



AURUM EDITORA LTDA - 2025

Curitiba – Paraná - Brasil

EDITOR CHEFE

Gian Felipe Bonfantti

ORGANIZADOR DO LIVRO

Aurum Editora Ltda

EDIÇÃO DE TEXTO

Stefanie Vitoria Garcia de Bastos

EDIÇÃO DE ARTE

Aurum Editora Ltda

IMAGENS DA CAPA

Canva Pro

BIBLIOTECÁRIA

Eliete Marques da Silva

ÁREA DE CONHECIMENTO

Engenharias

Copyright © Aurum Editora Ltda Texto Copyright © 2025 Os Autores Edição Copyright © 2025 Aurum Editora Ltda



Este trabalho está licenciado sob uma licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

A responsabilidade pelo conteúdo, precisão e veracidade dos dados apresentados neste texto é inteiramente do autor, não refletindo necessariamente a posição oficial da Editora. O trabalho pode ser baixado e compartilhado, desde que o crédito seja dado ao autor, mas não é permitida a modificação do conteúdo de qualquer forma ou seu uso para fins comerciais.

Todos os manuscritos passaram por uma avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial, e foram aprovados para publicação com base em critérios de imparcialidade e objetividade acadêmica.

A Aurum Editora se compromete a manter a integridade editorial em todas as fases do processo de publicação, prevenindo plágio, dados ou resultados fraudulentos, e assegurando que interesses financeiros não afetem os padrões éticos da publicação. Qualquer suspeita de má conduta científica será verificada com atenção aos princípios éticos e acadêmicos.

CORPO EDITORIAL

Adriano Rosa da Silva - Mestre em História Social pelo Programa de Pós-Graduação em História da UFF (PPGH-UFF)

Alisson Vinicius Skroch de Araujo - Editor Independente - Graduado (UniCuritiba - Centro Universitário Curitiba)

Blue Mariro - Doutorando em Geografía pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Elane da Silva Barbosa - Doutora em Educação pelo Programa de Pós-graduação em Educação - PPGE da Universidade Estadual do Ceará - UECE (2019).

Gabriella de Morais - Doutora em Direito pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Itamar Victor de Lima Costa - Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais pela UNICAP

Joao Vitor Silva Almeida - Graduado em Gestão de Cooperativas pela Universidade Federal do Tocantins - UFT.

Luan Brenner da Costa - Graduado em Enfermagem. Centro Universitário Herminio Ometto de Araras, UNIARARAS, Araras, Brasil

Lucas Gabriel Vieira Ewers - Editor Independente - Graduado em Direito (Pontificia Universidade Católica do Paraná - PUCPR)

Luzia Eleonora Rohr Balaj - Doutoranda em Música (Musicologia) na Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro UNIRIO)

Magno Fernando Almeida Nazaré - Mestre em Educação Profissional e Tecnológica- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão- IFMA-(2024).

Marcela da Silva Melo - Mestre em Avaliação de Políticas Públicas pela Universidade Federal do Ceará - UFC

Mario Marcos Lopes - Doutorando no Programa de Pós-graduação em Educação da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Mateus Henrique Dias Guimarães - Mestre em Enfermagem na Atenção Primária à Saúde, UDESC.

Mirna Liz da Cruz - Graduada em Odontologia pela Universidade Federal de Goiás (UFG).

Priscila da Silva de Souza Bertotti - Editora Independente - Graduada (Centro Universitário Uniopet)

Ryan Dutra Rodrigues - Graduado em Psicologia. Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas, FMU.

Salatiel Elias de Oliveira - Doutor em Apostilamento de Reconhecimento de Título - Universidade do Oeste Paulista (2019 – 2021).

Sebastião Lacerda de Lima Filho - Doutorando em Medicina Translacional pelo PPGMDT/NPDM-UFC (2023-).

Swelen Freitas Gabarron Peralta - Doutoranda em Educação pela Universidade Tuiuti do Paraná.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Inovações multidisciplinares na engenharia [livro eletrônico] / organização Aurum Editora. -- Curitiba, PR : Aurum Editora, 2025. PDF

Vários autores. Bibliografia. ISBN 978-65-986235-3-1

 Automação 2. Engenharia 3. Inovações tecnológicas 4. Sustentabilidade I. Aurum Editora.

25-291547 CDD-620

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia 620

Eliete Marques da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9380

Aurum Editora Ltda CNPJ: 589029480001-12 contato@aurumeditora.com (41) 98792-9544 Curitiba - Paraná

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Aurum Editora DECLARA, para fins de direitos, obrigações e aspectos legais ou metodológicos, que:

Esta publicação representa apenas uma transferência temporária dos direitos autorais, conferindo o direito de publicação e reprodução dos materiais. A Editora não assume responsabilidade pela autoria dos manuscritos publicados, conforme as disposições da Lei de Direitos Autorais (Lei 9610/98), do art. 184 do Código Penal e do art. 927 do Código Civil. O(s) autor(es) são exclusivamente responsáveis por garantir a conformidade com as questões de direitos autorais e outros aspectos legais, isentando a Editora de quaisquer responsabilidades civis, administrativas ou criminais que possam ocorrer.

Autoriza-se a DIVULGAÇÃO DO TRABALHO pelo(s) autor(es) em palestras, cursos, eventos, programas de mídia e televisão, desde que o devido reconhecimento da autoria e edição seja dado, sem fins comerciais, e que os CRÉDITOS à Aurum Editora sejam devidamente apresentados. A omissão ou exclusão dessas informações será de responsabilidade do(s) autor(es) e da editora.

Todos os e-books são de acesso aberto, portanto, não devem ser vendidos em sites, plataformas de comércio eletrônico ou qualquer outro meio, seja virtual ou físico. Assim, não há transferência de direitos autorais para os autores, uma vez que o formato não gera outros direitos além dos usos didáticos e publicitários da obra, a qual pode ser acessada a qualquer momento.

Todos os membros do Conselho Editorial atuam de forma voluntária, sendo graduados ou pós-graduados em suas respectivas áreas.

A Aurum Editora não autoriza a venda ou compartilhamento dos nomes, e-mails e quaisquer outros dados pessoais dos autores, exceto para a divulgação desta obra, em conformidade com o Marco Civil da Internet, a Lei Geral de Proteção de Dados e a Constituição da República Federativa.

DECLARAÇÃO DO AUTOR

O autor deste trabalho DECLARA, para os fins seguintes, que:

Não possui nenhum interesse comercial que possa gerar conflito em relação ao conteúdo publicado;

Declara ter se envolvido ativamente na elaboração do manuscrito, preferencialmente nas seguintes etapas: Desenvolvimento do estudo, e/ou coleta de dados, e/ou análise e interpretação dos dados, redação do artigo ou revisão para garantir a relevância intelectual do material e aprovação final do manuscrito para envio;

Certifica que o texto publicado está completamente livre de dados falsificados ou resultados fraudulentos, bem como de falhas relacionadas à autoria;

Confirma que fez a citação correta e a devida referência a todos os dados e interpretações oriundas de outras pesquisas;

Reconhece que todas as fontes de financiamento que possam ter sido recebidas para a realização da pesquisa foram devidamente declaradas:

Autoriza a edição do trabalho, incluindo registros de catálogo, ISBN, DOI e outros indexadores, design gráfico e criação de capa, layout interno, além do lançamento e divulgação de acordo com os critérios estabelecidos pela Aurum Editora.

AUTORES

Alzenira da Rosa Abaide
Ana Cláudia Simões Félix Thomé
Ana Júlia Simões Thomé
David Aguiar
Fernanda Barrozo Oliveira
Isabella de Sousa Thomé
Jaci Pereira de Castro
Joelson Lopes da Paixão
Kaleb Thomé Ribeiro Oliveira
Marcelo da Silva Lima
Ramon Santos Fernandes
Reinaldo da Silva Thomé
Renato Vidal Borges
Robson dos Santos Fernandes
Rosangela Thomé da Silva

