayar, A., & Betis, G. (2018). Frugal social sustainable collaborative smart city casablanca paving the way towards building new concept for "future smart cities by and for all." 1–4.

Haykin, S. Neural Networks and Learning Machines. 3rd ed. 2008.

International Organization for Standardization. Iso 37101: Sustainable Development in Communities - Management System for Sustainable Development - Requirements with Use Orientation. Switzerland, (2016).

International Organization for Standardization. Iso 37122: Sustainable Cities and Communities - Indicators for Smart Cities. Switzerland, (2019).

Kaltenrieder, P. Et Al. Personal Digital Assistant 2.0 - A Software Prototype for Cognitive Cities (2016). Ieee International Conference on Fuzzy Systems.

Kaltenrieder, P.; Portmann, E.; Myrach, T. Fuzzy Knowledge Representation in Cognitive Cities (2015). Ieee International Conference on Fuzzy Systems (Fuzz-IEEE).

Kitchin, R., & Dodge, M. (2017). The (In)Security of Smart Cities: Vulnerabilities, Risks, Mitigation, and Prevention. Journal of Urban Technology.

Komninos, N. Smart Cities: Towards Interactive and Global Innovation Environments (2019). International Journal of Innovation and Regional Development.

- Kosko, B. Fuzzy Cognitive Maps. *Int. J. Man-Machine Studies* (1986).
- Lacinák, M., & Ristvej, J. *Smart City, Safety and Security* (2017). *Procedure Engineering*.
- Machado Junior, C., Nassif Mantovani Ribeiro, D. M., da Silva Pereira, R., & Bazanini, R. (2018). Do Brazilian cities want to become smart or sustainable? *Journal of Cleaner Production*, 199, 214–221.
- Makrinos, A. Et Al. Introducing Fuzzy Cognitive Maps for Decision Making in Precision Agriculture (2007). 6th European Conference on Precision Agriculture.
- Mendonça, M. Et Al. Fuzzy Cognitive Maps Applied to Student Satisfaction Level in a University (2015). *IEEE Latin America Transactions*.
- Mendonça, M. Et Al. Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm Robotics Using Fuzzy Cognitive Maps (2019). *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (Fuzz-IEEE)*.
- Mendonça, M. Et Al. Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Logic Controllers Applied in Industrial Mixer (2015). *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (Sbai)*.
- Mendonça, M. Et Al. A Cooperative Architecture for Swarm Robotic Based on Dynamic Fuzzy Cognitive Maps (2017). *Artificial Intelligence Engineering Applications*.
- Mendonça, M.; Rue, L.V.R.; Neves-Jr, F. Autonomous Navigation System Using Fuzzy Cognitive Maps with Event Transmission (2011). *Applied Intelligence*.
- Mendonça, M.; Chun, I.R.; Rocha, M. E.C. A Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Applied in Realibility Centered Maintenance of Electric Motors (2017). *IEEE Latin America Transactions*.
- Miao, Y. Et Al. Dynamic Cognitive Network - An Extension of fuzzy cognitive map. Tools with Artificial Intelligence (1999). *Procedures. 11th International Conference IEEE on*.
- Miller, A. J. *Decision-making structure: The Cognitive Maps of Political Elites* Robert Axelrod, Ed. Princeton: Princeton University Press (1976). *Perception and misperception in Jervis Princeton's international politics: Princeton University Press. Canadian Journal of Political Science*.
- Molina-Morales, F. X., Marínez-Fernández, M. T. *Social Networks: Effects of Social Capital on Business Innovation* (2010). *J. Little Bus. Manage.*
- Naples, G. Et Al. On The Convergence of Sigmoid Fuzzy Cognitive Maps (2016). *Information Science*.
- Pajares, G.; Cruz, J.M. De La. Fuzzy Cognitive Maps for Stereovision Matching. *Pattern Recognition* (2006).
- Papageorgiou, E. I. (Ed.). *Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering* (2015). Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Parsopoulos, K. E. Et Al. A First Study of Fuzzy Cognitive Maps Learning Using Particle Swarm Optimization (2003). *The 2003 Congress on Evolutionary Computing*.
- Passino, K. M.; Yurkovich, S. *Fuzzy Control* (1998). 1. Ed. Menlo Park, Ca, Usa: Addison Wesley.

Pedrycz, W.; Jastrzebska, A.; Man, W. Fuzzy Cognitive Map Design for Time Series Modeling (2016). *Ieee transactions in Fuzzy Systems*.

Purnomo, F. Et Al. Smart City's Context Awareness Using social media (2016). *International Ict Conference for the Intelligent Society*.

Raghuvanshi, R., Sharma, T. Smart Cities in Emerging Economies: Opportunities, Challenges and Policy Implications. In: Goyal, D., Kumar, A., Piuri, V., Paprzycki, M. (eds) *Proceedings of the Third International Conference on Information Management and Machine Intelligence. Algorithms for Intelligent Systems (2022)*. Springer, Singapore.

Rhee, S. Catalyzing the Internet of Things and smart cities: Global City Teams Challenge. *1st International Workshop on Science of Smart City Operations and Platforms Engineering (SCOPE) in partnership with Global City Teams Challenge (GCTC) (2016)*.

Rue, L.V.R. Et Al. Artificial Life Environment Modeled by Dynamic Fuzzy Cognitive Maps (2018). *Ieee Transactions in Cognitive and Developmental Systems*.

Souza, L.B. De Et Al. Dynamic Fuzzy Cognitive Maps Embedded and Classical Fuzzy Controllers Applied in Industrial Process (2017). *Icas 2017: Thirteenth International Conference on Autonomous and Autonomous Systems*.

Sudhagar, C. Role of Fuzzy Cognitive Maps in Smart Education System (2019). *4th Mec International Conference on Big Data and Smart City (Icbdsc)*.

Tan Yigitcanlar, Md. Kamruzzaman, Laurie Buys, Giuseppe Ioppolo, Jamile Sabatini-Marques, Eduardo Moreira da Costa, JinHyo Joseph Yun. Understanding 'smart cities': Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework, *Cities*, Volume 81 (2018).145-160.

Transparency International (2017). *Intelligent Cities - Utopian Vision, Dystopian Reality*.

Von Son, F.W. Et Al. Smart Genetics for Smarter Health-An Innovation Proposal to Improve Wellness and Health Care in the Cities of the Future (2017). *International Conference of Smart Cities*.

Yang, J., Kwon, Y., & Kim, D. (2021). Regional Smart City Development Focus: The South Korean National Strategic Smart City Program. *IEEE Access*, 9, 7193–7210.

Yesil, E. Et Al. Fuzzy Cognitive Maps Learning Using Artificial Bee Colony Optimization (2013). *Ieee International Conference on Fuzzy Systems (Fuzz-IEEE)*.

CUSTOMIZED EXPERIENCE: DIGITAL GAMES POSSIBILITIES BEYOND THEIR MECHANICS

Data de submissão: 18/12/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Paula Poiet Sampedro

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” - UNESP
Faculdade de Arquitetura, Artes,
Comunicação e Design
Bauru, SP
<http://lattes.cnpq.br/8388039231523027>

Nicholas Bruggner Grassi

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” - UNESP
Faculdade de Arquitetura, Artes,
Comunicação e Design
Bauru, SP
<http://lattes.cnpq.br/2098576092415545>

Isabela Zamboni Moschin

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” - UNESP
Faculdade de Arquitetura, Artes,
Comunicação e Design
Bauru, SP
<http://lattes.cnpq.br/2951485996641724>

Vânia Cristina Pires Nogueira Valente

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” - UNESP
Faculdade de Arquitetura, Artes,
Comunicação e Design
Bauru, SP
<http://lattes.cnpq.br/8962021573218552>

Emilene Zitkus

School of Design and Creative Arts,
Loughborough University, GB
<https://orcid.org/0000-0003-0176-1189>

ABSTRACT: Since the advent of the internet there has been a shift in the games market towards publishing and selling globally, as well as the rise of online games. But besides the games themselves, this market sells experiences to the users, not just as a gamer, but also as a customizer or even a “designer” of its characters. This paper focuses on the hypothesis that games can afford interaction providing experiences beyond its mechanism and design, using customization possibilities available to players. To discuss this subject, it was used an online survey and a theoretical framework developed in the literature of design, media and psychology. The survey investigated the practice of customization and how common it became, focusing on how users obtain customizations for games and how they enhance the game experience. The findings showed that customization is a topical area in games and that players enjoy it as a part of the game. This suggests that

customizations can be used as a tool to improve the gamer sensation of attachment with the game universe.

KEYWORDS: User experience; game customization; design; digital games.

1 | INTRODUCTION

Game interaction is one of the most important, if not the most important factor when playing games. Each culture and civilization have their own games, but interaction is something intrinsic of them by rolling dices, playing a role, pushing buttons, using cards, boards or even just imagination. Games provide the user engaging and enjoyable activities [1].

Games have been expanded to different platforms in recent decades. Focusing on the digital field, they have progressed from primitive two-paddles-and-one-ball Pong to the sophistication of controls and visual Final Fantasy [2] (Square Enix), Far Cry (Ubisoft) and of many other titles and game series. The technology evolution has brought additional options to game designers and content creators by enabling complex controls to manage the character and interact with the game environment. It also allows more realistic scenarios, animation, textures, and different possibilities to interact (joysticks, virtual reality, smartphones, mobile platforms, videogames, personal computers, and others). All these new possibilities have influenced the popularity and the rise of digital games in the last decades.

Nowadays the easy access to the internet worldwide changed how games are made, played and sold. A digital game holds features like instant but restrictive feedback (interactivity), use of complex interfaces (such as sounds, images, controls, different screen types), complex and automated systems, etc [3]. Those aspects are not exclusive from digital media, but games in the digital environment have them more robustly incorporated [3].

According to Chatfield, the digital games market has expanded to become the fastest-growing leisure market, as it offers products that provide engaging and enjoyable activities [1]. Game playing is beyond entertainment only, but also a way of engaging with a scenario and learning from it [4]. Games have become highly connected with the experience and how the user experiences them. The freedom of creation and the improving processing data enabled games environments to use different possibilities of user interaction [5].

However, beyond character control and environment interaction, one of the possibilities that has been explored by games developers is user (player) freedom to customize the game's visual and character skills. By modifying and personalizing the game appearance the player also customizes his/her experiences in a variety of ways [6]. By offering a range of settings, choices, and options, customizable interfaces allow users to modify and transform, in their own way an individualized set of functions and styles, also shaping their media consumption experiences [2].

Customization can be defined as activities where users modify some interface aspects to a certain degree, with the purpose of increasing its personal relevance [6]. Other authors [6], [7], [8], [9] e [10] have studied the influence of the customization in stereotypes, enjoyment, human behaviour, task performance, etc.

The hypothesis that motivates this work is that games can afford interaction providing experiences beyond its mechanism and design, using customization possibilities available to players. It intends to discuss the customization as a tool that some games are using to promote interaction with the player and to improve the gamer attachment with the game universe, encouraging him/her to get items for customizations. This paper also discusses how players get customizations for their games and what they gained with it, if it is just for visual modifications, just for vantages against game enemies or for both.

To support the discussion this work used theoretical frameworks developed in the literature on design, psychology and media studies.

The next section, “Games and Experience” overviews the main approaches of games. It also discusses the user immersion in games, using Csikszentmihalyi flow theory. The third section focus on user experience (UX), and customization in games. Donald Norman and Jakob Nielsen are the main authors used to support this discussion. The fourth section describes the methods used in the survey, the structure of the questions and the survey sample, Then the following section analyses the survey results under user experience and immersion discussions mentioned in section two and three. The last part discusses the study limitations, as well as future research and conclusion.

2 | GAMES AND EXPERIENCES

The scope of games has been explored by many authors (Johann Huizinga, Roger Caillois, Chris Crawford, Jasper Jull, Salen and Zimmerman, and many others) from many research fields view and under different perspectives, it has provided several definitions of games and discussions about aspect like rules, material earnings, representation, competition, etc. But the pioneer to propose a study about games as a culture element was the Dutch anthropologist, Johann Huizinga in 1938 [3].

Huizinga points that the game is a free activity, consciously declared as a “not-seriously” and it happens besides habitual life, but at the same time it is capable of fully immerge the gamer; the game activity is disconnected from profit gain and material interest [11]. Considering our current scenario, Huizinga’s idea does not fulfil the entirely game range (serious game and gambling for example), but he established some interesting point to support the present study.

According to Huizinga, to happen the game needs an established time and a place where its rules would be followed: the game world must be separated from real life [11]. To keep the separation against the “real life” and the “game limits”, Huizinga proposed the idea

of a Magic Circle [11] [3].

Magic Circle is the place where the game happens, it could be physically defined, as a tennis court or soccer field, it can also have an imaginary definition [11] such as a videogame or computer game that is processed inside a machine, but the player is outside interacting with the machine. Using other words, it does not necessarily need physical boundaries or limitations.

This separation between “game space and time” and “real life” is important to “immerge” the gamer into the game environment [11]. The gamer almost believe that he/she is really in the game’s world, interacting with elements and focused on realizing some task to progress [3] [8] [11], this attachment is widely discussed by researchers and game designers.

Considering that people play to have experiences [15], the sensations of presence have been explored in different manners by game designers and producers. Boyle at all suggested that one of the most prominent compose used to explain experience, from a subjective point of view while playing games is Csikszentmihalyi flow theory [1]. Flow is a subjective state that people reported when they were completely involved into something to the point of forgetting time, fatigue, and everything else, but the activity itself [12].

The flow occurs in a point of balance between the user skills and the difficult to do a task, combining cognitive and emotional situations, the flow implies in an optimal match between those [12]. It tends to occur when the user’s personal skills are totally involved in overcoming a challenge at the edge of his domination capacity [12]. If a person is interested in learning a game, he/she has low skills, but the game does not demand a good performance at the beginning. If the game turns too easy in its tasks, the person will be bored (his/her abilities are higher than the challenges). If the game turns too difficult, the person will feel anxiety. But if the difficulty is balanced according to the person’s abilities, this person will be in flow.

It is important to highlight that the flow is not restricted to games field, it can happen during any activity, it is also not enclosed in game experience, the player can or cannot reach the flow channel.

The games must provide to the player challenges that he cannot frivolously overcome. Playing a game is an activity of improving skills to pass through the challenges, it means that playing a game is therefore fundamentally a learning process [4] [13].

The gamer engages with the game voluntarily searching for the experience of pleasure [14]. And elements like balanced challenges, definitions of time and space, tasks and rules are necessary to improve the gamer experience, it promotes the game flow. The game itself is not the experience, the experience is the result provided by the player interaction with the game. So as important as the game itself is the experience created resulted by interaction. The flow and the sensation of attachment with the game universe are inside of the experience.

To reach the flow state the player must be connected with the game. Challenges and tasks will provide it but considering that flow demands the player completely involvement [12], customizations can help to achieve the flow state. The player can change parts of what he/she sees, changing the game environment to turns it a more comfortable or familiar scenario that he/she “helped” to create. Using other words, the flow state in games might be influenced by customizations and player freedom to modify and change how he/she sees the game environment. Thus, customizations can be a tool that helps to reach the flow.

The sensation of being in virtual environments can be improved by a lot of other aspects, it depends on the game genre, user abilities and experiences. By offering a variety of customizations options to interfaces the user can transform his/her experiences. Utilization testing results indicate that content customization allows users to improve their experience, adapting it to their own needs, wishes and desires [7], adapting to their goals and enhance their positive game experiences [6].

Considering that these customizations normally are about characters’ appearance and performance [6], it is important to point that not every time these customizations are optional. Some games force the player to get items or change the characters’ visual to continue the game or to explore side quests. It is important to highlight that this paper focus is on optional items to customize games.

This section discussed some important terms in game studies - i.e. the flow state and how to achieve it - and introduced the customization as a tool to connect users with the games environment and improve their experience. The next section is about User Experience in games and customizations and possibilities presented by the virtual environment.

3 I EXPERIENCE AND CUSTOMIZATION

User Experience according to ISO 9241-210 is “a person’s perceptions and responses that result from the use of a product, system or service”.

In other words, it can be defined as a consequence of the system performance, presentation, functionality, behaviour and capability of interaction (hardware and software) combined with user’s prior experiences, skills, habits and attitudes [14]. Hence user experience design helps to understand what the users perceive, it justifies their attitudes and expectations in order to develop a compatible design [16].

Since 1950 designers noticed that the products were not just designed objects, but a social practice and exhibitors of user’s preference and then must be designed to human beings [17]. That was when the production began to focus on the user, the consumer, not to idealized and rational buyers [17]. User experience can be applied in any product physical or digital, it assumes that the experience in using the product must be considered as part of the product. Attached to User Experience there are other important term to be explained: Usability.

Usability can be considered as the user's ability to realize a successful task. It is more focused on task efficiency and work. According to Nielsen [18] Usability is not a one-dimensional term of user interface, it is traditionally associated with five systems usability attributes:

- Learnability: The system should be easy to learn
- Efficiency: It should be efficient to use
- Memorability: The systems should be easy to remember
- Errors: It should have a low rate of errors, so the user will make just a few errors during the interaction.
- Satisfaction: The system should be pleasant, so the user will probably feel satisfied to use it.

The last item, satisfaction, can be an especial attribute to systems that are used for entertainment. In fact, for some systems, the entertainment value is the most important one [18]. The games range cannot be considered totally directed to entertainment only but, a great part of the game production is.

The games have shown different aesthetical experiences and transforming the computer screen in a field of experimentations and innovations wide accessible. When the user changes the board games to the computer games, the designer's intention continuous the same, create experience [2], and the digital medium provides different ways to produce interactions.

Current digital technologies bring a huge amount of effects and possibilities to the game designers: the digital environment presents a complete changeable space, where it is possible to create shapes, imitates textures, movements, simulate a three-dimensional space, sounds, images and user interaction. All these possibilities associated with creativity have transformed the game market by adding new options to the system interface and Usability also changing the User Experience to these products. Some experiences can be reached spontaneously by the real-time control, like the flow state and control sensation (even in simple actions, like walk with an electronic avatar, jumping, changing its clothes or deciding its skills).

The digital space as an abstract field was discussed by the Czech philosopher Vilém Flusser [19]. Flusser said that the material things (like plastic, wood and iron) is shaped in a format (cup, table and knife for example), but digital images are made by electromagnetic fields and exhibits material free forms, but visible, malleable and possible to fulfil with textures (representing materials) [19]. The computer inborn malleability presents different possibilities of creation and of selling experiences to game designers. These impalpable game worlds can simulate gravity, weather conditions or any law of physics in an environment simulated by computers [5].

Since the games have got independent from physical medium, the idea of selling different experiences to buy games became common. What were once sold as expansion packages for games, became Downloadable Content, popularly known as DLC. The DLCs are contents that are sold by a smaller payment (compared to the game itself) designed to enhance a game content to which the player has already access [18], for example, customizations. The industry bases on ROM cartridges or disks, migrated to DLCs sells extending its lifespan and making the videogames even more profitable [20].

The technology advances have been promoting changes in games market, proposing different experiences and ways of interactions. Using the DLC system, the user continues paying for a game, after purchase it, the user is attracted to a market everlasting circle though DLCs [20]. This perspective reinforces that the game value is not inside the game itself, but in experiences that it can provide to the user.

Another change in games is the microtransactions, the user plays the game for free but with a limited number of choices as playable characters and weapons. In this case, the player has a false sense of a free playing only to have the basics parts of the game with everything else locked by monetary payments [20]. Microtransactions are not exclusive from the game market and it is not exactly a content, it is a business model [20]. The microtransactions are common in mobile platforms such as smartphones, consisting in low-cost transactions to enlarge gameplayer experience. For example, the user can pay to have infinity lives or to have customizations such as different items and advantages in games.

Nowadays many famous games in digital formats have optional microtransactions as their only monetization form. Well-known games such as Fallout Shelter, Fortnite e League of Legends (LoL) are available for free to download, and this fact reinforces how the digital game industry has changed. The players' engagement is a big designer challenge, followed by the mission to create something to encourage players to buy new experiences within the same games.

It is estimated that in 2007, the game industry had been a profit of US\$ 2,1 billion in sales of game items [21]. The gamers are willing to invest money in customizations, like better items, character enhancement, buy new missions and reduce the time of waiting or buy aesthetical items (items that changes just the visual). The digital game itself has embraced a new consumption form where it changed its value as a product that the user buys to have a gameplay experience, to a product that the user gets for free to achieve experiences and buy a customizable engagement.

Virtual games in touchable medium (like CDs or ROM cartridges) can be satisfying for some players or collectors, while have a wider range of equipment, visual modifications and custom items can too. The idea of purchasing virtual objects to modify a game by microtransactions points to another experience form, the visual and aesthetic appreciation and even social status.

Customizations do not mean simple interactions, it is about providing choices to the

players, and the sense of choice is a critical aspect of autonomy [6]. It is directly linked to one of the usability attributes mentioned: satisfaction. Focusing on the User Experience, the discussion can be extended to the motivation and how customizations are emotionally processed by the player.

Donald Norman [14] discuss that when the user interacts with a product, there are three levels of the emotional system processing, the visceral, behavioural and reflective levels.

- Visceral: it is related to the user instinct in a biological degree and provides fast judgments about what is good or bad, safe or dangerous. It happens in the first sight.
- Behavioural: It influences the most part of human behaviour. It is a subconscious level related to the use of products in automatic level and associated with the effectiveness of use.
- Reflective: The users think how they feel about the artifact; it is the level were the associations experience and familiarity are determinant. It brings fillings like personal satisfaction and memories.

The three design levels are self-connected and important to the user experience. Some games explore experiences that are more connected with colours, shapes, textures, those are playing with the user visceral system. Users are interested in this level commonly when they want the thing before to know what its functions is or even its price [14]. It is commonly associated with beauty, the games explore it in many ways, including the customizations.

The behavioural is linked with rules, controls and how to use it. Customizations in this area tend to promote more control and effectiveness, they intend to provide practical use before presents visual improves.

The reflective level is directed linked with the meaning and how the others see it [14]. Some games customizations can be seen by the other players and that can influence users' customizations choices.

The reflexive level is about the message, culture, the meaning of the product (in this case, customizations) and its use [14]. The player can customize the character to get others' attention by its appearance or by caring some item, it also might mean changes of teams, levels or even how much time the player has been playing the game. The choices involving the reflective level can states to the others options in many ways including how the player got the customizations and it can influence in the whole game experience.

A research made by Evers, Ven and Weeda pointed that players that use microtransactions to buy any kind of advantages against enemies in online games, usually have less cooperation from the other players and are less respected than the others in online communities [22].

The games perceptions and experiences are complex and demand that the designers realize what experiences are better in these new forms of customizations and gaming and how to use them to enhance the player experience and the game sale.

This section demonstrated that customizations enhance the sense of control, how the technology changed the customization world and how players can use customizations in different emotional processing levels. The next session describes the survey method, questions used in this study, explaining the data collection and the questionnaire.

4 | METHOD

A. Data collection and sample size

This working hypothesis is that games can afford interaction providing experiences beyond its mechanism and design, using customization possibilities available to players.

To discuss and test the hypothesis a questionnaire was created and spread by online platforms, mainly in social media groups and e-mails. The participants did not have any participation benefits and was not established a fixed age group, sex or occupation, but most part of the answers came from undergraduate students (79%). Eighty-one (81) participants answered the questionnaire. It was preferable not to ask names or e-mails at the questionnaire to avoid that the participants felt uncomfortable or embarrassed and lie in their responses.

The queries were all opened, so the participant could respond yes/no or describe about his/her experience. At the end of the questionnaire had a space where he/she could describe a situation or opinion about the subject, experience or even a suggestion. This last query offered others perspectives on upcoming works about customizations.

To do this research the participants were asked at first general questions about their age, schooling and the favourite game mode “online”, “offline”, “booth”. All these questions were required an answer to continue.

B. Customizations market

The questionnaire following questions were created to understand the gamers' preferences to obtain customizations. Using other words, how the players get them. This questionnaire section had four questions, the first and third was required an answer to continue.

The first query asked if the player had bought customizations for any game using money and if it is a frequently practice. The second question was attached to the first and must be responded just if the first response was positive, it asked if the customization bought altered just the game visual or if it gave some advantage to the player.

The third query asked if the participants have ever used gift cards or mobile phone credits to buy customizations to their games, and if it is a common practice to them. This

question also had another query linked: if the answer was positive, the responder should describe if it was just to change the visual or if it gave some advantage in the game. These questions helped to understand the gamer's aims when customizing.

C. Game market besides game mechanisms

The question in this section intends to understand how items sales are popular in gamers communities, establishing a parallel between the number of people that buy and sell items. To do so, the participants were questioned if they have gained money or credits in some store, by selling items that they gained inside the game.

It is known that some games promote items sales to their players and have places where the gamer can sell and buy items, creating a market besides the game market itself. It is known that parallels sales, in unofficial sites exists, but this paper does not intend to focus on it.

D. Tasks in exchange for visual customization

This question was about difficult tasks to obtains visual modifications. The query asked if the gamer has already performed difficult tasks inside the game to own items just for visual customization. This question promoted a base to understand how customizations are important to the players. It was required an answer to continue, and opened to write, although just a few participants extended their responses adding comments about it.

E. Tasks in exchange for vantages against opponents

This query was created to compare to the former and discuss if there is a big difference between the number of people that performs tough tasks just for visual and people that do it for items that would give advantages against opponents. It asked if the players had done difficult tasks in games in exchange for items that gave advantages against opponents. It was also a required question.

It is important to say that in the questionnaire this query was specifically about items, because some games give points to the players that realize difficult tasks, these points can be converted into attributes to the player character, consequently giving advantages to them. To avoid confusion or mistakes the query was specific to game items.

F. Participant opinion

The last question was opened. It asked the participant opinion about the subject (customizations in games), the questionnaire in general and served as a place to share experiences or comments. Some interesting answers will be discussed in the next section.

5 | RESULTS

A. Survey organization, data and objectives

The first question showed that the age varies among the participants. It was 81 answers, and half of them (50%) were from participants between 18 and 21 years old. Fig. 1 shows the variety of responders age and the percentage of each.

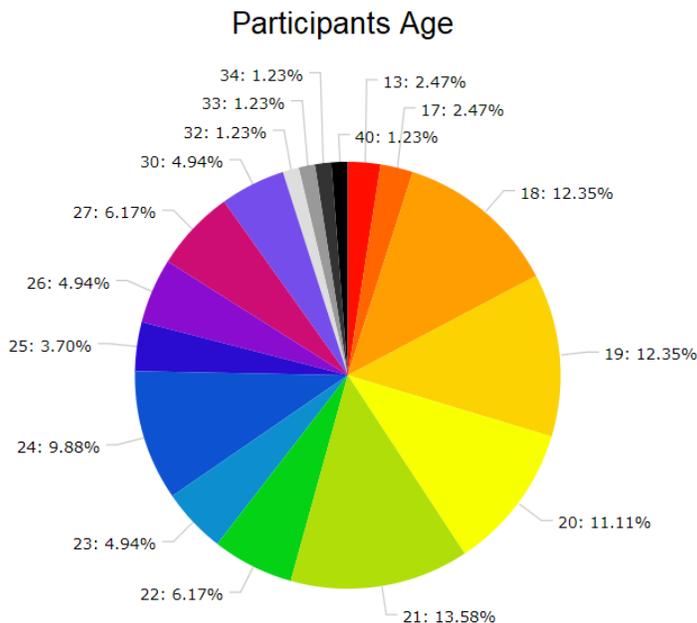


Figure 1. Survey participants age

The major part of them are undergraduate students (63), followed by 9 that are not studying (have finished the undergraduate course), 5 are in post-graduation and 3 in elementary school. 43,9% of the participants used to play more virtual games online, 40,24% offline and 15,85% both types.

Almost three-quarters of the responders declared that they have already spent money with customizations (60 people). And 18,33% of these 60 people (11 people) confirmed that it is a frequent practice. It is an expressive number considering by the total 81 participants, 13,58% usually buy customizations items using money or credit card. Its relevance is emphasized by the next question attached to the former query, where 39 of the 60 people that responded affirmatively said that they have bought customizations just for visual modifications. Fig. 2 shows the chat with this question answers.

Types of Customizations (Money)

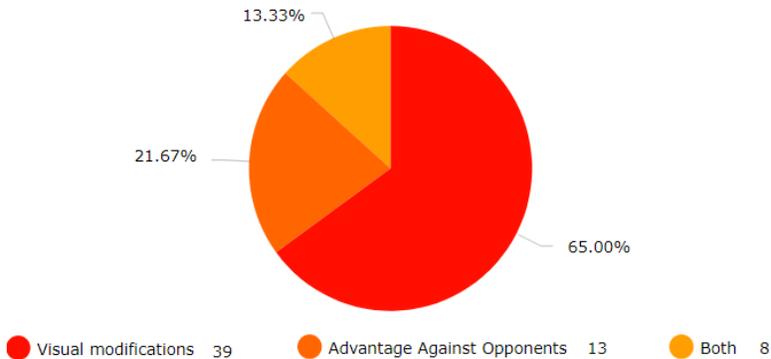


Figure 2. Types of customizations in digital games bought with money.

This chart emphasizes how the visual are important to the players, and this data set confirm through how much they enjoy different game mechanics related to customizations.

The gameplay that emphasizes players' autonomy indirectly increases enjoyment via the sense of control, it induces feelings of attachment with the game [6]. It might be linked with the satisfaction of usability: the changes in the game appearance provide satisfaction to the user. It also considers the influence of the levels of emotional system processing pointed by Norman in section III.

When the participants were asked about the use of gift cards or mobile phone credits to buy customizations, the percentage of positive answers was minor them negative (46,25%). Although it is an interesting highlight that the major of players that have already used this kind of payment (56,76%), was to buy customizations that gave advantages to them, contrasting with former answer where the preference was for visual customizations.

This query also had a higher percentage of both kinds of customizations, pointing that 24,32% of the people that have used this kind of payment to buy visual and advantages against opponents.

Fig. 3 shows it graphically.

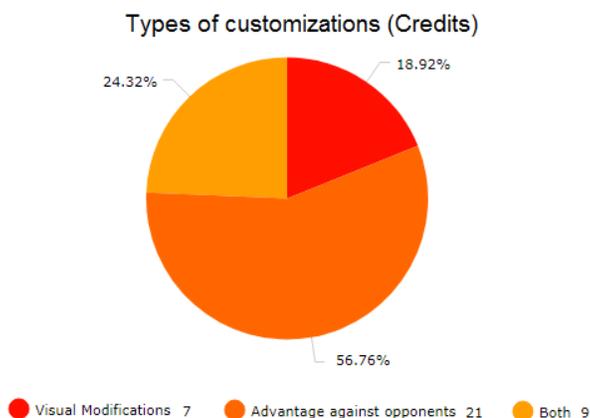


Figure 3. Types of customizations in digital games bought with credits and gift cards.

Besides, the questionnaire had revealed that, at least once, most of players have bought items for any kind of customization, but less than half of them have earned money or credits in stores by selling items (34,57%).

It demonstrates that the responders are more interested in have customizations for themselves, using in their characters and games and are less intending to earn money with it. This reinforces the hypothesis that guides this work that the games can afford interaction providing experiences by customizations.

It is important to highlight that many games sell customizations but not allows users to sell or exchange with other players; also, there are many unofficial websites for selling game items.

Another data inferred by the questionnaire is that most of the participants (85,19%) have performed difficult tasks to get visual customizations. And 90,12% have already accomplished difficult tasks for advantage items. Analyzing this data is possible to observe that the visual customization and advantages don't have much difference in importance for the responders.

The last query was opened to responders comment about experiences and opinions and some commented that visual modifications in games can be animated and used to annoy the opponents. Using other words, change the visual could be a game strategy. Other comment was about using customizations to highlight the character on screen; some games present lots of elements on screen and change the visual can help to find the gamer character.

In this section the survey results were analyzed and discussed, the following section presents the final discussions and a perspective of future researches.

6 | CONCLUDING DISCUSSION

Digital games in a physical medium are still popular, and many times embed customizations in its own game mechanics. Although it was perceived that some games are totally digital and have no need for a physical medium mediation. Some factors like broadband internet and the increase of storage capacity in video game consoles and current computers favours the games to abandon the physical media and invest other customizations possibilities.

The second part of the questionnaire was about customization market and it reveals that visual customizations in games are important to a lot of people. It was discussed in section III that customizations are possibilities to change the visual or improve the game scenario, but the game can run without customizations. It emphasizes how the game flow is related to the player power of changes in games (even if it was just visual) and the satisfaction of use.

The survey third part changed the point of view to the player as the salesperson of customizations and it was noticed that this group was more interested in buying rather than selling customizations items.

The fourth and fifth parts showed just a little difference between the number of players that have accomplished difficult tasks in order to gain visual and advantages items. The importance of visual is highlighted again and analyzing all these questions together is perceived that the visual is a strong gamer purpose.

The usability satisfaction (explained in section III) can be attached to the power of customization and the autonomy proposed to the player.

The access to digital platforms such as smartphones, computers, tablets, e-readers and others approaches us and make digital worlds more familiar [5]. Games have been created for too many digital platforms, and this also reinforces own attachment with digital images in untouchable but compliant media. This work indicates that customizations can afford user experience and game flow increasingly the user satisfaction in digital games.

A. Future Research

This research showed an increasingly potential for discussion. During it further questions appeared, and it will be explored in future researches. The survey used here does not specified any game genre or title, it turned the analyses more difficult, however showed that this is an interesting research subject.

Another item to be better evaluated in upcoming papers is how much games spent on average with customizations, distinguish by visual and advantages customization also considering the payment form. This survey indicates that people that bought customizations using money preferred visual customizations, and who bought using credits, preferred advantages customizations. It is a topic to be explored more deeply in further works.

In the game market lots of modifications and DLCs appears every day, it would be

interesting to quantifying how much games allows users to buy customizations, what kind of customizations and how much of the games allow users to sell them. Another issue that will be approached in the future works is about selling platforms, gambling on e-sports and how these platforms work.

This paper indicates that games customization can afford interaction providing experiences beyond its mechanics and design. Game designers and producers are investing in a market for customizations and microtransactions together with game experience.

When players invest in parallel customizations, they are investing in experience, in making the game closer to their personal preferences. Looking through this is possible to see the transition of some game designs, from physical dependence to emphasize the product experience. The user is enjoying it and investing (financially) on his own flow by his own preferences.

REFERENCES

- [1] E. Boyle, T. Connolly, T. Hainey, J. Boyle. **“Engagement in digital entertainment games: A systematic review,”** Computers in Human Behavior, vol 28, issue 3, May 2012, pp.781-780, doi:10.1016/j.chb.2011.11.020.
- [2] H. Jenkins. **“Games, the new lively art,”** in Handbook of Computer Game Studies, J. Raessens and J. Goldstein, Eds. Cambridge, MA: MIT press, 2005, pp. 175-192.
- [3] K. Salen, E. Zimmerman. **Regras do Jogo: Fundamentos do design do jogos.** vol.1. São Paulo, SP: Blucher , 2012.
- [4] V. Valente. **Desenvolvimento da Visão Espacial por Games Digitais.** Curitiba, PR: Appris, 2018.
- [5] P. P. Sampedro, G. V. Silva, N. B. Grassi, I. Moschin, V. C. P. N. Valente, **“Representação Espacial no Universo dos Jogos Digitais,”** in: Meios e Inovação, Design e Ecossistema Fotográfico, F. Irigaray, D. Rossi, V. Valente, D. Renó, Eds. Rosário: UNR Editora, 2018, pp. 72-82.
- [6] K. Keunyeong et al. **Is it a Sense of Autonomy, Control, or Attachment? Exploring the Effects of In-game Customization on Game Enjoyment,** Computers in Human Behavior, vol. 48, Jul. 2015, pp. 695-705, doi: doi.org/10.1016/j.chb.2015.02.011.
- [7] S. Marathe, S. Sundar. **What Drives Customization? Control Or Identity?,** Proc. SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems, May. 2011, pp. 781-790, doi: 10.1145/1978942.1979056.
- [8] M. Schmierbach, A. Limperos, J. Woolley. **Feeling the Need for (Personalized) Speed: How Natural Controls and Customization Contribute to Enjoyment of a Racing Game Through Enhanced Immersion,** Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, vol 15, n. 7, Jun. 2012, pp. 364-369, doi: 10.1089/cyber.2012.0025.
- [9] A. Klock, M. Pimenta, I. Gasparini. **A Systematic Mapping of the Customization of Game Elements in Gamified Systems,** Proc. of XVII SBGames (SBGames 2018), SBC, Oct/Nov. 2018, pp. 11-18, ISSN: 2179-2259.

- [10] V. Ferreira, T. Silva. **O impacto da customização funcional e estética na experiência de jogos de ARPG**, Proc. of XV SBGames (SBGames 2016), SBC, Sep. 2016, pp. 513-521, ISSN: 2179-2259.
- [11] J. Huizinga. **Homo Ludens: O jogo como elemento da cultura**. São Paulo, SP: Perspectiva, 2014.
- [12] M. Csikszentmihalyi. **Flow: The Psychology of Optimal Experience**. New York, NY: HarperPerennial, 1991.
- [13] J Juul. **Half-Real: Video Games Between Real Rules and Fictional Worlds**. Cambridge, MA: MIT press, 2011.
- [14] D. Norman. **Design Emocional: Por Que Adoramos (ou Detestamos) os Objetos do Dia-a-dia**. Rio de Janeiro, RJ: Rocco, 2008.
- [15] J. Schell. **The Art of Game Design: A Book of Lenses**. Burlington, MA: Elsevier, 2008.
- [16] E. Zitkus, C. Libanio. **User Experience of Brazilian Public Healthcare System: A case study on the accessibility of the information provided**, The Design Journal, vol. 22, May. 2019, pp. 707-721, doi: 10.1080/14606925.2019.1595449.
- [17] K. Krippendorff. **Design Centrado no Ser Humano: Uma Necessidade Cultural**, Estudos em Design, v.8, n. 3, pp.87-98, Sep. 2000.
- [18] J. Nielsen. **Usability Engineering**. Burlington, MA: Morgan Kaufmann, 1993.
- [19] V. Flusser. **O Mundo Codificado**. São Paulo, SP: Cosacnaify, 2013.
- [20] R. Lizardi. **DLC: Perpetual commodification of the video game**, Democratic Communiqué, vol. 25, n. 1, pp. 33-45, Spring 2012.
- [21] V. Lehdonvirta. **Virtual Item Sales as a Revenue Model: Identifying Attributes that Drive Purchase Decisions**, Springer, Electronic Commerce Research, vol. 9, Jun. 2009, pp. 97–113, doi: 10.1007/s10660-009-9028-2.
- [22] E. Evers, N. Ven, D. Weeda. **The hidden cost of microtransactions: Buying in-game advantages in online games decreases a player's status**, International Journal of Internet Science, vol. 10, n. 1 Oct. 2015, pp. 20-36, ISSN 1662-5544.

O USO DA AUTOMAÇÃO DIGITAL PARA AGILIZAR PROCESSOS E SUPRIMIR ERROS NA EXECUÇÃO DE ROTINAS

Data de aceite: 02/01/2023

Geovane Griesang

<http://lattes.cnpq.br/5222554903888845>

Pedro Henrique Giehl

<http://lattes.cnpq.br/4071881794953897>

Mateus Roberto Algayer

<http://lattes.cnpq.br/4114004855972048>

RESUMO: Automatizar e, por consequência, trocar tarefas manuais por um *software* é imprescindível na sociedade atual. Diversas atividades que são executadas no dia a dia podem ser automatizadas a fim de reduzir esforço, tempo e falhas humanas por exaustão do trabalho repetitivo. Identificar e corrigir essas falhas são funções que um sistema automatizado realiza com intuito de maximizar os resultados. Sabe-se que desde o período da Revolução Industrial (séculos XVIII e XIX), o trabalho manual vem sendo substituído por máquinas e programas automatizados, a fim de agilizar e melhorar os processos, principalmente pelo uso de novas tecnologias. Neste contexto, o IFIntegra tem por objetivo integrar a biblioteca digital de artigos IFPublica e a Plataforma Digital de Inscrição, Administração de Projetos e

Integração de Ambientes (PDIAPIA), por meio de adaptações nos dois projetos, para impedir erros humanos e automatizar o processo de cadastro de artigos do PDIAPIA na base de dados do IFPublica. Com o desenvolvimento do presente *software* através de um *web service* desenvolvido com a linguagem de programação PHP e um *software* cliente desenvolvido com a linguagem de programação JavaScript, tornou-se possível a automação da tarefa com a qualidade e eficiência esperadas.

PALAVRAS-CHAVE: Agilização de processos; inserção automática; layout de inclusão facilitada; interligação de programas.

ABSTRACT: Automating and consequently exchanging manual tasks for *software* is indispensable in today's society. Several activities that are performed on a daily basis can be automated in order to reduce effort, time, and human failures by exhaustion of repetitive work. Identifying and correcting these failures are functions that an automated system performs in order to maximize results. It is known that since the period of the Industrial Revolution (18th and 19th centuries), manual work has been replaced by machines and automated

programs, in order to speed up and improve processes, mainly through the use of new technologies. In this context, IFIntegra aims to integrate the digital article library IFPublica and the Plataforma Digital de Inscrição, Administração de Projetos e Integração de Ambientes (PDIAPIA, in english: Digital Projects Registration, Administration and Ambient-Integration Platform), through adaptations in both projects, to prevent human errors and automate the process of registration of PDIAPIA articles in the IFPublica database. With the development of the present *software* through a PHP web service and a JavaScript client, it became possible to automate the task with the expected quality and efficiency.

KEYWORDS: Streamlining of processes; automatic insertion; easy inclusion layout; program interconnection.

INTRODUÇÃO

O PDIAPIA é uma plataforma para inscrição, administração de projetos e integração de ambientes que, por sua vez, foi usada para inclusão de projetos em mostras de trabalhos em um câmpus do IFSul. Entretanto, o PDIAPIA foi desenvolvido para permitir que outros câmpus também pudessem usá-lo em suas feiras locais. Esse projeto iniciou no ano de 2016 e continua sendo usado para cadastro de novos projetos. É importante destacar que, esse sistema está disponível para acesso on-line e vem sendo aperfeiçoado constantemente.

Além de permitir a inclusão de projetos, o PDIAPIA permite a seleção dos mesmos (aprovação ou reprovação), assim como, possibilita a marcação de presença dos estudantes e coordenadores. Com a presença assinalada, o usuário pode gerar e emitir seu certificado de participação por meio deste *software*. Além da presença, pode-se emitir outros certificados, como por exemplo, orientação de projetos, premiação, participação em eventos ocorridos durante a mostra de trabalhos (oficinas, semana acadêmica, seminários, entre outros).

Já o projeto IFPublica, foi implementado para atuar como uma biblioteca digital, através da divulgação de produções técnicas e científicas. Desta forma, as pessoas interessadas nesse acervo podem acessar a ferramenta para buscar os documentos de forma *on-line*, já que os mesmos estariam disponíveis em domínio público. Isso permite ampliar a divulgação dos projetos apresentados em uma mostra de trabalhos (ou feira de ciências). Sendo assim, além de evitar que os trabalhos fiquem sem registro (esquecidos), a ferramenta pode impedir que projetos iguais ou muito semelhantes sejam desenvolvidos.

Atualmente, para atualizar a base de dados, inserções manuais e técnicas, através de comandos SQL (linguagem de manipulação de banco de dados), são necessárias, exigindo que o usuário tenha conhecimentos da linguagem e da base de dados. Essa operação manual e repetitiva, pode fazer com que a pessoa responsável insira uma informação incorreta ou incompleta. Para resolver parcialmente esse problema, criou-se uma tela para exportar essas informações, evitando que o administrador precise de conhecimentos em SQL e levando todos os dados no formato correto para a base destino no IFPublica.

Neste contexto, o processo de automatização (integração) se torna interessante e de fundamental importância, uma vez que, os dados dos projetos cadastrados no PDIAPIA deveriam ser enviados para o IFPublica. Desta forma, a biblioteca virtual seria atualizada constantemente, de forma automática, para otimizar tempo e impedir erros. Além disso, o processo de integração permite que os desenvolvedores do IFPublica possam focar em outras atividades de aperfeiçoamento da ferramenta, evitando desperdício de tempo por conta das inserções manuais.

Assim, pode-se concluir que através do IFIntegra, as plataformas PDIAPIA e IFPublica podem se tornar mais eficientes e atrativas, justamente por estarem atualizadas e integradas.

FUNDAMENTAÇÃO E METODOLOGIAS UTILIZADAS

Iniciada na Inglaterra no século XVIII, a Revolução Industrial surgiu com o intuito de substituir a técnica de manufatura utilizada até então por processos de automatização dentro das indústrias (FERREIRA, 2001). A automatização desses processos livra o homem do trabalho repetitivo e permite que ele foque seus esforços em outras atividades, fazendo-o ganhar tempo e diminuindo a incidência de falhas no que ele está produzindo.

E, desde então, estamos cada vez mais familiarizados com sistemas automatizados, os quais foram criados para facilitar nossas vidas, exigindo apenas que sejam controlados, mantidos, reparados, supervisionados e programados por um humano (VILELA et. Al, 2003).

Desta forma, a integração das plataformas PDIAPIA e IFPublica se torna importante, pois evita o trabalho repetitivo e demorado, assim como, impede que erros sejam cometidos por meio de um trabalho demasiadamente manual e técnico. Em virtude disso, o projeto proposto, denominado IFIntegra, visa integrar ambas plataformas, através de envio automatizado de dados do PDIAPIA ao IFPublica. Neste contexto, faz-se necessário o estudo e compreensão das tecnologias empregadas no desenvolvimento de ambos projetos.

O PDIAPIA foi desenvolvido com o uso de várias tecnologias, como por exemplo: MongoDB, Express, AngularJS, e Node.js. Essas ferramentas são baseadas na linguagem de programação JavaScript, amplamente utilizada para a definição do comportamento e interfaces de páginas da internet. O MongoDB é utilizado como sistema para a base de dados, onde são armazenadas as informações oriundas do usuário durante o uso da plataforma. O MongoDB guarda as informações no formato de BSONs, os quais são JSONs em formato binário. Os dados são armazenados dessa forma para facilitar o transporte entre aplicações e simplificar o uso em outras partes da mesma plataforma, visto que JSON é o formato que o JavaScript armazena dados, a interação com outras ferramentas baseadas nesta mesma linguagem é facilitada.

Outra ferramenta utilizada é o Node.js que permite o desenvolvimento de *Web servers* (servidores web) e é utilizado como a programação da plataforma propriamente dita quando o mesmo é utilizado. Express é utilizado para facilitar a comunicação do banco de dados com o servidor *web* desenvolvido, uma vez que é um *framework* para aplicações *web*. Por fim, o AngularJS é um *framework* utilizado para a parte de uma plataforma que é apresentada ao usuário final, definindo este como um *framework* para *front-end*, ou seja, visível ao usuário final (HOLMES, 2013).

O IFPublica também faz uso da linguagem de programação JavaScript para o desenvolvimento de suas páginas *web*. No entanto, esse projeto também foi desenvolvido com outras tecnologias, como por exemplo: HTML, CSS, MariaDB e PHP.

É importante destacar que HTML (Hypertext Markup Language) e CSS (Cascading Style Sheets) são duas tecnologias desenvolvidas para construção de páginas *web*. HTML fornece a estrutura da página, e o CSS fornece o layout visual e auditivo da página, para uma variedade de dispositivos. Juntamente com gráficos e *scripts* (sequência de passos ou comandos interpretados por um sistema), HTML e CSS são a base da construção de páginas e aplicações *web* (W3C, 2018).

Já o PHP (PHP Hypertext Preprocessor) é uma linguagem de *script*, cujo código é aberto (*open source*) e de uso geral, muito utilizada, e especialmente adequada para o desenvolvimento *web* e que pode ser embutida dentro do HTML, auxiliando na construção da página (DOCUMENTAÇÃO PHP, 2018). Em conjunto com essas ferramentas, foi usado o MariaDB, um *fork* (derivação) do MySQL, *open source* e gratuito (MARIADB DOCUMENTATION, 2018) que atua como banco de dados, armazenando todas as informações de projetos da plataforma IFPublica. Portanto, o estudo e compreensão dessas tecnologias é de fundamental importância para o desenvolvimento do IFIntegra (integração dos dados do PDIAPIA e IFPublica).

Com o desenvolvimento parcial do IFIntegra realizado em 2018, se adotaram também como tecnologias um *software web service* implementado no IFPublica, um *software* cliente para a integração do PDIAPIA com o *web service* do IFPublica, além de páginas em PHP para auxiliar no uso do *web service* e o uso do sistema operacional Ubuntu Server para testes dos *softwares* desenvolvidos, já que ambos, PDIAPIA e IFPublica são executados neste tipo de sistema operacional.

Quanto a metodologia empregada, foram realizadas várias etapas para organizar os objetivos a serem cumpridos, por conta disto em uma primeira etapa se fez necessário analisar a situação atual da plataforma PDIAPIA (Plataforma Digital de Inscrição, Administração de Projetos e Integração de ambientes), do banco de dados da biblioteca digital de artigos IFPublica. Em seguida, foi essencial uma etapa de pesquisa, para melhor compreender as ferramentas utilizadas no desenvolvimento de ambas plataformas. Sendo assim, precisa-se aprender e aprimorar os conhecimentos sobre MongoDB, Express, AngularJS, Node.js, JavaScript, PHP, HTML, CSS, MariaDB e avaliar outras possíveis

tecnologias que poderiam ter sido empregadas na implementação de ambos os sistemas.

Além dos estudos acima, também se fez necessário pesquisar novas tecnologias a serem empregadas no desenvolvimento da plataforma de integração (IFIntegra), considerando a compatibilidade entre essas ferramentas. Isso permitiu a implementação de protótipos para determinar, em conjunto, qual tecnologia deveria ser empregada nessa nova ferramenta. Essa etapa permitiu que testes fossem realizados para determinar as ferramentas a serem utilizadas, considerando aspectos visuais e de implementação.

Com o início da etapa de desenvolvimento, foram criadas as telas de cadastro para a inserção manual das informações. Assim evitando que a biblioteca virtual fosse alimentada diretamente por comandos SQL e impedindo que algumas informações inválidas fossem inseridas, assim como, permitindo que possíveis ajustes nos dados fossem realizados. Aspectos de responsividade foram observados nesse momento, visando uma boa visualização, independente do dispositivo e sistema operacional utilizado pelo usuário final.

Em paralelo, iniciou-se o desenvolvimento da integração entre as plataformas. Desta forma, os conceitos estudados foram aplicados para permitir a automatização entre as ferramentas. Sabe-se que essa etapa é fundamental, pois determinou o sucesso da aplicação. Portanto, essa fase demandou mais tempo e atenção.

Juntamente com a etapa de desenvolvimento, fez-se necessário uma permanente etapa de testes, onde o funcionamento do sistema é averiguado constantemente. Com o objetivo de evitar que os desenvolvedores testem apenas aquilo que eles implementaram, é importante que o responsável pelo desenvolvimento das telas de cadastro verifique o correto funcionamento da integração e vice-versa.

Encerrando o desenvolvimento, é preciso focar na alimentação da ferramenta, ou seja, fazer com que as informações disponíveis na plataforma PDIAPIA sejam enviadas para a biblioteca digital de artigos IFPublica. Neste momento, outra fase de testes é essencial, para averiguar se as informações foram corretamente integradas. Um mau funcionamento nessa etapa pode ocasionar retrabalho nas etapas de desenvolvimento.

Outro ponto crucial é a documentação do sistema, no qual as alterações de estrutura das tabelas devem ser alteradas na documentação existente, assim como, as novas funcionalidades também precisam ser devidamente documentadas para facilitar um futuro aprimoramento e compreensão dos sistemas. O registro dessas informações é essencial antes do desenvolvimento para determinar o que será alterado, assim como, durante e após a implementação, para informar o que foi realizado durante o processo de integração.

RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após pesquisas e estudos sobre tecnologias de integração entre plataformas e *softwares*, determinou-se que seria mais sensato o desenvolvimento de um *software web service* para realizar a transferência dos dados do PDIAPIA para o IFPublica.

Um *web service* é um *software* desenvolvido com o objetivo de integrar sistemas desenvolvidos com tecnologias distintas, ou seja, que não se comunicam nativamente. Ele opera através da *web*, utilizando o protocolo *HTTP* para estabelecer a comunicação com o software cliente que irá consumir o *web service*. O *web service* foi desenvolvido para operar em conjunto com o IFPublica, sendo este, construído utilizando as mesmas tecnologias da plataforma. Enquanto, o *software* cliente foi construído com as mesmas tecnologias do PDIAPIA, para operar em conjunto com ele.

Nesse sentido, o *web service* e o *software* cliente desempenham uma espécie de ponte entre as duas plataformas, se comunicando através de arquivos *JSONs*, arquivos esses que ambas as tecnologias compreendem, tornando a comunicação viável apesar das discrepâncias entre as tecnologias empregadas no desenvolvimento das duas plataformas.

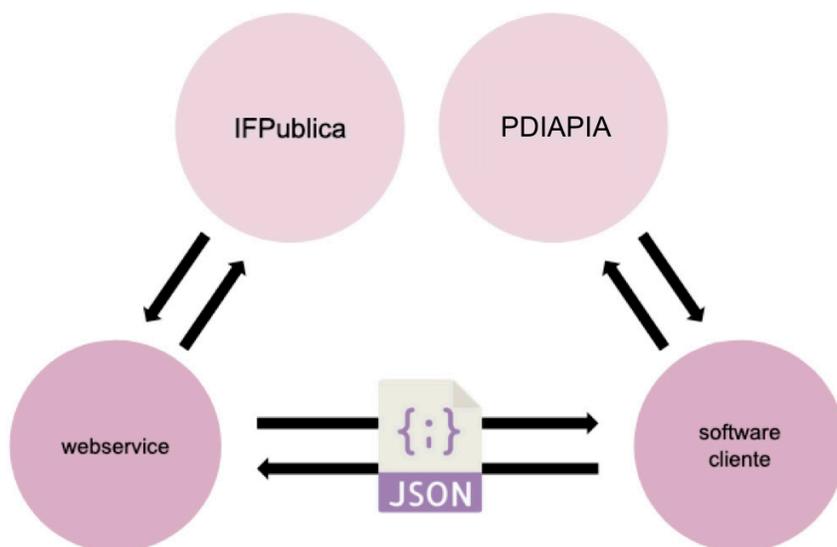


Figura 1 – Diagrama de funcionamento do integrador.

Fonte: Os autores.

A metodologia de integração utilizando de um *web service* possibilita também o desenvolvimento de novas integrações com outras plataformas de registro de produções pedagógicas. Pois, por o *web service* e o *software* cliente não serem um *software* único, mas dois distintos que apenas estabelecem comunicação entre si, operando de forma independente, possibilitam que outras plataformas apenas desenvolvam um *software* cliente para a mesma e que o adeque aos padrões de comunicação do *web service* e, assim, a comunicação e integração dos dados funcionarão de forma correta e automatizada, tornando a integração com novas plataformas mais fácil, rápida e sem erros.

Com o desenvolvimento de um protótipo do *web service* e do *software* cliente, pode-

se observar que a integração dos dados entre o PDIAPIA e o IFPublica funciona de forma correta e rápida como o esperado, diferente do processo de inserção manual realizado até então, que levava dias para ser concluída, esse processo de integração leva segundos para ser concluído e possui taxa de erros muito baixa em relação ao método anterior.

Porém, apesar do método ser extremamente confiável e errar com pouca frequência, como medida de precaução desenvolveu-se em paralelo ao integrador, uma página *web*, usando as mesmas tecnologias do IFPublica, que possibilita a inserção manual dos dados na biblioteca digital de forma mais intuitiva que a realizada anteriormente, para que seja usada em casos nos quais o integrador automatizado não for capaz de cumprir seu papel, funcionando como contingência para casos específicos até que seja tratado o problema que fez necessário seu uso.

REFERÊNCIAS

DOCUMENTAÇÃO PHP. **Manual do PHP**. Disponível em: <https://www.php.net/manual/pt_BR/>. Acesso em: 4 de setembro de 2022.

FERREIRA, Ed'Wilson T. (2001). **Segurança de Redes de Computadores em Ambiente Industrial**. Universidade Federal de Uberlândia UFU, Uberlândia – MG.

HOLMES, Simon. **Getting MEAN with Mongo, Express, Angular, and Node**. 2. ed.: Manning Publications, 2013.

MARIADB DOCUMENTATION. **MariaDB Documentation**. Disponível em: <<https://mariadb.com/kb/en/documentation/>>. Acesso em: 4 de setembro de 2022.

VILELA, Paulo S. da C., et. Al. (2003). Automação Industrial. In: **Redes para Automação Industrial**, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal - RN.

W3C. **HTML & CSS**. Disponível em: <www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss.html>. Acesso em: 4 de setembro de 2022.

HOSPITAL INTELIGENTE: UMA SIMULAÇÃO DE MONITORAMENTO DE PACIENTES UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS

Data de aceite: 02/01/2023

Júlia Borges Santos

Instituto Federal do Espírito Santo
Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil

Vinicius da Rocha Motta

Instituto Federal do Espírito Santo
Vitória, ES, Brasil

Saymon Castro de Souza

Instituto Federal do Espírito Santo
Vitória, ES, Brasil

Ciro Xavier Maretto

Instituto Federal do Espírito Santo
Cariacica, ES

RESUMO: A concepção de hospitais inteligentes no contexto de monitoramento de saúde, dada a especificidade e a heterogeneidade dos dispositivos, requer um investimento elevado no que diz respeito a aquisição, programação e manutenção dessas tecnologias, o que pode não ser prático durante a fase inicial de implementação no cenário supracitado. Dessa forma, este trabalho propõe o desenvolvimento de estudos de caso no contexto de hospitais inteligentes, integrando dispositivos IoT virtuais, com objetivo de evidenciar o potencial que a

adoção dessa integração possui no âmbito de propiciar a construção de protótipos e de compor quadros com informações que podem subsidiar a tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Hospital inteligente; Internet das Coisas; IoT; Virtual Things; Web of Things.

INTRODUÇÃO

A aplicação da Internet das Coisas no ambiente hospitalar e no monitoramento remoto de pacientes tem se tornado cada vez mais uma tendência em todo o mundo, tendo como principais benefícios almejados a melhora na qualidade de vida de pacientes com doenças crônicas, suportar a melhoria da assertividade nos diagnósticos e reduzir os custos com saúde são metas perseguidas pelos sistemas de saúde em todo mundo (SAID *et al.*, 2021; KWON, H. *et al.*, 2022, YU *et al.*, 2012). Segundo (Cabra *et al.*, 2017), o campo da saúde pode ser um dos mais favoráveis para integrar tecnologias de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT). Os avanços promissores dos sensores,

atuadores e tecnologias de comunicação presentes nos dispositivos inteligentes para monitoramento remoto de saúde, permitem aos hospitais aprimorar a gerência operacional e auxiliar no processo de tomada de decisão. Sendo assim, a quantidade de cenários referentes aos serviços de cuidados à saúde é enorme, possibilitando o desenvolvimento de diversos potenciais aplicações que fazem uso das tecnologias de IoT, tornando cada vez mais eficiente o tratamento e prevenção de doenças.

Contudo, o volume e diversidade de dados comumente presente neste tipo de ambiente requer um esforço considerável no sentido de buscar soluções que sejam capazes de transformar dados coletados em informações de mais alto nível, com intuito de facilitar o processo de tomada de decisão. Apesar do enorme potencial, a criação de protótipos no contexto de monitoramento de saúde, dada a especificidade e a heterogeneidade dos dispositivos, requer um investimento elevado, o que pode não ser prático durante a fase inicial do projeto, em função de restrições econômicas e operacionais, especialmente quando a confiabilidade e a utilidade da proposta em consideração ainda necessitam de uma melhor avaliação. Além disso, a criação de experimentos confiáveis e reproduzíveis envolvendo hardware real pode ser um desafio e muitas vezes requer experiência específica e conhecimento do domínio (PAPADOPOULOS *et al.*, 2013). Em (Souza, *et al.*, 2020) é proposto um ambiente capaz de realizar a geração de dispositivos IoT virtuais, em conformidade com o padrão da W3C, Web of Things - WoT (KAEBISCH S., 2022), com capacidade de adaptação aos mais variados domínios de aplicação, viabilizando assim, o desenvolvimento de provas de conceito que evidenciem sua relevância no cenário proposto.

Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de estudos de caso, no contexto hospitalar, integrando tecnologias de IoT, com objetivo de coletar dados de dispositivos e realizar o processo de transformação em informações de mais alto nível a fim de subsidiar a tomada de decisão, seja ela no âmbito operacional sobre questões orçamentárias e desenvolvimento de projetos de ação dentro da rede de saúde, ou nas resoluções de intervenções médicas em pacientes. Foram realizados quatro estudos de caso para evidenciar a solução proposta, todos eles, exceto o sensor de temperatura, foi considerado um intervalo de 24 horas de geração de dados para a amostragem dos dados, sendo esses: um relógio para monitorar batimentos cardíacos de um paciente no intervalo de 24 horas; um glicosímetro para monitorar os níveis de glicose de um paciente no intervalo de 24 horas; um respirador para monitorar os níveis de saturação de oxigênio de um paciente internado com COVID-19 no intervalo de 24 horas; e, por fim, um sensor que monitora a temperatura de uma sala que comporta hemocomponentes.

METODOLOGIA

Para que o referido trabalho fosse realizado, o processo de construção do produto final contou com as seguintes etapas de desenvolvimento: i - levantamento dos requisitos

- compor um conjunto de requisitos funcionais dos dispositivos de Internet das Coisas para que os sensores sejam configurados de acordo com a demanda solicitada do ambiente; ii - projeto - realizado com o objetivo de identificar as melhores ferramentas que se encaixam na resolução do desafio proposto; iii - implementação - a solução foi codificado com a linguagem Python, adotando solução de containers para separação dos ambientes. Para a manipulação e visualização dos dados através da criação de dashboards interativos, utilizou-se a ferramenta Power B.I e, por fim; iv - teste e avaliação - nessa etapa os dispositivos IoT virtuais foram gerados para permitir simulação e captura dos dados para então serem avaliados em relação a conformidade com o ambiente de hospital inteligente.

RESULTADOS

A figura 1 apresenta a solução proposta no contexto de hospitais inteligentes. Foram considerados três tipos de pacientes: um paciente que possui 50 anos e doença cardiovascular; um paciente de 38 anos e portador de Diabetes Mellitus; um paciente de 35 anos internado pela COVID-19. Além dos pacientes, também foi considerado um ambiente refrigerado que possui hemocomponentes para serem conservados.

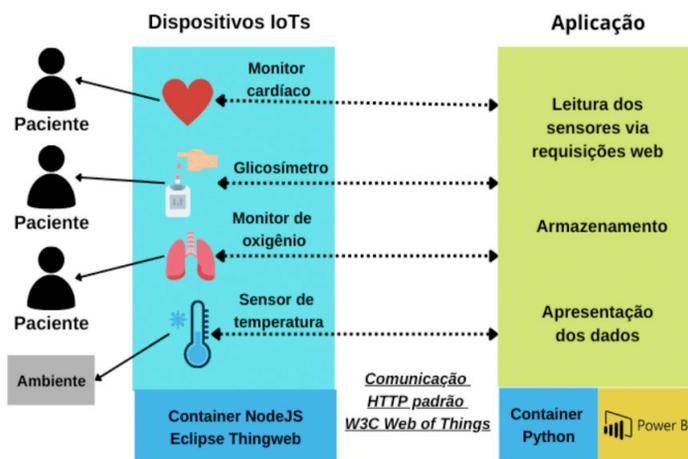


Figura 1 - Visão geral da arquitetura implementada.

Fonte: o autor.

O objetivo foi estruturar os estudos de caso supracitados simulando o monitoramento por meio de dispositivos IoT virtuais acoplados nesses pacientes e no ambiente a fim de capturar os dados gerados pelos sensores e compor um dashboard com informações de mais alto nível com intuito de auxiliar na tomada de decisão. Observa-se na figura 1 o seguinte contexto: os pacientes e o ambiente monitorado tem valores mensuráveis

capturados por diferentes dispositivos IoT virtuais gerados pelo ambiente proposto, tais dispositivos estão em conformidade com o padrão W3C Web of Things (KAEBISCH S., 2022), que busca atenuar a fragmentação existente no cenário de Internet das Coisas, padronizando a forma de expor e interagir com os dispositivos IoT com objetivo de fornecer um ambiente interoperável.

Para simular o ambiente proposto, os dispositivos IoT virtualizados criados, seguem conforme a tabela 1.

| Cenário | Dispositivo IoT virtual | Sensores | Intervalo de valores e unidade de medida |
|--|-------------------------|------------------------------------|--|
| Paciente portador de Doença cardiovascular | Biossensor | Biossensor de batimentos cardíacos | 50 a 115 batimentos por minuto |
| Paciente portador de Diabetes Mellitus | Glicosímetro | Glicosímetro | 50 a 125 miligramas de glicose por decilitro de sangue |
| Paciente internado com COVID-19 | Respirador | Oxímetro | 50 a 100 SaO2 |
| Ambiente que mantém hemocomponentes | Sensor de temperatura | Sensor de temperatura | 2 a 7 graus Celsius |

Tabela 1 - Relação de dispositivos IoT virtuais gerados.

Fonte: o autor.

A regra de negócio implementada consiste em obter dados dos sensores existentes nos dispositivos IoT inteligentes virtuais (SOUZA *et. al*, 2020), acoplados aos pacientes, e a partir desses dados criar visualizações gráficas para, posteriormente, constituir os dashboards de cada dispositivo.

Em cada estudo de caso, foi configurado um dispositivo IoT virtual, com um sensor capaz de gerar um intervalo de valores de acordo com a tabela 1. O acesso a cada sensor presente nos dispositivos IoT virtuais é feito por meio de requisições utilizando método GET do protocolo HTTP, os dados de cada dispositivo são obtidos e armazenados em uma estrutura de dados.

Utilizando a ferramenta Microsoft Power BI foi possível conectar-se aos dados dos sensores por meio de um algoritmo Python na qual o próprio software aceita como fonte de dados e, a partir disso, foi concebida às visões gráficas dos dados consolidadas em diferentes dashboards seguindo as informações da Tabela 1.

Conforme Tabela 1 foram considerados quatro dispositivos inteligentes: um relógio para monitorar batimentos cardíacos de um paciente em 24 horas; um glicosímetro para monitorar os níveis de glicose de um paciente em 24 horas; um respirador para monitorar os níveis de saturação de oxigênio de um paciente internado com COVID-19 durante o intervalo de 24 horas; e, por fim, um sensor de temperatura que monitora a temperatura de uma sala que comporta hemocomponentes.

O biossensor vestível de batimentos cardíacos foi configurado para gerar 24 dados do paciente no decorrer de 24 horas. Os valores foram configurados para variarem entre 50 e 115 batimentos por minuto. Além disso, também foi criada uma classificação para os valores gerados, onde às faixas denominam-se: “Abaixo de 60 BPM”, “Entre 60 e 80 BPM”, “Entre 81 e 100 BPM” e “Acima de 100 BPM”. Após armazenar os dados em um dicionário intitulado df, através do script do Python presente na ferramenta de análise de dados Power BI, foi possível construir um dashboard para os dados gerados pelo código em questão. O mesmo método foi utilizado para os demais sensores que serão listados posteriormente.

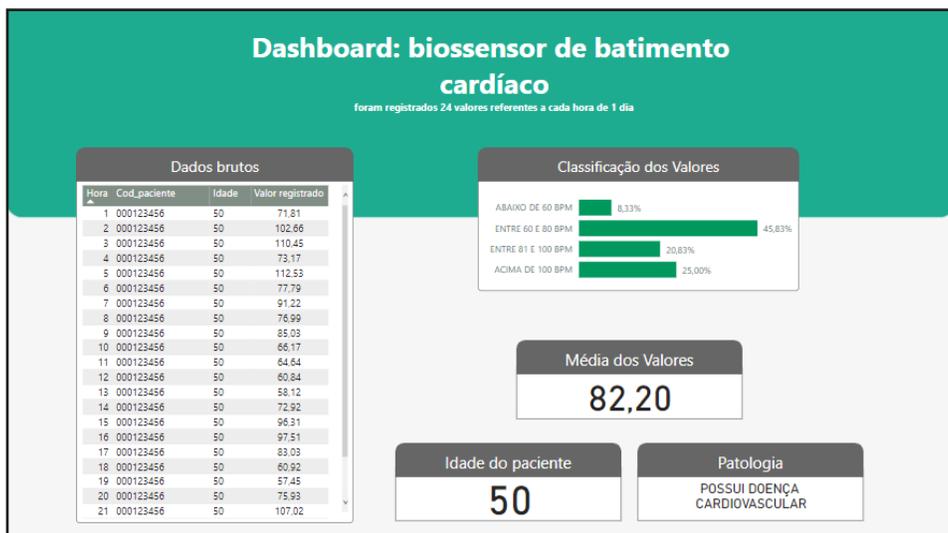


Figura 2 - Dashboard biossensor de batimento cardíaco.

Fonte: o autor.

O glicosímetro simulado foi acoplado em um paciente, que é portador da doença Diabetes Mellitus, e possui seus valores variando entre 50 e 125. Os dados registrados eram classificados como anormais caso se apresentassem entre 100 e 125.

O respirador gerado está presente num cenário de monitoramento de um paciente de 35 anos internado com COVID-19. Os valores, que foram configurados para variar entre 50 e 100, foram registrados de 1 em 1 hora, totalizando 24 valores no decorrer do tempo de coleta. Valores anormais foram considerados quando ocorriam entre 70 e 80.

O sensor de temperatura foi gerado para estar presente em um ambiente onde há hemocomponentes que precisam de monitoramento de temperatura para que não haja possíveis alterações do estado de normalidade, resultando em modificação dos materiais que estão sendo conservados. Os 100 valores resultantes variaram entre 2 e 7 graus. Valores anormais foram considerados quando se apresentavam entre 5 e 6 graus, ou seja, o ambiente estava aquecendo por alguma razão desconhecida.

Ao contrário dos demais sensores, o código do sensor de temperatura possui um marcador de tempo real, registrando dados em um intervalo de 0.5 segundos, que foi empregado para se aproximar ainda mais da realidade de um espaço que é monitorado por esse tipo de sensor.