SUMÁRIO

Capítulo 1 INTERNET DAS COISAS (IoT): CONCEITOS, DESAFIOS E APLICAÇÕES NO CONTEXTO DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES Joelson Lopes da Paixão.
≤ Crossref © <u>https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-001</u>
Capítulo 2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: ESTRUTURA, MODELAGEM MATEMÁTICA E EXEMPLO DE APLICAÇÃO Joelson Lopes da Paixão.
© https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-002 12-22
Capítulo 3 O IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO EM TURNOS NOTURNOS NA SAÚDE DOS TRABALHADORES: INTERVENÇÕES PREVENTIVAS Reinaldo da Silva Thomé.
© https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-003 23-35
Capítulo 4 ANÁLISE E CONTROLE DE INTERRUPÇÕES EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA Joelson Lopes da Paixão e Alzenira da Rosa Abaide.
\$\sigma_{\text{Crossref}} \frac{\operatornowned}{\operatornowned} \frac{https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-004}{36-44}
Capítulo 5 PREVISÃO DE CARGA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO: DIRETRIZES REGULATÓRIAS, MODELOS MATEMÁTICOS E DESAFIOS NA ESTIMATIVA DA DEMANDA Joelson Lopes da Paixão e Alzenira da Rosa Abaide.
\$\sigma_{\text{crossref}} \frac{\oplus https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-005} \qquad \qquad 45-57
Capítulo 6 PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE DISTRIBUIÇÃO: ANÁLISE TÉCNICO- ECONÔMICA PARA MELHORIAS E EXPANSÃO Joelson Lopes da Paixão e Alzenira da Rosa Abaide.
\$\(\frac{1}{2} \) \(\frac{10.63330}{aurumpub.005-006} \) \(\frac{1}{2} \) \(\fr
Capítulo 7 A IMPORTÂNCIA DA ADMINISTRAÇÃO NA ENGENHARIA AMBIENTAL Fernanda Barrozo Oliveira.
\$\sigma_{\text{crossref}} \frac{\oplus \text{https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-007}}{69-79}\$

Crossret 6 https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-008	00.00
	80-90
Capítulo 9	
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE Robson dos Santos Fernandes.	
S Crossref 📀 <u>https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-009</u>	
	91-101
Capítulo 10	
A IMPORTÂNCIA DAS ENGENHARIAS NA MODERNIDADE	
Ana Cláudia Simões Félix Thomé, Ana Júlia Simões Thomé, Fernanda Barrozo Oliveira, Isabella a de Castro, Kaleb Thomé Ribeiro Oliveira, Ramon Santos Fernandes, Reinaldo da Silva Thomé, Ro	
Rosangela Thomé da Silva.	oson uos sumos 1 ernanaes e
Scrossref thtps://doi.org/10.63330/aurumpub.005-010	
	102-111
Capítulo 11	
MODELOS DE PROCESSOS DE ENGENHARIA DE SOFTWARE Ramon Santos Fernandes.	
S Crossref ᠪ <u>https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-011</u>	112-122
Capítulo 12	
ENGENHARIA DE SOFTWARE E REDES NEURAIS Kaleb Thomé Ribeiro Oliveira.	
Kaleo Inome Ribeiro Oliveira.	
Scrossref to https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-012	123-134
Capítulo 13 ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E A GESTÃO DE RISCOS	
Reinaldo da Silva Thomé.	
≤ Crossref € https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-013	
	135-146
Capítulo 14 A SUSTENTABILIDADE NA ENGENHARIA DE SOFTWARE	
Isabella de Sousa Thomé.	
≤ Crossref	
	147-158

Capítulo 15 METODOLOGIAS ÁGEIS E TRADICIONAIS NO CICLO DE VIDA DO SOFTWARE Renato Vidal Borges.
\$\(\sigma \text{ttps://doi.org/10.63330/aurumpub.005-015} \\ \text{159-169}
Capítulo 16 CIBERSEGURANÇA E CONFLITOS GLOBAIS: UMA ANÁLISE QUALITATIVA DAS RELAÇÕES INTERNACIONAIS NA ERA DIGITAL Marcelo da Silva Lima.
\$\sqrt{crossref} \text{\omega} \frac{https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-016} \\ \text{170-181}
Capítulo 17 A EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA CIBERNÉTICA: DESAFIOS E SOLUÇÕES NO SÉCULO XXI

David Aguiar.

Scrossref 60 https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-017



INTERNET DAS COISAS (IoT): CONCEITOS, DESAFIOS E APLICAÇÕES NO CONTEXTO DAS REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

INTERNET OF THINGS (IoT): CONCEPTS, CHALLENGES AND APPLICATIONS IN THE CONTEXT OF SMART ELECTRIC NETWORKS

ttps://doi.org/10.63330/aurumpub.005-001

Joelson Lopes da Paixão

Mestre em Engenharia Elétrica, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Educação Básica, Tecnológica e EAD

UFSM

E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

RESUMO

As revoluções tecnológicas estão impondo um novo paradigma para a sociedade e para as organizações. Neste cenário, surge a Internet das Coisas (IoT), como a grande mola propulsora dessas mudanças, porém apresenta diversos desafios, entre os quais conceituais, tecnológicos e sociais. A proliferação de objetos inteligentes com capacidade de sensoriamento, processamento e comunicação tem aumentado nos últimos anos. Nesse contexto, a IoT conecta estes objetos à internet e promove a comunicação entre usuários e dispositivos, de maneira automatizada e eficiente. O ramo de energia elétrica também se beneficiará com a IoT, na modernização do setor com as Redes Elétricas Inteligentes (REIs). Com a atuação das REIs através da IoT, a promoção da eficiência energética para o bem-estar social e econômico terá grandes resultados, trazendo o avanço tecnológico juntamente com os requisitos sustentáveis pelo uso de energias renováveis. Sendo assim, o objetivo deste artigo é mostrar uma revisão sobre a IoT no contexto das REIs, trazendo aplicações, conceitos e desafios esperados para a consolidação de suas funcionalidades.

Palavras-chave: Aplicações da IoT; Desafios relacionados à IoT; Redes Elétricas Inteligentes; Energias Renováveis.

ABSTRACT

Technological revolutions are imposing a new paradigm on society and organizations. In this scenario, the Internet of Things (IoT) has emerged as the great driving force behind these changes, but it presents a number of challenges, including conceptual, technological and social ones. The proliferation of intelligent objects with sensing, processing and communication capabilities has increased in recent years. In this context, the IoT connects these objects to the internet and promotes communication between users and devices in an automated and efficient manner. The electricity industry will also benefit from the IoT, modernizing the sector with Intelligent Electricity Networks (IENs). With IoT-enabled REIs, the promotion of energy efficiency for social and economic well-being will have great results, bringing technological advances together with sustainable requirements through the use of renewable energies. Therefore, the aim of this article is to provide a review of the IoT in the context of REIs, including applications, concepts and the challenges expected for consolidating its functionalities.

Keywords: IoT Applications; IoT Challenges; Smart Grids; Renewable Energies.



1 INTRODUÇÃO

A Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT) desponta como uma evolução da internet e um novo paradigma tecnológico, social, cultural e digital. A Internet das Coisas revolucionará os modelos de negócios e a interação da sociedade com o meio ambiente, por meio de objetos físicos e virtuais, em que esses limites se tornam cada vez mais tênues (LACERDA; LIMA-MARQUES, 2015).

Esta constante evolução das tecnologias está cada vez mais presente no nosso cotidiano, o que traduz para uma realidade virtual, onde tudo pode ser encontrado, investigado, e difundido de maneira interconectada. A esta interconexão do mundo real ao virtual se caracteriza pela definição IoT, sendo ela capaz de auxiliar a novas descobertas e combinação de serviços, no gerenciamento de recursos e equipamentos de maneira eficiente e segura, e solucionando problemas de grande complexidade e proporção (NITTI et al., 2016).

Neste sentido, devido a evolução das tecnologias e necessidade de ferramentas de gerenciamento simplificada e eficiente, a IoT traz um cenário muito favorável em se tratando da maneira como o mundo vem expandindo suas tecnologias. Tem-se como principal exemplo a rede de computadores e celulares, onde a informatização nos mantém atualizados quase que em tempo real do que está acontecendo em todo o mundo, e de certa forma a IoT vem aprimorar ainda mais este contexto.

De maneira clara, a aplicação fundamental da IoT se refere à automatização de objetos físicos em que os habilita a receber e trocar informações, possibilitando o usuário a monitorar e controlar remotamente estes objetos, e capacitando-os a operarem sem intervenção humana (HAMEED; ALOMARY, 2019; HASSIJA et al., 2019). A intenção disto está relacionada com bem-estar social, privacidade e conforto, tendo em vista a eficiência e a automação de ponta, que para poder implementar este conceito de maneira crescente requer autenticação, segurança e privacidade (HASSIJA et al., 2019).

Paralelamente, essas novas habilidades dos objetos inteligentes gerarão muitas oportunidades de pesquisas e projetos no âmbito acadêmico e empresarial. Na Figura 1 são ilustradas as principais áreas de concentração da aplicação de IoT, sendo classificadas por uma pontuação de 1 a 5, sendo 1 insignificante e 5 de muita importância (SÔNEGO; MARCELINO; GRUBER, 2017).



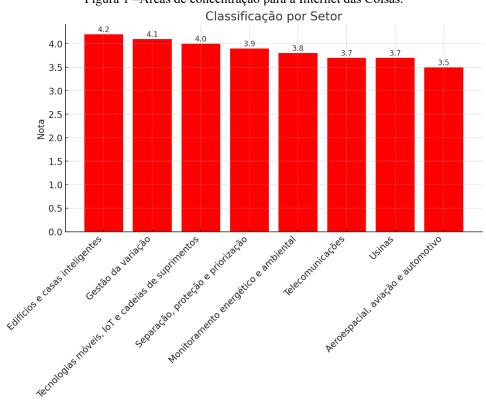


Figura 1 - Áreas de concentração para a Internet das Coisas.