Mediante ao cenário criado, foi possível desenvolver um dashboard para cada sensor, viabilizando a demonstração do hospital inteligente e tornando o protótipo capaz de simular um ambiente de cuidado à saúde na qual é capaz de monitorar seus pacientes de maneira remota e em tempo real por meio de padrões abertos de comunicação.

DISCUSSÃO

Através do uso de dispositivos IoT virtuais, que a partir de requisições retorna valores aleatórios dentro de um intervalo previamente descrito de acordo com o sensor configurado, foi possível produzir de forma satisfatória uma demonstração de como dispositivos inteligentes voltados para a área de saúde funcionam, ou seja, possibilitando o teste do comportamento de todo o sistema dos hospitais que fazem esse tipo de monitoramento, e, ao mesmo tempo, não sendo necessário investimentos financeiros para a execução da ideia.

Todavia, os dispositivos virtuais gerados possuem uma aleatoriedade considerável em relação aos dados simulados, o que torna a análise de dados pouco verossímil, não representando de fato um comportamento real, haja vista que os dados possuem oscilações bruscas em curtos espaços de tempo, dessa forma, não sendo jus a realidade. Apesar disso, os dados gerados ainda sim são suficientes para simular a realidade dentro de um hospital inteligente bem como às possíveis tomadas de decisões que se pode ter através da visualização das informações processadas através dos valores.

CONCLUSÃO

Através da revisão literária acerca dos padrões instituídos pela organização W3C e com a demonstração dos sensores utilizando Python integrado ao Power BI, foi possível analisar a importância dos hospitais incorporarem tecnologias para melhor cuidar de seus pacientes, ressaltar o quão inovadora e útil a Internet das Coisas pode ser dentro desse tipo de ambiente e exemplificar o funcionamento de um hospital inteligente que monitora remotamente amostras de seus pacientes.

É válido ressaltar que a solução proposta necessita de aprimoramento em relação a veracidade dos dados, haja vista que para que os dashboards se aproximem da realidade e que de fato possam ser utilizados para tomadas de decisões, a configuração dos valores resultantes da leitura dos dispositivos virtuais deve ser feita para que a simulação resulte em um cenário bem similar ao que pode ser visto em pacientes descritos anteriormente, tal qual com o ambiente refrigerado. Ademais, dentro do contexto de dados e pensando em

um contexto na qual os dados sejam gerados massivamente e à todo instante, é necessário estudar novas ferramentas para armazenamento e gerenciamento dos dados, como por exemplo, os serviços em nuvem, que viabilizam a estocagem dos dados, ao mesmo tempo que permite que eles possam ser acessados independentemente da região e do momento.

Acredita-se que através do desenvolvimento das etapas supracitadas, torna-se cada vez mais promissor a adoção da Internet das Coisas nas redes de saúde, resultando numa assistência ainda maior no tratamento e prevenção de doenças de pessoas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo - FAPES (Universal - No. 03/2021) pelo financiamento deste projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

CABRA, J. et al. **An IoT Approach for Wireless Sensor Networks Applied to e-Health Environmental Monitoring**. 2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData). p. 578–583.jun. 2017.

KWON, H. et al. Review of Smart Hospital Services in Real Healthcare Environments. **Healthcare Informatics Research**, v. 28, n. 1, p. 3–15, 31 jan. 2022.

KAEBISCH S., K. T. M. M. C. V. K. M. **Web of Things (WoT) Thing Description**, dez. 2022.

PAPADOPOULOS, G. Z.; BEAUDAUX, J; GALLAIS, A.; *et al.* **Adding value to WSN simulation using the IoT-LAB experimental platform**. In: 2013 IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2013, p. 485–490, out. 2013.

SAID, A. M.; YAHYAOU, A.; ABDELLATIF, T. Efficient Anomaly Detection for Smart Hospital IoT Systems. **Sensors**, v. 21, n. 4, p. 1026, 3 fev. 2021.

SOUZA, S. C.; PEREIRA FILHO, J. G.; SALGADO, L.; PEDRUZZI, R. B. **Um ambiente de geração massiva de dispositivos Virtuais em Internet das Coisas**. In: X Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, 2020, Online. SBESC 2020 Proceedings, 2020.

YU, L.; LU, Y.; ZHU, X. Smart Hospital based on Internet of Things. **Journal of Networks**, v. 7, n. 10, p. 1654–1661, 1 out. 2012.

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO NO AMBIENTE *APP DESIGNER* DO SOFTWARE MATLAB® PARA PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA DO ROBÔ PUMA 560

Data de aceite: 02/01/2023

Eber Delgado de Souza

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Flávio Luiz Rossini

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Luiz Fernando Pinto de Oliveira

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil

RESUMO: O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um aplicativo *desktop* aplicado ao robô PUMA 560 para o planejamento de trajetória. O aplicativo foi desenvolvido no *software* Matlab® a partir da ferramenta *App Designer*. O trabalho focou na adequação das equações das cinemáticas direta e inversa e nas equações para a geração de trajetória do referido robô. Assim, o objetivo do trabalho foi o desenvolvimento do aplicativo e a utilização do Matlab® como forma de tornar o ensino da robótica menos abstrato e mais acessível aos alunos e profissionais da área. Apresentou-se a modelagem da cinemática direta do PUMA 560, a implementação da cinemática inversa no Matlab® e a geração

de trajetória através do polinômio cúbico. Os requisitos do aplicativo foram o cálculo da cinemática direta e inversa, a geração de trajetória e a representação visual do robô.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica. Puma 560. Matlab.

DEVELOPMENT OF AN APPLICATION IN THE APP DESIGNER ENVIRONMENT IN MATLAB® SOFTWARE FOR TRAJECTORY PLANNING OF THE PUMA 560 ROBOT

ABSTRACT: The present work consists of the development of a desktop application applied to the PUMA 560 robot. The application was developed in the software Matlab® from the App Designer tool. The work focused on fitting the equations for direct and inverse kinematics and the equations for the trajectory generation of the referred robot. Thus, the objective of the work was to develop the application and use Matlab® as a way to make the teaching of robotics less abstract and more accessible to students and professionals in the field. The modeling of the direct kinematics of the PUMA 560, the implementation of the inverse kinematics in Matlab® and the

trajectory generation through the cubic polynomial was presented. The requirements of the application were the calculation of direct and inverse kinematics, trajectory generation, and visual representation of the robot.

KEYWORDS: Robot. Puma 560. Matlab.

INTRODUÇÃO

O conceito que as pessoas têm do que é um robô ou o que um robô pode fazer teve grande influência de livros e filmes de ficção científica. A primeira vez que se tem o registro do uso do termo robô é de uma peça de ficção científica tcheca de 1920. Entretanto, essa tecnologia ainda não está no nível que é apresentada na ficção, mas está em constante evolução e a cada ano que passa está um passo mais perto (CORKE, 2017; CORTES, 2011).

Um robô pode ser definido como uma máquina orientada para um objetivo que pode detectar, planejar e agir. Ele capta informações do ambiente, planeja e realiza uma ação de acordo com um determinado objetivo. Essa ação pode ser o movimento de uma ferramenta de um robô manipulador ou o movimento de um carro autônomo. Neste contexto, robôs são dispositivos complexos e versáteis que envolvem diferentes áreas de estudo, tais como mecânica, elétrica, eletrônica, matemática, ciência da computação, entre outras (CORKE, 2017; JAZAR, 2007).

Os robôs são utilizados em diferentes áreas e processos tecnológicos. Nas indústrias, eles realizam trabalhos perigosos, repetitivos, monótonos ou impossíveis de serem executados por humanos. Uma vez que eles podem operar em ambientes extremos com precisão e repetibilidade. Além disso, em muitas tarefas os robôs têm desempenho superior a um humano, pois eles conseguem trabalhar ininterruptamente, aumentam a produtividade e podem ser utilizados em locais perigosos, que colocam em risco a vida de trabalhadores (CORKE, 2017).

A robótica pode ser considerada umas das áreas tecnológicas mais importantes do século. Máquinas inteligentes podem ser encontradas em diferentes lugares, carros autônomos já estão presentes no mercado, fábricas totalmente automatizadas são realidade em países desenvolvidos, robôs domésticos podem ser facilmente comprados pela internet (BULLER; GIFFORD; MILLS, 2018; CORKE, 2017).

Nos ambientes rurais os robôs estão sendo usados para automatizar as atividades agrícolas, eles contribuem para a melhora na qualidade dos alimentos e para o aumento da produção, auxiliam, deste modo, a suprir a crescente demanda por alimentos. E a cada ano novas tecnologias são criadas, e fomentam ainda mais essa ciência e auxiliam na evolução da humanidade (OLIVEIRA; SILVA; MOREIRA, 2020; OLIVEIRA et al., 2020)

Neste presente trabalho realizou-se o desenvolvimento de um aplicativo para o robô manipulador PUMA 560. Para isso foram cheçadas e adequadas as equações do robô

e, em seguida, desenvolveu-se um aplicativo com as ferramentas presentes no software Matlab®.

OBJETIVOS

Nesta seção, são apresentados os objetivos, que podem ser divididos em objetivo geral e objetivos específicos, conforme serão descritos nos itens abaixo.

Objetivo geral

Realizar um estudo sobre a cinemática de um manipulador robótico para a implementação e desenvolvimento de um aplicativo no ambiente do *software* Matlab®.

Objetivos específicos

- Modelar e checar matematicamente a cinemática direta do manipulador;
- Implementar a cinemática inversa;
- Realizar as simulações no software Matlab®;
- Desenvolver o aplicativo;
- Implementar as funcionalidades do aplicativo.

Justificativa

A automação de processos por meio de sistemas robóticos tem ganhado cada vez mais espaço no mercado. A diminuição do custo para a produção de um robô, o aumento do custo da mão de obra humana e a evolução dessa tecnologia são os principais fatores que contribuíram para o aumento da demanda por esses sistemas robóticos. Atualmente, essa tecnologia está presente na maioria das indústrias, e outros setores como comércio e serviço também a utilizam para automatizar seus processos. Com isso, a robótica está em constante evolução e surgem novas aplicações e ferramentas emergem para contribuir com o seu desenvolvimento e aprimoramento (CRAIG, 2012).

Na educação, a robótica pode ter um papel importante no processo de aquisição do conhecimento, pois com a robótica, o aluno desenvolve um aprendizado ativo e participativo. Ademais, a robótica reúne diversos campos tecnológicos, tais como engenharia e computação, de forma lúdica e interessante. Apesar da riqueza de possibilidades que a robótica oferece, ela ainda não está difundida nas escolas do Brasil (ZILLI, 2004).

Em 1978 a Unimation junto com a General Motors lançam o PUMA, sigla para *Programmable Universal Machine for Assembly*, esse robô é considerado um arquetípico para robôs antropomórficos e foi desenvolvido para pequenos manuseios e ocupavam o mesmo espaço do que um operador humano. A modelagem do PUMA é utilizada como exemplo por diversos livros de robótica e ele se tornou um robô importante para o ensino (IFR, 2021b; GASPARETTO; SCALERA, 2019). Por esse motivo o modelo PUMA 560 foi o robô escolhido para o presente trabalho.

O Matlab® é uma plataforma de programação e computação numérica usada para desenvolver algoritmos, análise de dados e criação de modelos. Ele possui diversas ferramentas e implementos, que possibilita a sua utilização em todas as áreas da engenharia. Uma dessas ferramentas permite a criação de aplicativos desktop com a programação desenvolvida no Matlab®, essa ferramenta é o App Designer (MATHWORKS, 2022a).

Aplicado à robótica, o Matlab® já possui diversas *Toolbox* com o foco no desenvolvimento de robôs, fornecendo a modelagem, o desenvolvimento de controles, entre outros. Contudo, o Matlab® também possibilita que seus usuários desenvolvam suas próprias ferramentas e aplicativos para diferentes aplicações, tais como a modelagem de um robô e o desenvolvimento de aplicativos focados em cálculos matemáticos (LIMA, 2022; PAWELSKI, et al, 2021; ROSSINI, et al, 2021). Neste trabalho realizou-se uma análise da utilização do Matlab® aplicado à robótica, com foco no uso educacional, e não foi feito uso dessas *Toolbox*.

Com o desenvolvimento do aplicativo, busca-se providenciar uma forma menos abstrata de desenvolvimento da modelagem de um robô. Pois essa modelagem possui certa profundidade matemática e pouco visual, sendo necessário um grau de abstração para compreender o seu resultado, o que dificulta no aprendizado da robótica.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho teve foco no robô PUMA 560, e teve como base o modelo apresentado na terceira edição do livro Robótica de John J. Craig de 2012. Utilizou-se o *software* Matlab® para a implementação das modelagens das cinemáticas, direta e inversa, como também para a simulação das equações de geração de trajetória. No Matlab® também foi desenvolvido um aplicativo para o PUMA 560, esse aplicativo permite que o usuário insira todos os parâmetros necessários para a simulação do robô

PUMA 560

O *Unimation* PUMA 560 é um braço robótico disseminado na indústria automobilística em processos de solda e pintura, além disso, ele possui simplicidade no manuseio, o que permite o seu uso em atividades didáticas. Por esses motivos foi escolhido para ser modelado neste trabalho. Ele possui seis graus de liberdade com todas as juntas rotacionais, Figura 1, que tornam o robô versátil (CRAIG, 2012).

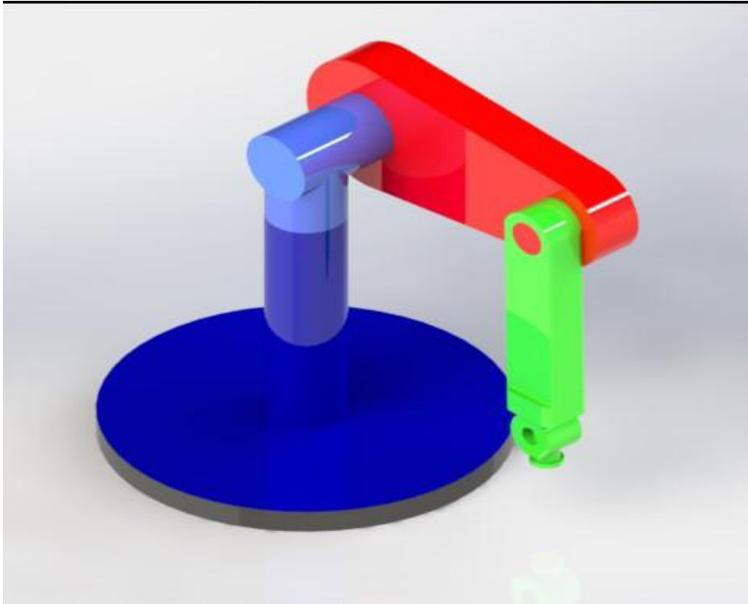


Figura 1 - PUMA 560

Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 1 o robô está na posição inicial, com os ângulos de todas as juntas iguais a zero. Foi escolhida essa posição para que se possa ter uma comparação de resultados com os apresentados por CRAIG, possibilitou-se, deste modo, uma revisão bibliográfica.

Modelagem das cinemáticas

Segundo Craig (2012, p. 60) “Um manipulador robótico pode ser considerado como um conjunto de corpos conectados em cadeia por juntas. Esses corpos são chamados de elos e as juntas são as responsáveis pela conexão entre um par de elos vizinhos.” Essa definição é de suma importância para o estudo da cinemática direta de um manipulador, pois através dela é possível realizar o cálculo da posição e orientação do efetuador de um manipulador robótico, em função das coordenadas θ_n das suas juntas (LYNCH; PARK, 2017).

O Primeiro passo para a modelagem da cinemática direta é a definição dos sistemas de referência. O PUMA possui seis graus de liberdades, portanto se fez necessário a fixação de sete sistemas. Esses SR's são mostrados na Figura 0, sendo o SR {0} coincidente com o SR {1} quando o ângulo $\theta_0=0$.

O SR {2} possui a origem em comum com os SR's {0} e {1}, esse ponto em comum também acontece com os SR's {4}, {5} e {6}. Os SR's {1} a {6} estão fixos em cada um dos eixos das juntas rotativas do robô (CRAIG, 2012).

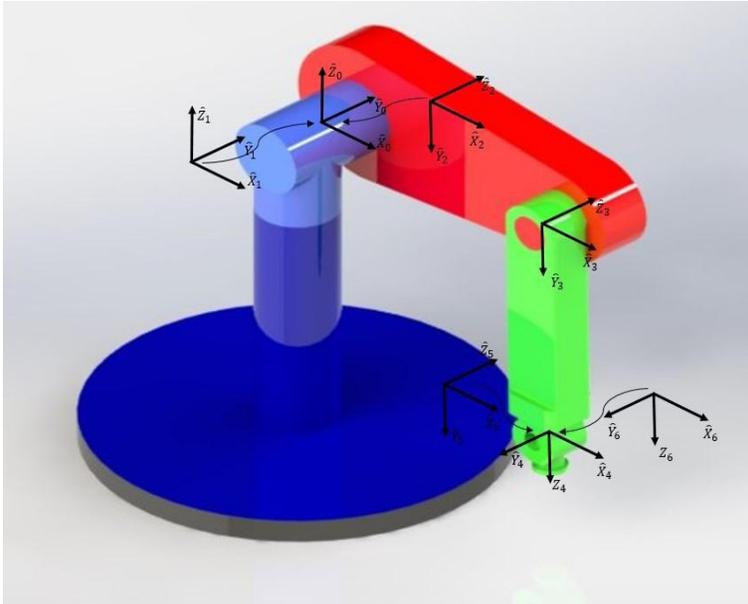


Figura 2 - Sistema de referência PUMA 560

Fonte: Autoria própria (2022).

Com os SR's definidos é possível construir a transformação que define o SR {i} em relação ao SR {i-1}. Com seis graus de liberdade precisou-se de seis transformações para o PUMA, Equação (1). Multiplicou-se essas seis transformações e encontrou-se a transformação do SR {6} ao SR {0}, Equação (2), sendo ela uma função de todas as seis variáveis de juntas θ do manipulador (LYNCH; PARK, 2017). Neste trabalho essa modelagem foi implementada no Matlab® e o resultado apresentado em um capítulo posterior.

$${}^0_1T; {}^1_2T; {}^2_3T; {}^3_4T; {}^4_5T; {}^5_6T; \quad (1)$$

$${}^0_6T = {}^0_1T \cdot {}^1_2T \cdot {}^2_3T \cdot {}^3_4T \cdot {}^4_5T \cdot {}^5_6T \quad (2)$$

A Equação (2) é uma matriz 4x4 que é composta pela matriz 3x3 rotacional R e pela matriz 3x1 de posição P, Equação (3), que constitui a cinemática direta do PUMA 560. Portanto com essa equação é possível encontrar a posição e orientação da ferramenta do manipulador através dos ângulos θ das juntas (CORKE, 2017).

$${}^0_6T = \begin{bmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Segundo Jazar (2007, p. 263, tradução nossa) “A determinação das variáveis das juntas em termos da posição e orientação do efetuador é chamada de cinemática inversa.”. Neste contexto a cinemática inversa é essencial na modelagem de um robô manipulador, pois objetos a serem manipulados são descritos em coordenadas do sistema fixo universal e o computador que controla esse robô precisa conhecer as variáveis das juntas para

manipular esses objetos (JAZAR, 2007).

Há diferentes métodos para resolver a cinemática inversa, alguns utilizam a cinemática direta para encontrar as equações que descrevem a inversa. Um desses métodos utiliza a matriz de transformação X que representa a orientação e a posição de um ponto no espaço tridimensional, e a matriz da cinemática direta T(θ), onde θ representa os ângulos ou posições das juntas. Encontrando a solução de θ que satisfaz T(θ)=X é possível resolver o problema da cinemática inversa (LYNCH; PARK, 2017).

A cinemática inversa do PUMA possui um grau de complexidade elevado e diferentes métodos matemáticos para encontrá-la. Neste trabalho optou-se por utilizar a modelagem apresentada por Craig, nas páginas 109 a 113 da terceira edição do livro Robótica. Dentre as soluções presentes nas bibliografias, as Equações (4) a (12) foram as escolhidas para serem implementadas no Matlab® (CRAIG, 2012).

Para os ângulos das três primeiras juntas essa modelagem utiliza-se das seguintes equações:

$$\theta_1 = \left(2 \cdot \frac{p_y}{p_x} \right) \quad (4)$$

$$\theta_2 = \theta_{23} - \theta_3 \quad (5)$$

$$\theta_3 = - \left(\frac{K}{\sqrt{l_2^2 - K^2}} \right) \quad (6)$$

sendo:

$$K = \frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2 - l_2^2}{2 \cdot l_1} \quad (7)$$

e

$$\theta_{23} = \text{sen}^{-1} \left(\frac{l_2 \cdot c_3 \cdot p_z + (c_1 \cdot p_x + s_1 \cdot p_y) \cdot (l_1 \cdot s_3 - l_2)}{p_z^2 - (c_1 \cdot p_x + s_1 \cdot p_y)^2} \right) \quad (8)$$

em que l_1 e l_2 são os comprimentos dos elos do robô, c_n e s_n representam $\cos(\theta_n)$ e $\text{sen}(\theta_n)$, respectivamente. Para as últimas três juntas a modelagem é dada pelas Equações (9), (10) e (11):

$$\theta_4 = \left(2 \cdot \frac{-r_{13} \cdot s_1 + r_{23} \cdot c_1}{-r_{13} \cdot c_1 \cdot c_{23} - r_{23} \cdot s_1 \cdot c_{23} + r_{33} \cdot s_4} \right) \quad (9)$$

$$\theta_5 = \left(2 \cdot \frac{S_5}{C_5} \right) \quad (10)$$

$$\theta_6 = \left(2 \cdot \frac{S_6}{C_6} \right) \quad (11)$$

sendo:

$$S_5 = -r_{13} \cdot (c_1 \cdot c_{23} \cdot c_4 + s_1 \cdot s_4) + r_{23} \cdot (s_1 \cdot c_{23} \cdot c_4 - c_1 \cdot s_4) \cdots \quad (9)$$

$$\cdots - r_{33} \cdot s_{23} \cdot c_4$$

$$C_5 = r_{13} \cdot ((-c_1) \cdot s_{23}) + r_{23} \cdot (-s_1 \cdot s_{23}) - r_{33} \cdot (c_{23}) \quad (10)$$

$$S_6 = -r_{11} \cdot (c_1 \cdot c_{23} \cdot s_4 - s_1 \cdot c_4) - r_{21} \cdot (s_1 \cdot c_{23} \cdot s_4 + c_1 \cdot c_4) \dots \\ \dots + r_{31} \cdot (s_{23} \cdot s_4) \quad (11)$$

$$C_6 = r_{11} \cdot ((c_1 \cdot c_{23} \cdot c_4 + s_1 \cdot s_4) \cdot c_5 - c_1 \cdot s_{23} \cdot s_5) \dots \\ \dots + r_{21} \cdot ((s_1 \cdot c_{23} \cdot c_4 - c_1 \cdot s_4) \cdot c_5 - s_1 \cdot s_{23} \cdot s_5) \dots \\ \dots - r_{31} \cdot (s_{23} \cdot c_4 \cdot c_5 + c_{23} \cdot s_5) \quad (12)$$

As Equações (4), (5), (6), (9), (10), e (11) resultam nos valores dos ângulos das seis juntas e formam a cinemática inversa do PUMA 560.

Geração de trajetória

Segundo Craig (2012, p. 192) “trajetória se refere a um histórico de posição, velocidade e aceleração em função do tempo, para cada grau de liberdade”. A trajetória é necessária para mover o efetuador de um ponto A para um ponto B, ou para movimentar um determinado objeto (CORKE, 2017). O problema da geração de trajetória envolve facilitar a descrição do movimento a ser feita pelo usuário, que, ao invés de escrever funções complexas de tempo e espaço, deve apenas especificar o movimento com posições e orientações desejadas. Deste modo, o sistema robótico calculará a trajetória, com detalhes como percurso, duração e velocidade (CRAIG, 2012).

A trajetória pode descrever diferentes movimentos de um manipulador, que vão desde movimentos simples com apenas um ponto inicial e final, à movimentos mais complexos que descrevem diferentes pontos de passagens com diferentes velocidades e acelerações (CRAIG, 2012).

Um movimento simples de um manipulador é uma trajetória que descreve uma linha reta, chamado de ponto a ponto, no qual o manipulador vai de uma configuração inicial θ_i para uma configuração final θ_f , onde os θ representam as juntas desse manipulador (CRAIG, 2012). Utiliza-se o polinômio cúbico da Equação (13), para calcular todos os valores que as juntas de um manipulador devem assumir para realizar uma determinada trajetória ponto a ponto. Ao derivar esse polinômio encontra-se a velocidade das juntas em função do tempo, Equação (14), e com a segunda derivada a aceleração nessa trajetória, Equação (15) (LYNCH; PARK, 2017).

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (13)$$

$$\dot{\theta}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (14)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3 t \quad (15)$$

Ao resolver essas equações, obtêm-se as quatro constantes a_0 , a_1 , a_2 e a_3 , Equações (16) a (19) (LYNCH; PARK, 2017).

$$a_0 = \theta_i \quad (16)$$

$$a_1 = 0 \quad (17)$$

$$a_2 = \frac{3}{t_f^2}(\theta_f - \theta_i) \quad (18)$$

$$a_3 = \frac{3}{t_f^3}(\theta_f - \theta_i) \quad (19)$$

Com as Equações (13), (14) e (15) e com as informações de tempo, posição inicial θ_i e final θ_f das juntas é possível obter todas as posições, velocidades e acelerações de cada junta e gerar uma trajetória ponto a ponto para um manipulador robótico (CRAIG, 2012; LYNCH; PARK, 2017). No Matlab® foi implementado essas equações e desenvolvida uma simulação desse movimento.

APLICATIVO

O Matlab® é uma ferramenta robusta e oferece diversas funcionalidades com suas *Toolboxes*, sendo uma delas o *App Designer*, uma *Toolbox* que permite a criação de aplicativos *Desktop* implementando bibliotecas e funcionalidades do Matlab® (MATHWORKS, 2022b).

O aplicativo foi desenvolvido com a linguagem de programação Matlab para o sistema operacional Windows. O *software* Matlab® permite a compilação do aplicativo como um arquivo executável, o que permite a sua execução diretamente pelo sistema, não sendo necessário que o usuário tenha a licença do Matlab®. O desenvolvimento foi realizado em três passos, sendo o primeiro a criação da tela do aplicativo no *App Designer*, descrito abaixo nesta seção. O segundo passo do desenvolvimento do aplicativo foi a implementação das cinemáticas direta e inversa e da geração de trajetória como funções do Matlab®. Na última etapa do desenvolvimento teve a junção das funções com a tela para implementar as funcionalidades do aplicativo.

Para iniciar o *App Designer* o usuário deve escolher a opção *App* na aba *New* do menu superior da tela principal do Matlab®, Figura 3.

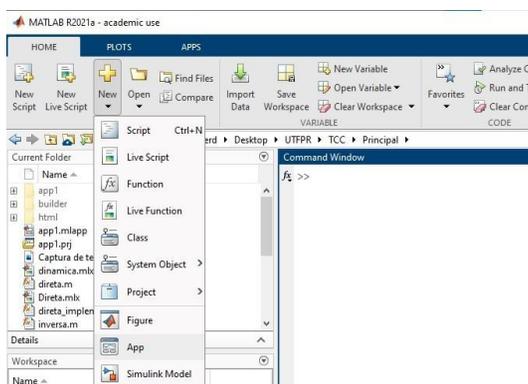


Figura 3 - Iniciar o App Designer

Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 4 contém uma captura de tela da interface do *App Designer*, na esquerda da imagem se tem a biblioteca de componentes visuais que a *Toolbox* oferece, na parte central se tem a pré-visualização da interface do usuário e é onde se constrói as telas do aplicativo, já na direita se tem o menu de propriedades dos componentes. O *App Designer* possui todas as funcionalidades e componentes necessários para o desenvolvimento do aplicativo para o PUMA 560, não sendo necessário a utilização de bibliotecas complementares.

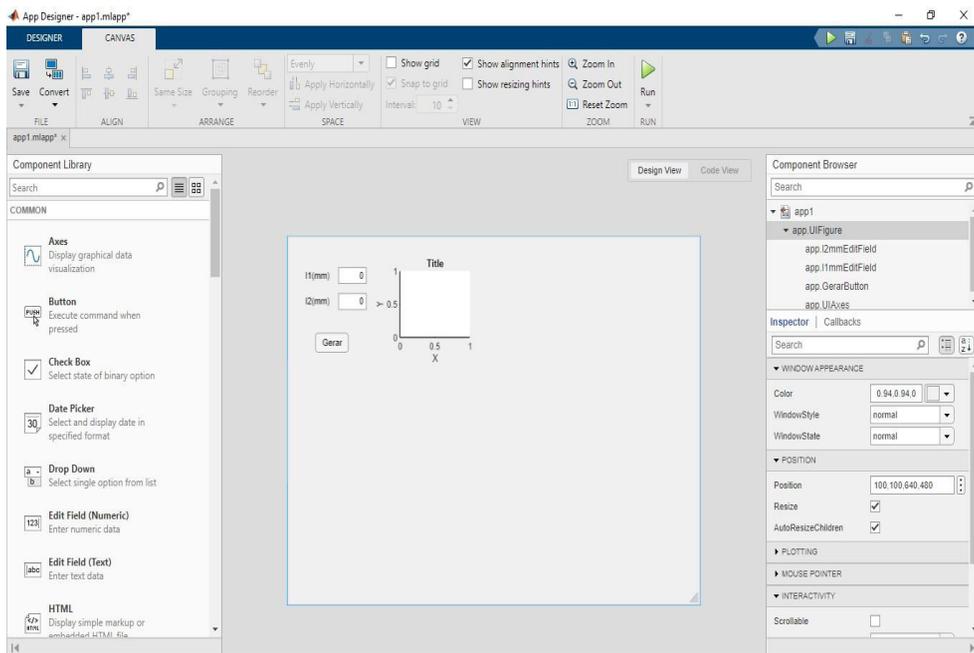
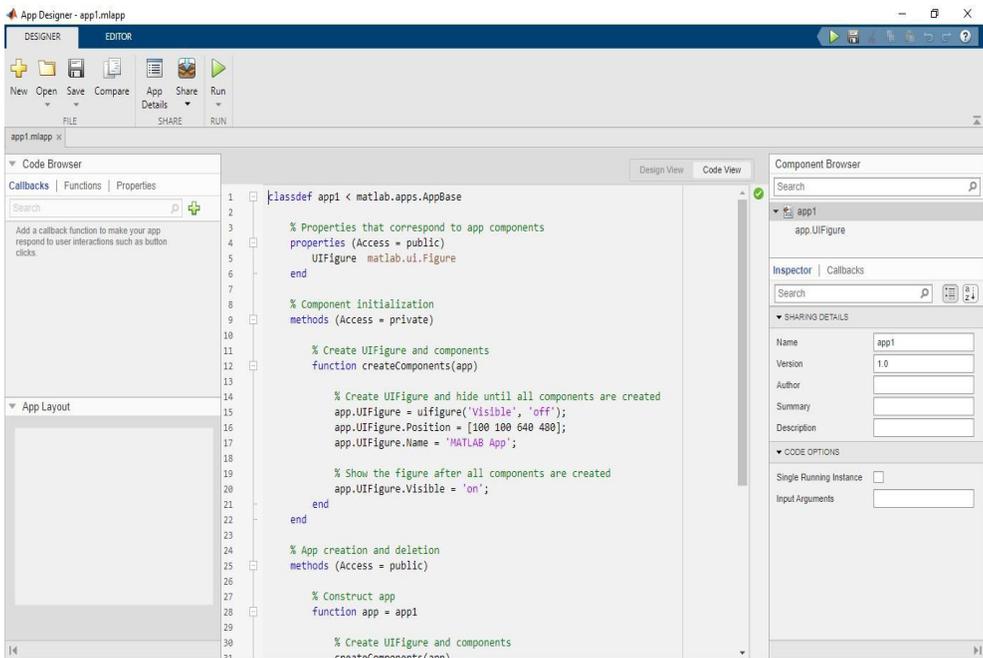


Figura 4 - App Designer
Fonte: Autoria própria (2022).

Para criar ícones no *App Designer*, o usuário deve “arrastar e soltar” os componentes do menu da esquerda para a pré-visualização do *designer* na parte central do *software*. Na Figura 4, também é apresentado um exemplo da criação do aplicativo, no qual criou-se três componentes disponíveis no *App Designer*, “*Axes*”, “*Button*” e “*Edit Field (Numeric)*”. O *Axes* permite o *plot* de gráficos no aplicativo, o *Button* é programado para agir com o click do usuário, e o *Edit Field* permite a inserção de valores numéricos pelo usuário, esses foram os principais componentes utilizados no desenvolvimento do aplicativo.

A programação do aplicativo no *App Designer* é feita através da aba *Code View*, Figura 5, e utiliza-se de *callbacks* para executar o código quando um evento acontece. Esse evento pode ser o *click* do mouse em um *Button* ou a inserção de um valor pelo usuário em um *Edit Field*.



Fonte: Autoria própria (2022).

O aplicativo desenvolvido neste trabalho também manteve o foco em um modelo específico de robô, o PUMA 560. Como requisitos de desenvolvimento do aplicativo foram apresentados os seguintes pontos

- Cálculo da cinemática direta;
- Cálculo da cinemática inversa;
- Geração da trajetória;
- Dimensionamento dos elos;
- Representação da posição do robô

Para atender esses requisitos elaborou-se a tela apresentada na Figura 6. Na região A, circulado em verde, se tem o dimensionamento dos elos do robô, onde se pode definir valores de 1 a 2000 para os elos l_1 e l_2 , representados pelas cores vermelha e verde, respectivamente, na representação presente na seção. Após definido os elos, o gráfico presente na seção apresentará uma visualização do dimensionamento.

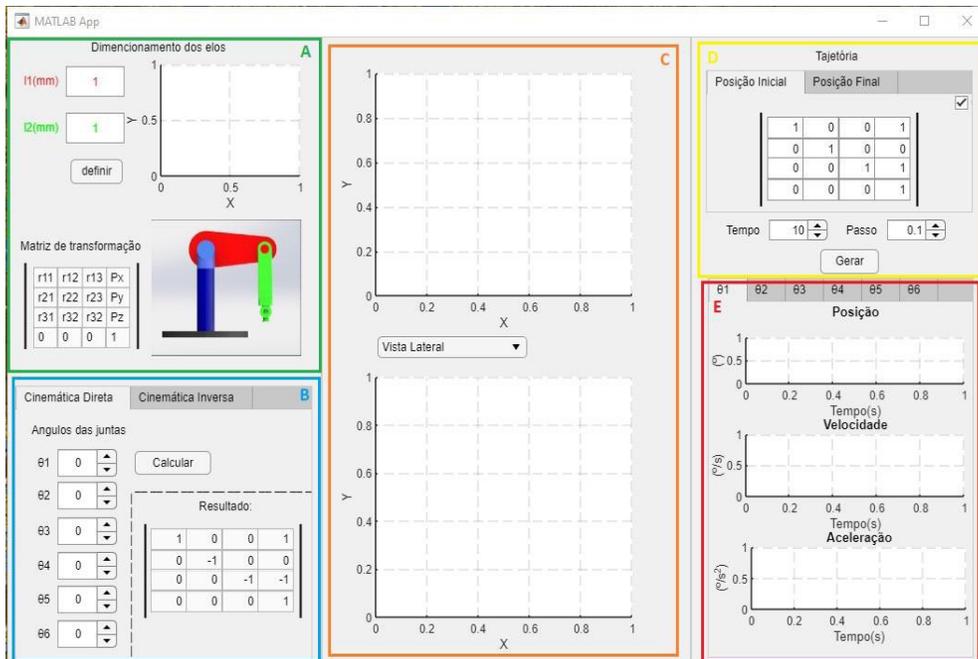


Figura 6 - Tela do aplicativo

Fonte: Autoria própria (2022).

A região B, marcada em azul, é a responsável por atender os requisitos do cálculo da cinemática direta e inversa, sendo dividida em duas abas. A primeira calcula a matriz de transformação para uma entrada com os valores dos ângulos das juntas e apresenta na região C a representação desta posição.

Para a cinemática inversa se tem a segunda aba, Figura 7, nela a entrada é a matriz de transformação e a saída, ou seja, o resultado, os valores dos ângulos do PUMA em graus ($^\circ$), para a posição e orientação dada pela matriz. Além disso, é gerado uma visualização desta posição na região C.



Figura 7 - Aba cinemática inversa

Fonte: Autoria própria (2022).

Na região C, marcada em amarelo, está presente dois componentes gráficos fundamentais para a representação dos resultados, tanto do cálculo das cinemáticas quanto da geração de trajetória. Nesses gráficos são apresentadas as vistas da representação do robô para as posições obtidas nos resultados. Sendo que, em um dos gráficos é apresentado uma vista em três dimensões do robô e no outro gráfico é possível alternar entre a vista lateral ou superior do PUMA

As regiões D e E fazem parte do requisito da geração de trajetória, sendo a região D a entrada da posição inicial e da posição final através de uma matriz de transformação com posição e orientação. Já a região E apresenta os resultados obtidos através dos gráficos das posições, velocidades e acelerações na trajetória gerada pelo aplicativo, para cada uma das seis juntas do manipulador. Para a geração de trajetória, a seção C apresenta uma animação do movimento realizado pelo PUMA.

RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos. O foco do trabalho foi dado para a implementação da modelagem do robô PUMA 560 no *software* Matlab®, com as cinemáticas direta e inversa e a geração de trajetória, e para o desenvolvimento de um aplicativo com o *App Designer*, ferramenta presente no Matlab® para o desenvolvimento de aplicativos *Desktop*.

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se os valores da Tabela 1 para as variáveis trabalhadas.

| Parâmetro | Valor |
|-----------|-------|
| l_1 | 20 mm |
| l_2 | 20 mm |
| Tempo | 10 s |
| Passo | 0,1 s |

Tabela 1 - Parâmetros para simulação

Fonte: Autoria própria (2022).

Cinemática direta

A primeira etapa na modelagem da cinemática direta foi o cálculo das transformações dos SR_{i+1}^i , com sete SR foram calculadas seis transformações. O passo seguinte se deu com o cálculo da transformação composta 0T_6 , que define o SR {0} em relação ao SR {6}, Equação (20).

$${}^0T_6 = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot {}^2T_3 \cdot {}^3T_4 \cdot {}^4T_5 \cdot {}^5T_6 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Os elementos da matriz estão descritos nas Equações (21) a (32) e constituem a cinemática direta do PUMA 560. As equações que formam a matriz de rotação da cinemática direta são as seguintes:

$$r_{11} = c_1 \cdot (c_{23} \cdot (c_4 \cdot c_5 \cdot c_6 - s_4 \cdot s_6) - s_{23} \cdot s_5 \cdot c_6) - s_1 \cdot (s_4 \cdot c_5 \cdot c_6 + c_4 \cdot s_6) \quad (21)$$

$$r_{12} = s_1 \cdot (c_{23} \cdot (c_4 \cdot c_5 \cdot c_6 - s_4 \cdot s_6) - s_{23} \cdot s_5 \cdot c_6) - c_1 \cdot (s_4 \cdot c_5 \cdot c_6 + c_4 \cdot s_6) \quad (22)$$

$$r_{13} = -s_{23} \cdot (c_4 \cdot c_5 \cdot c_6 - s_4 \cdot s_6) - c_{23} \cdot s_5 \cdot c_6 \quad (23)$$

$$r_{21} = c_1 \cdot (c_{23} \cdot (-c_4 \cdot c_5 \cdot c_6 - s_4 \cdot c_6) - s_{23} \cdot s_5 \cdot c_6) \cdots \quad (24)$$

$$\cdots - s_1 \cdot (c_4 \cdot c_6 - s_4 \cdot c_5 \cdot s_6)$$

$$r_{22} = s_1 \cdot (c_{23} \cdot (-c_4 \cdot c_5 \cdot c_6 - s_4 \cdot c_6) - c_{23} \cdot s_5 \cdot c_6) \cdots \quad (25)$$

$$\cdots - s_1 \cdot (c_4 \cdot c_6 - s_4 \cdot c_5 \cdot s_6)$$

$$r_{23} = -s_{23} \cdot (-c_4 \cdot c_5 \cdot s_6 - s_4 \cdot c_6) - c_{23} \cdot s_5 \cdot s_6 \quad (26)$$

$$r_{31} = -c_1 \cdot (c_{23} \cdot c_4 \cdot s_5 + s_{23} \cdot c_5) + s_1 \cdot s_4 \cdot s_5 \quad (27)$$

$$r_{32} = -s_1 \cdot (c_{23} \cdot c_4 \cdot s_5 + s_{23} \cdot c_5) + c_1 \cdot s_4 \cdot s_5 \quad (28)$$

$$r_{33} = s_{23} \cdot c_4 \cdot s_5 - c_{23} \cdot c_5 \quad (29)$$

Já as Equações (30), (31) e (32) representam o vetor de posição nas direções x, y e z:

$$p_x = c_1 \cdot (c_2 \cdot l_1 - s_{23} \cdot l_2) \quad (30)$$

$$p_y = s_1 \cdot (c_2 \cdot l_1 - s_{23} \cdot l_2) \quad (31)$$

$$p_z = s_2 \cdot l_1 - c_{23} \cdot l_2 \quad (32)$$

em que

$$c_{23} = c_2 \cdot c_3 - s_2 \cdot s_3 \quad (33)$$

$$s_{23} = c_2 \cdot s_3 + s_2 \cdot c_3 \quad (34)$$

O desenvolvimento da cinemática direta no Matlab® se deu com a criação de uma função, que recebe como parâmetros de entrada os ângulos das juntas e calcula a posição e orientação do robô. Essa função também faz o *plot* de uma representação simplificada do manipulador, com vista 3d e lateral. A Equação (35) exibe o resultado obtido por essa função para uma entrada com os ângulos das juntas $\theta_{1,6}=0$, Equação (36), posição inicial do PUMA.

$$\theta_1 = 0; \theta_2 = 0; \theta_3 = 0; \theta_4 = 0; \theta_5 = 0; \theta_6 = 0; \quad (35)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -20 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

As Figuras 8a e 8b são os *plots* obtidos com a cinemática direta da vista 3d e da vista lateral, respectivamente, da representação do PUMA.

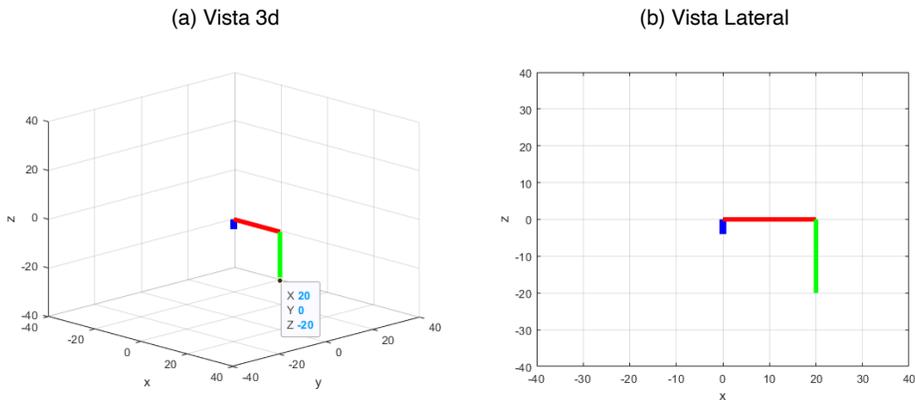


Figura 8 - Plot posição Inicial

Fonte: Autoria própria (2022).

Cinemática inversa

Para a cinemática inversa implementou-se no Matlab® uma função, que recebe como parâmetros de entrada uma matriz de transformação com a posição e orientação desejada. Ela calcula, com as equações da cinemática inversa, os ângulos que o robô deve assumir para chegar nessa posição e orientação.

Na Tabela 2 se têm alguns resultados obtidos com essa função, onde na primeira coluna estão representadas as entradas com a posição e orientação no formato de matriz de transformação 0T_6 , já na segunda coluna a saída calculada pela função, com os ângulos

das juntas em graus.

| Entrada (0T_6) | Saída ($^\circ$) |
|---|---|
| $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -20 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\theta_1 = 0; \theta_2 = 0; \theta_3 = 0; \theta_4 = 0; \theta_5 = 0; \theta_6 = 0;$ |
| $\begin{bmatrix} -0,707 & 0 & -0,707 & -28,28 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -0,707 & 0 & 0,707 & 28,28 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | $\theta_1 = 180; \theta_2 = -45; \theta_3 = -90; \theta_4 = 180; \theta_5 = 0; \theta_6 = 0;$ |

Tabela 2 - Resultado da cinemática inversa

Fonte: Autoria própria (2022).

Geração de trajetória

A geração de trajetória tem como entrada duas posições, a posição inicial e a final, o tempo que deve ser realizado o movimento e o passo para o cálculo do deslocamento que as juntas devem realizar para percorrer esse caminho. A função implementada no Matlab® recebe como parâmetro de entrada as posições como matriz de transformação e calcula através do polinômio cúbico o deslocamento das juntas, e tem como resultado as posições, velocidades e acelerações de cada junta para esse movimento, em um determinado tempo.

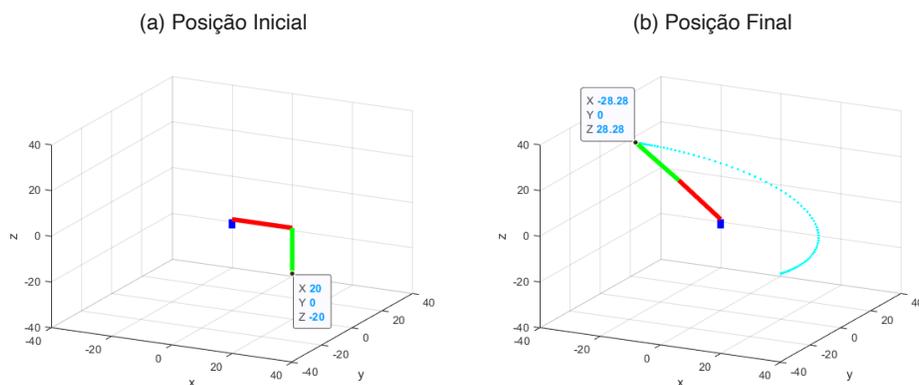


Figura 9 - Geração de trajetória

Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 9 mostra a posição inicial e a posição final para uma trajetória gerada por essa função. Em ciano, na Figura 9b, se tem todos os pontos calculados em que o robô irá passar nessa trajetória. Na Figura 10 estão os gráficos da posição, velocidade e aceleração obtidos para as três primeiras juntas.

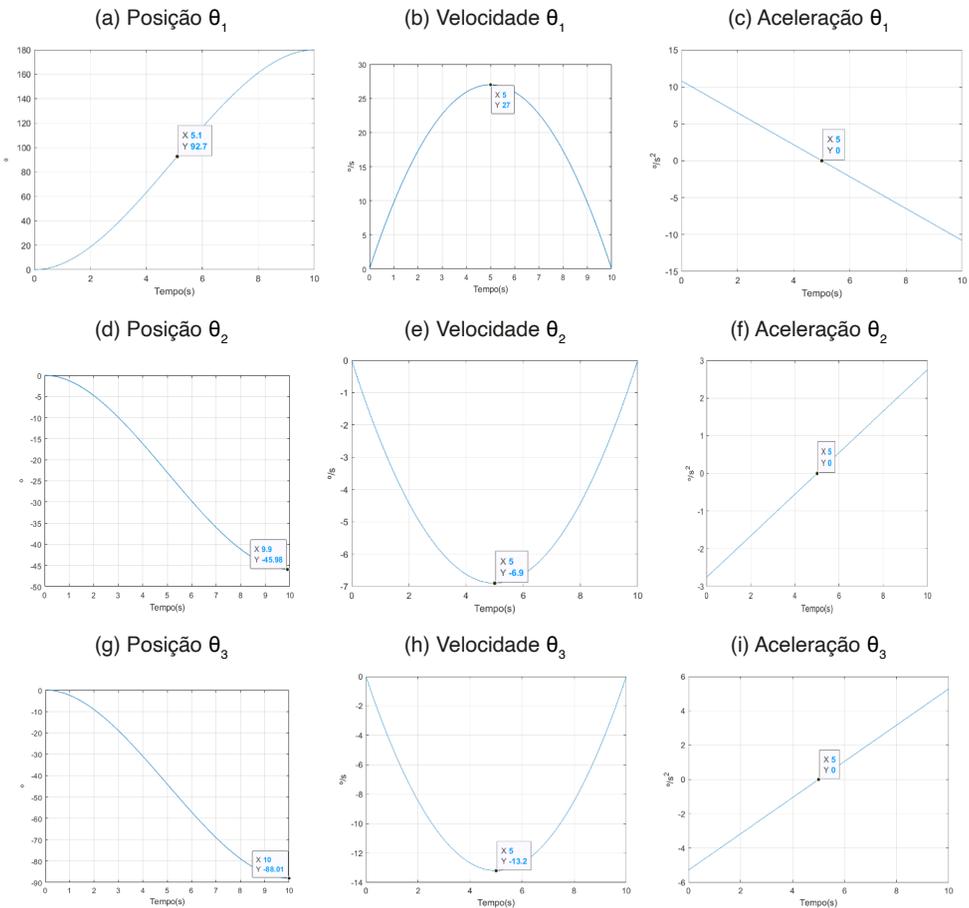


Figura 10 - Trajetória dos θ_1 , θ_2 e θ_3

Fonte: Autoria própria (2022).

Aplicativo

A etapa de desenvolvimento do aplicativo se deu com a junção das funções das cinemáticas e da geração de trajetória com a tela desenvolvida no *App Designer*. A primeira funcionalidade desenvolvida foi o dimensionamento dos elos, a Figura 11 apresenta o resultado para a entrada com $l_1 = 20$ mm e $l_2 = 20$ mm.

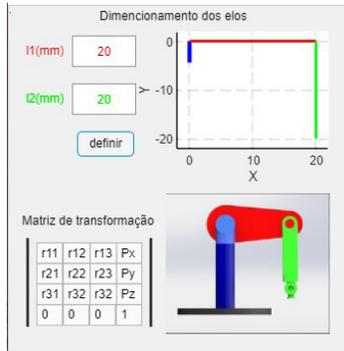


Figura 11 - Dimensionamento dos elos

Fonte: Autoria própria (2022).

O dimensionamento permite a escolha do tamanho do robô a ser trabalhado, em que são aceitos valores no intervalo de 1 a 2000 mm para os dois elos do PUMA e tem como resultado uma visualização simplificada do robô com essas dimensões na posição inicial.

As cinemáticas foram implementadas no canto inferior esquerdo do aplicativo, separadas por abas, Figura 12. Na primeira aba está o cálculo da cinemática direta, que recebe os ângulos das juntas do robô como entrada e retorna a matriz de transformação com a posição e orientação do manipulador para essa configuração de ângulos. Além disso, o aplicativo apresenta uma representação da posição do PUMA para essa posição, nos gráficos do lado direito da Figura 12.

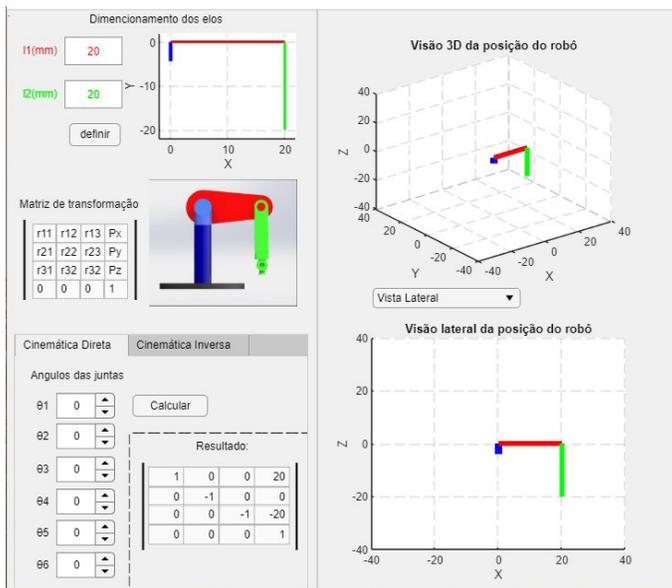


Figura 12 - Cinemática direta no aplicativo

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a cinemática inversa se tem a segunda aba, Figura 12, em que a entrada são os parâmetros da matriz de transformação e o aplicativo calcula os ângulos que o PUMA deve assumir para atingir essa determinada posição. O aplicativo também apresenta a representação dessa posição, a Figura 13 apresenta a vista 3d e a vista superior para o resultado da configuração de ângulos descritos na Equação (37).

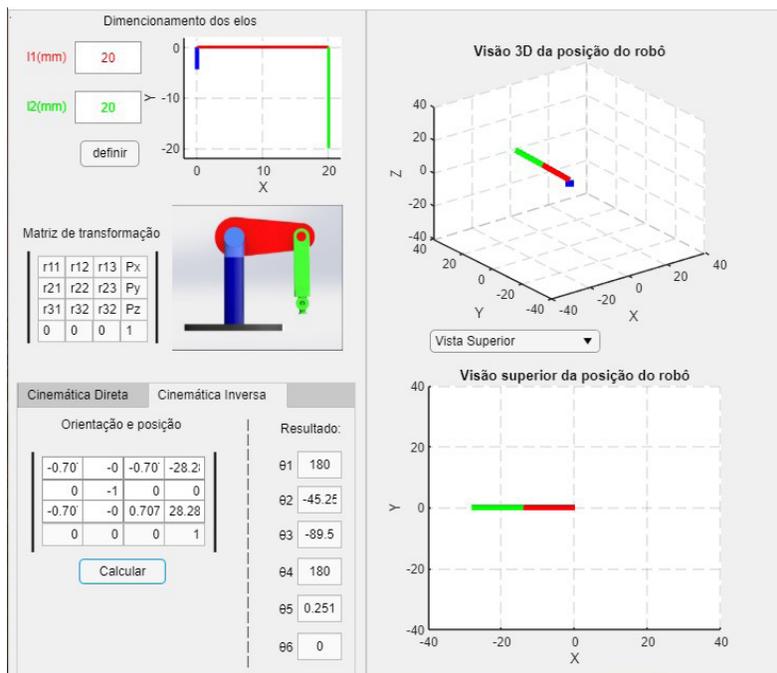


Figura 13 - Cinemática inversa no aplicativo

Fonte: Autoria própria (2022).

$$\theta_1 = 180; \theta_2 = -45,25; \theta_3 = -89,5; \theta_4 = 180; \theta_5 = 0,251; \theta_6 = 0; \quad (37)$$

A Figura 14 mostra a tela inteira do aplicativo desenvolvido, sendo que do lado direito está a geração de trajetória. No canto superior direito se tem as entradas necessárias, posição inicial e final, tempo do movimento e o passo a ser utilizado. Quando a trajetória é gerada, os gráficos na parte central da tela geram uma animação simplificada do movimento do PUMA, que foi calculado pelo aplicativo. Já no canto inferior direito é apresentado os gráficos da posição, da velocidade e da aceleração de todas as juntas, separados por seis abas.

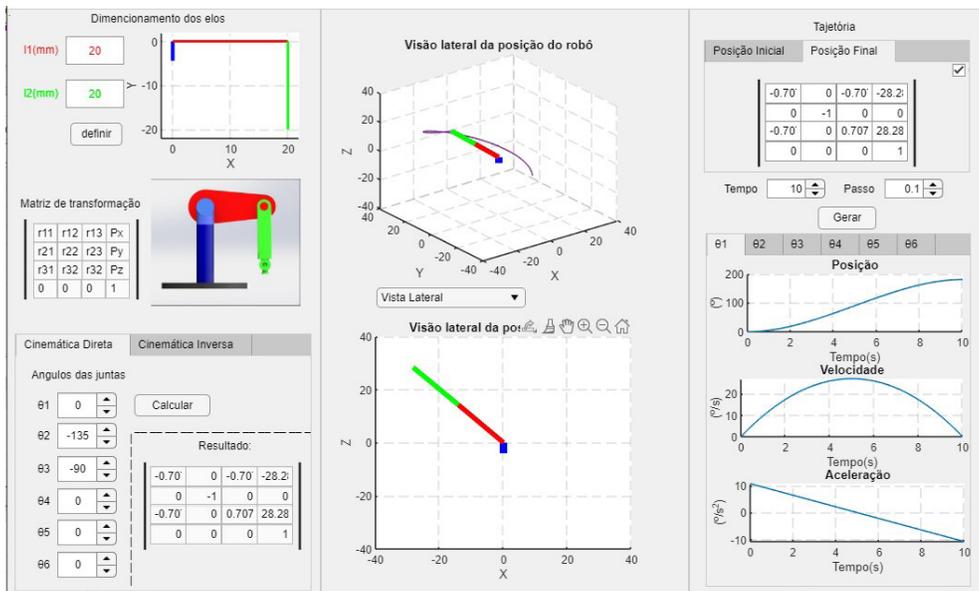


Figura 14 - Geração de trajetória no aplicativo

Fonte: Autoria própria (2022).

O resultado obtido no aplicativo para a geração de trajetória para uma entrada com os valores da Tabela 3 são mostrados nas Figuras 14 e 15, sendo a segunda figura as abas do aplicativo para os gráficos das juntas.

| | |
|-----------------|---|
| Posição Inicial | $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -20 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Posição Final | $\begin{bmatrix} -0,707 & 0 & -0,707 & -28,28 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -0,707 & 0 & 0,707 & 28,28 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ |
| Tempo | 10 s |
| Passo | 0,1 s |

Tabela 3 - Entrada geração de trajetória

Fonte: Autoria própria (2022).

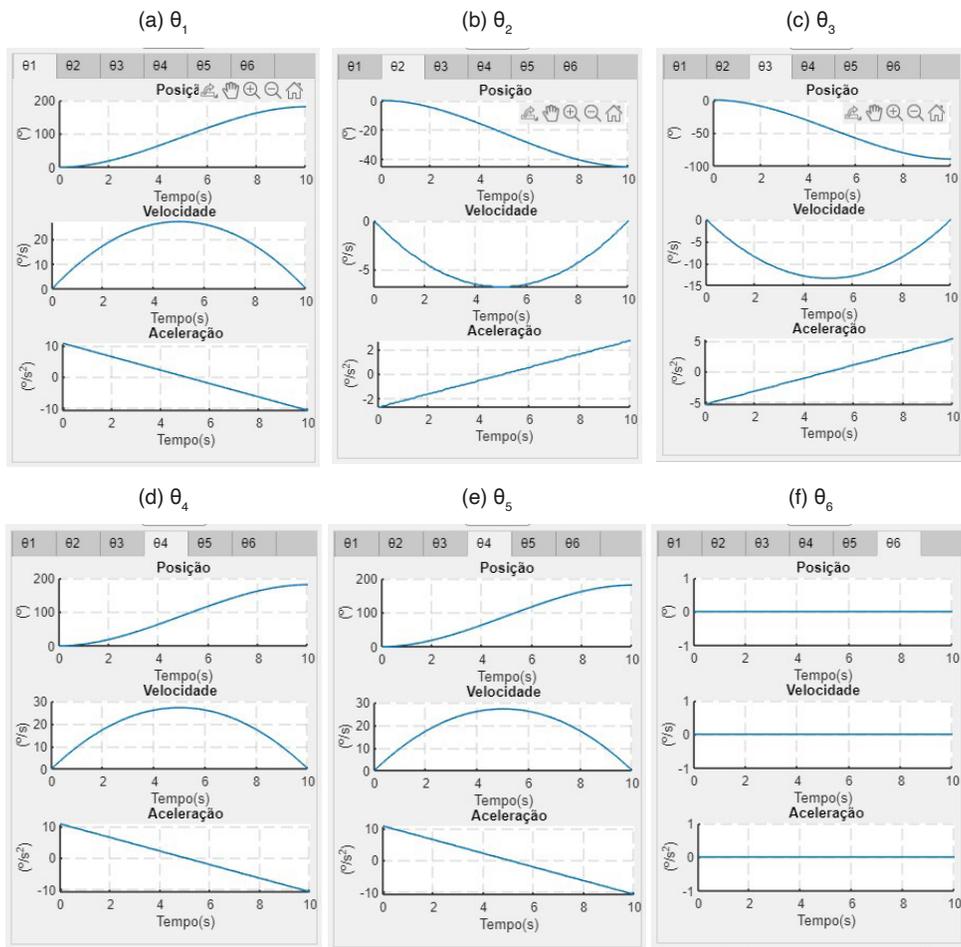


Figura 15 - Gráficos da posição, da velocidade e da aceleração

Fonte: Autoria própria (2022).

CONCLUSÃO

Neste trabalho, desenvolveu-se um aplicativo *desktop* para o modelo de robô PUMA 560, com o objetivo de analisar o uso do *software* Matlab® aplicado à robótica de forma genérica, sem a utilização de nenhuma *toolbox* de robótica. O aplicativo também buscou providenciar uma forma menos abstrata de realizar a modelagem de um robô em ambientes educacionais.

A primeira etapa do desenvolvimento se deu com a escolha do robô a ser trabalhado. O modelo PUMA 560 foi escolhido por sua versatilidade, importância para o desenvolvimento da robótica e por ser um modelo utilizado em alguns livros tradicionais de robótica como exemplo de cinemática.

Com o robô escolhido, seguiu-se para a modelagem da cinemática direta, a qual foi

implementada no Matlab® e apresentou resultados coerentes. Com essa implementação foi possível obter uma representação gráfica da posição do robô.

Para a cinemática inversa utilizou-se a modelagem apresentada por CRAIG(2012), a qual foi implementada no Matlab® e apresentou resultados satisfatórios. A cinemática inversa foi a atividade que apresentou o maior grau de dificuldade para ser implementada, pois possui um sistema de equações não lineares.

A implementação da geração de trajetória foi feita com as equações de polinômio cúbico. Combinada com a cinemática direta, foi possível desenvolver uma animação para a trajetória gerada, desenvolveu-se, assim, uma representação visual do movimento do robô.

O aplicativo foi desenvolvido no *App Designer*, ferramenta disponível no Matlab®. Ele teve como requisito o cálculo das cinemáticas direta e inversa, a geração de trajetória e a representação visual do robô. Todos os requisitos e funcionalidades foram desenvolvidos no Matlab® e implementados no *App Designer*.

No desenvolvimento deste trabalho o Matlab® se mostrou ser uma ferramenta poderosa aplicado à robótica. Desde a modelagem, simulação das cinemáticas e do cálculo da trajetória até a criação do aplicativo desktop atendeu à todas as demandas.

Portanto, a utilização do Matlab® para o ensino da robótica se provou importante. Entretanto é preciso ter conhecimento em programação de alto nível, desde modo, o Matlab® é mais recomendado ao ensino de nível superior de robótica.

Para futuros trabalhos, tem-se a modelagem da dinâmica e o desenvolvimento de um sistema controle para o PUMA 560. A implementação de outros modelos de robô também pode ser um caminho a ser seguido. Além disso, o Matlab® oferece *Toolbox* desenvolvidas especificamente para a robótica, que podem ser objetos de estudos.

REFERÊNCIAS

BULLER, L.; GIFFORD, C.; MILLS, A. ROBOT. New York: DK, 2018. 160 p. ISBN 9781465475848.

CORKE, P. Robotics, Vision and Control: Fundamental algorithms in matlab. 2nd.. ed. Gewerbestrasse: Springer, 2017. 693 p. ISBN 9783319544137.

CORTES, F. R. Robótica: Control de robots manipuladores. Ciudad de México: Alfaomega, 2011. 592 p. ISBN 9786077071907.

CORTES, F. R. MATLAB aplicado a Robótica y Mecatrónica. Ciudad de México: Alfaomega, 2012. 460 p. ISBN 9786077073574.

CRAIG, J. Robótica: Tradução Heloísa Coimbra de Souza. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012. 379 p. Título original: Introduction to robotics: mechanics and control. ISBN 9783319544137.

GASPARETTO, A.; SCALERA, L. From the unimate to the delta robot: the early decades of industrial robotics. In: Explorations in the History and Heritage of Machines and Mechanisms. [S.l.]: Springer, 2019. p. 284–295.

IFR. Executive Summary World Robotics 2021 Industrial Robots. 2021. Disponível em: https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_2021.pdf. Acesso em: 05 out. 2022.

IFR. Robot History. 2021. Disponível em: <https://ifr.org/robot-history>. Acesso em: 07 out. 2022.

JAZAR, R. N. Theory of Applied Robotics: Kinematics, dynamics, and control. New York: Springer, 2007. 693 p. ISBN 9780387324753.

LIMA, B. S. et al. Modelagem, simulação e análise de movimento do robô manipulador SCARA T3 401SS fabricante Epson. [S.l.: s.n.], 2022.

LYNCH, K. M.; PARK, F. C. Modern Robotics: Mechanics, planning, and control. Cambridge: Cambridge University, 2017. 624 p. ISBN 9781107156302.

MATHWORKS. Math. Graphics. Programming. 2022. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Acesso em: 06 out. 2022.

MATHWORKS. MATLAB App Designer. 2022. Disponível em: <https://www.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>. Acesso em: 21 set. 2022.

OLIVEIRA, L.; SILVA, M.; MOREIRA, A. Agricultural robotics: A state of the art survey. In: 23rd International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR). Moscow, Russia: [s.n.], 2020. p. 279–286.

OLIVEIRA, L. F. P. et al. Modeling, simulation and implementation of locomotion patterns for hexapod robots. In: 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON). [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–1.

PAWELSKI, L. et al. Desenvolvimento do aplicativo Métodos de Matemática Aplicada - Simulador de Entrada-Saída Periódica de Circuito Elétrico RLC série (MMA-SESPC). XI Seminário de Extensão/ XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica. [S.l.: s.n.], 2021

ROSSINI, F. L. et al. Desenvolvimento do Aplicativo Métodos de Matemática Aplicada – Simulador da Série de Fourier (MMA-SSF): estudo de caso. SEI-SICITE. [S.l.: s.n.], 2021

ZILLI, S. d. R. A robótica educacional no ensino fundamental: perspectivas e prática. Florianópolis, SC, 2004.

CAPÍTULO 9

ANÁLISE DE MOTIVAÇÃO E SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS POR MEIO DE MAPAS COGNITIVOS FUZZY

Data de aceite: 02/01/2023

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica (PPGEM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Angelo Feracin Neto

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica
(DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Carlos Alberto Paschoalino

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

Matheus Gil Bovolenta

Acadêmico - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1518815195539638>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0797649979829091>

Marcio Aurelio Furtado Montezuma

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Mecânica (DAMEC)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/2487283169795744>

Kazuyochi Ota Junior

Mestrando - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica (PPGEM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Marcos Antonio de Matos Laia

Departamento De Ciência Da Computação
– UFSJ
São João Del Rey - MG
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Augusto Alberto Foggiano

Departamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho-PR
<http://lattes.cnpq.br/5947790201939557>

Vicente de Lima Gongora

Faculdade da Industria Senai

Londrina - PR

<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Andre Luis Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/924365653421182>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Nikolas Catib Boranelli

Acadêmico - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)

Cornélio Procópio – PR

<http://lattes.cnpq.br/4632175422834777>

RESUMO: O uso de energias limpas e renováveis reduz a emissão de gases poluentes que contribuem para a destruição da camada de ozônio, provocado o chamado efeito estufa. Essas formas de energia também são uma medida que tornam o mundo menos dependente de fontes esgotáveis. Entre eles, destacamos o solar, eólica e a piezoelétrica. O crescente desenvolvimento da tecnologia de captura e conversão de energia solar em eletricidade está favorecendo cada vez mais a instalação de painéis solares. Fatores relevantes que afetam a decisão de compra e o nível de satisfação apresentado pelos clientes na instalação de painéis solares fotovoltaicos instalados em suas residências foram identificados e modelados. Utilizando-se da lógica fuzzy, mais especificamente mapas cognitivos fuzzy, quantificou-se o grau de satisfação desses clientes. Segundo o modelo cognitivo desenvolvido, verificou-se que os principais motivos para a demanda e instalação de painéis solares são a economia de longo prazo e a independência da rede elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Mapas Cognitivos Fuzzy, Energia solar, Satisfação do Cliente, Energia Eólica, Painéis fotovoltaicos.

ANALYSIS OF MOTIVATION AND SATISFACTION IN SOLAR PANELS PHOTOVOLTAIC INSTALLATION THROUGH MAPS FUZZY COGNITIVE

ABSTRACT: Using clean and renewable energies reduces the emission of polluting gases that contribute to the destruction of the ozone layer, causing the so-called greenhouse effect. These forms of energy are also a measure that makes the world less dependent on exhaustible sources. Among them, we highlight solar, wind, and others. The growing development of

technology and the consequent need for energy generation through the conversion of solar, wind, and tidal energy, among others, are in a growing phase, also considering the appeal of the need for environmental impact. All relevant factors that affect the purchase decision and customer satisfaction with the photovoltaic solar panels installed in their homes and/or commercial areas were identified and mapped. Using one of the fuzzy logic divisions, more specifically fuzzy cognitive maps, through qualitative and quantitative posterior analysis of related concepts through specialists, the satisfaction of these customers was quantified. According to the developed FCM, it is concluded that the main reasons for the demand and installation of solar panels are the long-term savings and growing independence from the electrical network. This work ends with a conclusion and addresses future work.

KEYWORDS: Fuzzy Cognitive Maps, Solar Energy, Customer Satisfaction, Wind Energy, Photovoltaic Panels.

1 | INTRODUÇÃO

A necessidade do uso de fontes de energia limpa está aumentando devido as previsões de disponibilidade em longo prazo, significando que devemos ter consciência de que nossos recursos energéticos são limitados. O conceito de energia limpa é frequentemente associado a fontes renováveis, isso ocorre porque não produzem resíduos e não possuem limitações quantitativas em comparação com os combustíveis fósseis, minerais e nucleares.