Atualmente a IoT é usada em cidades inteligentes (*smart cities*), estradas, hospitais (*smart healthcare*), residências (*smart homes*), ambientes inteligentes, carros autônomos (*smart car*), no ramo de energia (*smart grid*), assistência domiciliar, e uma infinidade de aplicações (HAMEED; ALOMARY, 2019; SHAFIQUE et al., 2020). As Redes Elétricas Inteligentes (REIs) fazem parte do contexto da IoT e que irá possibilitar uma interação maior entre o operador e consumidor, auxílio no controle e integração de carga e geração, aumento da confiabilidade do sistema, inserção de Veículos Elétricos (VEs), e transparência das operações em tempo real.

Neste sentido, este trabalho tem por apresentar uma revisão da IoT no contexto das REIs, estudos relacionados ao assunto, também, serão apresentados os principais blocos para o desenvolvimento da IoT, que neste sentido são fundamentais para sua implementação e operação, trazendo as formas e aplicações deste conceito, elucidando e promovendo a difusão no ramo de energia.

2 BLOCOS BÁSICOS DE CONSTRUÇÃO DA 10T

Para que a IoT seja aplicável às REIs é necessário um conjunto de fatores. Entre eles destacam-se os modelos de protocolos, a segurança da informação, e velocidade de processamento de dados uma vez que as informações dos equipamentos necessitam ser analisados, processados e armazenados (CHEN et al., 2019).

A IoT pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no



sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual. A Figura 2 apresenta os blocos básicos de construção da IoT sendo eles (CHOPRA; GUPTA; LAMBORA, 2019; SANTOS et al., 2016):

Comunicação

Ligara 2 Biocos Basicos para constitução da 101.

Comunicação

Sensores

Serviços

Semântica

Figura 2 – Blocos Básicos para construção da IoT.

- Identificação: é um dos blocos mais importantes, visto que é primordial identificar os objetos unicamente para conectá-los à Internet. Tecnologias como RFID, NFC (*Near Field Communication*) e endereçamento IP podem ser empregados para identificar os objetos.
- Sensores/Atuadores: sensores coletam informações sobre o contexto em que os objetos se encontram e, em seguida, armazenam/encaminham esses dados para data warehouse, clouds ou centros de armazenamento. Atuadores podem manipular o ambiente ou reagir de acordo com os dados lidos.
- Comunicação: diz respeito às diversas técnicas usadas para conectar objetos inteligentes. Também desempenha papel importante no consumo de energia dos objetos sendo, portanto, um fator crítico. Algumas das tecnologias usadas são WiFi, Bluetooth, IEEE 802.15.4 e RFID.
- Computação: inclui a unidade de processamento como, por exemplo, microcontroladores, processadores e FPGAs, responsáveis por executar algoritmos locais nos objetos inteligentes.
- Serviços: a IoT pode prover diversas classes de serviços, dentre elas, destacam-se os Serviços de Identificação, responsáveis por mapear Entidades Físicas (EF) (de interesse do usuário) em Entidades Virtuais (EV) como, por exemplo, a temperatura de um local físico em seu valor, coordenadas geográficas do sensor e instante da coleta; Serviços de Agregação de Dados que coletam e sumarizam dados homogêneos/heterogêneos obtidos dos objetos inteligentes; Serviços de Colaboração e Inteligência que agem sobre os serviços de agregação de dados para tomar decisões e reagir de modo adequado a um determinado cenário; e Serviços de Ubiquidade



- que visam prover serviços de colaboração e inteligência em qualquer momento e qualquer lugar em que eles sejam necessários.
- Semântica: refere-se à habilidade de extração de conhecimento dos objetos na IoT. Trata da descoberta de conhecimento e uso eficiente dos recursos existentes na IoT, a partir dos dados existentes, com o objetivo de prover determinado serviço. Para tanto, podem ser usadas diversas técnicas como *Resource Description Framework* (RDF), *Web Ontology Language* (OWL) e *Efficient XML Interchange* (EXI).

Ainda, faz-se necessário dar uma maior evidência às tecnologias da informação e comunicação da IoT, que através dela que todo o processo se dá, e torna real este conceito. A Tabela 1 resume as tecnologias de comunicação, trazendo as principais características de cada qual, o que permite compará-las(CHOPRA; GUPTA; LAMBORA, 2019). Em particular, destaca-se a grande variedade de possibilidades para conectar dispositivos. Portanto, é preciso ponderar acerca das características das tecnologias e finalidade do dispositivo para escolher a melhor forma de conectá-lo (SANTOS et al., 2016).

Tabela 1 – Comparação entre as tecnologias de comunicação

Protocolo	Alcance	Frequência	Taxa	IPv6	Topologia
Ethernet	100/2000m	N/A	10 Gbps	Sim	Variada
Wi-Fi	50m	2.4/5 GHz	1300 Mbps	Sim	Estrela
BLE	80m	2.4 GHz	1 Mbps	Sim	Estrela/Mesh
ZigBee	100m	915 MHz - 2.4 GHz	250 kbps	Sim	Estrela/Mesh
3G/4G	35/200 km	1900/ 2100/ 2500MHz	1/10 Mbps	Sim	Estrela
SigFox	10/50 km	868/ 902MHz	10–1000 bps	-	-
LoraWan	2/5 km	Sub-GHz	0.3-50 kbps	Sim	Estrela

3 APLICAÇÕES EM IoT

As aplicações de Internet das Coisas são inúmeras e diversas, e permeiam praticamente a vida diária das pessoas, das empresas e sociedade como um todo, transformando o mundo em *smart world* (FREITAS, 2016; PATEL; PATEL; SCHOLAR, 2016). O *smart world* permite que a computação se torne "invisível" aos olhos do usuário, por meio da relação entre homem e máquina, tornando um mundo mais eficiente e eficaz. A Figura 3 a seguir mostra um panorama da atuação da internet das coisas (CHOPRA; GUPTA; LAMBORA, 2019; FREITAS, 2016):



Figura 3 – Aplicações da IoT.



- Bens de consumo: Bens adquiridos pelos consumidores, tais como *smartphones*, *smart house*, *smart car* e *smart TV*.
- eHealth: Fitness, bioeletrônica e cuidados com saúde. Por exemplo: monitoramento e controle da frequência cardíaca durante os exercícios; monitoramento das condições dos pacientes em hospitais e em casas de idosos.
- Transporte inteligente: Notificação das condições de tráfego, controle inteligente de rotas, monitoramento remoto do veículo, coordenação das rodovias e integração inteligente de plataformas de transporte.
- Distribuição de energia (*smart grid*): Acompanhamento de instalações de energia, subestações inteligentes, distribuição de energia automática e medições remotas de relógios residenciais.
- Casas inteligentes: Medições remotas de consumo, economia de energia, controle inteligente de equipamentos residenciais e segurança residencial.
- Distribuição e Logística: *Smart e-commerce*, rastreabilidade, gerenciamento na distribuição e inventário.
- Segurança Pública: Monitoramento no transporte de cargas perigosas e químicas, monitoramento da segurança pública, monitoramento das estruturas de construções de utilidade pública.
- Indústria e Manufatura: Economia de energia, controle da poluição, segurança na manufatura, monitoramento do ciclo de vida dos produtos, rastreamento de produtos manufaturados na cadeia de abastecimento, monitoramento de condições ambientais e controle de processos de produção.
- Gestão da agricultura e dos recursos naturais: Segurança e rastreabilidade de produtos agrícolas, gerenciamento de qualidade, monitoramento ambiental para produção e cultivo, gerenciamento no processo de produção, utilização de recursos para a agricultura.



• Smart Cities: Monitoramento estrutural: monitoramento de vibrações e condições dos materiais em edifícios, pontes e monumentos históricos. Energia elétrica: iluminação inteligente e adaptável conforme a rua. Segurança: monitoramento por meio de vídeo digital, gerenciamento de controle de incêndio e sistemas de anúncio público. Transporte: estradas inteligentes com avisos, mensagens e desvios de acordo com as condições climáticas e eventos inesperados como acidentes ou engarrafamentos. Estacionamento: monitoramento em tempo real da disponibilidade de espaços de estacionamento, sendo possível identificar e reservar vagas disponíveis. Gestão de resíduos: detecção de níveis de lixo em recipientes para otimizar a rota de coleta de lixo.

4 IoT NO CONTEXTO DE REDES ELÉTRICA INTELIGENTES

A evolução dos Sistemas Elétricos de Potência através da integração das fontes de geração de energia elétrica é uma das características das Redes Elétricas Inteligentes (REIs). Entre as fontes de geração destacam-se as energias renováveis, desde as grandes hidrelétricas até os sistemas fotovoltaicos residências conectadas à rede elétrica. No entanto, o crescimento desse tipo de geração nas REIs aumenta a imprevisibilidade de geração uma vez que apresentam uma natureza intermitente de produção de energia. Dessa forma, exploram-se alguns modos para garantir a confiabilidade destes sistemas tais como armazenamento de energia, usinas virtuais de energia elétrica (BARBIERATO et al., 2019).