Nenhum tipo de exploração de energia é completamente limpa. Segundo Villalva, a instalação de geradores eólicos causa a morte de aves, produz ruídos audíveis e modifica a paisagens. Na fabricação de aerogeradores e células fotovoltaicas são utilizados componentes tóxicos (VILLALVA, 2017). Usinas térmicas solares usam alguns fluidos tóxicos durante a instalação. As usinas hidrelétricas também não são totalmente limpas, pois a sua instalação exige uma grande quantidade de matéria-prima, além das inundações que altera de forma irreversível o meio ambiente.

No entanto, enquanto toda a exploração de energia provoca mudanças no ambiente, as fontes renováveis são de longe as menos prejudiciais. O investimento em fontes renováveis de eletricidade reduz significativamente as emissões de poluentes, reduzindo também o efeito estufa. Existem várias aplicações para essas fontes de energia, mas o maior interesse fica concentrado na geração de eletricidade que possui uma demanda cada vez mais crescente em todo o mundo.

Países mais desenvolvidos estão apostando alto em fontes de energia limpa. Na Europa, o percentual de energia gerada por fontes renováveis praticamente dobrou nos últimos anos, de 8,5% em 2004 para aproximadamente 17% em 2016 (ESE, 2018). Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade e os benefícios que o investimento fotovoltaico da energia solar pode proporcionar para o Brasil.

1.1 Instalação de Painéis Solares Fotovoltaicos

O maior benefício da energia solar para as casas é diminuir a conta de luz, isso é economizar energia. A instalação de um gerador solar residencial pode reduzir a conta ou mesmo dar a possibilidade de vender de energia elétrica excedente à rede. A energia solar é abundante e gratuita, por esse motivo o número de pessoas que instalam painéis fotovoltaicos em suas casas é cada vez maior.

A energia solar é aplicável em várias circunstâncias: *i)* como fonte de calor no aquecimento residencial e industrial, por exemplo. *ii)* como fonte de energia elétrica pode ser aplicado em diversas situações, como dessalinização de água, iluminação pública, sinalização marítima, entre outras.



Figura – 1: Exemplo de um conjunto de painéis solares instalados em uma residência.

A instalação de painéis solares residenciais é simples, portanto, não há necessidade de assistência técnica especializada. Os módulos solares normalmente não sofrem nenhum tipo de desgaste a curto e médio prazo e não apresenta consumo no processo de captura e transformação de energia solar. Portanto, basicamente a manutenção é restrita a limpeza somente quando há incrustação de material devido à poeira que pode afetar a transparência do vidro dos módulos e sua sensibilidade. A durabilidade média do sistema de coleta de energia solar é de aproximadamente 25 anos, garantindo um bom tempo para a recuperação do investimento da implantação do sistema. Assim, os investimentos iniciais para a instalação do sistema são amortizados ao longo de alguns anos, dependendo do nível de consumo e custo da tarifa do kW/h, resultando na economia futura para o usuário. A

Figura 1 mostra um exemplo de uma instalação solar amplamente utilizada em residências, na qual os painéis solares são montados no telhado, a fim de obter-se a maior incidência possível da radiação solar.

No entanto, existem algumas restrições, como a diminuição ou ausência de radiação solar direta em dias nublados, tornando necessário dimensionar uma bateria capaz de armazenar a energia elétrica necessária para ser usada nesses momentos, algo que pesa no custo do investimento para a instalação dos sistemas solares residenciais.

Instalação em residências rurais pode compensar mais a instalação solar do que uma extensão da rede elétrica. Isso pesa muito positivamente no quesito independência da rede elétrica. São esse os casos que é necessário dimensionar uma bateria capaz de armazenar energia para os períodos de baixa produção e da noite.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade e os benefícios que o investimento em energia solar pode proporcionar para as residências brasileiras. Primeiro, devemos entender o motivo pelo qual a instalação de painéis solares residenciais e industriais vem crescendo tanto no Brasil quanto no mundo. Também serão apresentadas algumas tendências de fontes de energia renováveis.

Esse trabalho está dividido da seguinte forma. Na seção 2 aborda fontes alternativas no Brasil

2 | FONTES DE ALTERNATIVAS DE ENERGIA PARA O BRASIL

A energia eólica refere-se à transformação da energia cinética do vento em energia útil, uma forma de obter energia renovável e limpa, uma vez que não produz poluentes. A energia eólica é transformada em energia elétrica através de um equipamento chamado aerogerador (ou turbina eólica), que inclui hélices que se movem com a velocidade do vento.

As energias renováveis estão crescendo, somente a energia eólica proporcionou mais da metade do crescimento das renováveis, enquanto a energia solar contribuiu com mais de um terço. Locais com alta densidade de nuvens, como Londres na Inglaterra, apresentam variações na produção de energia solar de acordo com seu grau de nebulosidade. Ao referenciar a energia solar deve-se considerar alguns fatores, como a média da radiação solar, captação e tecnologias na conversão de eletricidade. Embora as condições climáticas de muitos países não sejam favoráveis à captação de energia solar, no Brasil o cenário é bastante favorável.

2.1 Radiação Solar no Brasil

Em países tropicais, como o Brasil, o uso de energia solar é viável em praticamente todo o território, mesmo em lugares distantes dos centros de produção de energia. Seu uso ajuda a reduzir a demanda de energia e consequentemente a perda de energia que ocorreria na transmissão. Na Figura 2 são apresentados os índices de radiação média

segundo o Atlas Solarimetrico do Brasil.

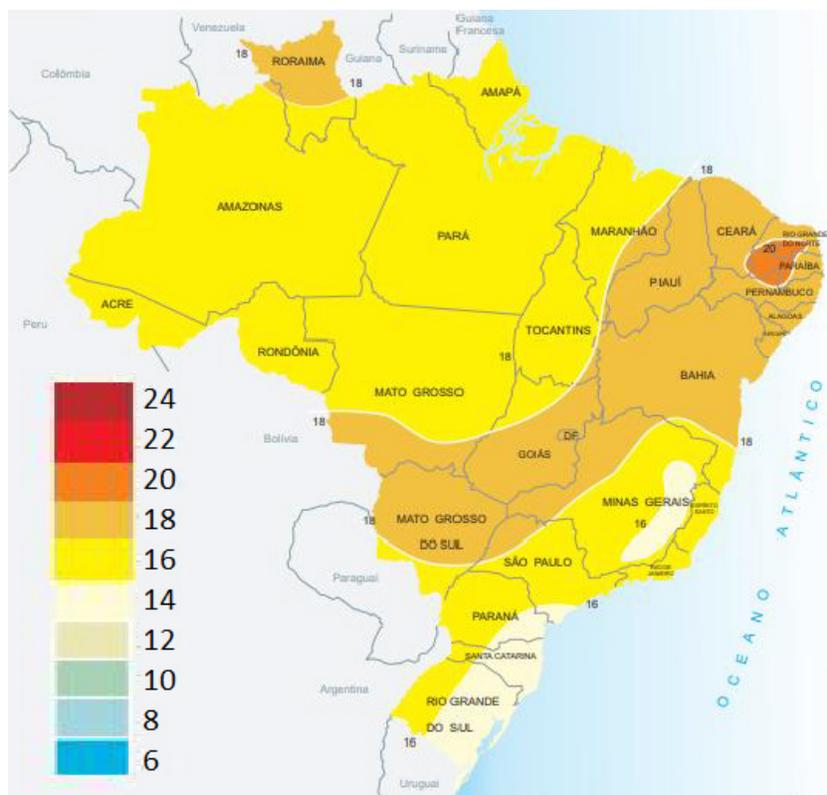


Figura - 2: Radiação solar global diária, média anual no Brasil [kW / m²].

As condições atmosféricas, como nebulosidade e umidade relativa, afetam a disponibilidade de radiação solar, bem como a latitude e posição local no tempo. A duração solar do dia varia muito em algumas regiões e períodos do ano. Já as variações mais intensas acontecem nas regiões polares e em períodos de solstício. Os maiores índices de radiação são observados na região nordeste, especialmente no Vale do São Francisco.

É importante enfatizar que mesmo em regiões com taxas de radiação mais baixas têm grande potencial para uso de energia. A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de modo que não observa-se grandes variações na duração solar do dia. No entanto, a maior parte da população brasileira e as atividades socioeconômicas estão concentradas em regiões mais distantes do Equador.

Em Porto Alegre, a capital do Rio Grande do Sul no Brasil, a duração solar do dia varia de 10h 13m a 13h 47m, aproximadamente, entre 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente. Assim, para maximizar o uso da radiação solar, podemos ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que

mais energia é necessária. No Hemisfério Sul, por exemplo, um sistema fixo de captura solar deve ser orientado para o norte, com um ângulo de inclinação próximo à latitude local.

De acordo com os dados coletados pelo Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), a região nordeste apresenta uma radiação global média de 5,9 kWh/m². A região centro-oeste aparece em segundo lugar com uma radiação global média de 5,7 kWh/m². Em seguida, estão a região sudeste com uma radiação global média de 5,6 kWh/m² e a região Norte com 5,5 kWh/m². Finalmente, a região sul aparece como a região com a pior radiação solar (5,2 kWh/m²). No entanto, a diferença entre a região mais ensolarada (nordeste) é de apenas 0,7 kWh/m², evidenciando o potencial da radiação solar brasileira.

2.2 Desenvolvimento da Tecnologia de Captação Solar

A eficiência dos painéis solares vem aumentando constantemente nas últimas décadas, nesse contexto, um dos principais fatores que definem a qualidade dos painéis solares são seus índices de eficiência. Esses índices estão em constante evolução, por exemplo, o Soitec & Fraunhofer Institute alcançou uma eficiência de 46%. Essas células solares de categoria de junção compósita são extremamente caras, usadas pela agência espacial da NASA (FRAUNHOFER, 2014).

Existem outras junções de células fotovoltaicas menos eficientes, como Sharp, Soitec & Fraunhofer, SunPower e Q-Cells. O tipo de material também influencia na célula solar, existem vários tipos de células solares como o cristal único, concentrado, silício policristalino e amorfo. Há menos desenvolvimento científico em painéis solares do que em células solares, devido ao fato da célula solar ser o núcleo de todo o processo de captura de radiação solar.

Para a geração de eletricidade em escala comercial, o principal obstáculo tem sido o custo das células solares. Atualmente, os custos de capital variam entre 5 e 15 vezes os custos unitários de uma usina de gás natural de ciclo combinado. Embora nos últimos anos tenha havido uma redução nos custos de capital, os valores estão na faixa de US\$ 200 a US\$ 300 por MW/he entre US\$ 3 mil e US\$ 7 mil por kW instalados. Uma visão global mais detalhada da distribuição dos sistemas fotovoltaicos instalados em todo o país é dificultada pelos seguintes fatores: a natureza desses projetos; sua localização, espalhada por localidades pequenas e remotas no território nacional e; a multiplicidade de empresas e instituições envolvidas em sua implementação e operação.

Uma das principais restrições técnicas à difusão de projetos de energia solar é a baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia, o que torna necessário o uso de grandes áreas para captação de energia em quantidade suficiente para viabilizar economicamente a empresa. No entanto, em comparação com outras fontes, como a energia hidrelétrica, por exemplo, que muitas vezes exige grandes áreas alagadas, observa-se que a restrição de espaço não é tão restritiva ao uso de energia solar. A tendência é que o contínuo desenvolvimento tecnológico e a pesquisa científica tornem a energia solar melhor e mais

lucrativa.

Segundo a ABSOLAR, o Brasil já investiu mais de R\$ 5,2 bilhões em projetos de geração de energia elétrica com painéis de células fotovoltaicas. Além disso, espera-se que até 2022 o investimento total seja de R\$ 21,3 bilhões, com grande parte desse montante aplicado em painéis solares residenciais, possibilitando a uma diminuição no preço da energia solar, tornando-a mais competitiva. De 2013 a 2018, o preço médio caiu de US\$ 103 por MWh para US\$ 33,25 por MWh de acordo com o relato pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Tal fato torna evidente que o crescimento modular de grandes e pequenos projetos, devido ao avanço da tecnologia, reduz cada vez mais os custos da instalação residencial de painéis solares.

2.3 Energia Eólica

Um sistema eólico pode ser usado em três sistemas diferentes: sistema isolado que são privados de eletricidade da rede pública; sistema híbrido que são sistemas produtores de eletricidade simultaneamente com mais de uma fonte, por exemplo, painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas e; sistema interligado à rede que inserem a energia produzida por eles na rede elétrica pública.

O Brasil tem grande potencial eólico, especialmente nas regiões nordeste, sudeste e sul do país. Infelizmente seu potencial é pequeno, mas representa uma importante fonte de suplementação de energia hidrelétrica. No entanto, devido ao alto custo de instalação de uma turbina eólica, muitos acabam optando pela energia solar.

Apesar da alta tendência de crescimento e uso de energia eólica e piezelétrica, este trabalho concentra-se na energia solar. Isso porque a geração de energia solar está se desenvolvendo mais rapidamente no Brasil, devido a alta incidência de radiação, fazendo com que a energia solar seja vista como um interessante investimento.

3 | DECISÃO E SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO RESIDENCIAL DE PAINÉIS SOLARES ATRAVÉS DA FCM

3.1 Custos de uma instalação solar residencial

O custo de um sistema de energia solar fotovoltaica depende principalmente da potência instalada e demandada na instalação. Uma pesquisa de mercado realizada pelo Portal Corporativo Solar em janeiro de 2018 descobriu que o custo final de um sistema de energia solar fotovoltaica depende principalmente do tamanho e da complexidade da instalação

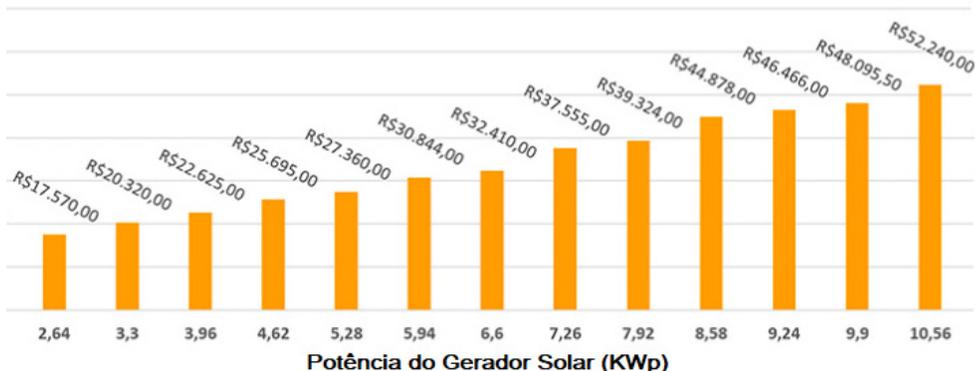


Figura - 5: Preços médios residenciais da energia do gerador solar.

A grande variação de preços entre os fornecedores está relacionada à qualidade dos componentes utilizados, ao tamanho da empresa, pois empresas maiores têm maior poder de compra e conseqüentemente economias de escala.

A Figura 5, tirada do Portal Corporativo Solar, mostra a relação média entre o custo e a potência do gerador solar.

O custo de investimento em energia solar de uma residência em um prazo 25 anos é mais barato do que o preço da rede elétrica. Isso dividindo o valor da energia gerada pelo sistema fotovoltaico pelo preço da energia solar (ANNEL, 2017).

Em Minas Gerais, assim como em todos os estados brasileiros, a energia solar fotovoltaica é mais barata do que a energia comprada das concessionárias elétricas, atualmente custando em torno de R\$ 0,70 por kWh, segundo dados do Portal Solar. Isso torna o investimento vantajoso já que a energia solar fotovoltaica rende entre 8% e 18% ao ano. Sem dúvidas é um o investimento atrativo, porém, quando lidamos com a decisão de compra e o nível de satisfação de alguém que instalou um sistema fotovoltaico em sua casa, o preço não é o único fator envolvido.

3.2 Mapas Cognitivos Fuzzy

O Mapa Cognitivo Fuzzy (FCM) é usado em muitos campos de pesquisa e aplicação, utilizado como um sistema de processamento de software para sistemas complexos. A principal razão para seu uso é inferir decisões aplicando métodos como o raciocínio humano em ambientes incertos. Vários campos de pesquisa estão sendo investigados usando FCM, como o campo industrial, logística, médica e outros.

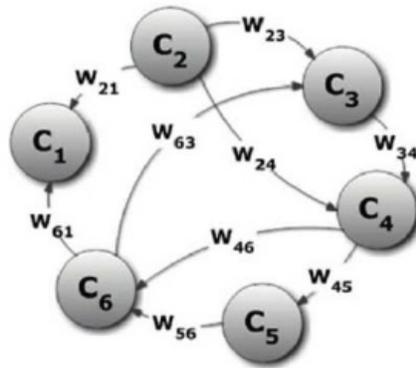


Figura - 6: Exemplo de FCM.

Na abordagem FCM, são identificados os conceitos como os principais contribuintes para o problema sob investigação. Assim é possível descrever o sistema em termos desses conceitos expressando uma relação positiva ou negativa entre eles, sendo pontuado sua influência mútua. Modelos de sistemas complexos podem ser feitos por especialistas ou construídos a partir dos dados históricos do próprio FCM obtidos a partir dos dados coletados pelo desempenho do sistema. A Figura 6 mostra um exemplo de um FCM.

Um FCM possui diversas variáveis que simbolizam os conceitos linguísticos conectados a outros conceitos por meio de conexões difusas. Essas conexões moldam as relações entre os conceitos através dos níveis de causalidade, o que significa que todos têm um «peso» que é quantificado com um valor numérico.

A representação formal do FCM adotada neste trabalho está no formato da tupla (C, W, S, f) : C é o conjunto de conceitos utilizados para construir o FCM, adotando valores que variam de -1 a 1. Seguinte (i) e (ii) em coerência com as equações (1) e (2).

- $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$: conjunto de conceitos n do FCM;
- $W: (C_i, C_j) \rightarrow w_{ij}$ é o peso (relação causal) que liga os conceitos de entrada e saída.

Em (1) e (2), f_c é a função de ativação do conceito, x_j é o valor do conceito j , w_{ij} representa a relação causal entre os conceitos i e j , e λ é a taxa de aprendizagem (2), utilizado 1 nessa pesquisa. Existem outras funções de ativação, entretanto, optou-se pela presente função por conta de sua menor complexidade computacional e ser bastante empregada na literatura, como por exemplo o trabalho de Mendonça e colaboradores (2013).

$$f(x_i) = f_c\left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \times x_j\right) \quad (1)$$

$$f_c = \frac{1}{1+e^{-\lambda u}} \quad (2)$$

3.3 FCM

Como mostrado em Papageorgiou e Salmeron (2013) e Felix *et al.* (2017), existem cerca de quinze extensões de FCM na literatura. Suas aplicações estão dentro dos diversos campos, como vida artificial, agricultura, assistência médica, controle, jogos e robótica.

No presente trabalho, foram desenvolvidos dois FCMs, um com quinze conceitos e outro com oito. O primeiro FCM quantifica a motivação média que um indivíduo apresentaria para comprar e instalar uma microgeração solar em sua residência. Os conceitos possuem um relacionamento casual, pesos e influências positivas e negativas. Eles foram definidos de acordo com as necessidades e motivação das pessoas em instalar painéis solares em suas residências por meio de uma pesquisa disponível no seguinte link: (<https://www.cognitofrms.com/UTFPRcp/PesquisaDeInteresseNaInstalaçãoDePainéisSolares>).

| Conceitos | Descrição |
|-----------|--|
| C1 | Nível de motivação para realizar sua instalação solar. |
| C2 | Custo total de instalação. |
| C3 | Investimento Inicial. |
| C4 | Economia de Energia. |
| C5 | Possíveis dificuldades na instalação. |
| C6 | Espaço Físico necessário. |
| C7 | Cuidado estrutural. |
| C8 | Tempo de Amortização. |
| C9 | Valor médio da Conta de Energia Elétrica. |
| C10 | Sustentabilidade (uso de uma energia limpa). |
| C11 | Informações sobre as vantagens da instalação solar. |
| C12 | Permanência do Imóvel (saber que a instalação solar valoriza mais o imóvel). |
| C13 | Suporte da Empresa (ter a garantia dos componentes adquiridos). |
| C14 | Melhora da qualidade de vida (poder gastar mais energia elétrica). |
| C15 | Vida útil dos painéis solares. |

Tabela 1 - Conceitos inseridos no FCM da Motivação.

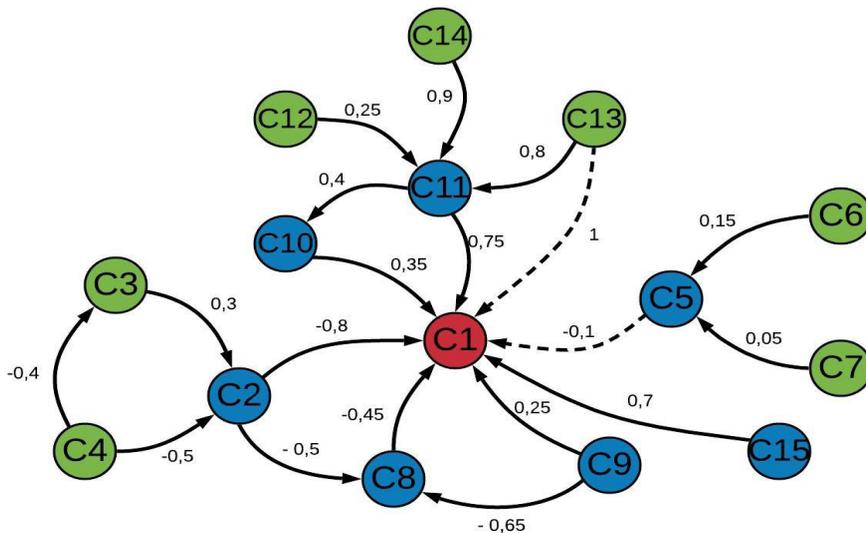


Figura - 7: A satisfação da FCM com a instalação residencial solar.

Tendo estabelecido os conceitos do mapa cognitivo, foram construídas suas respectivas relações de acordo com o modelo fuzzy clássico. Então o valor de suas relações foi quantificado de acordo com os dados da pesquisa somados aos dados de especialistas na área. A Figura 7 mostra o FCM do nível de satisfação da instalação de painéis solares junto aos valores de suas relações.

| Conceitos | Descrição |
|-----------|---|
| C1 | Nível de satisfação com a sua instalação solar. |
| C2 | Retorno Financeiro/ Economia de Energia Elétrica. |
| C3 | Investimento Inicial. |
| C4 | Tempo de Amortização. |
| C5 | Aumento da Tarifa. |
| C6 | Valorização do Imóvel. |
| C7 | Sustentabilidade. |
| C8 | Aumento da qualidade Vida. |

Tabela 2 - Conceitos inseridos no FCM da Satisfação.

O segundo FCM quantifica a satisfação dos clientes que já haviam comprado e instalado um conjunto de painéis fotovoltaicos. A Tabela 2 mostra os conceitos inseridos e a Figura 8 mostra o FCM desenvolvido. Os pesos de cada um dos conceitos desse FCM foram quantificados da mesma maneira que o anterior.

As linhas tracejadas mostram ligações condicionais entre os conceitos. O conceito

C5 é condicional pois só tem influência caso o indivíduo more em um apartamento ou conjunto habitacional, pois nesse caso a instalação solar não seria tão simples em uma residência.

O conceito C13 está ligado a motivação (C1) de forma condicional, pois não são todas as empresas que fornecem suporte aos seus clientes.

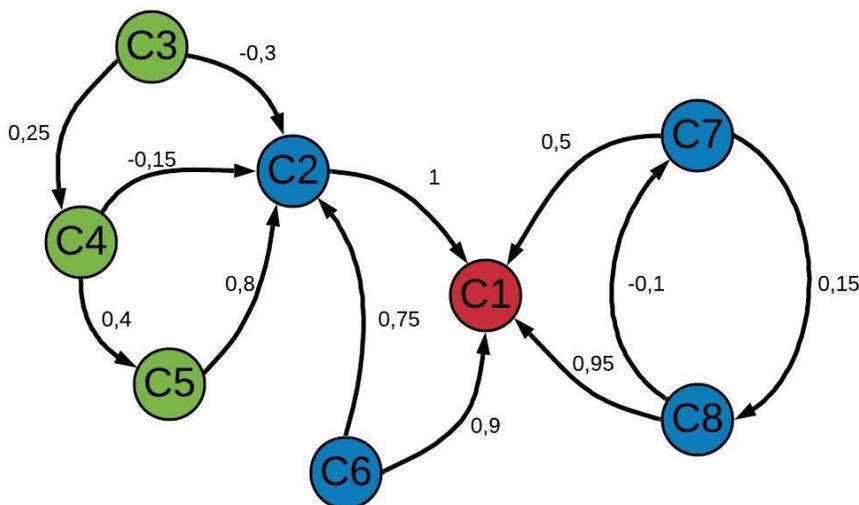


Figura - 8: A satisfação da FCM com a instalação residencial solar.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim, foi possível identificar um nível médio de motivação para instalar os painéis e a satisfação das pessoas que investiram na instalação de um sistema solar fotovoltaico residencial. Não há como prever exatamente qual seria o critério definitivo para a decisão de compra e a plena satisfação do cliente, pois cada um tem um critério pessoal que considera mais relevante. No entanto, tais variáveis não escapam ao controle do FCM, já que todos os fatores que podem ser considerados relevantes para o cliente foram mapeados.

Com o emprego do software Matlab®, constatou-se que o nível de motivação para realizar a instalação solar é cerca de 57%, isso sabendo-se bem das informações pertinentes como por exemplo as vantagens adquiridas. Já a satisfação dos clientes que já instalaram é de 80%. A partir das funções calculadas, construiu-se um modelo cognitivo por meio de um gráfico mostrando a resposta do nível de motivação e satisfação da instalação do painel solar residencial mostrado respectivamente nas Figuras 9 e 10.

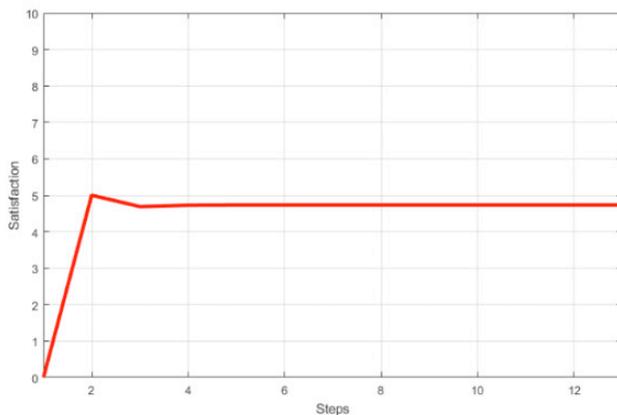


Figura – 9: Nível de Motivação.

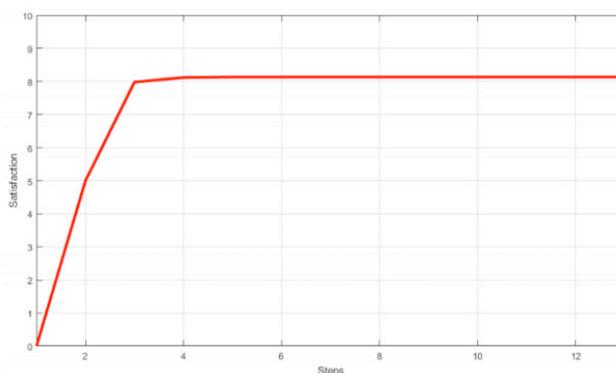


Figura - 10: Nível de satisfação.

Através de cálculos empíricos iniciais foi possível identificar os laços internos e estabelecer uma hipótese numérica inicial para o algoritmo. Treze ciclos foram necessários para atingir o ciclo limite do FCM. É possível visualizar no gráfico das Figuras 9 e 10 os treze passos necessários para a estabilização do FCM.

Segundo levantamento de satisfação do SEBRAE/BA (2017) a média de satisfação apresentada pelos empresários com seus fornecedores é de 4,4. Isto é em uma escala onde 1 é “muito insatisfeito” e 5 é “muito satisfeito”. No entanto, a pesquisa não se expandiu no campo da avaliação do cliente devido à constante dificuldade de acompanhamento, visto também que muitas empresas de instalação solar não oferecem o serviço de pós-venda, não registrando assim a satisfação de seus clientes.

5 | CONCLUSÃO

Segundo a ANEEL (2019), no ano de 2016 a energia solar cresceu 407% em relação ao ano anterior e até 2024 estima-se que 886,7 mil unidades consumidoras receberão

créditos dessa energia, totalizando 3,2 GW. Apesar desse crescimento, a energia solar ainda tem uma presença fraca na matriz elétrica brasileira, dominada por grandes hidrelétricas. A eletricidade produzida por fontes solares responde atualmente por cerca de 1% no país (ANEEL, 2019).

Segundo a ABSOLAR (2019), o Brasil já investiu mais de R\$ 5,2 bilhões em projetos de geração de energia elétrica com painéis de células fotovoltaicas. Além disso, espera-se que até 2022 o investimento total seja de R\$ 21,3 bilhões, com grande parte desse montante aplicado em painéis residenciais, tal fato acarreta uma diminuição no preço da energia solar, tornando-a mais competitiva. De 2013 a 2018, o preço médio caiu de US\$ 103 por MWh para US\$ 33,25 por MWh, segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, o que torna evidente o crescimento modular de grandes e pequenos projetos, devido ao avanço da tecnologia, reduzindo cada vez mais os custos da instalação residencial de painéis solares.

Conforme observado nesta pesquisa, a tendência é que o nível de satisfação na instalação residencial de painéis solares aumente, uma vez que o constante desenvolvimento da tecnologia solar está a tornando mais barata.

REFERÊNCIAS

ANNEE. **Energia solar**. National Electrical Energy Agency. 18 mar. 2019 < <http://www2.aneel.gov.br> >. 2017.

BANDEIRA, F. P. M. **O aproveitamento da energia solar no Brasil – situação e perspectiva**. Câmara dos Deputados. Brasília. 2012.

BEEBY, S. P., Torah, T. N., Tudor, M. J., Glynne-Jones, P., O' Donnell, T., Saha, C. R., Roy, S. **A micro electromagnetic generator for vibration energy harvesting**, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, v.17, p 1257-1265. 2007.

BUDYNAS, R. G., Nisbett, J. K. **Elementos de máquinas de Shigleyde Shigley**. AMGH Editora. 8th edition. 2009.

CHEN, S. N., Wang, G. J., Chien, M. C. **Analytical modeling of piezoelectric vibration induced micro power generator**. *Mechatronics*, v.16, p. 387-397. 2006.

COPETTI, J. B., Macagnan, M. H. **Baterias em sistemas solares fotovoltaicas**. In / CBENS-I Congresso Brasileiro de Energia Solar. 29 pages. 2007.

CORNELIUS, R. G. **Otimização de sistemas de geração fotovoltaicas através da reflexão de espelhos**. In Proceedings of the 8th Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – SIEPE 2016. Pampa, Brasil. 2016.

DUTRA, R.M., Mariano, J.B. Rovere, E. L. L., Soares, J. B., Trigo, A. G., Vieira, T. L. **Planejamento energético da oferta de energia a partir de energia renováveis: uma proposta de indicadores para avaliação integrada**. In Proceedings of the 9th Congresso Brasileiro de Energia – CBE 2006. Rio de Janeiro, Brasil. 2006.

ESSE, 2018. **Estadísticas de energia renovable**. Eurostat Statist Explained. 18 mar. 2019 <https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/es>.

FRAUNHOFER, 2014. **New world record for solar cell efficiency at 46%**. 19 mar. 2019. <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2014/new-world-record-for-solar-cell-efficiency-at-46-percent.html>>.

GALDINO, M. A., Souza, H. M. **The solar house of CRESESB / CEPEL seven years of success**. Coletânea de Artigos – Energia Solar e Eólica. Rio de Janeiro, Brasil, Vol. 2. Pp 29-36. 2005.

GREEN, M. A. **Solar cell efficiency tables: Progress in photovoltaics**. Research and Applications. Vol. 8. Pp 1-377. 2000.

KABIR, S., Papadopoulos, Y. **A review of applications of fuzzy sets to safety and reliability engineering**. *International Journal of Approximate Reasoning*. Elsevier, 100, pp. 29-55. 2018.

KOSKO, B. **Fuzzy cognitive maps**. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1986.

MAZZUTO, G., Ciarapica, F. E., Stylios, C., & Georgopoulos, V. C. **Fuzzy Cognitive Maps designing through large dataset and experts' knowledge balancing**. In 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 1-6). IEEE. 2018.

MENDONÇA, M., Angelico, B., Arruda, L.V.R., Neves, F., 2013. **A dynamic fuzzy cognitive map applied to chemical process supervision**. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 26, 1199–1210.

PAPAGEORGIOU, E. I., 2014. **Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering: from fundamentals to extensions and learning algorithms**. Vol. 54. Springer Science & Business Media, 2013.

PAPAGEORGIOU, E. I., & Salmeron, J. L. **A review of fuzzy cognitive maps research during the last decade**. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 21(1), 66-79. 2013.

PORTAL SOLAR, 2019. **Quanto custa a energia solar fotovoltaica**. 17 mar. 2019 <<https://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.html>>.

SEBRAE/BA, 2017. **Encadeamento Produtivo: Energia Fotovoltaica**. 27 abr. 2019 <<https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/BA/Anexos/Encadeamento%20produtivo%20-%20energia%20fotovoltaica.pdf>>.

SOLAR PRIME, 2018. **Instalação de energia solar: Tudo o que você precisa saber**. 18 mar. 2019 <<http://solarprime.com.br/blog/instalacao-de-energia-solar-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>>.

SOLARVOLT, 2018. **Entenda em detalhes a energia solar**. 18 mar. 2019 <<https://www.solarvoltenergia.com.br/como-funciona/>>.

TIBA, C. Fraindenraich, N., Moszkowicz, M. Cavalcant, E., Lyra, F., Nogueira, A., Gallegos, H. **Atlas solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Ed. Universitária da UFPE. 2000.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. Saraiva, São Paulo. 2nd edition. 2017.

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM CONTROLADOR PREDITIVO NÃO-LINEAR BASEADO EM MODELO QUASILINEAR MODIFICADO

Data de submissão: 18/11/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Manoel de Oliveira Santos Sobrinho

Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Colegiado de Engenharia Elétrica - CENEL
Juazeiro - BA
<http://lattes.cnpq.br/0858017134757716>

Adhemar de Barros Fontes

Universidade Federal da Bahia - UFBA, Departamento de Engenharia Elétrica
Salvador - BA
<http://lattes.cnpq.br/9900321851030867>

RESUMO: Neste artigo desenvolve-se um controlador preditivo não-linear baseado em modelo bilinear, o qual é linearizado a cada instante de amostragem e utilizado para se efetuarem as predições. Na linearização utilizam-se os valores da saída, conhecidos em cada instante de amostragem, e valores futuros calculados a partir do modelo da planta, para se atualizarem os coeficientes do modelo preditor. Resultados de simulação são apresentados utilizando-se dois sistemas bilineares de segunda ordem, com não linearidades bastante expressivas, para se avaliar o desempenho do controlador.

PALAVRAS-CHAVE: Controle Preditivo

Não-Linear, Modelos Bilineares.

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A NONLINEAR PREDICTIVE CONTROLLER BASED ON MODIFIED QUASILINEAR MODEL

ABSTRACT: In this paper, a nonlinear predictive controller based on bilinear model is developed, which is linearized at each sampling time and it is used to perform the predictions. In the linearizations are used the output values, that are known at each sampling time, and the future values, computed from the model plant, to update the coefficients of the predictor model. Simulation results are presented using two second order bilinear systems, with significant nonlinearities, in order to evaluate the controller performance.

KEYWORDS: Nonlinear Predictive Control, Bilinear Models.

1 | INTRODUÇÃO

O controle preditivo baseado em modelo (MPC) é uma técnica de controle bastante conhecida e utilizada tanto no meio acadêmico como na indústria (Qin and Badgwell, 2003). Em plantas industriais

mais complexas é crescente a demanda pelo controle preditivo não-linear (NMPC). Isto é devido a fatores tais como: o atual nível de especificação de alta qualidade de produção; a crescente demanda de produtividade; a atual legislação ambiental, que é mais rigorosa e ainda, as exigentes considerações econômicas na indústria que levam os processos a operar mais próximos dos limites admissíveis.

Do ponto de vista conceitual o NMPC não apresenta dificuldades, já que é possível considerar a mesma função objetivo utilizada no caso linear e um modelo não linear para o cálculo das predições (Bravo et al, 2008). O que se pretende novamente é encontrar o controle que minimize a função objetivo sujeito a um conjunto de restrições. Já do ponto de vista prático, são várias as dificuldades encontradas neste problema, se comparado ao caso linear, quais sejam: a determinação do modelo do processo, quando o mesmo deve ser obtido por identificação; a obtenção do sinal de controle que requer, em geral, a solução de um problema de otimização não convexa e a análise de estabilidade e robustez da solução (Henson, 1998, Mayne et al, 2000).

Um dos métodos mais difundidos para a solução do NMPC é a utilização de modelos linearizados na predição da saída, a qual é considerada na função objetivo. Neste caso, a otimização quadrática pode ser utilizada, o que consiste na principal vantagem do método. Na literatura encontram-se diversas abordagens para esta metodologia, tais como: a utilização de múltiplos modelos lineares, que é muito explorada para o desenvolvimento do MPC robusto (Torricco e Normey-Rico, 2004; Sakizlis et al, 2005), do MPC escalonado (Lu and Arkunl, 2003) e do MPC adaptativo; o método min-max, (Wan and Kotare, 2002) e linearização a cada período de amostragem, utilizada, por exemplo, na técnica da quasilinearização (Goodhart, et al, 1994) e NEPSAC (De Keyser, 1998; Ionescu et al, 2008). Em Fontes (Fontes et al, 2002), foi desenvolvido um controlador preditivo bilinear, o qual utiliza a quasilinearização do modelo bilinear de entrada-saída e termos de compensação para minimizar os erro de predição.

A bilinearidade é um importante tipo de dinâmica não linear. Os modelos bilineares são mais simples do que os modelos não lineares genéricos e representam o comportamento do processo melhor do que os modelos lineares. Além disso, estes modelos acomodam melhor outras dinâmicas, diferentes das dinâmicas bilineares, melhor que os modelos lineares. (Fontes et al., 2002). A escolha de modelos bilineares para representar as dinâmicas de um processo é também devido ao fato que esses modelos são matematicamente mais fáceis de tratar do que os modelos não lineares genéricos e a bilinearidade está presente no comportamento dinâmico de muitos sistemas físicos (King e James, 1990). Convém observar ainda que o modelo bilinear é linear nos parâmetros, o que permite o uso de todas as técnicas de identificação de sistemas lineares, o que se constitui em uma importante vantagem deste tipo de modelo. Muitos controladores preditivos apresentados na literatura são baseados em modelos bilineares (Bloemen et al, 2001; Liu e Li, 2004; Fontes e Ângelo, 2006; Sobrinho et al, 2011; Sobrinho et al, 2012).

Neste artigo, desenvolve-se um controlador preditivo baseado em modelo bilinear, linearizado em cada instante de amostragem, e utiliza-se o algoritmo do GPC (Generalized Predictive Control), (Clark et al, 1987) para se obter a sequência de entradas de controle. A linearização utiliza valores da saída do sistema, conhecidos até o instante atual de amostragem e a resposta livre para se obterem os coeficientes do modelo linear pretendido. É importante salientar que este algoritmo é uma versão modificada do processo de quasilinearização por degrau de tempo (Goodhart, et al, 1994). No entanto, as modificações implementadas melhoram o desempenho de controle, como será mostrado pelos resultados de simulações realizadas em dois sistemas bilineares de segunda ordem, com não linearidades bastante expressivas.

2 I DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO

O modelo quasilinear por degrau de tempo (Goodhart et al, 1994), foi desenvolvido para modelos bilineares. Considere um sistema SISO (Single Input, Single Output) descrito pelo seguinte modelo bilinear:

$$A(q^{-1})y(k) = B(q^{-1})u(k-1-d) + \sum_{i=1}^{na} \eta_{i-1} u(k-i-d)y(k-i-d), \quad (1)$$

em que: k é o instante atual de amostragem; $A(q^{-1})$ e $B(q^{-1})$, são polinômios da seguinte forma:

$$\begin{aligned} A(q^{-1}) &= a_0 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{na} q^{-na}; \\ B(q^{-1}) &= b_0 + b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{nb} q^{-nb}, \end{aligned} \quad (2)$$

sendo: $a_0=1$ e $b_0 \in \mathbb{R}$; $u(k)$ a sequência de entradas ou variáveis manipuladas; $y(k)$ a sequência de saída ou variáveis controladas; q^{-i} o operador atraso tal que $q^{-i} y(k) = y(k-i)$ e $d \geq 0$ o atraso, expresso como múltiplos inteiros do período de amostragem. O modelo quasilinear por degrau de tempo consiste em reescrever a Equação (1) na seguinte forma:

$$y(k) = \sum_{i=1}^{na} a_i(u)y(k-i-d) + B(q^{-1})u(k-1-d), \quad (3)$$

em que:

$$a_i(u) = -a_i + \eta_{i-1} u(k-i-d). \quad (4)$$

Para se calcularem os coeficientes $a_i(u)$ e se efetuarem as predições, que são características dos controladores preditivos, são requeridos os valores futuros das entradas $u(k+j-1-d)$, sendo $j=0 \dots N_y$ e N_y o horizonte de predição. A aproximação quasilinear por degrau de tempo consiste em assumir como constante os valores futuros das entradas e iguais ao último valor conhecido da entrada, $u(k-1)$. Observa-se que as predições não são exatas e que o termo, utilizado para se fazer as aproximações, é constante para um

determinado instante de amostragem. Em consequência disso, tem-se uma degradação de desempenho do controlador.

Para se amenizar esta degradação e se obter uma melhor aproximação do modelo preditor, propõe-se, neste artigo, que a linearização seja realizada modificando-se os coeficientes do polinômio $B(q^{-1})$, diferentemente do que é feito na estratégia utilizada pela quasilinearização original, que efetua a modificação no polinômio $A(q^{-1})$. Para tanto, utiliza-se os valores das saídas $y(k)$, conhecidas até o instante atual k e os valores preditos da resposta livre, $y_L(k+j-1-d)$, $j=0\dots N_y$, calculados em cada instante de amostragem, para se efetuar a aproximação necessária de cada predição j passos à frente, $y(k+j-d)$. Por simplicidade, será utilizado um modelo bilinear de segunda ordem, com $d=0$, para ilustrar a estratégia desta quasilinearização modificada, antes de se apresentar a sua generalização.

Seja um sistema representado pelo seguinte modelo:

$$y(k) = -a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) + b_0 u(k-1) + b_1 u(k-2) + \eta_0 u(k-1) y(k-1) + \eta_1 u(k-2) y(k-2). \quad (5)$$

A predição um passo à frente é dada por:

$$y(k+1) = -a_1 y(k) - a_2 y(k-1) + b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \eta_0 u(k) y(k) + \eta_1 u(k-1) y(k-1). \quad (6)$$

Para se aplicar a estratégia proposta, este modelo deve ser reescrito na seguinte forma:

$$y(k+1) = -a_1 y(k) - a_2 y(k-1) + [b_0 + \eta_0 y(k)] u(k) + [b_1 + \eta_1 y(k-1)] u(k-1). \quad (7)$$

Fazendo:

$$b_{0,1} = b_0 + \eta_0 y(k) \text{ e } b_{1,1} = b_1 + \eta_1 y(k-1), \quad (8)$$

o modelo preditor um passo à frente resulta no seguinte modelo linear:

$$y(k+1) = -a_1 y(k) - a_2 y(k-1) + b_{0,1} u(k) + b_{1,1} u(k-1). \quad (9)$$

Observa-se que $b_{0,1}$ e $b_{1,1}$ podem ser calculados sem necessidade de se fazer aproximações, visto que $y(k)$ e $y(k-1)$ são conhecidos no instante atual k , resultando em uma linearização exata para a predição um passo à frente, o que não acontece na predição um passo à frente do controlador quasilinear por degrau de tempo. Repetindo-se este procedimento para a predição dois passos à frente, tem-se que:

$$y(k+2) = -a_1 y(k+1) - a_2 y(k) + b_{0,2} u(k+1) + b_{1,2} u(k), \quad (10)$$

sendo:

$$b_{0,2} = b_0 + \eta_0 y(k+1) \text{ e } b_{1,2} = b_1 + \eta_1 y(k). \quad (11)$$

O termo $b_{1,2}$ ainda pode ser calculado de forma exata, mas o termo $b_{0,2}$ depende

da saída futura $y(k+1)$. Neste caso, será necessário se admitir uma aproximação. O termo $y(k+1)$ será substituído pelo seu respectivo valor da resposta livre $y_L(k+1)$, que pode ser calculada em cada instante de amostragem. Sabe-se que o vetor de resposta livre, $y_L(k+1) \dots y_L(k+N_y)$, é calculada de forma recursiva e utilizando-se os valores das entradas $u(k)$ conhecidas até o instante atual k . Assim, tem-se o modelo preditor quasilinear modificado dois passos à frente, dado por:

$$y_q(k+2) = -a_1 y(k+1) - a_2 y(k) + b_{0,2} u(k+1) + b_{1,2} u(k), \quad (12)$$

sendo:

$$b_{0,2} = b_0 + \eta_0 y_L(k+1) \text{ e } b_{1,2} = b_1 + \eta_1 y(k). \quad (13)$$

Para a predição quasilinear três passos à frente pode-se escrever:

$$y_q(k+3) = -a_1 y(k+2) - a_2 y(k+1) + b_{0,3} u(k+2) + b_{1,3} u(k+1), \quad (14)$$

sendo:

$$b_{0,3} = b_0 + \eta_0 y_L(k+2) \text{ e } b_{1,3} = b_1 + \eta_1 y_L(k+1), \quad (15)$$

em que os termos $b_{0,3}$ e $b_{1,3}$ são calculados por aproximação, substituindo-se $y(k+1)$ e $y(k+2)$ por seus respectivos valores da resposta livre $y_L(k+1)$ e $y_L(k+2)$.

Para a predição j passos à frente pode-se escrever:

$$y_q(k+j) = -a_1 y(k+j-1) - a_2 y(k+j-2) + b_{0,j} u(k+j-1) + b_{1,j} u(k+j-2), \quad (16)$$

sendo:

$$b_{0,j} = b_0 + \eta_0 y_L(k+j-1) \text{ e } b_{1,j} = b_1 + \eta_1 y_L(k+j-2). \quad (17)$$

Assim, tem-se uma diferenciação do termo utilizado para se realizar a referida aproximação, para cada predição $y(k+j)$ realizada em cada instante de amostragem k . Isto proporciona a este algoritmo uma melhor aproximação no cálculo das predições, podendo-se obter assim, um melhor desempenho do controlador. Convém salientar que quanto melhor a predição, ou seja, menor erro de predição, melhor o desempenho do controlador preditivo, cuja essência é a predição. Deve-se observar que, à medida que a saída do sistema se aproxima do valor de referência de controle, a resposta livre tende para os valores de saída do sistema. Isto lineariza de forma exata o modelo preditor no ponto de operação.

A generalização do modelo preditor, para a quasilinearização modificada, pode ser realizada escrevendo-se a Equação (1) na seguinte forma:

$$A(q^{-1})y_q(k+j) = \sum_{i=1}^{na} b_{i-1,j} u(k+j-i-d), \quad (18)$$

sendo:

$$A(q^{-1}) = a_0 + a_1q^{-1} + a_2q^{-2} + \dots + a_{na}q^{-na} ; \quad (19)$$

$$b_{i-1,j} = b_{i-1} + \eta_{i-1}y_L(k + j - i - d). \quad (20)$$

Assim, o modelo preditor é atualizado em cada instante de amostragem e diferenciado para cada horizonte de predição.

Observa-se que o modelo preditor obtido é linear em cada instante de amostragem. Isto permite que se utilize o algoritmo do GPC, uma vez que o mesmo foi desenvolvido para modelos lineares. Vale lembrar que a estratégia dos controladores preditivos utiliza o modelo da planta, em cada instante de amostragem, para realizar as predições.

A aproximação das predições pela resposta livre conduz, obviamente, a uma predição subótima. Contudo, deve-se observar que este é um artifício interessante, visto que na formulação da lei de controle do GPC, a minimização da função objetivo J , leva em conta a diferença entre a referência r e a resposta livre y_L , uma vez que J é dado por: (Camacho e Bordons, 2004).

$$J = \frac{1}{2}u^T Gu + b^T u + f_0, \quad (21)$$

sendo:

$$\begin{aligned} G &= 2(H^T H + \lambda I) ; \\ b^T &= 2(r - y_L)^T H ; \\ f_0 &= (r - y_L)^T (r - y_L), \end{aligned} \quad (22)$$

em que λ é a ponderação na ação de controle. Isto mostra uma relação da aproximação realizada, que utiliza a resposta livre, com a formulação da função objetivo.

3 | RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Seja um sistema bilinear de segunda ordem descrito por:

$$\begin{aligned} y(k) &= 1,6y(k-1) - 0,63y(k-2) + 4u(k-1) + 3u(k-2) + \\ &6u(k-1)y(k-1) + 5u(k-2)y(k-2). \end{aligned} \quad (23)$$

Este sistema possui não linearidades bastante expressivas, como pode ser observado pelos valores dos coeficientes bilineares. Neste sistema, pode-se verificar a existência de grande variação no ganho estático e no tempo de estabelecimento, para níveis distintos de entradas. Além disso, o sistema apresenta um ganho estático bastante elevado. Para se efetuar o controle deste sistema hipotético, foram projetados os controladores quasilinear e quasilinear modificado conforme descrito. O Controlador

Quasilinear Modificado foi implementado com filtro de referência, ou pré-compensador, para escalonamento da referência. Isto porque, devido à sua característica de agregar os termos bilineares nos coeficientes do polinômio $B(q^{-1})$, o mesmo provoca sobressinal elevado, o que foi contornado com o pré-compensador.

Inicialmente, os controladores foram sintonizados de modo que seus esforços de controle ficassem próximos. Para ambos, o horizonte de previsão foi $N_y=4$. Em seguida, foi sintonizada a ponderação na ação de controle, λ , diminuindo-se o máximo possível para se obter um menor tempo de estabelecimento, mas sem instabilizar o sistema. Com isto, o esforço de controle será sempre muito grande. Para o controlador quasilinear, o menor valor possível foi $\lambda=250$. Para se obter um esforço de controle próximo, o controlador quasilinear modificado foi sintonizado com $\lambda=32$. Os resultados da simulação, aplicando-se como referência o degrau unitário, são apresentados nas Figuras 1 e 2.

Na Figura 1 observa-se um melhor desempenho do controlador quasilinear modificado, o qual reduziu em cerca de 25% o tempo de estabelecimento. Observou-se também que o controlador quasilinear tende a instabilizar com facilidade, enquanto que o controlador quasilinear modificado apresentava-se bastante estável, permitindo a redução do valor de λ até zero. A Figura 3 mostra o desempenho deste controlador sintonizado com $\lambda = 10$, $\lambda = 1$ e $\lambda = 0$.

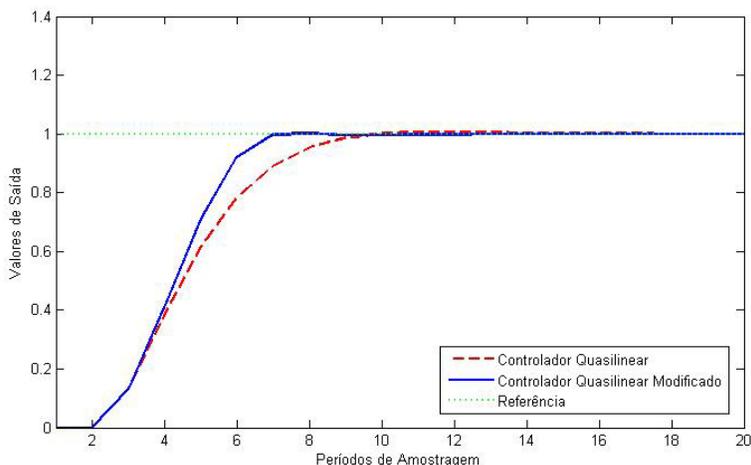


Figura 1. Saída do sistema controlado pelos controladores quasilinear e quasilinear modificado.

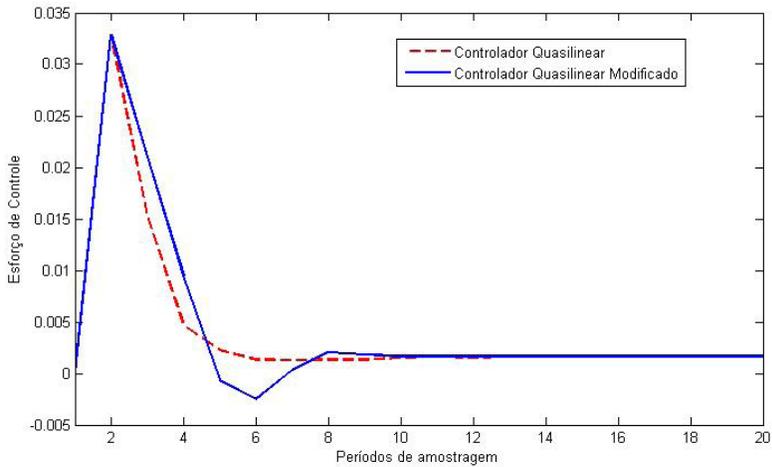


Figura 2. Esforço de controle para as saídas mostradas na Fig. 1.

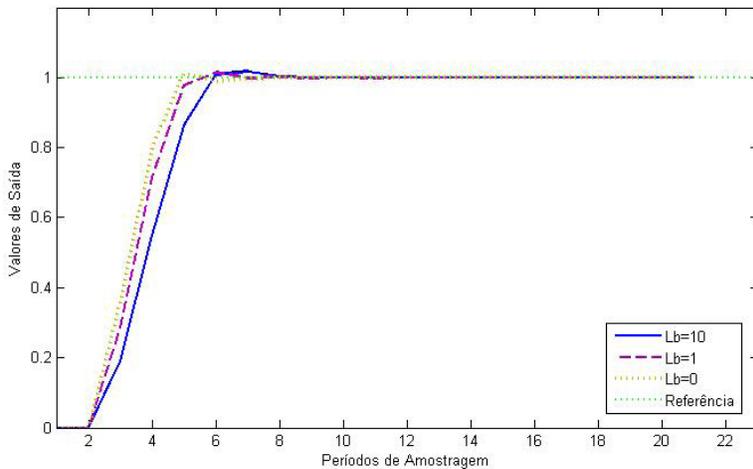


Figura 3. Saídas do sistema com o controlador quasilinear modificado em diferentes sintonias.

Em seguida foi realizada uma simulação para se observar o desempenho dos controladores quando se varia a referência. A Figura 4 mostra a saída do sistema controlado pelo controlador quasilinear modificado sintonizado com $\lambda=10$. Observa-se que as referências são seguidas sem problemas de instabilidade. Na Figura 5 apresenta-se o respectivo esforço de controle. Já o controlador quasilinear não conseguiu controlar o sistema satisfatoriamente. Mesmo para $\lambda=600$, em que a resposta é bastante lenta, o sistema instabiliza quando a referência passa de $r=1$ para $r=1,5$.

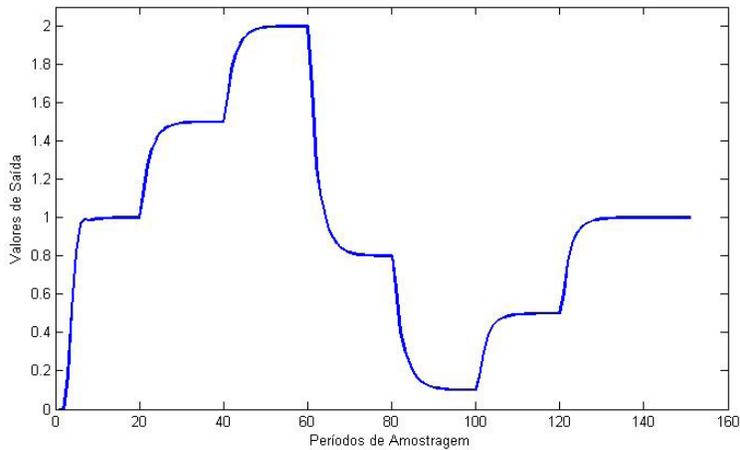


Figura 4. Saída do sistema controlado pelo controlador quasilinear modificado variando-se a referência.

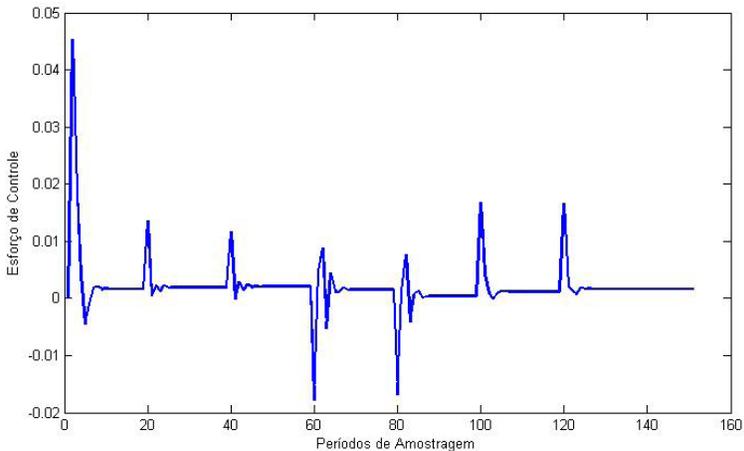


Figura 5. Esforço de controle para as saídas mostradas na Fig. 4.

Para se verificar a robustez do controlador quasilinear modificado, provocou-se um aumento de 10% nos parâmetros do modelo, diferenciando assim, dos parâmetros do modelo usados pelo controlador. Os resultados são mostrados nas Figuras 6 e 7, em que foi utilizado a mesma sintonia da simulação anterior, com $\lambda = 10$. Observa-se um sobre sinal de 4% na referência $r = 1$.

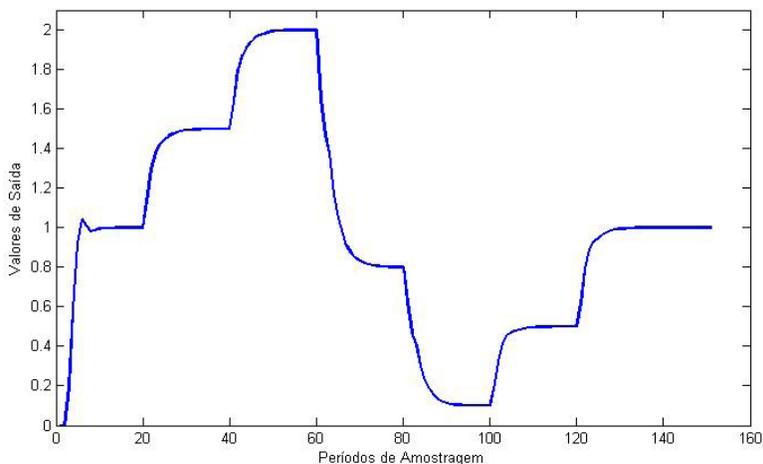


Figura 6. Saída do sistema controlado pelo controlador quasilinear modificado com variação de 10% nos parâmetros da planta.

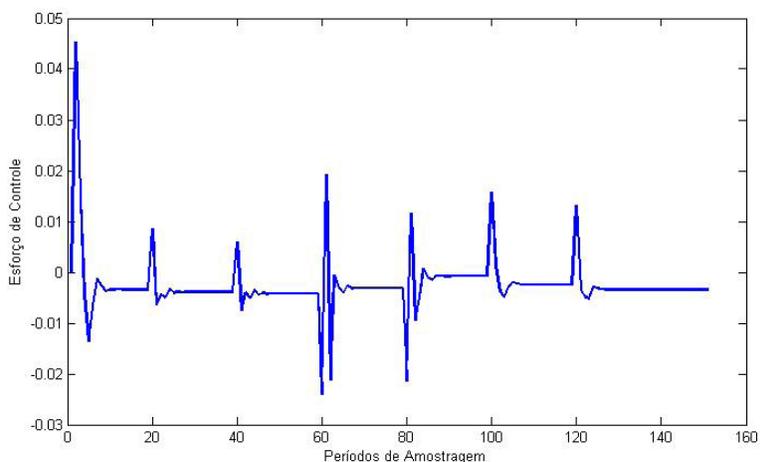


Figura 7. Esforço de controle para as saídas mostradas na Fig. 6.

Outra simulação foi realizada para se observar o desempenho dos controladores, utilizando-se o seguinte sistema:

$$\begin{aligned}
 y(k) = & 1,6y(k-1) - 0,63y(k-2) + 0,04u(k-1) + \\
 & 0,03u(k-2) + 0,4u(k-1)y(k-1) + \\
 & 0,3u(k-2)y(k-2).
 \end{aligned} \tag{24}$$

Este sistema também possui não linearidades bastante expressivas, porém ganho estático muito menor que o primeiro sistema. Para este caso utilizou-se um horizonte de predição $N_y=10$ para os dois controladores. A sintonia utilizada para a ponderação na

ação de controle foi $\lambda=850$ para o Controlador Quasilinear, pois um menor valor causou instabilidade no sistema. Porém a resposta ficou muito lenta, o que motivou a utilização de um ganho no controlador, cujo valor máximo possível de ser utilizado, sem instabilizar o sistema, foi aproximadamente $8,0$. Para a sintonia do Controlador Quasilinear Modificado foi utilizado $\lambda=3$. Assim obtiveram-se os resultados mostrados nas Figuras 8 e 9, quando se aplica uma referência do tipo degrau de magnitude $5,0$.

Na Figura 8, observa-se que a saída do sistema, quando controlado pelo Controlador Quasilinear Modificado, alcança a referência dentro do horizonte de previsão determinado, $N_y=10$, enquanto que a saída do sistema com outro controlador é muito lenta, mesmo aplicando-se um ganho igual a $8,0$ no sinal de controle. Além disso, como aconteceu na simulação do primeiro sistema, pode-se reduzir o valor de λ na sintonia do Controlador Quasilinear Modificado, de modo que se alcança a referência em um tempo ainda menor, sem problemas de instabilidade do algoritmo.

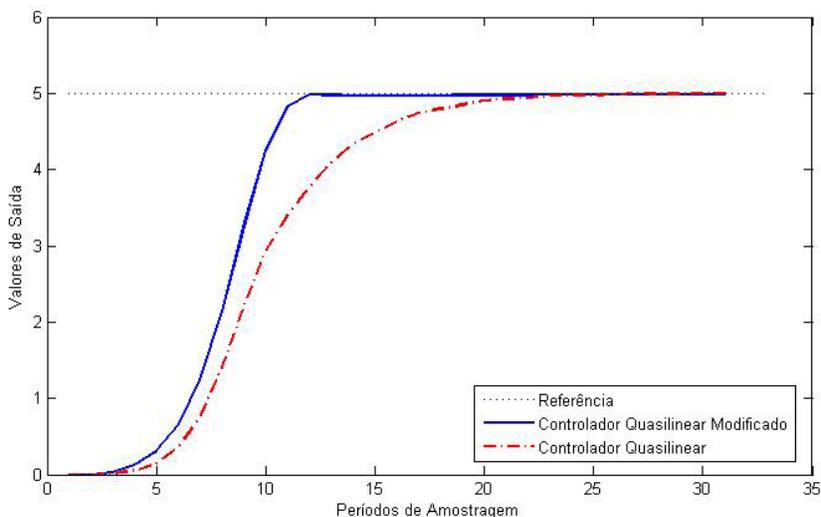


Figura 8. Saída do sistema controlado pelos controladores quasilinear e quasilinear modificado.

A Figura 9 apresenta o esforço de controle dos dois controladores. Observa-se que o pico do sinal do Controlador Quasilinear Modificado ainda foi um pouco menor que o do outro controlador.

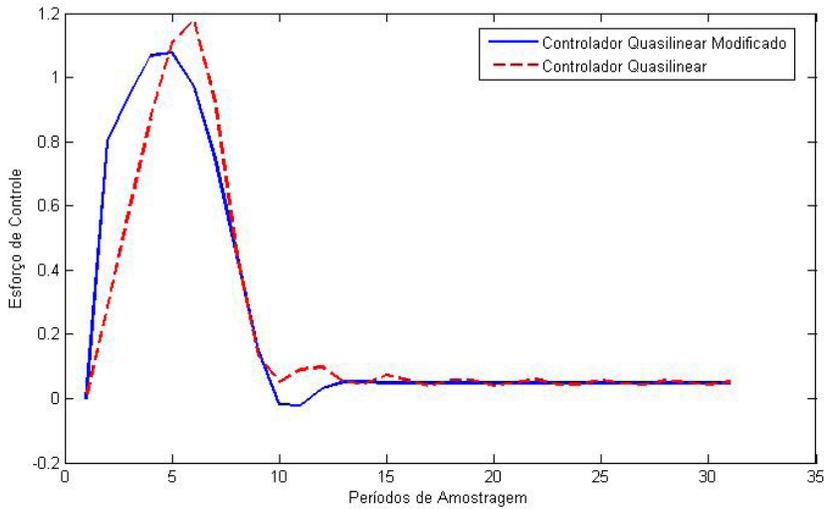


Figura 9. Esforço de controle para as saídas mostradas na Fig. 8.

4 | CONCLUSÃO

A modificação na quasilinearização, aqui apresentada, proporcionou melhorias no desempenho do controlador, principalmente quando as não linearidades do sistema são mais expressivas. Uma diferença importante entre os controladores aqui analisados é que o controlador quasilinear atualiza os polos do modelo do sistema linearizado, a cada instante de amostragem, alterando fortemente a dinâmica do sistema representado pelo modelo. Já o controlador quasilinear modificado, atualiza os zeros do modelo do sistema a cada instante de amostragem e também para cada horizonte de predição, alterando assim, tanto o ganho do sistema, como também a sua dinâmica. Observaram-se melhorias na optimalidade do controle, como também na estabilidade do algoritmo, quando se variou a ponderação na ação de controle, para os sistemas aqui simulados. Essas melhorias foram devidas principalmente às predições mais precisas, decorrentes da atualização do modelo preditor para cada horizonte de predição.

Um dos sistemas utilizados para simulação possui um alto ganho estático. Embora, na prática, a existência de processos com ganhos elevados não sejam frequentes, a solução aqui apresentada é adequada para estes casos.

REFERÊNCIAS

Bloemen, H. H. J., van den Boom, T. J. J., Verbruggen, H. B. (2001). **An Optimization Algorithm Dedicated to a MPC Problem for Discrete Time Bilinear Models**. Proceedings of the American Control Conference, Arlington, VA, p.2371-2381.

Bravo, C. O. A., Normey-Rico, J. E. e Torrico, B. C. (2008). **Nova Técnica para Controle de Plantas Não Lineares Utilizando Controle Preditivo Linear Baseado em Modelo**. XVII Congresso Brasileiro de Automática, Juiz de Fora, MG.

Camacho, E. F. and Bordons, C. **Model Predictive Control**. (2004). Springer- Verlag, London.

Clarke, D. W., Mohtadi, C. and Tuffs, P. S. (1987). **Generalized Predictive Control**, Automatica, vol. 21, nº 2.

De Keyser, R. M. C. (1998). **A gentle introduction to model based predictive control**. In PADI2 International Conference on Control Engineering and Signal Processing, Piura, Peru.

Fontes, A. B., Maitelli, A. L. and Salazar, A. O. (2002). **A new Bilinear Generalized Predictive Control Approach: Algorithm and Results**. In 15th Triennial World Congress of the International Federation of Automatic Control, Barcelona.

Fontes, A. B. e Ângelo, E. (2006). **Controle Preditivo Generalizado Bilinear Aplicado a uma Coluna de Butadieno 1,3: A Compensação Iterativa, Uma Nova Abordagem**. XVI Congresso Brasileiro de Automática, Salvador-BA.

Goodhart S. G., K. J. Burnham. and D. James. (1994). **Bilinear self-tuning control of a high temperature heat treatment plant**. IEE Procedure Control Theory Applications. Vol. 141, No 1, pp. 12 -18.

Henson, M.A. (1998). **Nonlinear model predictive control: current status and future directions**. Computer and Chemical engineering, 23, 187-202.

Ionescu, C. Hodrea R. and De Keyser. R. (2008). **Impact of Disturbance Filter in Nonlinear EPSAC Predictive Control of Blood Glucose Level in Type I Diabetic Patients**. 17th IEEE International Conference on Control Applications. Part of 2008 IEEE Multi-conference on Systems and Control San Antonio, Texas, USA, September 3-5.

King, J., Burnham, J. and James G. (1990). **Comparison of two identification techniques for bilinear systems**. Control and Computation, Vol. 18, nº.1, pp. 4-8.

Liu, G. Z., Li, P. (2004). **Generalized Predictive Control for a Class of Bilinear Systems**. IFAC 7th Symposium on Advanced Control of Chemical Processes, Hong Kong, China, p.952-956.

Lu, Y. and Arkunl, Y. A. (2003). **Practical multiple model adaptive strategy for single-loop mpc**. Control Engineering Practice, 11:141–159.

Mayne, D. Q., Rawlings, J. B., Rao, C. V., and Sokaert, P. O. M. (2000). **Constrained model predictive control: Stability and optimality**. Automatica, 36, 789–814.

Qin, S. J. and Badgwell T. A. (2003). **A Survey of Industrial Model Predictive Control technology**. Control Eng. Practice 11, 733–764.

Sakizlis, V., Manthanwar, A. M. and Pistikopoulos, E. N. (2005). **Robust parametric predictive control design for polytopically uncertain systems**. American Control Conference.

Sobrinho, M. O. S., Fontes, A. B. e Dórea, C. E. T. (2011). **A New Algorithm for Bilinear Predictive Control**. In 9th IEEE International Conference on Control and Automation. Santiago, Chile.

Sobrinho, M. O. S., Fontes, A. B. e Dórea, C. E. T. (2012). **Desenvolvimento de um Controlador Preditivo Não Linear Baseado em Modelo Compensado Aplicado a uma Coluna de Destilação Simulada, Caracterizada por um Modelo NARMAX**. XIX Congresso Brasileiro de Automática, Campina Grande, PB.