Contudo, por apresentarem um custo elevado, os sistemas de armazenamento de energia acabam não sendo, por algumas vezes, a melhor solução. Assim, as usinas virtuais de energia elétrica (VPP) através do emprego de mecanismos de resposta da demanda e da IoT surgem como uma nova opção para as REIs. Particularmente, o emprego da tecnologia de IoT possibilita a conexão de equipamentos espalhados pelo sistema em tempo real através da infraestrutura de comunicação e processamento de dados (RANA, 2017) sendo essa estrutura chave na caracterização das cidades inteligentes (LI et al., 2018).

A aplicação dos mecanismos de IoT nas REIs surge como alternativa para a conectividade, automação e controle dos diversos equipamentos que compõem esse sistema. Tudo isso de forma rápida, digital e bidirecional a favor de aproximar ainda mais a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (SALEEM et al., 2019). Além disso, esse mecanismo iterativo de conexão também aproxima consumidores e fornecedores de energia encorajando o uso da energia elétrica de forma mais inteligente, possibilitando um maior equilíbrio entre geração e consumo, e consequentemente, uma possível redução dos picos de demanda de energia elétrica no sistema (CHIU; MEMBER; SHIH, 2017).

5 ESTUDO DE CASO

Com o avanço e popularização do IoT, é possível tornar a operação de REIs cada vez mais integrada e inteligente, resultando em aumentos de qualidade e confiabilidade. A utilização de dispositivos conectados



à rede aliada a análises computacionais pode trazer reduções de perdas, maior disponibilidade e qualidade de energia, além de uma resposta mais inteligente à demanda. Apesar de ser mais abordada no âmbito da distribuição de energia, a utilização de IoT também atinge outras camadas, desde a geração, transmissão e distribuição até a parte de consumo residencial.

Embora existam inúmeras aplicações de IoT em REIs, serão abordadas algumas aplicações em um âmbito de redes residenciais, comerciais e pequenas plantas industriais, as chamadas *Home Area Networks* (HAN) que englobam conceitos sobre equipamentos domésticos e industriais, veículos elétricos e integração de fontes renováveis de energia (SALEEM et al., 2019). A utilização de sensores e atuadores em residências permite transformá-las em *Smart Homes*, possibilitando o monitoramento e controle de equipamentos remotamente, configurando-se como um canal de interação entre os usuários e as REIs, podendo trazer otimizações e maior gerenciamento do consumo. Assim, é possível que o consumidor reduza os custos referentes ao consumo e as concessionárias possam manipular, de certa forma, a curva de demanda diária e minimizar custos operacionais e referentes às perdas de energia.

A Figura 4 ilustra e caracteriza uma HAN, e de maneira sucinta elenca as demais redes de comunicação, que são a *Neighborhood Area Network* (NAN) e a *Wide Area Network* (WAN). A NAN suporta a comunicação entre os dispositivos de campo, distribuição e subestação, englobando as diversas HANs. Já a WAN, faz a coleta das informações das NANs, e realiza a comunicação entres os sistemas de transmissão, geração e centros de controle (SALEEM et al., 2019).

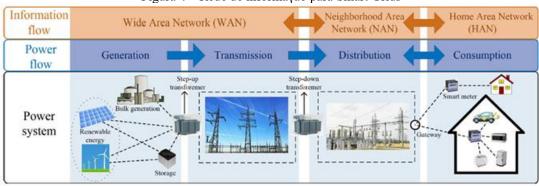


Figura 4 – Rede de informação para Smart Grids

Essa transição de sistemas manuais de medição para sistemas automatizados, com dados em tempo real ao invés de coletas em intervalos periódicos, já acontece e traz grandes melhorias em termos de precisão e otimização de tempo – visto que as medições são feitas remotamente. Esses sistemas de medição avançada apresentam-se como uma das principais funções de IoT em REIs, provendo monitoramento em tempo real, análises e estatísticas a partir de coletas de dados de alta confiabilidade (SALEEM et al., 2019).

Os veículos elétricos, soluções sustentáveis cada vez mais popularizadas, também podem ser influenciados pela integração de dispositivos IoT. Além de um gerenciamento inteligente do carregamento



- lento ou rápido - e da injeção de energia na rede, em casos de tarifas diferenciadas de acordo com o horário, a tecnologia IoT permite o envio de informações e, aliada à utilização de GPS, pode servir como ferramenta de otimização no trânsito e estacionamentos.

Além disso, a crescente integração de fontes renováveis à REIs, importante pela redução do impacto ambiental e descentralização da geração de energia elétrica, também pode se beneficiar da implementação de tecnologias IoT. Visto que a maioria destas fontes são intermitentes, como, por exemplo, solar e eólica, a utilização de sensores e dispositivos proporcionam maior previsibilidade e confiabilidade no fornecimento de energia, além de permitir o controle dessas fontes remotamente.

6 CONCLUSÕES

Desta forma, chega-se à conclusão de que a dependência da eletricidade para o bem-estar social e desenvolvimento econômico, estão ligadas as questões de eficiência energética e que com a IoT, a evolução e melhoramento dos sistemas tendem galgar este objetivo. Outra questão é a promoção das fontes de energia renováveis, que contribuem para a redução de emissões de gases poluentes ao meio ambiente, que de certa forma, com a IoT nas REIs, terá maior participação na matriz elétrica por assim se ter uma maior informatização e controle do sistema, seguindo os princípios da evolução tecnológica e da sustentabilidade.

A partir dos estudos de casos é possível reparar que a utilização de IoT em HANs mostra-se muito importante tanto no comissionamento quanto no controle de dispositivos, permitindo o monitoramento do fluxo de energia, coletando informações de carga e consumo e facilitar a atuação da concessionária quando necessário. Embora as aplicações tenham sido abordadas em um contexto doméstico, elas podem ser estendidas para áreas de abrangência maior, em que dados de várias residências são coletadas, reenviadas e agregadas a informações de dispositivos de subestações e do sistema de distribuição, constituindo uma rede elétrica amplamente conectada.



REFERÊNCIAS

BARBIERATO, L. et al. A Distributed IoT Infrastructure to Test and Deploy Real-Time Demand Response in Smart Grids. v. 6, n. 1, p. 1136–1146, 2019.

CHEN, S. et al. Internet of Things Based Smart Grids Supported by Intelligent Edge Computing. IEEE Access, v. 7, p. 74089–74102, 2019.

CHIU, T.; MEMBER, G. S.; SHIH, Y. Optimized Day-Ahead Pricing With Renewable Energy Demand-Side Management for Smart Grids. v. 4, n. 2, p. 374–383, 2017.

CHOPRA, K.; GUPTA, K.; LAMBORA, A. Future Internet: The Internet of Things-A Literature Review. 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon). Anais...IEEE, fev. 2019.

FREITAS, R. R. DE. Internet das Coisas Sem Mistérios: Uma nova inteligência para os negócios. Netpress Books, 2016.

HAMEED, A.; ALOMARY, A. Security Issues in IoT: A Survey. 2019 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT). Anais...IEEE, set. 2019.

HASSIJA, V. et al. A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures. IEEE Access, v. 7, p. 82721–82743, 2019.

LACERDA, F.; LIMA-MARQUES, M. Da necessidade de princípios de Arquitetura da Informação para a Internet das Coisas. Perspectivas em Ciência da Informação, v. 20, n. 2, p. 158–171, jun. 2015.

LI, W. et al. Policy-Based Secure and Trustworthy Sensing for Internet of Things in Smart Cities. v. 5, n. 2, p. 716–723, 2018.

NITTI, M. et al. The Virtual Object as a Major Element of the Internet of Things: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, v. 18, n. 2, p. 1228–1240, 2016.

PATEL, K. K.; PATEL, S. M.; SCHOLAR, P. G. Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Engineering Science and Computing, v. 6, n. 5, p. 1–10, 2016.

RANA, M. Architecture of the Internet of Energy Network: An Application to Smart Grid Communications. v. 5, 2017.

SALEEM, Y. et al. Internet of Things-Aided Smart Grid: Technologies, Architectures, Applications, Prototypes, and Future Research Directions. IEEE Access, v. 7, p. 62962–63003, 2019.

SANTOS, B. P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos., p. 50, 2016.

SHAFIQUE, K. et al. Internet of Things (IoT) for Next-Generation Smart Systems: A Review of Current Challenges, Future Trends and Prospects for Emerging 5G-IoT Scenarios. IEEE Access, v. 8, p. 23022–23040, 2020.



SÔNEGO, A. A.; MARCELINO, R.; GRUBER, V. A Internet das Coisas aplicada ao conceito de eficiência energética: uma análise quantitativo-qualitativa do estado da arte da literatura. AtoZ: novas práticas em informação e conhecimento, v. 5, n. 2, p. 80, 9 jan. 2017.



REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: ESTRUTURA, MODELAGEM MATEMÁTICA E EXEMPLO DE APLICAÇÃO

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: STRUCTURE, MATHEMATICAL MODELING AND APPLICATION EXAMPLES

https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-002

Joelson Lopes da Paixão

Mestre em Engenharia Elétrica, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Educação Básica, Tecnológica e EAD

UFSM

E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

RESUMO

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano, utilizados para resolver problemas complexos por meio de aprendizado adaptativo. Este trabalho apresenta uma análise teórica sobre a estrutura e o funcionamento das RNAs, abordando sua modelagem matemática, principais arquiteturas e métodos de aprendizado. Além disso, são discutidas suas aplicações em otimização, regressão, previsão e classificação de dados, destacando a capacidade desses sistemas em lidar com interações não lineares e padrões complexos. O estudo inclui uma comparação entre diferentes topologias de redes, bem como a influência dos algoritmos de treinamento no desempenho da RNA. Por fim, é apresentado um exemplo prático de aplicação, evidenciando a eficácia desse método na solução de problemas de modelagem matemática.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Otimização; Redes Neurais Artificiais; Aprendizado de Máquina; Modelagem Matemática.

ABSTRACT

Artificial Neural Networks (ANNs) are computational models inspired by the functioning of the human brain, designed to solve complex problems through adaptive learning. This study presents a theoretical analysis of ANN structure and functionality, covering their mathematical modeling, main architectures, and learning methods. Additionally, their applications in optimization, regression, forecasting, and data classification are discussed, highlighting their ability to handle nonlinear interactions and complex patterns. The study includes a comparison between different network topologies and the impact of training algorithms on ANN performance. Finally, a practical application example is presented, demonstrating the effectiveness of this method in solving mathematical modeling problems.

Keywords: Artificial Intelligence; Optimization; Artificial Neural Networks; Machine Learning; Mathematical Modeling.



1 INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos problemas computacionais e a necessidade de tomadas de decisão rápidas e precisas impulsionaram o desenvolvimento de técnicas baseadas em Inteligência Artificial (IA). Entre essas técnicas, as Redes Neurais Artificiais (RNAs) destacam-se como modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano, possuindo a capacidade de processar informações de maneira distribuída e paralela. Seu princípio fundamental baseia-se no aprendizado a partir de exemplos, permitindo a resolução de problemas que envolvem padrões complexos, não linearidades e incertezas (RUMELHART; MCCLELLAND, 1986).

A IA tem suas raízes nos estudos de Alan Turing na década de 1950, quando foi proposto um teste para avaliar a capacidade de máquinas em imitar o comportamento humano (TURING, 1950). Desde então, diversas abordagens foram desenvolvidas para que os sistemas computacionais adquirissem habilidades de aprendizado e inferência. Diferentemente dos algoritmos tradicionais, que requerem programação explícita para cada situação, as RNAs são treinadas para reconhecer padrões e gerar respostas apropriadas com base nos dados de entrada.

O princípio de funcionamento das RNAs consiste na modelagem matemática de neurônios artificiais, organizados em camadas interconectadas, capazes de ajustar seus parâmetros internos por meio de algoritmos de aprendizado. Esses modelos têm sido amplamente aplicados em otimização, regressão, previsão e classificação de dados, demonstrando versatilidade em diversas áreas, como engenharia elétrica, processamento de sinais, bioinformática e finanças (HAYKIN, 2009).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise teórica das RNAs, discutindo sua estrutura, modelagem matemática e aplicações práticas. Serão abordadas as principais topologias de redes, os métodos de aprendizado e as funções de ativação utilizadas nesses modelos. Além disso, um exemplo prático será apresentado para ilustrar a eficiência das RNAs na resolução de problemas complexos, destacando sua importância para o avanço da Inteligência Artificial e da otimização computacional.

2 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As RNAs são modelos computacionais inspirados no funcionamento do sistema nervoso humano. Elas consistem em um conjunto interconectado de neurônios artificiais que processam informações por meio de um aprendizado adaptativo. Devido à sua capacidade de capturar padrões complexos e não lineares, as RNAs vêm sendo amplamente utilizadas em diversas aplicações, como modelagem matemática, previsão, classificação e otimização (HAYKIN, 2009).

Cada RNA é composta por unidades de processamento simples, chamadas neurônios artificiais, organizadas em uma arquitetura específica que determina o fluxo da informação dentro da rede. Essas unidades aplicam funções matemáticas sobre os dados de entrada, ajustando seus parâmetros internos por



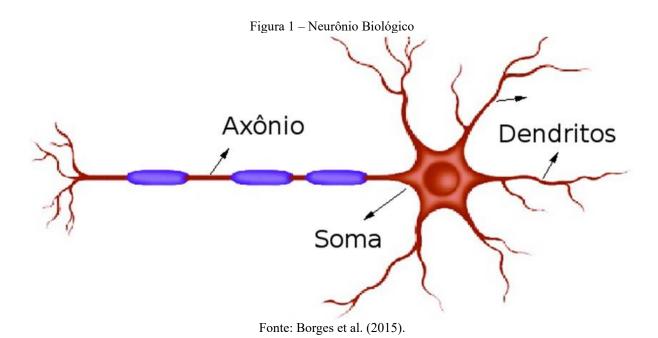
meio de algoritmos de aprendizado. Dessa forma, as RNAs são capazes de generalizar padrões e realizar inferências mesmo em ambientes de alta complexidade (RUMELHART; MCCLELLAND, 1986).

2.1 ESTRUTURA DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

O funcionamento das RNAs é baseado em três elementos fundamentais:

- Camadas de neurônios: as RNAs são compostas por uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída. A quantidade de camadas ocultas e de neurônios impacta diretamente a capacidade da rede de representar funções complexas.
- 2. **Pesos sinápticos:** cada conexão entre neurônios possui um peso, que regula a intensidade da transmissão de informação entre as unidades. Durante o treinamento, esses pesos são ajustados para minimizar erros e melhorar a performance da rede.
- 3. **Função de ativação:** determina a resposta do neurônio com base nos valores recebidos. As principais funções de ativação incluem linear, degrau, sigmoidal e ReLU (Rectified Linear Unit), cada uma com características específicas para diferentes aplicações (HAYKIN, 2009).

A Figura 1 apresenta a estrutura de um neurônio biológico real, cuja modelagem serviu de base para a concepção das RNAs.



A modelagem matemática de um neurônio artificial é baseada na equação (1):

$$y = f\left(\sum_{i=1}^{n} w_i x_i + b\right) \tag{1}$$



onde:

- x_i são os sinais de entrada,
- w_i são os pesos sinápticos,
- b é o termo bias,
- f é a função de ativação,
- y representa a saída do neurônio.

A Figura 2 ilustra um modelo simplificado de neurônio artificial, destacando os principais componentes.

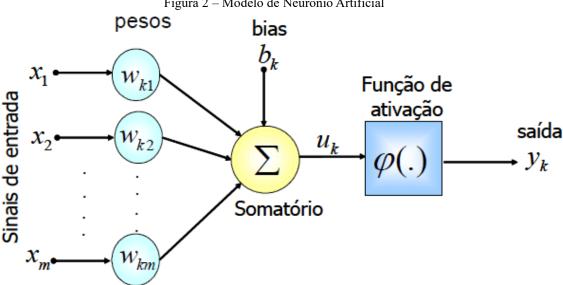


Figura 2 – Modelo de Neurônio Artificial

Fonte: (SOARES; SILVA, 2011).

2.2 ARQUITETURAS DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

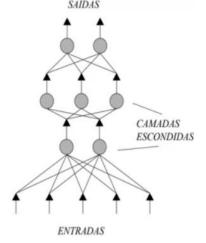
As RNAs podem ser classificadas conforme sua arquitetura de conectividade e propagação da informação. As duas principais categorias são:

- Redes de Propagação Direta (Feedforward Neural Networks FNNs): a informação flui em uma única direção, da camada de entrada para a camada de saída. Essas redes são amplamente utilizadas em classificação de padrões, previsão e regressão (RUMELHART; MCCLELLAND, 1986).
- Redes Recorrentes (Recurrent Neural Networks RNNs): possuem conexões de realimentação, permitindo que os neurônios influenciem a si mesmos ao longo do tempo. Esse tipo de RNA é utilizado para processamento de séries temporais, reconhecimento de fala e previsão sequencial (HOPFIELD, 1982).

As Figuras 3 e 4 ilustram essas duas arquiteturas.

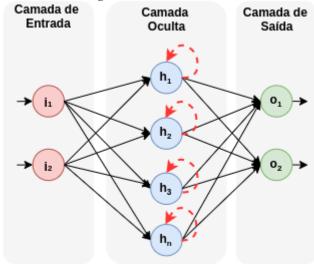


Figura 3 – Rede de Propagação Direta



Propagação para Frente Fonte: (SILVA et al., 2022).