Torrice, B. C. e Normey-Rico, J. E. (2004). **Controle Preditivo de Sistemas Não Lineares com Atraso**, XV Congresso Brasileiro de Automática.

Wan, Z. and Kotare, M. V. (2002). **Robust output feedback model predictive control using off-line linear matrix inequalities**. Journal of Process Control 12, 763-774.

IMPLEMENTAÇÃO DE ATERRAMENTO EM UMA RESIDÊNCIA COM DR PARA ELIMINAR O CHOQUE ELÉTRICO

Data de aceite: 02/01/2023

Eliandro Marquetti

Faculdade Uniamérica Descomplica
Foz do Iguaçu – Paraná
<https://lattes.cnpq.br/8638713772279491>

Elielton Christiano de Oliveira Metz

Faculdade Uniamérica Descomplica
Foz do Iguaçu – Paraná

Luciana Paro Scarin Freitas

Faculdade Uniamérica Descomplica
Foz do Iguaçu – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2554057558293125>

RESUMO: Choque elétrico é a passagem da energia elétrica pelo corpo, portanto quando o equipamento estiver bem aterrado as pessoas e animais estão seguros pois a energia procura o melhor caminho para a descarga até a terra, evitando qualquer tipo de acidente elétrico. O (DR) dispositivos à corrente diferencial-residual é um dispositivo que interrompe automaticamente e desliga correntes elétricas de pequena intensidade quando detecta uma fuga de corrente. O respectivo trabalho pretende solucionar o problema de choque elétrico sofrido pelos integrantes da família em uma residência cuja instalação inicial não

apresenta aterramento. Para isso será feito um levantamento da tubulação, verificando a fiação de acordo com as normas NR5410 com bitola, emendas e isolamentos. Também foram avaliados os disjuntores de cada circuito no quadro de distribuição e nas caixas de passagem na laje. Foi analisada a fiação e conexões nas tomadas e equipamentos da residência, após a conclusão do projeto que foi implementado o aterramento com DR.

PALAVRAS-CHAVE: Choque elétrico, Aterramento, Dispositivo residual.

IMPLEMENTATION OF GROUNDING IN A RESIDENCE WITH DR TO ELIMINATE ELECTRIC SHOCK

ABSTRACT: Electric shock is the passage of electrical energy through the body, so when the equipment is well grounded, people and animals are safe as the energy seeks the best way to discharge it to the ground, avoiding any type of electrical accident. Differential-residual current (DR) devices are devices that automatically interrupt and turn off small electrical currents when a current leak is detected. The respective work solved the problem of electric shock suffered by family members in a residence

whose initial installation did not have a ground. Therefore, a survey of the pipe was carried out, checking the wiring in accordance with NR5410 standards with gauge, amendments and insulation. The circuit breakers of each circuit in the distribution board and in the pass boxes on the slab will also be evaluated. The wiring and connections in the sockets and equipment of the residence will be analyzed, after completion of the project, grounding with DR will be implemented.

KEYWORDS: Electric shock, grounding, residual device.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo a Abracopel (2022), o choque elétrico lidera o ranking de acidentes fatais no país, sendo que em 2021 foi registrado 674 mortes por choque elétrico. Neste cenário a região sul se encontra em terceiro lugar com 110 acidentes fatais, em comparação com anos anteriores o índice de acidentes aumentou, mas o índice de mortes caiu devido o aumento de dispositivo Diferencial Residual aliado com o sistema eficiente de aterramento.

Nos Estados Unidos são contabilizadas em torno de 300 mortes por ano devido ao choque elétrico, e 5% das internações por queimaduras são por choque elétrico (RUNDE, 2018).

O choque elétrico é a passagem da energia elétrica pelo corpo, assim sendo quando um equipamento estiver bem aterrado estamos protegidos pois a energia procura o melhor caminho para a descarga até a terra (KELLER, 2010).

A corrente elétrica quando passa pelo corpo do homem, pode gerar desde queimaduras leves, lesões em órgãos lesões nos sistemas respiratórios e cardíaco, podendo levar a morte (RUNDE, 2018).

Todas as instalações elétricas precisam fornecer um meio de transferência de corrente elétrica no caso de uma falha no circuito para reduzir os riscos potenciais de choque (KELLER, 2010).

O aterramento tem por objetivo principal a descarga elétrica dos equipamentos para a terra através de um cabo (geralmente cobre ou alumínio) conectado a outro metal (haste de terra, geralmente ferro revestido de cobre) encravado na terra. (FILHO,2015).

De acordo com as normas vigentes da ABNT, o projeto de aterramento deve seguir algumas diretrizes básicas como: Localizar e definir o local do aterramento, fazer várias medições no local, fazer a estratificação do solo, escolher o tipo de sistema de aterramento, dimensionar o sistema de aterramento observando a sensibilidade dos equipamentos de proteção e os limites de segurança das pessoas (DO; MINIST; TRABALHO, 2018).

O (DR) dispositivos à corrente diferencial-residual é um dispositivo que interrompe automaticamente e desliga correntes elétricas de pequena intensidade (DO; MINIST; TRABALHO, 2018).

Considerado um meio mais eficaz de proteção de pessoas e animais contra choque elétricos, os DR, tem por finalidade a interrupção da corrente elétrica num determinado

período, reduzindo as perdas de energia e danos às instalações elétricas, não dispensando o condutor de proteção, disjuntores, fusíveis e DPS (NBR 5410, 2004).

De acordo com a (NBR 5410, 2004), o DR precisa ser instalado em série com os disjuntores no quadro de distribuição, sendo colocado depois do disjuntor geral. O circuito magnético de DR deve envolver todos os condutores vivos do circuito, inclusive o neutro, mas nenhum condutor de proteção; todo condutor de proteção deve passar exteriormente ao circuito magnético.

Será feito um levantamento da tubulação, verificando a fiação de acordo com as normas NR5410 com bitola, emendas e isolamentos. Também serão avaliados os disjuntores de cada circuito no quadro de distribuição e nas caixas de passagem na laje. Será analisada a fiação e conexões nas tomadas e equipamentos da residência.

O presente projeto tem como o objetivo principal solucionar o problema de choque elétrico sofrido pelos integrantes da família em uma residência cuja instalação inicia não apresenta aterramento.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Choque elétrico

O choque elétrico é uma grande preocupação dos profissionais da engenharia, pois lidera o ranking de acidentes elétricos fatais no país, sendo registrado 674 mortes no ano de 2021, como mostra a figura 1.

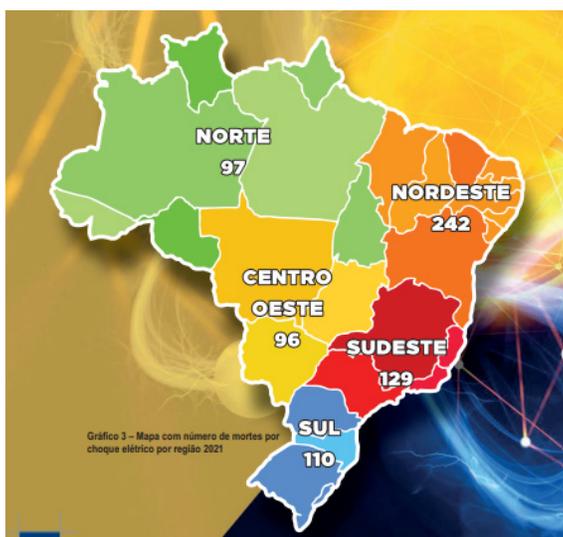


FIGURA 1 (índice de acidentes, abracopel, 2022)

Segundo Abracopel (2020), as causas mais comuns são as improvisações, instalações antigas e sem manutenção, e o mal uso de diversos plugs na mesma tomada (ALVARENGA, 2020).

A estatística mostra o número de mortes por choque elétrico em cada estado do Brasil, onde pode-se observar que o Paraná se encontra em sexto lugar, com 37 acidentes fatais no ano de 2021, figura 2.

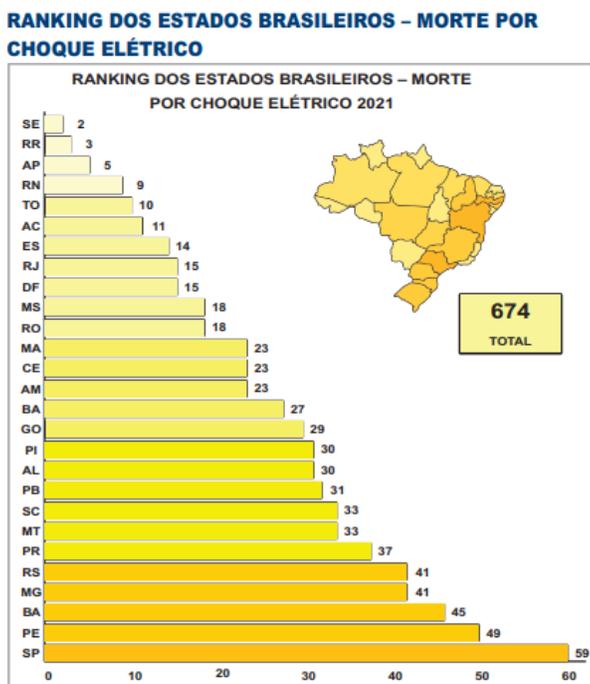


Gráfico 9 – Ranking dos estados brasileiros com maior número de mortes por choque elétrico 2021

FIGURA 2 (Abracopel, 2022)

Esses acidentes poderiam ser evitados se as pessoas se conscientizassem de contratar profissionais especializados para realização das instalações, e também a utilização da instalação elétrica conforme a norma Brasileira 5410.

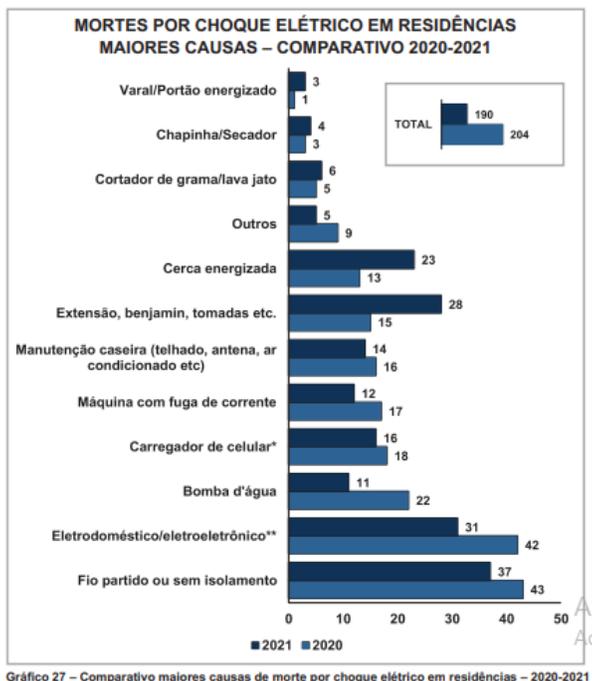


FIGURA 3 (Abracopel, 2022)

De acordo com uma pesquisa “Raio x das instalações elétricas” publicado pela Abracopel, apenas 29% das residências brasileiras possuem projeto elétrico, e pouco mais de 50% têm o fio terra como proteção e apenas 27% tem o DR.

Na instalação elétrica tem o material isolante e os condutores elétricos, entende-se por material isolante toda substância de alta resistência de passagem dos elétrons, ou baixa condutividade elétrica sendo que cada material tem seu grau de isolamento, e o objetivo principal é isolar os condutores elétricos entre si em relação a terra ou a massa (BOSS; ASSIS; CALUZI, 2012).

A condutividade elétrica é a facilidade da passagem dos elétrons quando está submetido a uma diferença de potencial elétrico sendo que o mais usado é o cobre, alumínio e a prata devido ao custo, mas os de melhores condutividade é a prata o cobre ouro e o alumínio («Instalações elétricas Internas», 2015).

O choque elétrico é a passagem da energia pelo corpo assim sendo quando um equipamento está bem aterrado existe uma proteção pois a energia procura o melhor caminho para a descarga até a terra (KELLER, 2010).

O choque elétrico dependendo do tempo e da intensidade que a pessoa sofre, pode variar de um simples acidente sem nenhum dano ou até a morte de pessoas ou animais (COTRIM, 2009).

2.2 Energia Elétrica

A energia elétrica tornou-se indispensável para o ser humano, são amplas as áreas de utilização, que vai desde iluminação, refrigeração, aquecimento, motores, comandos elétricos, circuitos eletrônicos, indústrias, chegando até na alta tecnologia de impressão de órgãos humano (RODRIGUES; GUIMARÃES; SOUZA, 2017).

Toda geração de energia, é transformada de algum tipo de energia em energia elétrica, essa energia seja ela solar, hidráulica, térmica, renovável, eólica ou nuclear tem a função de girar um eixo transformando-a em energia elétrica.

Mais de 85% da energia produzida no Brasil é gerada por usinas hidroelétricas, sendo que a água é um abundante recurso natural. Segundo a Aneel, o potencial hidráulico do Brasil está na ordem de 260 GW (ANEEL, [s.d.]).

A energia hidráulica é convertida em elétrica através da passagem da água em dutos em função da diferença de altura, que ao girar as turbinas acionam um gerador elétrico, e converte em energia elétrica (SOUZA; RODRIGUES, 2017).

A transmissão de energia elétrica no Brasil é de responsabilidade de FURNAS. Com os geradores alimentando a energia elétrica na rede chega até a subestação de elevação, transmitindo através de cabos suspensos por torres que chegam até as subestações rebaixadoras. Para a distribuição, cada estado tem sua concessionária que é responsável por chegar até o consumidor rebaixando novamente geralmente em 220v e 127v. Os consumidores de grande porte podem comprar a energia em alta tensão e reduzindo com transformador próprio(SOUZA; RODRIGUES, 2017).

Na parte interna a energia entra pelo padrão de luz que faz a medição, passando pelo ramal de alimentação chegando até o quadro de distribuição alimentando com fase nos disjuntores sendo que os cabos tem que ser de cor amarela branca e vermelha , neutro no barramento de neutro de cor azul e terra no barramento de terra com cor verde tarjado de amarela, depois é feito a distribuição da energia cada um com seu circuito chegando nas lâmpadas e tomadas com fase neutro e terra («Redes elétricas», [s.d.]

2.3 Instalação elétrica

Toda instalação começa com um bom projeto, será implementado na segunda etapa o aterramento nesta residência seguindo os seguintes passos:

- Levantamento de todas as caixas de passagem e tubulações, quadro de distribuição.
- Levantamento de todos os equipamentos existentes.
- Execução do projeto detalhado contendo os pontos de iluminação e tomadas, trajeto e bitola dos condutores, dimensionamento dos disjuntores e divisão dos circuitos, conforme a NBR 5410.
- Verificação da instalação elétrica conforme o projeto com Dr e DPS e aterra-

mento conforme NBR 5410.

- Refazer a instalação se necessário implementando o aterramento em todas as tomadas e equipamentos conforme NBR 5410.

O projeto será executado de acordo com a literatura específica (CREDER, 2016)

2.4 Norma Técnica 5410

A norma 5410 aplica-se nas instalações de baixa tensão (menor de 1000v em corrente alternada e 1500 em corrente contínua) com o objetivo de atender e garantir o funcionamento e segurança de pessoas e animais domésticos e a conservação de bens. A norma é usada em reformas, instalações novas, ampliações da instalação existente e aplica-se em edificações residenciais, comerciais, industriais, governamentais, estabelecimento público, camping, marina, canteiros de obras, feiras, exposições e instalações temporárias (COTRIM, 2009).

2.5 Aterramento

O aterramento é a ligação de equipamentos elétricos com a terra (solo), para que a corrente elétrica possa fluir e se difundir (DO; MINIST; TRABALHO, 2018).

Podemos considerar três condições básicas para se fazer o aterramento:

Limitar picos de tensão causados por raios, operações do sistema utilitário ou contato acidental com linhas de alta tensão;

Para fornecer uma conexão à terra que possa estabilizar a tensão sob condições normais de operação;

Para facilitar a operação de dispositivos de sobrecorrente, como disjuntores, fusíveis e relés em condições de falta à terra (KELLER, 2010).

Toda edificação tem que dispor de uma própria infraestrutura de aterramento podendo ser uma haste metálica encravada no solo, armadura do concreto das fundações, malha metálica enterrada (norma ABNT NBR 5410).

O aterramento tem por objetivo principal a descarga elétrica dos equipamentos para a terra através de um cabo (geralmente cobre ou alumínio) conectado a outro metal (haste de terra, geralmente ferro revestido de cobre) encravado na terra, ele direciona a energia elétrica para a terra, fornecendo um condutor menos resistente do que você (FILHO,2015), (KELLER, 2010).

O fio terra deve ser isolado e identificado de cor verde ou verde com tarja amarela, com diâmetro padronizado percorrendo toda a instalação elétrica conectando no terceiro pino das tomadas e nas carcaças dos equipamentos (CREDER,2008).

2.6 Dispositivo Diferencial Residual (DR)

Os DR são considerados equipamentos de proteção contra efeitos nocivos dos choques elétricos, que protegem as pessoas, protegem as instalações contra falhas de

isolação, que poderá ter perda de energia, causando focos de incêndios, também protege os condutores elétricos contra sobrecorrentes, além de controlar o isolamento da instalação evitando desperdício de energia por fuga de corrente (DO; MINIST; TRABALHO, 2018).



FIGURA 4: Dispositivo Diferencial Residual (DR)

Fonte: <http://www.focoled.com.br/>

Como o próprio nome já define o dispositivo de diferencial residual tem por objetivo detectar e interromper em um determinado prazo de tempo (fração de segundos) a fuga de corrente elétrica por meio da diferença da corrente entre qualquer fase ou fase neutro sendo em um equipamento defeituoso ou um acidente elétrico.

Apesar de ser de uso obrigatório nas instalações elétricas novas ou mesmo antes de 1997 que foi feita a norma 5410 somente 27% das residências possuem o equipamento («Instalações elétricas Internas», 2015).

2.7 Dispositivos de Proteção contra Surto (DPS)

Os DPS servem para a proteção contra o surto de energia proveniente de raios atmosféricos ou até mesmo de um distúrbio da rede elétrica protegendo todos os equipamentos que estiverem conectados no circuito devendo ser instalado junto a entrada de serviço ou no primeiro quadro de distribuição geral, sendo um em cada fase.

Segundo (kindermann 1992) os DPS ao detectar um aumento da tensão eles atuam através de um varistor, esse transferindo a energia excedentes para o condutor terra evitando danos aos aparelhos eletroeletrônicos.

2.8 Tipos de DPS

- Disjuntor modelo NEMA

- Disjuntor modelo DIM

No Brasil existem dois modelos usados atualmente como disjuntores, o DIM que é o modelo Europeu e atente o mercado de acordo com a ABNT NBR NM60898 e o NEMA padrão norte-americano baseado na norma RTQ contida na portaria do INMETRO 243.

No Brasil de acordo com a NBR-5361 (Disjuntores de Baixa Tensão) os disjuntores precisam seguir parâmetros. Conforme a NBR-5361 a um cancelamento provisório, e consecutivamente a IEC 60947-2 (Disjuntores Industriais) IEC 60898 (Disjuntores Residenciais).

Para uma melhor qualidade e segurança a IEC “International Electrotechnical Commission” são representados por integrantes de diversos países com finalidade de estabelecer um padrão mínimo de qualidade, onde será aceita pelas diversas nações participantes. E a RTQ “Regulamento técnico da Qualidade” e estabelecido pelos técnicos do INMETRO com o intuito de padronizar uma norma.

2.8.1 Disjuntor NEMA

O disjuntor NEMA é o disjuntor mais comum e mais antigo encontrado em uma casa, ou empresa com instalações elétricas. Ele é chamado de disjuntor térmico já que isso demonstra seu funcionamento (C2E. com), esse disjuntor aciona através de calor, quando o fio ultrapassa a corrente nominal ele superaquece e acaba abrindo o circuito do disjuntor.

Mas esse disjuntor tem uma capacidade de identificação muito baixa, o disjuntor NEMA só consegue identificar corrente até um certo valor, se essa corrente for muito superior ele não irá identificar a mesma.

Os disjuntores NEMA tem a características de serem sempre na cor preta



Figura 5- disjuntor NEMA (fonte C2E)

2.8.2 Disjuntor DIM

Os disjuntores DIM são atualmente os mais modernos e atuais do mercado, esse tem como referência sua função termomagnética pois tem um sensor magnético que aciona o disjuntor antes de o fio esquentar, dessa forma ele tem a mesma função que o NEMA e ainda conta com a função magnética.



Figura 6- disjuntor Schneider (fonte C2E)

3 | OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- Solucionar o problema de choque elétrico sofrido pelos integrantes da família em uma residência cuja instalação inicial não apresenta aterramento.

3.2 Objetivos específicos

- Implementar o aterramento elétrico na instalação existente;
- Realizar uma análise geral da instalação elétrica;
- Instalar o DR no quadro de distribuição.

4 | METODOLOGIA

A partir de uma análise detalhada, e de acordo com a NR5410 foi realizado um projeto específico para a residência, no programa AutoCAD.

Foram executados os seguintes procedimentos para realização deste projeto:

- Identificação da tubulação por onde passam os cabos de alimentação que sai do padrão de medição até o quadro de disjuntores geral 1 (QDG1) térreo;
- Verificação da bitola da tubulação e bitola dos cabos de alimentação;

- Passagem do cabo utilizando um guia, saindo do QDG1, chegando até a haste de terra do padrão de medição;
- Passagem do condutor de proteção de mesma bitola da fase ligando uma extremidade na haste de terra que aterriza o padrão de medição e na outra extremidade conectando ao borne de terra dentro do QDG1, sistema terra neutro (TN);
- Instalação do DR no QDG1 em série com o disjuntor geral passando as três fases e o terra alimentando os disjuntores de cada circuito;
- Passagem dos condutores de proteção saindo do borne de aterramento do QDG1 para tomadas e equipamentos sendo um para cada circuito;
- Verificado a tubulação do QDG1 até o QDG2;
- Passado o condutor de proteção com guia, ligando no borne de aterramento do QDG1 até o borne de aterramento do QDG2;
- Instalado o DR no QDG2 em série com o disjuntor geral passando as três fases e o terra alimentando os disjuntores de cada circuito;
- Passado os condutores de proteção, saindo do borne de aterramento do QDG2 para tomadas e equipamentos sendo um para cada circuito;

A execução foi realizada conforme as normas da ABNT 5410 foram substituídos os cabos necessários e inseridos os cabos de aterramento, tornando a casa segura e eficaz.

5 | ESTUDO DE CASO

5.1 Aplicação de conhecimento

Após estabelecidas as metodologias e aplicadas, foi analisado o projeto para uma melhor performance e segurança em sua execução.

Após análise do quadro de carga foi constatado que foi necessário para uma melhor segurança a substituição de alguns componentes sendo alguns deles os disjuntores.

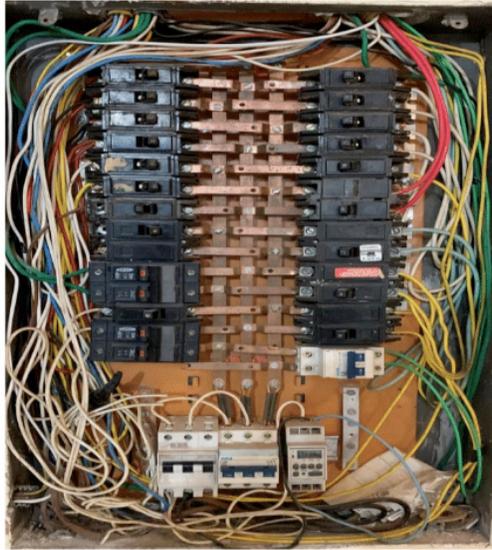


Figura 7- quadro geral (fonte autor)

Ao analisar os dados do projeto ficou estabelecido que foi necessária uma reorganização da parte elétrica da residência devido a falta de aterramento, onde fica evidente através do quadro geral. Foram tiradas algumas fotos para comprovar a necessidade da aplicação do projeto.

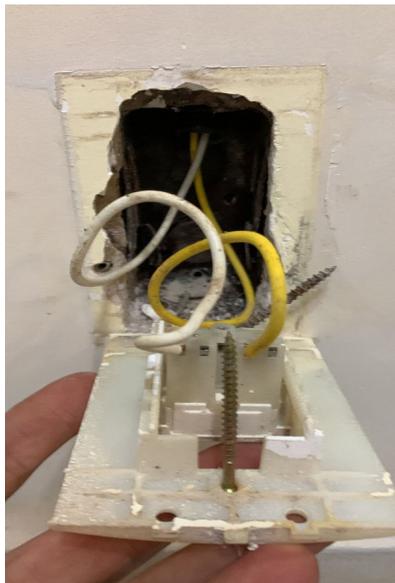


Figura-8 tomada sem fio terra (fonte autor)



Figura-9 fonte autor Figura-10 fonte autor

Ao analisar todos esses pontos isoladamente, foi confirmada a necessidade em executar esse projeto pois o risco de um choque elétrico se torna exponencialmente grande, sendo assim conforme os estudos citados acima sobre equipamentos de proteção, foi feita a demanda total e assim executadas com os DPS e DRs.

5.2 Resultados Obtidos

Conforme foi sendo realizada as implementações de melhorias do quadro de distribuição do projeto, foi se autorrealizando uma correção em toda as redes interligadas na casa, sendo que ela não avia aterramento e com isso ficava muito fácil de ocorrer um choque elétrico enquanto se utilizava algum dos pontos de saída de energia.

A partir de então foi sendo promovido com êxito a elaboração de método para conseguir os resultados que havíamos propostos. Então após feito esses ajustes e melhorias conseguimos concluir que o projeto está completamente alinhado com o nosso objetivo, abaixo segue os resultados.

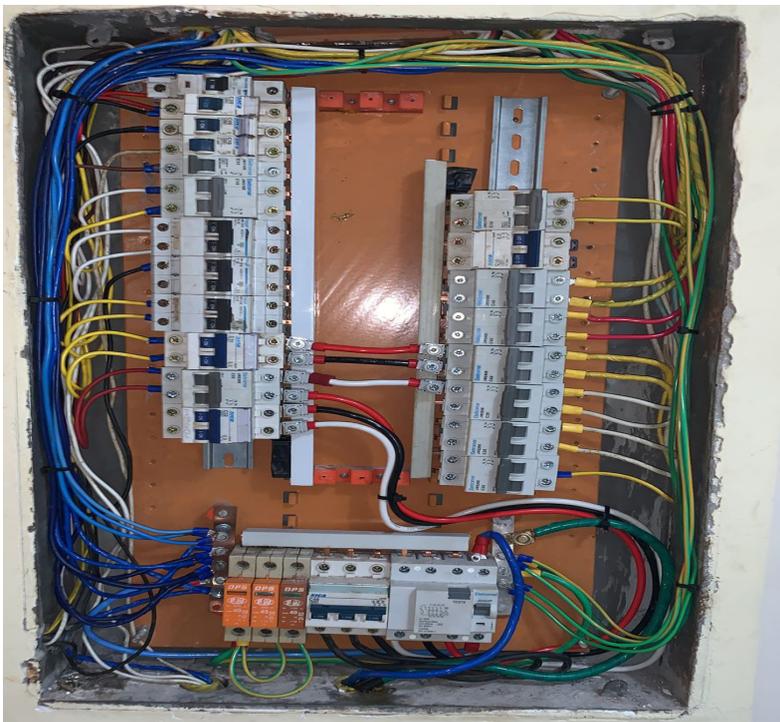


Figura 11- quadro geral com aterramento (fonte autor)



Figura 12- chuveiro com aterramento (fonte autor)



Figura 13- tomada com aterramento (fonte autor)



Figura 14- Haste de aterramento (fonte autor)

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, G. C. www.abracopel.org.

ANEEL. **Hidraulica**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afLoop=1768493501758438&_adf.ctrl-state=9ptrietct_1#!%40%40%3F_afLoop%3D1768493501758438%26_adf.ctrl-state%3D9ptrietct_5>.

BOSS, S. L. B.; ASSIS, A.; CALUZI, J. J. **Stephen Gray e a descoberta dos condutores e isolantes: tradução comentada de seus artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos**. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/109254>>.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações Elétricas**. 5. ed. SÃO PAULO: Pearson Education do Brasil, 2009.

CREDER, H. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**. 16. ed. [s.l.: s.n.].

DO, R. I. O.; MINIST, T.; TRABALHO, R. I. O. D. O. **Proteção contra choques elétricos em canteiros de obras**. 2018.

Instalações elétricas Internas. Disponível em: <https://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2018/02/Doc-19-1-Cap-1_Condutores_apostila.pdf>.

KELLER, K. **Electrical System Grounding and Bonding**. [s.l.: s.n.].

NBR 5410. **NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão: Proteção e segurança**. [s.l.: s.n.].

Redes elétricas. Disponível em: <<https://redeseletricas.wordpress.com/>>.

RODRIGUES, R.; GUIMARÃES, R.; SOUZA, B. C. D. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**. SÃO PAULO: SAGAH EDUCAÇÃO S.A, 2017.

RUNDE, D. P. **Lesões por Choque Elétrico**. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt/profissional/lesões-intoxicação/lesões-por-choque-elétrico-e-raios/lesões-por-choque-elétrico>>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SOUZA, D. B. C.; RODRIGUES, R. **ELETROTÉCNICA**. SÃO PAULO: SAGAH EDUCAÇÃO S.A, 2017.

PANORAMA DAS FONTES TÉRMICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Data de submissão: 15/12/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Bruno Knevitx Hammerschmitt

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/4865207592578956>

Felipe Cirolini Lucchese

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8546392131996035>

Marcelo Bruno Capeletti

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1922799731958383>

Renato Grethe Negri

Universidade Federal de Santa Maria,
Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9607795757047650>

Leonardo Nogueira Fontoura da Silva

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/8009856508464151>

André Ross Borniatti

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/1414695090460054>

Fernando Guilherme Kaehler Guarda

Universidade Federal de Santa Maria,
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/3425190645010192>

Alzenira da Rosa Abaide

Universidade Federal de Santa Maria,
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica
Santa Maria – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2427825596072142>

RESUMO: Com a alta inserção dos recursos energéticos renováveis para a geração de energia elétrica, usualmente com geração intermitente, surge a necessidade de fontes controláveis de energia. As fontes térmicas são caracterizadas por terem sua geração controlável, garantindo a operabilidade e flexibilidade para os sistemas de energia, o que permite acomodar as inconstâncias de produção das fontes renováveis de energia.

Os combustíveis oriundos das fontes térmicas são originários de recursos energéticos renováveis e não renováveis. Com isso o uso racional e sustentável destes recursos deve ser considerado. Desta forma, este estudo tem por objetivo em esclarecer os principais direcionamentos sobre as fontes térmicas para a geração de energia elétrica no Brasil. Com este estudo espera-se possibilitar aos pesquisadores uma visão ampla das fontes térmica na matriz elétrica nacional, e suas principais aplicações no fornecimento de energia elétrica para o sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Geração de energia térmica; fontes térmicas; energias renováveis; energias não renováveis.

OVERVIEW OF THERMAL SOURCES FOR ELECTRIC ENERGY GENERATION IN BRAZIL

ABSTRACT: With the high insertion of renewable energy resources for electric energy generation, usually with intermittent generation, the need for controllable energy sources. The thermal sources are characterized by having their generation controllable, guaranteeing the operability and flexibility for the energy systems, which allows accommodating the production instancies of the renewable energy sources. Fuels from thermal sources originate from renewable and non-renewable energy resources. Thus, the rational and sustainable use of these resources must be considered. Therefore, this study aims to clarify the main directions of thermal sources for electric energy generation in Brazil. This study is expected to provide researchers with a broad view of thermal sources in the national electrical matrix, and their main applications in the electric energy supply to the system.

KEYWORDS: Thermal energy generation; thermal sources; renewable energies; non-renewable energies.

1 | INTRODUÇÃO

Os Sistemas Elétricos de Potência (SEP) são representados pelos sistemas de geração, pelas linhas de transmissão por onde a energia gerada é conduzida, e pelos sistemas de distribuição onde a energia predominantemente é disponibilizada para o consumo. Neste contexto, é no sistema de geração de energia em que são produzidos os recursos para prover toda a cadeia energética de um sistema de elétrico. Para isso, as mais variadas fontes de energia são utilizadas para a produção de eletricidade, as quais podem ser divididas entre energias renováveis e energias não renováveis.

Diante da necessidade de descarbonização dos sistemas de energia elétrica que se impõe, os sistemas integrados, também denominados por sistemas multienergia se revestem de fundamental importância. Tais sistemas se caracterizam pela diversificação da matriz energética, com a participação crescente de fontes geração renováveis. Contudo, o planejamento e a operação de sistemas multienergia se traduz um problema desafiador, em especial devido às características estocásticas dos recursos energéticos de base renovável, que possuem influência do clima e das condições meteorológicas. Destaca-se a intermitência da geração da energia das fontes de energia eólica e solar fotovoltaica, e a

baixa dos reservatórios para a produção de energia hídrica ocasionada por baixos índices pluviométricos.

Neste contexto, a geração de energia térmica para a produção de eletricidade se destaca por possuir controlabilidade, fato que corrobora na associação desta fonte de energia com as demais. A geração de energia térmica viabiliza a acomodação das variações das energias renováveis intermitentes, uma vez que possui flexibilidade operativa. Também tem aplicação como energia de base, com produção de eletricidade constante e inflexível, uma vez que pode vir a substituir temporariamente outras fontes geradoras de energia de base. Para isso, tem-se como exemplo a crise hídrica no Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) no ano de 2021 (INMET, 2021), em que a geração termelétrica foi fundamental para garantir o equilíbrio entre a demanda e a oferta de energia.

Diante disto, este estudo tem por objetivo em esclarecer as principais atribuições das fontes térmicas no SEB, e fazer a contextualização dos principais recursos energéticos que compreendem a matriz elétrica brasileira. Este trabalho possibilitará aos pesquisadores o aprofundamento de informações acerca das fontes térmicas para a geração de energia elétrica, e os direcionamentos futuros deste importante recurso energético.

2 | GERAÇÃO TÉRMICA

A geração de energia elétrica oriunda de fontes térmicas possui importância na matriz elétrica nacional como fonte de energia complementar as demais fontes que o compõem, fato que diverge da grande maioria dos países em que a geração de energia a partir de fontes térmicas são a base de sua produção de eletricidade (KAYTEZ, 2020; NAM; HWANGBO; YOO, 2020; ZURN et al., 2017). A energia térmica também possui as características de atendimento da demanda de curto prazo, fornecendo flexibilidade operativa e segurança no atendimento das solicitações de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O SEB é caracterizado por um sistema de base hidrotérmica, com a crescente participação das fontes de energia renováveis intermitentes, no qual os custos de geração de energia elétrica são formulados basicamente pelo gerenciamento e disponibilidade dos recursos energéticos de base hídrica ao longo do tempo, e paralelamente à solicitação de geração de energia térmica para manter o sistema em operação segura e confiável. Adicionalmente, visto que os recursos hídricos são de base renovável e não possuem custos agregados para sua disponibilidade, assim como os demais recursos energéticos de base renovável, a energia provinda de fontes térmicas são quem regulam o mercado de comercialização de energia elétrica (CCEE, 2022).