Figura 4 – Rede Recorrente Camada



Rede Neural Recorrente Fonte: (BARBOSA et al., 2021).

2.3 MÉTODOS DE APRENDIZADO EM REDES NEURAIS

As RNAs são treinadas por meio de algoritmos de aprendizado, que ajustam os pesos sinápticos para otimizar a saída da rede. Os principais métodos incluem:

Aprendizado Supervisionado: a rede é treinada com pares de entrada e saída esperada, ajustando os pesos para minimizar o erro entre a saída prevista e a real. Exemplos incluem o algoritmo de retropropagação do erro (Backpropagation) e o Perceptron Multicamadas (MLP -Multilayer Perceptron) (HAYKIN, 2009).



- Aprendizado Não Supervisionado: a rede não recebe um conjunto de saídas desejadas, ajustando-se com base em padrões e correlações nos dados. É utilizado em agrupamento de dados e redução de dimensionalidade (KOHONEN, 1988).
- 3. **Aprendizado por Reforço:** a RNA aprende por meio de interação com o ambiente, recebendo recompensas ou penalidades de acordo com suas ações. Esse método é amplamente aplicado em sistemas de controle e jogos de inteligência artificial (SUTTON; BARTO, 1998).

2.4 APLICAÇÕES DAS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As RNAs têm uma ampla gama de aplicações devido à sua capacidade de aprender padrões complexos e lidar com dados ruidosos. Algumas das principais áreas de aplicação incluem:

- **Previsão de Séries Temporais:** modelagem de dados financeiros, previsão de carga elétrica e meteorologia (GERS; SCHMIDHUBER, 2001).
- Classificação de Padrões: reconhecimento facial, diagnóstico médico e identificação de fraudes financeiras (LECUN et al., 2015).
- Otimização: resolução de problemas combinatórios, ajuste de parâmetros em sistemas complexos e otimização de processos industriais (HAYKIN, 2009).

Por fim, um exemplo prático de aplicação das RNAs é apresentado na próxima seção, demonstrando sua eficácia na modelagem de sistemas reais.

3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para demonstrar a aplicabilidade das RNAs, este estudo apresenta um exemplo baseado na previsão de demanda elétrica. O objetivo é utilizar uma RNA para modelar e prever o consumo de energia em uma região específica, utilizando dados históricos como base de treinamento. Essa aplicação ilustra a capacidade das RNAs de identificar padrões não lineares e fornecer previsões precisas, contribuindo para o planejamento energético e a otimização de sistemas elétricos.

3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A previsão de demanda elétrica é um desafio crítico para concessionárias e gestores do setor energético, pois influencia decisões sobre operação, despacho de carga e expansão da infraestrutura. Métodos tradicionais, como regressão linear e séries temporais, podem ser insuficientes quando a demanda apresenta não linearidades e variações sazonais.

Neste exemplo, utiliza-se uma RNA para prever o consumo de energia em uma região baseada em dados do sistema *New England*, abrangendo o período de 1980 a 2014. O conjunto de dados inclui variáveis como:



- Demanda elétrica histórica (MW);
- Temperatura média (°C);
- Horário e dia da semana;
- Feriados e eventos sazonais;
- Crescimento populacional e industrial.

A Figura 5 apresenta a evolução da demanda anual ao longo do período analisado.

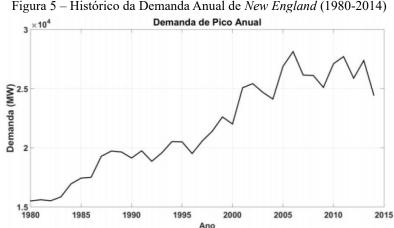


Figura 5 – Histórico da Demanda Anual de New England (1980-2014)

3.2 ESTRUTURA DA REDE NEURAL ARTIFICIAL

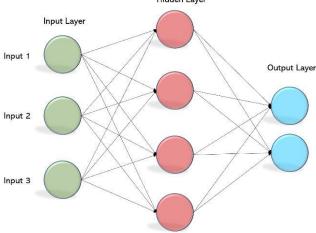
Para resolver esse problema, foi implementada uma Rede Neural do tipo Multilayer Perceptron (MLP) com as seguintes características:

- Camada de entrada: composta por variáveis exógenas (temperatura, horário, dia da semana, entre outras).
- Camadas ocultas: definidas com neurônios totalmente conectados, utilizando a função de ativação ReLU (Rectified Linear Unit).
- Camada de saída: composta por um único neurônio que fornece a previsão da demanda elétrica futura.
- Algoritmo de aprendizado: retropropagação do erro (Backpropagation) com otimização via Gradiente Descendente Estocástico (SGD – Stochastic Gradient Descent).

A Figura 6 ilustra a estrutura da RNA utilizada na previsão.



Figura 6 – Arquitetura da Rede Neural *Multilayer Perceptron* para Previsão de Demanda Hidden Layer



3.3 TREINAMENTO E VALIDAÇÃO DA REDE NEURAL

A rede neural foi treinada utilizando 80% dos dados históricos, enquanto os 20% restantes foram reservados para validação. O treinamento ocorreu ao longo de 500 épocas, com um conjunto de dados normalizado para melhorar a convergência do modelo.

O desempenho da RNA foi avaliado por meio dos seguintes indicadores:

- Erro Médio Absoluto (MAE Mean Absolute Error): mede a média das diferenças absolutas entre os valores reais e previstos.
- Erro Quadrático Médio (MSE Mean Squared Error): penaliza erros maiores, proporcionando um ajuste mais preciso da rede.
- Coeficiente de Determinação (R²): avalia a capacidade do modelo de explicar a variabilidade dos dados.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos na fase de teste.

Tabela 1 – Desempenho da RNA na Previsão de Demanda

Indicador	Valor Obtido		
MAE	1,78 MW		
MSE	4,21 MW ²		
R²	0,94		

Os resultados mostram que a RNA conseguiu prever a demanda elétrica com alta precisão, alcançando um coeficiente de determinação de 94%, indicando que o modelo foi capaz de capturar padrões relevantes dos dados históricos.



3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO

Os resultados obtidos demonstram que as RNAs são uma ferramenta poderosa para previsão de demanda elétrica, superando métodos convencionais ao lidar com não linearidades e múltiplas variáveis preditoras.

As principais vantagens observadas incluem:

- Capacidade de aprendizado adaptativo: a rede ajusta seus pesos dinamicamente para melhorar a precisão da previsão.
- Generalização para diferentes padrões de consumo: permite a aplicação do modelo em diferentes regiões e contextos.
- Robustez contra ruídos e variações sazonais: devido ao treinamento em grandes conjuntos de dados.

Entretanto, algumas limitações também foram identificadas:

- **Tempo de treinamento elevado:** dependendo da quantidade de dados e do número de neurônios, o treinamento pode ser computacionalmente custoso.
- Necessidade de ajuste fino dos hiperparâmetros: a definição do número de camadas ocultas e da taxa de aprendizado pode impactar diretamente o desempenho da RNA.

Com o avanço da computação de alto desempenho e o desenvolvimento de novas técnicas de aprendizado profundo (Deep Learning), espera-se que as RNAs se tornem ainda mais eficazes em aplicações complexas, consolidando-se como uma ferramenta essencial para otimização e previsão em sistemas elétricos e diversas outras áreas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As RNAs têm se consolidado como uma das principais ferramentas da Inteligência Artificial devido à sua capacidade de aprendizado adaptativo e à habilidade de modelar relações complexas entre variáveis. Inspiradas no funcionamento do sistema nervoso humano, as RNAs se destacam na classificação de padrões, previsão de séries temporais, otimização e modelagem matemática, sendo amplamente aplicadas em setores como engenharia, economia, saúde e tecnologia da informação.

Neste estudo, foram apresentados os fundamentos teóricos das RNAs, abordando suas estruturas, métodos de aprendizado e principais aplicações. Além disso, um exemplo prático demonstrou a eficiência dessas redes na previsão de demanda elétrica, evidenciando sua superioridade em relação a modelos estatísticos tradicionais ao lidar com não linearidades e múltiplos fatores preditores.

Os resultados obtidos reforçam as vantagens das RNAs, incluindo flexibilidade na modelagem de dados, capacidade de generalização e robustez frente a ruídos e variações sazonais. No entanto, desafios



como a necessidade de grande volume de dados para treinamento, a escolha adequada da arquitetura da rede e o alto custo computacional ainda representam barreiras para sua implementação em larga escala.

Com o avanço das técnicas de aprendizado profundo (Deep Learning) e o aumento da capacidade computacional, espera-se que as RNAs continuem evoluindo e ampliando suas aplicações. O desenvolvimento de novos algoritmos e otimizações de treinamento pode tornar esses modelos ainda mais eficientes e acessíveis, consolidando seu papel como uma das principais abordagens para a resolução de problemas complexos.

Dessa forma, este estudo contribui para a disseminação do conhecimento sobre RNAs, incentivando sua aplicação em diferentes áreas da ciência e da engenharia. Futuras pesquisas podem explorar aprimoramentos nos algoritmos de aprendizado, bem como investigar combinações de RNAs com outras técnicas de IA para solucionar desafios ainda mais sofisticados.



REFERÊNCIAS

- HAYKIN, S. Neural Networks and Learning Machines. 3rd ed. New York: Pearson, 2009.
- HOPFIELD, J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 79, p. 2554-2558, 1982.
- KOHONEN, T. Self-Organizing Maps. Springer Series in Information Sciences, v. 30. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. *Nature*, v. 521, p. 436-444, 2015.
- RUMELHART, D. E.; MCCLELLAND, J. L. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Cambridge: MIT Press, 1986.
- SUTTON, R. S.; BARTO, A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. Cambridge: MIT Press, 1998.
- TURING, A. M. Computing machinery and intelligence. *Mind*, v. 59, n. 236, p. 433-460, 1950.
- GERS, F. A.; SCHMIDHUBER, J. Long Short-Term Memory Learns Context Free and Context Sensitive Languages. In: *Proceedings of the 2001 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2001, Washington, DC, USA. p. 2207-2213. DOI: 10.1109/IJCNN.2001.938623.
- BORGES, R. R.; IAROSZ, K. C.; BATISTA, A. M.; CALDAS, I. L.; BORGES, F. S.; LAMEU, E. L. Sincronização de disparos em redes neuronais com plasticidade sináptica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 2310, jun. 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/n4Q49fBXdH9NvKT4X9ZjcHD/?lang=pt. Acesso em: 22 nov. 2024.
- SOARES, P.; SILVA, J. P. da. Aplicação de Redes Neurais Artificiais em Conjunto com o Método Vetorial da Propagação de Feixes na Análise de um Acoplador Direcional Baseado em Fibra Ótica. *Revista Brasileira de Engenharia*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 215-223, set. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307834184_Aplicacao_de_Redes_Neurais_Artificiais_em_Conjunto_com_o_Metodo_Vetorial_da_Propagacao_de_Feixes_na_Analise_de_um_Acoplador_Direcional_B aseado em Fibra Otica. Acesso em: 2 dez. 2024.
- SILVA, Rafael Veiga Teixeira e. et. al. Inteligência artificial e o teste de Turing: uma análise do prêmio Loebner de 2017 e 2018. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 07, Ed. 03, Vol. 02, pp. 121-141. Março de 2022. ISSN: 2448-0959, Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/premio-loebner. Acesso em: 2 jan. 2025.
- BARBOSA, Guilherme N. N.; BEZERRA, Govinda M. G.; MEDEIROS, Dianne S. V.; LOPEZ, Martin A.; MATTOS, Diogo M. F. Segurança em Redes 5G: Oportunidades e Desafios em Detecção de Anomalias e Predição de Tráfego Baseadas em Aprendizado de Máquina. In: *Minicursos do XXI Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais*. 1. ed. São Paulo: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 145-189. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/355261609_Seguranca_em_Redes_5G_Oportunidades_e_Desafios_em_Deteccao_de_Anomalias_e_Predicao_de_Trafego_Baseadas_em_Aprendizado_de_Maquina. Acesso em: 2 jan. 2025.



O IMPACTO DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO EM TURNOS NOTURNOS NA SAÚDE DOS TRABALHADORES: INTERVENÇÕES PREVENTIVAS

THE IMPACT OF WORKING CONDITIONS ON NIGHT SHIFTS ON WORKERS' HEALTH: PREVENTIVE INTERVENTIONS

tttps://doi.org/10.63330/aurumpub.005-003

Reinaldo da Silva Thomé

Possui graduação em Gestão Pública pelo Centro Universitário Internacional (2012), graduação em Tecnólogo Engenharia em Segurança do Trabalho pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2023), especialização em Aconselhamento e Psicologia Pastoral pela Faculdade Iguaçu (2024) e especialização em Pós-Graduação de Engenharia em Segurança do Trabalho pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2025).

LATTES: http://lattes.cnpq.br/8413778291707095

RESUMO

A necessidade de trabalhar em horários noturnos tem aumentado em vários setores da economia, mas muitas empresas ainda não dão a devida atenção aos efeitos que isso causa na saúde dos funcionários. Esta pesquisa buscou entender melhor como o trabalho noturno afeta a saúde física, mental e social dos trabalhadores, revisando diversos estudos publicados entre 2015 e 2025. As informações encontradas mostraram claramente que trabalhar em horários que não respeitam o ritmo natural do corpo está ligado a problemas de sono, síndrome metabólica, problemas mentais, cansaço constante e dificuldades nos relacionamentos sociais. Além disso, algumas profissões, como as de profissionais da saúde, segurança pública, transporte e indústria, são mais suscetíveis a esses problemas. A análise também mostrou que faltam ações do governo e programas nas empresas para evitar esses problemas. Com base no que foi descoberto, são sugeridas mudanças nas empresas, nos hábitos dos trabalhadores e nas políticas públicas para diminuir os efeitos negativos do trabalho noturno, cuidando da saúde e do bem-estar dos funcionários.

Palavras-chave: Trabalho noturno; Saúde do trabalhador; Síndrome metabólica; Fadiga ocupacional; Intervenções preventivas.

ABSTRACT

The need to work night shifts has increased in several sectors of the economy, but many companies still do not pay due attention to the effects this has on employees' health. This research sought to better understand how night work affects the physical, mental and social health of workers, reviewing several studies published between 2015 and 2025. The information found clearly showed that working at times that do not respect the body's natural rhythm is linked to sleep problems, metabolic syndrome, mental problems, constant fatigue and difficulties in social relationships. In addition, some professions, such as healthcare, public safety, transportation and industry professionals, are more susceptible to these problems. The analysis also showed that there is a lack of government actions and programs in companies to prevent these problems. Based on what was discovered, changes are suggested in companies, in workers' habits and in public policies to reduce the negative effects of night work, taking care of the health and well-being of employees.

Keywords: Night work; Workers' health; Metabolic syndrome; Occupational fatigue; Preventive interventions.



1 INTRODUÇÃO

A intensificação da competitividade global, aliada à expansão dos serviços essenciais e à reorganização das atividades produtivas, tem levado muitas empresas a adotarem regimes laborais contínuos, nos quais o trabalho em turno noturno se torna indispensável. Esse tipo de jornada é particularmente comum em setores como saúde, segurança pública, transportes, indústria e serviços, sendo frequentemente considerado essencial para garantir a produtividade e o atendimento à população. No entanto, estudos como o de França *et al.* (2019) apontam que o trabalho noturno está associado a riscos significativos para a saúde dos trabalhadores, especialmente quando realizado por períodos prolongados ou sem medidas de proteção adequadas.

O corpo humano opera em conformidade com o ciclo circadiano, um ritmo biológico que regula funções como o sono, a temperatura corporal, a secreção hormonal e o metabolismo energético. A inversão do ciclo luz-escuridão, imposta pelo trabalho noturno, tende a desregular esse compasso interno, gerando impactos negativos nos processos fisiológicos, psicológicos e sociais dos trabalhadores. Segundo Queiroz (2024), o desalinhamento do ciclo circadiano pode levar a consequências cumulativas, incluindo fadiga crônica, insônia, doenças metabólicas, cardiovasculares e até transtornos psiquiátricos.

França *et al.* (2019) destacam que esses efeitos são ainda mais intensos em categorias expostas a altos níveis de estresse e responsabilidade. Queiroz. (2024) reforçam a necessidade de políticas mais abrangentes que contemplem estratégias preventivas e de promoção da saúde.

Diante desse cenário, o presente trabalho propõe uma revisão integrativa da literatura para identificar os principais impactos do trabalho noturno na saúde dos trabalhadores, com foco em seus efeitos fisiológicos, metabólicos, mentais e sociais. Além disso, busca-se reunir e analisar criticamente propostas de intervenções preventivas descritas na literatura, com o objetivo de formular recomendações práticas aplicáveis a diferentes contextos organizacionais. Ao abordar o tema de forma ampla e fundamentada em evidências, este estudo visa contribuir para a construção de ambientes laborais mais seguros, saudáveis e humanizados, especialmente para os profissionais que dedicam suas noites ao funcionamento contínuo da sociedade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 TURNO NOTURNO E CICLO CIRCADIANO

Queiroz (2024) ressalta que nosso corpo opera em um ritmo natural, conhecido como ciclo circadiano, que dura cerca de um dia e dita como diversas funções vitais acontecem. Esse sistema interno, orquestrado por uma região cerebral chamada núcleo supraquiasmático, controla o sono, a temperatura, os hormônios, a pressão e até o raciocínio. A luz do sol tem papel fundamental nessa organização. No entanto, ao trabalhar à noite, esse compasso biológico pode ficar bagunçado, levando a problemas de saúde. De



acordo com Silva *et al.* (2024), trabalhadores noturnos sofrem maior instabilidade no ritmo biológico, o que os torna vulneráveis a um conjunto de sintomas clínicos conhecidos como "desalinhamento circadiano".