Como os grandes empreendimentos hidráulicos estão longe dos grandes centros de consumo, assim como os parques eólicos que na sua grande maioria se localizam na região nordeste do país, necessitam de grandes extensões de linhas de transmissão para

o transporte da energia produzida. Nesse contexto se apresentam as Usinas Termelétricas (UTES), que usualmente se localizam próximos desses grandes centros de consumo, possibilitando a suavização dos carregamentos das linhas de transmissão e garantindo os requisitos para operação.

Contudo, com o deplecionamento dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHEs) e as incertezas de disponibilidade das fontes de energia renováveis intermitentes, acarretam na dependência por fontes térmicas para suprir a carga do sistema. Como consequência dos problemas recém mencionados, as fontes térmicas se apresentam com vigor no ambiente de mercado de energia nos leilões de contratações de energia nova e existente (MME, 2021a, 2021b, 2021c), no leilão de contratação de reserva de capacidade na forma de potência e energia reserva (MME, 2021d, 2021e), e no leilão para contratação de energia e potência para suprimento dos sistemas isolados (MME, 2020).

As UTES ou termelétricas, também denominadas por centrais termelétricas ou termoelétricas, são usinas movidas por fontes térmicas de energia de base renovável e não renovável. As máquinas térmicas comumente utilizadas nas UTES são as turbinas a gás (aeroderivada ou industrial), as turbinas a vapor (turbogerador), e os motores de combustão interna (ANEEL, 2015a; LORA; NASCIMENTO, 2004; TOLMASQUIM, 2016).

Os ciclos de operação destas usinas são definidos por ciclo simples e ciclo combinado. O ciclo simples é a caracterização para usinas com um único ciclo de operação com finalidade na produção de eletricidade. As usinas com ciclo combinado se caracterizam pelo acoplamento de dois ciclos, definidos por um ciclo com o processo de trabalho do combustível (queima, combustão, fissão no caso da nuclear) e um ciclo a vapor, com o processo de recuperação de calor para a turbina a vapor. Esta classe de operação possui acionamento mais lento, porém com maior eficiência no produto final dos processos quando comparado ao ciclo simples para a produção de energia elétrica (TOLMASQUIM, 2016).

As centrais termelétricas de cogeração possuem um processo similar ao ciclo combinado, tendo como princípio dois ciclos diferentes. No entanto, nas centrais de cogeração a energia térmica produzida é destinada parcialmente para aquecimento de processos industriais e parte é destinado a produção de energia elétrica, e no processo do ciclo combinado a energia térmica é totalmente destinada a geração de energia elétrica (ANEEL, 2006; TOLMASQUIM, 2016).

Outra definição para a UTES está relacionada ao processo de operação dos recursos energéticos das usinas durante o processo de trabalho do combustível para a produção de calor, os quais são definidos por ciclo aberto e ciclo fechado. No ciclo aberto não há o reaproveitamento dos recursos energéticos produzido durante o processo térmico da usina, que possuem alto poder calorífico e que são desperdiçados. No ciclo fechado há a reciclagem dos recursos energéticos oriundos dos processos, o que possibilitam uma maior eficiência na geração de energia elétrica. As vantagens do emprego destes ciclos de operação se devem ao fato de que as usinas com ciclo aberto possuem flexibilidade

operativa e rápido acionamento, e no ciclo fechado são de menor dimensão com maiores rendimentos e menor emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) pois há a reciclagem dos materiais que seriam expelidos no ar, caso este que difere das usinas de ciclo aberto (TOLMASQUIM, 2016).

Os principais recursos de energia para a produção de energia elétrica a partir de UTEs são o Gás Natural (GN), a biomassa, o carvão mineral, os combustíveis derivados do petróleo (diesel, óleo combustível), e o urânio. Há estudos do aproveitamento dos recursos sólidos residuais a partir do lixo, no entanto como ainda são de pouca expressividade não serão tratados neste trabalho. A seguir são esclarecidas as principais características das fontes térmicas de energia, suas principais aplicações e contribuições na matriz elétrica centralizada.

2.1 Gás Natural

O GN é o produto originado a partir da decomposição de materiais orgânicos fossilizados ao longo dos anos sendo um recurso energético não renovável. O GN pode ser classificado de duas formas, uma delas é o gás associado ao petróleo, onde prioriza-se a extração do óleo, e a outra é o gás não associado que é proveniente das camadas rochosas. Ainda há a distinção do GN com suas jazidas localizadas em terra e mar, sendo a maior oferta nacional o GN associado ao petróleo localizado no ambiente marítimo (MME, 2021f).

O GN para atendimento do setor energético brasileiro é proveniente do combustível em forma gasosa e em estado líquido, este denominado por Gás Natural Liquefeito (GNL). A oferta nacional ainda não é suficiente para atender toda a demanda por GN, desta forma, o Brasil atualmente importa GN da Bolívia, Argentina, Estados Unidos, Angola, Trinidad e Tobago (MME, 2021f). Há perspectivas para a autossuficiência do combustível GN no futuro, com a extração das reservas do pré-sal e pós-sal garantindo a segurança energética do país (MME; EPE, 2021).

Neste contexto surge o Novo Mercado de Gás (NMG), o qual dá continuidade no programa “Gás para Crescer”, onde ambos tem por objetivo, incentivar o mercado de GN, atrair investimentos para o setor, e aumentar sua competitividade, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento do país (CNPE, 2016; MME, 2021g). Entre as premissas do NMG pode-se citar: a promoção da concorrência; harmonização das regulações estaduais e federal; integração do setor de gás com setores elétrico e industrial; remoção de barreiras tarifárias.

A utilização do GN no setor elétrico é o segundo seguimento com maior consumo médio anual deste recurso energético, apenas atrás do setor industrial (MME, 2021f). Há ainda a cogeração que aparece com pouca expressividade, mas que com o plano do NMG, espera-se uma maior competitividade do GN e com isso a promoção dessa tecnologia para produção de energia elétrica, bem como a expansão dos empreendimentos termelétricos

movidos a GN (MME, 2021g). Com a evolução do programa da NMG a promoção do GN na matriz elétrica ganha força, sendo um dos principais recursos energéticos para os estudos de expansão da matriz energética e do parque gerador de energia elétrica.

As perspectivas de expansão do parque gerador de energia elétrica, no que trata de termelétricas a GN correspondem a usinas novas e existentes (*retrofit* de termelétricas), com o propósito de atendimento de energia e potência. No que compreende as UTEs a GN novas, são previstas usinas totalmente flexíveis e usinas com fator de inflexibilidade. Em complemento, o *retrofit* das usinas existentes visam a melhoria de suas instalações, como o aumento da eficiência, filtragem dos GEE emitidos durante sua operação, e aumento da flexibilidade operativa, o que possibilita uma melhor competitividade destas usinas no mercado de energia (MME; EPE, 2021).

O modo de operação destas usinas se dá pelos ciclos simples e/ou combinado, onde no ciclo simples de operação é possível o atendimento de energia e potência, visto que há apenas um ciclo de operação e por isso maior agilidade de partida e maior flexibilidade na produção de energia. Caso este que diverge do ciclo combinado, com menor agilidade e flexibilidade, usualmente despacho no atendimento de energia de base do sistema (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016). Também são previstas usinas de pequeno porte, por meio de motores de combustão interna operando em ciclo aberto com finalidade no atendimento pontual de carga, devendo ter poucas de operação com foco no atendimento de potência do sistema, fazendo parte das contratações de empreendimentos que adicionem potência ao SIN, regidos pela portaria nº 518 (MME, 2021d).

Além disso, a cogeração de energia através do GN surge como mais uma alternativa para o suprimento de energia do sistema, de tal forma que com a evolução do NMG espera-se uma maior contribuição no atendimento do SIN (MME, 2021g). Outro argumento que elucida a exploração da cogeração à GN vincula-se a redução de emissões dos GEE, fazendo o aproveitamento dos recursos energéticos dos processos para a produção de energia elétrica, os quais seriam expelidos no ar atmosférico contendo gases poluentes (ANEEL, 2018).

Contudo, a cogeração a GN não se engloba nos estudos de expansão de geração de energia do sistema elétrico, pois usualmente está vinculada a produção industrial de caráter independente ou autoprodução de energia. No entanto, com as inconstâncias de produção das fontes de energia centralizada do SIN, a sua participação será fundamental para atendimento de energia do sistema para garantia de suprimento energético, visto que com disponibilidade do combustível e os incentivos por meio do NMG, fará com que o uso desta fonte de energia no setor industrial seja promovido e conseqüentemente a produção de energia elétrica pela cogeração.

2.2 Biomassa

A biomassa é um recurso energético de base renovável obtido a partir do substrato

de produtos de natureza agroindustrial, florestal, residual e dejetos. A cana-de-açúcar é a principal matéria prima da biomassa, onde são aproveitados seus subprodutos para a produção de energia elétrica, também denominada por bioeletricidade. Os principais subprodutos provenientes da cana-de-açúcar para a produção de energia elétrica são o bagaço da cana, palha e ponta da cana, a vinhaça e a torta de filtro (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016).

A cogeração é a principal tecnologia para a produção de energia elétrica a partir da biomassa, com processo associado para produção de calor e eletricidade. A partir do bagaço de cana é realizada a queima da matéria para aquecimento de caldeiras e produção de vapor para as turbinas, o mesmo processo ocorre para outros subprodutos como a palha e ponta de cana. Estas usinas usualmente operam em ciclo simples visando o atendimento de energia, para autoprodução com excedentes injetados na rede, e para a produção independente, na qual pode ser comercializada parte ou toda a energia produzida (TOLMASQUIM, 2016).

No entanto, a grande e massiva produção de celulose proveniente dos recursos florestais, também impacta significativamente na geração de energia elétrica, resultantes dos seus subprodutos. Um dos principais subprodutos de origem florestal é o licor negro, obtido através do processo de tratamento químico da celulose (EMBRAPA, 2022), com alta viscosidade e poder calorífico, para a queima e aquecimento de caldeiras para geração de eletricidade a partir de turbinas a vapor.

Já para os subprodutos como a vinhaça e torta de filtro é produzido o biogás a partir do processo de fermentação da matéria orgânica, o qual tem poder calorífico próximo ao GN, e posterior utilização em turbinas e motores de combustão interna a gás para a produção de bioeletricidade (MME; EPE, 2021). A produção de biogás ainda é pouco explorada neste ramo, no entanto possui grande potencial e que deve ser incentivada a promoção deste recurso energético (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016). Há ainda outros substratos para obtenção do biogás, tal como os resíduos e dejetos de animais e dejetos urbanos. No entanto a base desta pesquisa se dará sobre os recursos energéticos do setor sucroenergético.

O setor sucroenergético envolve os processos da cana-de-açúcar para a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade, caracterizada pela produção de energia limpa, sustentável e renovável, onde neste contexto o Brasil se qualifica como maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. A capacidade atual da biomassa na matriz elétrica do SIN compreende 8% da produção total de energia, que engloba além do bagaço de cana outras fontes de biomassa (MME; EPE, 2021). Contudo, o aproveitamento dos substratos da cana para a geração de energia poderia ser muito maior, conforme a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), o potencial não aproveitado da biomassa a partir da cana-de-açúcar poderia atender cerca de 30% da capacidade do SIN (UNICA, 2021).

As principais motivações para o uso desta fonte de energia vinculam-se ao fato

delas ser uma fonte renovável de energia com abundância de matéria prima para a sua produção, o que a coloca como um dos principais recursos energéticos para atendimento da crescente demanda por energia elétrica. Outro fato se relaciona com os períodos de menores precipitações chuvosas coincidirem com os períodos de colheita da cana de açúcar na regiões centro-sul, que compreendem os meses de abril a novembro, e que viabilizam a sinergia dos recursos energéticos da matriz elétrica pela bioeletricidade (MME; EPE, 2021).

Como exemplo para a circunstância da biomassa ser uma fonte complementar a baixa de geração de energia hídrica, se observa pela portaria normativa de nº 17/GM/MME que estabelece os critérios para contratação de energia provida de fontes térmicas com Custo Variável Unitário (CVU) nulo, na qual se enquadram as UTEs de cogeração qualificada por biomassa, com a finalidade de fornecer energia adicional ao SIN em momento de escassez hídrica (MME, 2021h). Ainda, com o biogás pode-se ampliar a produção de energia para o ano todo e não apenas nos períodos de colheita, reduzindo os efeitos da sazonalidade da geração de energia da biomassa (TOLMASQUIM, 2016).

A bioeletricidade é produzida próxima dos grandes centros de consumo, sendo que as regiões centro-sul são as maiores produtoras deste recurso, justamente os subsistemas que possuem maior solicitação de carga de energia do SIN (MME; EPE, 2021). Desta forma, a energia produzida é consumida localmente, não dependendo de longos trechos de linhas de transmissão o que resulta na redução das perdas do transporte da energia até a entrega aos consumidores (MME; EPE, 2021; UNICA, 2021).

As perspectivas de expansão da biomassa de cana-de-açúcar são promissoras pois com a mecanização da colheita do produto o aproveitamento dos substratos é substancialmente elevado, colocando-o como uma das principais fontes de energia para a expansão do parque gerador. Uma ressalva quanto às usinas de biomassa a cana-de-açúcar terem sua produção na grande maioria comercializada fora do Ambiente de Contratação Regulado (ACR), com perspectiva de ser comercializada majoritariamente no Ambiente de Contratação Livre (ACL) e mercado *Spot*, fato que não reduz sua participação na matriz elétrica (MME; EPE, 2021).

Adicionalmente, com a resolução nº 482 e suas alterações pelas resoluções nº 687 e nº 786, que definem os critérios de acesso e compensações para a minigeração e microgeração distribuída, a cogeração por biomassa pode gozar dos benefícios estabelecidos, sendo um dos gargalos para a promoção desta tecnologia na Geração Distribuída (GD) (ANEEL, 2012, 2015b, 2017). Desta forma a bioeletricidade passa a ser um importante recurso energético contribuindo na diversificação da matriz elétrica nacional e auxiliando na segurança energética.

2.3 Combustíveis Derivados do Petróleo

Os principais combustíveis derivados do petróleo para a produção de eletricidade

são o óleo diesel e o óleo combustível, ambos em estado líquido, e de origem fóssil (não renovável). Estes produtos além de serem utilizados como combustíveis para a geração de energia elétrica, possuem principais aplicações no setor de transporte rodoviário com o óleo diesel, e no setor industrial com o óleo combustível, sendo ambos também utilizados como combustível marítimo (PETROBRAS, 2014a, 2014b). Além disso, a indústria petroquímica também tem empenho na produção de energia elétrica a partir de combustíveis derivados do petróleo.

O Brasil possui disponibilidade desses recursos energéticos que compõem a matriz energética nacional. No entanto, a produção de diesel não é suficiente para atender toda a demanda interna, e por isso é importado parte desse recurso energético, fato que motiva a inserção dos biocombustíveis, a exemplo do biodiesel em mistura com o diesel visando a redução dos combustíveis fósseis em atendimentos as metas para redução de emissões dos GEE (BRASIL, 2017). Em se tratando do óleo combustível, a produção deste combustível é superior a demanda e os excedentes são exportados (MME; EPE, 2021).

Estes combustíveis possuem aplicações similares as termelétricas à GN bem como aos processos para geração de energia elétrica. Podem ser utilizados como combustível para UTEs operando em ciclo simples e combinado, em motores de combustão interna, e no caso do óleo combustível, também pode ser empregado no aquecimento de caldeiras para a produção de vapor para turbinas desta classe, assim como na cogeração. Além disso, algumas UTEs à GN possuem a tecnologia de abastecimento que pode ser alimentada por diesel e óleo combustível, mediante a indisponibilidade do GN (TOLMASQUIM, 2016).

Contudo, por serem fontes de energia que com grande impacto nas emissões de GEE, são utilizadas preferencialmente para atendimento de potência no SIN, com poucas horas de operação. Há a exceção dos sistemas isolados, que possuem predominância da geração termelétrica a diesel e óleo combustível para o suprimento de energia e potência (MME; EPE, 2020). Porém, está previsto a interligação de parte dos sistemas isolados com o SIN, e com isso a retirada substancial destes recursos energético para a geração de energia elétrica (MME; EPE, 2021).

Consumidores de grande porte possuem tarifas diferenciadas para o consumo de eletricidade da rede, caso que os motiva a autoprodução de eletricidade nos períodos em que a tarifa de energia é mais elevada. Esses consumidores geralmente possuem geradores de energia de pequena capacidade, usualmente movidos a diesel, para atendimento da sua demanda por energia durante o período diário com a tarifa mais elevada. No futuro essa situação poderá ser contornada com o uso de baterias, mas que ainda são muito onerosos os investimentos nesta tecnologia para esse fim (MME; EPE, 2021).

Embora os combustíveis derivados do petróleo tenham grande participação na composição do parque gerador do SIN, espera-se uma retirada considerável de termelétricas a diesel e óleo combustível, e assim a promoção dos recursos energéticos renováveis em substituição. Os biocombustíveis são candidatos em potencial para substituição do diesel

e o óleo combustível na matriz elétrica nacional, a partir do biodiesel e do biogás. O GN também se apresenta como possível candidato para suprir a retirada dessas fontes de energia (MME; EPE, 2021).

Ainda que o óleo diesel e o óleo combustível sejam grandes emissores de GEE, e que são usualmente utilizadas no atendimento de ponta do sistema, neste período de crise hídrica as usinas que deveriam apenas operar nestas circunstâncias, estão em operação quase que em tempo integral. De fato, estes recursos energéticos trazem segurança energética para o SIN, e enquanto os ciclos hidrológicos não forem regularizados, deve ser comum a produção de eletricidade por diesel e óleo combustível em atendimento a indisponibilidade de energia, principalmente à energia provida das UHEs.

2.4 Carvão Mineral

O carvão mineral é um recurso energético de base não renovável, oriundo de sedimentos vegetais soterrados a milhares de anos. É composto pela concentração de carbono e hidrogênio, constituídos a partir da deposição da matéria orgânica que sofreu compactação e transformações através das variações de temperatura e pressão. O carvão mineral utilizado para a geração de energia elétrica possui baixo teor de carbono, sendo o carvão com maior concentração de carbono destinado a indústria siderúrgica e outro fins que dependem de recursos com alto poder calorífico (TOLMASQUIM, 2016).

O carvão mineral utilizado como combustível pelas UTEs no Brasil é originário da produção nacional e importação. A região sul do Brasil é onde se localizam as maiores reservas desse recurso energético no país, e onde estão situadas a grande maioria das UTEs a carvão mineral. Sobre a importação deste recurso energético para fins termelétricos, a matéria prima é importada da Colômbia, sendo este o combustível que supre as UTEs a carvão da região norte (TOLMASQUIM, 2016).

No caso do carvão mineral nacional para emprego nas termelétricas, as usinas são localizadas próximas as minas, denominadas por “boca de mina”. Com isso, são reduzidos os custos com transporte da matéria prima, utilizando o recurso energético preferencialmente *in natura*. Em se tratando da carvão mineral importado, as usinas são geralmente instaladas próximas as regiões portuárias, visto que o carvão mineral importado é transportado por vias fluviais (TOLMASQUIM, 2016).

As UTEs a carvão mineral operam em ciclo simples com turbinas a vapor, fornecendo energia de base com alto fator de capacidade, o que resulta em ganhos de confiabilidade para o SIN. Por se situarem próximas aos grandes centros de carga, e terem sua produção constante mediante a suas garantias físicas, trazem segurança energética para o sistema, possibilitando a complementação de energia frente a redução da geração das UHEs pelas baixas hidrológicas (MME; EPE, 2021; TOLMASQUIM, 2016).

No entanto, as dificuldades atreladas a esta fonte de energia está ligada ao fato de ser um recurso energético poluente que contribui para as emissões de GEE, fazendo

com que a expansão de geração dessa fonte de energia esbarre em questões ambientais (SADEGHI; RASHIDINEJAD; ABDOLLAHI, 2017). No cenário nacional, este problema poderia ser reduzido com usinas mais modernas ou com o *retrofit* das usinas existentes, dado que boa parte destas usinas operam em ciclo aberto, o que intensifica a emissão dos gases poluentes na atmosfera (MME; EPE, 2021).

Ainda que na região sul do Brasil apresente grande disponibilidade de carvão mineral, com baixos custos e baixa volatilidade de preços do combustível, é esperado para os próximos anos a retirada de usinas a carvão mineral. Isto se deve ao fato do término da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), que possui como uma de suas diretrizes a promoção da competitividade do carvão mineral nacional. Diante disto, devem ser priorizados outros recursos energéticos com caráter renovável e/ou menos poluentes para a produção de energia elétrica, o que resulta na mitigação dos impactos ambientais (MME; EPE, 2021).

2.5 Nuclear

As usinas nucleares, também denominadas por termonucleares, são UTEs movidas pela fissão do combustível nuclear originário do elemento químico urânio. O urânio é subproduto proveniente de reservas geológicas de minério associado com outros materiais, havendo a necessidade de etapas de processamento até a obtenção do urânio combustível em forma de pastilhas (INB, 2021). Durante as etapas de processamento do urânio é onde ocorrem os maiores problemas de poluição e riscos ambientais, caso que difere das demais fontes de energia, que apresentam impacto na poluição durante as etapas de operação das termelétricas com as emissões de GEE (TOLMASQUIM, 2016).

A produção de energia elétrica a partir das termonucleares é considerada uma fonte não emissora de GEE, um dos prós dessa tecnologia para atender a demanda crescente por eletricidade (DING et al., 2022; WEALER et al., 2021). Outro motivador vincula-se a evolução tecnológica das usinas desta classe, que com o aprendizado dos erros passados, a exemplo de *Chernobyl* na Ucrânia e *Three Mile Island* nos Estados Unidos da América, no que se refere aos processos de operação das termonucleares, vida útil dos empreendimentos e no tratamento dos rejeitos radioativos (TOLMASQUIM, 2016).

Durante o processo de fissão do urânio é produzido o plutônio, produto utilizado para fins militares na produção de armas nucleares. Ambos os elementos, urânio e o plutônio, podem ser reutilizados no processo, contudo o urânio necessita passar pela etapa de reenriquecimento para reaproveitamento. Com o reaproveitamento com combustível reduz-se a demanda por urânio para prover o funcionamento da usina e, conseqüentemente, reduz o volume dos rejeitos produzidos. Este processo compreende um ciclo fechado, com o reaproveitamento dos recursos energéticos produzidos pela usina, que no caso do ciclo aberto, seriam armazenados e não mais aproveitados (TOLMASQUIM, 2016).

O Brasil é detentor do conhecimento para a produção do combustível nuclear, fato

que somado a oferta do minério de urânio com grandes reservas no seu território, pode contribuir para a promoção desta fonte de energia no futuro. Atualmente no Brasil existem apenas duas usinas nucleares em operação (Angra I e Angra II), com a perspectiva da conclusão das obras da terceira unidade (Angra III). Contudo, o país esbarra nas questões de gerenciamento dos rejeitos radioativos, os quais são armazenados dentro das usinas, visando o possível reaproveitamento deste produto (INB, 2021; TOLMASQUIM, 2016).

As usinas termonucleares Angra I e Angra II, operam em ciclo aberto, desta forma o volume de rejeitos produzidos é de maior proporção, e necessitam de tratamento e destino para não ocasionar o esgotamento da sua capacidade de depósito (MME; EPE, 2021). Estas usinas operam em ciclo simples com a produção de vapor que movimentam as turbinas e produzem eletricidade. Da mesma forma que as UTEs a carvão, as usinas nucleares fornecem energia de base, fornecendo garantia e segurança no abastecimento constante de energia ao sistema.

Vale destacar que o fator de capacidade das usinas termonucleares é elevado, produzindo grande volume de energia com pequena quantidade de combustível, e são usinas que necessitam de um pequeno espaço para a sua instalação, podendo ser instalada perto dos grandes centros de carga. Contudo, este recurso energético perdeu espaço devido a promoção das UTEs a GN que operam em ciclo combinado, para atendimento de energia de base. Todavia, a volatilidade dos preços do combustível nuclear são praticamente estáveis, algo que não é visto nos combustíveis fósseis (TOLMASQUIM, 2016).

Muitos são os entraves para a promoção desta fonte de energia na expansão no cenário nacional e a nível mundial, que se agravou ainda mais com os problemas pós incidente em Fukushima no Japão (DING et al., 2022; TOLMASQUIM, 2016). No entanto, por ser uma tecnologia já consolidada, com baixa emissão de carbono na atmosfera e com grande volume de urânio disponível, torna-o um dos possíveis recursos energéticos para a mitigação de emissões de GEE, fornecendo energia segura e confiável. Desta forma, esses fatores devem encorajar o aproveitamento desta tecnologia para geração de energia elétrica.

3 | CONCLUSÃO

O uso sustentável dos recursos energéticos para a geração de energia elétrica faz com que haja um maior incentivo na ampliação da exploração das energias renováveis e mitigação das não renováveis. Embora esta seja uma alternativa para a diminuição do emprego dos combustíveis fósseis na matriz elétrica brasileira, situações como a crise hídrica de 2021 e a alta penetração das energias renováveis intermitentes demandam por fontes controláveis de energia, geralmente de fontes térmicas de energia.

No Brasil as fontes térmicas que compõem a matriz elétrica são consideradas como fontes complementares aos demais recursos energéticos. Assim, os principais combustíveis

desta classe são caracterizados por serem de origem renovável pela biomassa, e não renovável pelo GN, os derivados do petróleo, o carvão mineral e o urânio. Dentro destes combustíveis destacam-se o GN e a biomassa, os quais possuem potencial de expansão nos próximos anos e incentivos para que isso ocorra. Já os combustíveis derivados do petróleo e do carvão mineral, por serem altamente poluentes sua ampliação não é incentivada. Assim como a energia proveniente do urânio para energia nuclear, que esbarra em problemas de alto grau de risco de exposição a radioatividade deste combustível.

Portanto, o uso racional das fontes térmicas para geração de energia deve ser ponderado, e a promoção dos combustíveis que tem impacto mínimo ou nulo nas emissões de GEE devem ser intensificados, em substituição aos combustíveis poluentes. Em conclusão, este estudo se mostra como um material de base para os pesquisadores que desejam se inteirar das perspectivas sobre as fontes térmicas no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio técnico e financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas de Geração Distribuída (INCTGD), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - nº 465640/2014-1), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - nº 23038.000776/2017-54), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS - nº 17/2551-0000517-1) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Instituições Brasileiras.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA No 235, DE 14 DE NOVEMBRO DE 2006**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2021.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

ANEEL. **MANUAL DE CONTROLE PATRIMONIAL DO SETOR ELÉTRICO. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasil**. [s.n.]. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656815/14887121/MANUAL+DE+CONTROLE+PATRIMONIAL+DO+SETOR+ELÉTRICO++MCPSE/3308b7e2-649e-4cf3-8fff-3e78ddeb98b>>.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2021b.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA No 786, DE 17 DE OUTUBRO DE 2017**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

ANEEL. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída - Resolução Normativa nº 482/2012. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas-antigas>>. Acesso em: 30 ago. 1989.

BRASIL. **LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm>. Acesso em: 16 set. 2021.

CCEE. **Camãra de Comercialização de Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/>>. Acesso em: 31 ago. 2022.

CNPE. **RESOLUÇÃO Nº 10, DE 14 DE DEZEMBRO DE 2016**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/gas-para-crescer/diretrizes-estrategicas/Resolucao_CNPE_10_Diretrizes_Gs_Para_Crescer.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2021.

DING, S. et al. Forecasting nuclear energy consumption in China and America: An optimized structure-adaptative grey model. **Energy**, v. 239, p. 121928, jan. 2022. D.O.I.:10.1016/j.energy.2021.121928

EMBRAPA. **Agroenergia - Licor Negro**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/licor-negro>>. Acesso em: 24 out. 2022.

INB. **Ciclo do Combustível Nuclear**. Disponível em: <<http://www.inb.gov.br/pt-br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>>. Acesso em: 13 set. 2021.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

KAYTEZ, F. A hybrid approach based on autoregressive integrated moving average and least-square support vector machine for long-term forecasting of net electricity consumption. **Energy**, v. 197, p. 117200, abr. 2020. D.O.I.:10.1016/j.energy.2020.117200

LORA, E. E. SI.; NASCIMENTO, M. A. R. DO. **Geração Térmica: Planejamento, Projeto e Operação**. 1ª edição ed. Interciência, Rio de Janeiro, 2004. v. I

MME; EPE. **Sistemas Isolados - Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados**. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-508/Instruções do Leilão dos Sistemas Isolados 2021-r1.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-508/Instruções%20do%20Leilão%20dos%20Sistemas%20Isolados%202021-r1.pdf)>. Acesso em: 16 set. 2021.

MME. **PORTARIA Nº 341, DE 11 DE SETEMBRO DE 2020**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-341-de-11-de-setembro-de-2020-277980677>>. Acesso em: 16 set. 2021.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 1, DE 7 DE JANEIRO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-1-de-7-de-janeiro-de-2021-298328496>>. Acesso em: 1 set. 2021a.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 10, DE 30 DE ABRIL DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-10-de-30-de-abril-de-2021-317910168>>. Acesso em: 1 set. 2021b.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 14, DE 7 DE JUNHO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-14-de-7-de-junho-de-2021-325373483>>. Acesso em: 23 ago. 2021c.

MME. **PORTARIA Nº 518, DE 28 DE MAIO DE 2021**. Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=28/05/2021&jornal=600&pagina=17>>. Acesso em: 30 jun. 2021d.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 24/GM/MME, DE 17 DE SETEMBRO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-normativa-n-24/gm/mme-de-17-de-setembro-de-2021-345760051>>. Acesso em: 20 set. 2021e.

MME. **Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/publicacoes-1/boletim-mensal-de-acompanhamento-da-industria-de-gas-natural>>. Acesso em: 27 ago. 2021f.

MME. **Manual Orientativo de Boas Práticas Regulatórias do Comitê de Monitoramento da Abertura do Mercado de Gás Natural**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/novo-mercado-de-gas/cmgn/publicacoes>>. Acesso em: 27 ago. 2021g.

MME. **PORTARIA NORMATIVA Nº 17/GM/MME, DE 22 DE JULHO DE 2021**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-17/gm/mme-de-22-de-julho-de-2021-333770836>>. Acesso em: 3 ago. 2021h.

MME; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética, Brasil**. [s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-564/Minuta_do_Plano_Decenal_de_Expansao_de_Energia_2030__PDE_2030.pdf>.

NAM, K.; HWANGBO, S.; YOO, C. A deep learning-based forecasting model for renewable energy scenarios to guide sustainable energy policy: A case study of Korea. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 122, n. December 2019, p. 109725, abr. 2020. D.O.I.:10.1016/j.rser.2020.109725

PETROBRAS. **Óleo Diesel - Informações Técnicas**. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/diesel-manual.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2021a.

PETROBRAS. **Óleo Combustível - Informações Técnicas**. Disponível em: <<http://sites.petrobras.com.br/minisite/assistenciatecnica/public/downloads/manual-tecnico-oleo-combustivel-assistencia-tecnica-petrobras.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2021b.

SADEGHI, H.; RASHIDINEJAD, M.; ABDOLLAHI, A. A comprehensive sequential review study through the generation expansion planning. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, n. October 2015, p. 1369–1394, jan. 2017. D.O.I.:10.1016/j.rser.2016.09.046

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, Brazil, 2016.

UNICA. **Bioeletricidade**. Disponível em: <<https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/bioeletricidade/>>. Acesso em: 2 set. 2021.

WEALER, B. et al. Investing into third generation nuclear power plants - Review of recent trends and analysis of future investments using Monte Carlo Simulation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 143, n. February, p. 110836, jun. 2021. D.O.I.:10.1016/j.rser.2021.110836

ZURN, H. H. et al. Electrical energy demand efficiency efforts in Brazil, past, lessons learned, present and future: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, p. 1081–1086, jan. 2017. D.O.I.:10.1016/j.rser.2016.09.037

LILIAN COELHO DE FREITAS - Possui graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Federal do Pará (UFPA), obtida em 2007. Possui mestrado em Computação Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFPA, obtido em 2009. Em 2008, realizou estágio de mestrado no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC/Porto - Portugal). Atuou como pesquisadora membro do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LEA/UFPA) de 2004 a 2014 e do Laboratório de Sensores e Sistemas Embarcados (LASSE/UFPA) de 2008 a 2012. Atuou como Pesquisadora Visitante no *Georgia Institute of Technology* (Atlanta, Georgia, Estados Unidos), no período de Março/2012 a Fev/2013. Desde 2016 atua como professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) na área de Informática. Desde 2020 é membro do Conselho Editorial da editora Atena. Tem mais de 50 trabalhos científicos publicados, envolvendo publicações em livros, revistas e eventos científicos. Seus interesses de pesquisa são: telecomunicações (comunicações sem fio, rádio cognitivo), *machine learning* e educação.

A

Algoritmo doc2vec 30, 34, 35

Aterramento 140, 141, 142, 145, 146, 149, 150, 151, 152, 153, 154

C

Choque elétrico 140, 141, 142, 143, 144, 149, 152, 155

Cidades inteligentes 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 48, 53

Clusterização 37

Controle preditivo não-Linear 127

D

Design 40, 56, 57, 58, 59, 61, 64, 65, 71, 72, 138

Digital games 57, 58, 68, 69, 70

Dispositivo residual 140

Dispositivos móveis 1

E

Energia eólica 111, 114, 117, 157

Energias não renováveis 157

Energia solar 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 123, 124, 125

Energias renováveis 114, 157, 158, 167

Energia térmica 157, 158, 159

Engenharia de requisitos 11, 12, 13, 16, 17, 20

F

Fontes térmicas 156, 157, 158, 159, 160, 163, 167, 168

Fuzzy cognitive maps 39, 40, 49, 53, 54, 55, 56, 112, 125

G

Game customization 58

Garantia de qualidade 1, 8, 14

H

Homologação de releases Android 1

Hospital inteligente 80, 82, 85

I

Inserção automática 73

Interligação de programas 73

ISO/IEC 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20

L

Layout de inclusão facilitada 73

M

Mapas cognitivos fuzzy 39, 110, 111, 118

Matlab 87, 88, 95, 108, 109

Modelos bilineares 126, 127, 128

P

Painéis fotovoltaicos 111, 113, 117, 122

Processos 2, 8, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 47, 73, 75, 88, 89, 90, 127, 137, 159, 161, 162, 164, 166

Puma 560 87, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, 99, 100, 107, 108

Q

Qualidade de software 1, 4, 17, 20

R

Robô 49, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 97, 99, 101, 102, 104, 107, 108, 109

Robótica 87, 88, 89, 90, 93, 107, 108, 109, 120

S

Satisfação do cliente 111, 122

Sistemas inteligentes de computação 39

Software 1, 2, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 41, 54, 61, 73, 74, 76, 77, 78, 83, 87, 89, 90, 95, 96, 99, 107, 118, 122

T

Teste de software 1

U

UML 11, 12, 18, 19, 20

User experience (UE) 58, 59, 61, 62, 64, 70, 72

V

Virtual things 80

W

Web of things 80, 81, 83, 86

Web scraping 21, 22, 37

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO:

Docência, pesquisa e inovação tecnológica

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br