Essa condição pode ser temporária em alguns casos, como em trabalhadores que fazem escalas rotativas bem estruturadas com tempo de adaptação. No entanto, quando o trabalho noturno é contínuo, ou alternado com jornadas diurnas de forma abrupta, o organismo não consegue se adaptar completamente, levando a uma cronicidade nos sintomas. Segundo Borges (2021), esse desalinhamento afeta diretamente a liberação de melatonina — hormônio essencial para o início do sono —, que tem sua produção inibida pela luz, especialmente à luz branca artificial presente em ambientes laborais durante a noite. Esse fator é um dos principais motivos pelos quais os trabalhadores noturnos têm dificuldades para dormir durante o dia.

Adicionalmente à melatonina, o cortisol, um hormônio associado ao estresse e ao estado de alerta, também sofre alterações. Em geral, a concentração de cortisol sobe pela manhã e diminui durante o dia, preparando o organismo para o repouso noturno. Contudo, em quem trabalha à noite, esse ritmo se altera, resultando em irritação, preocupação, cansaço constante e menor desempenho mental e físico.

Leite *et al.* (2018) demonstraram que trabalhadores do setor de segurança pública que atuam em turnos noturnos apresentam níveis persistentemente elevados de cortisol e relatam maior dificuldade de concentração, memória e estabilidade emocional.

A interferência no ciclo circadiano também está associada a uma série de consequências fisiológicas de longo prazo.

Outro ponto chave tem a ver com a diferenciação biológica. Nem todos os trabalhadores reagem do mesmo jeito ao trabalho noturno. Pessoas com cronotipo noturno (que dormem e acordam mais tarde) tendem a se adaptar melhor do que aqueles com cronotipo matutino. Mas mesmo entre as pessoas com maior tolerância, os efeitos ruins se acumulam ao longo do tempo.

2.2 EFEITOS FISIOLÓGICOS E METABÓLICOS

O trabalho em turno noturno não afeta apenas o sono e a saúde mental dos trabalhadores, mas provoca uma série de alterações fisiológicas e metabólicas com implicações de longo prazo. Esse tipo de jornada está associado ao aumento do risco de doenças cardiovasculares, distúrbios endócrinos, obesidade e síndrome metabólica. Segundo Queiroz (2024), trabalhadores noturnos apresentam um risco até três vezes maior de desenvolver alterações nos níveis de triglicerídeos, glicose e colesterol HDL, fatores que compõem a síndrome metabólica, quando comparados a trabalhadores diurnos com mesma carga horária.

Segundo Queiroz (2024), o desalinhamento do ciclo circadiano induz alterações hormonais que comprometem o metabolismo energético, levando à resistência à insulina e ao acúmulo de gordura visceral. Além disso, a ingestão frequente de alimentos ultraprocessados e os horários irregulares das refeições noturnas desregulam hormônios como insulina, leptina e grelina, favorecendo quadros de sobrepeso e



distúrbios metabólicos. Borges (2021) destaca que trabalhadores de enfermagem em regime noturno apresentaram níveis significativamente mais altos de hemoglobina glicada, sugerindo predisposição ao diabetes tipo 2.

Seabra *et al.* (2020) ressalta que outro fator que contribui para o agravamento dos quadros metabólicos é a alimentação inadequada durante os turnos noturnos. Em geral, há maior consumo de alimentos industrializados, ricos em gorduras e carboidratos simples, pela praticidade e acessibilidade. Os horários irregulares das refeições também afetam o ritmo metabólico, alterando a produção de insulina, leptina e grelina — hormônios fundamentais no controle da fome e da saciedade.

Além dos efeitos metabólicos, o trabalho noturno tem sido associado ao aumento da pressão arterial e da frequência cardíaca, mesmo em repouso. O estresse crônico, a privação de sono e a ativação constante do sistema nervoso simpático são fatores que contribuem para a hipertensão arterial sistêmica e outras doenças cardiovasculares. Leite *et al.* (2018) investigaram policiais militares atuando à noite e identificaram uma prevalência elevada de hipertensão e alterações eletrocardiográficas compatíveis com sobrecarga cardíaca. Esses dados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo da saúde cardiovascular desses profissionais.

Diante desse panorama, a literatura destaca a necessidade de adoção de estratégias preventivas que visem à promoção da saúde metabólica dos trabalhadores noturnos. Algumas propostas incluem: educação nutricional, oferta de refeições balanceadas durante os plantões, pausas para alimentação em horários regulares, incentivo à prática de atividade física e realização de exames periódicos voltados ao rastreamento de fatores de risco. Queiroz (2024) sugere ainda a implementação de programas personalizados de reeducação alimentar como parte das ações de saúde ocupacional, especialmente em instituições com grande contingente de trabalhadores em jornada noturna.

2.3 SAÚDE MENTAL E SÍNDROME DE BURNOUT

Os impactos do trabalho noturno na saúde mental dos profissionais têm sido amplamente documentados nos estudos acadêmicos. A desregulação dos ritmos circadianos, combinada com a falta de sono reparador e a redução das interações sociais, cria um cenário propício para o desenvolvimento de distúrbios psicológicos que afetam profundamente a qualidade de vida. Sousa *et al.* (2019) observaram que, entre profissionais da saúde com jornadas noturnas, são comuns relatos de elevado estresse, irritabilidade constante, humor depressivo e manifestações de transtornos de ansiedade, especialmente quando não existem políticas organizacionais de suporte ou mecanismos de proteção adequados.

O isolamento social emerge como um dos aspectos mais relevantes nessa equação. A inversão de horários típica desses trabalhadores cria uma dissonância entre seus ritmos de vida e os padrões sociais convencionais, dificultando o convívio com familiares e amigos. Essa desconexão progressiva tende a gerar



sentimentos de solidão, exclusão e, em casos mais extremos, o rompimento de relações significativas. Leite *et al.* (2018) identificaram, em pesquisa com policiais militares em plantões noturnos, que os conflitos conjugais e o afastamento do círculo social apareciam como fontes recorrentes de sofrimento emocional. A impossibilidade de dedicar tempo ao descanso adequado, às atividades de lazer ou ao autocuidado intensifica ainda mais esse desgaste psicológico.

A Síndrome de Burnout representa outra consequência grave associada a essa realidade. Caracterizada por exaustão emocional, cinismo e redução da sensação de competência profissional, essa condição é particularmente prevalente entre trabalhadores submetidos a longas jornadas noturnas. Bohrer (2020) constatou, em estudo com equipes hospitalares, que mais da metade dos profissionais em turnos noturnos apresentavam pelo menos dois dos sintomas centrais da síndrome. Essa situação se agrava em ambientes marcados por alta pressão laboral, falta de reconhecimento institucional e ausência de estratégias coletivas para lidar com o estresse.

Vale a pena ressaltar as transformações na neuroquímica que o trabalho noturno causa. A fabricação instável de dopamina e serotonina, elementos-chave que atuam na estabilidade do ânimo e no incentivo, talvez justifique a frequência mais elevada de quadros depressivos nesses trabalhadores. Como apontam França *et al.* (2019), a exposição prolongada a noites mal dormidas desregula os mecanismos naturais de equilíbrio emocional, reduzindo a capacidade de enfrentamento e aumentando a vulnerabilidade a transtornos mentais mais severos.

A falta de iniciativas institucionais voltadas para a saúde mental amplifica esses problemas, já que muitos trabalhadores sequer identificam seus sintomas como indicativos de adoecimento. Diante desse cenário, pesquisadores recomendam a adoção de medidas como programas de acompanhamento psicológico, capacitação em gerenciamento do estresse, criação de espaços de escuta qualificada e promoção de práticas de fortalecimento emocional. Queiroz (2024) ressalta ainda a importância de incluir a educação em saúde mental nos processos de integração de novos funcionários, com ênfase especial para aqueles que atuarão em turnos noturnos. Medidas simples, como a prática de mindfulness, métodos de relaxamento, pequenas pausas agendadas e o estímulo a exercícios físicos moderados nos intervalos, têm demonstrado ser eficientes para diminuir os efeitos do estresse momentâneo e evitar o Burnout.

2.4 SETORES MAIS VULNERÁVEIS

O impacto do trabalho noturno não é homogêneo entre todas as categorias profissionais. Certos setores estão mais expostos aos efeitos adversos dessa jornada em virtude da natureza de suas atividades e da frequência de atuação em turnos alternados. A literatura identifica os profissionais da saúde, segurança pública, transporte e indústria como os mais vulneráveis, tanto pelos aspectos organizacionais quanto pelas exigências físicas e emocionais das funções. Segundo Bohrer (2020), a enfermagem figura entre as



categorias mais afetadas, com prevalência elevada de distúrbios do sono, transtornos mentais comuns e doenças osteomusculares.

No setor da saúde, a cultura da sobrecarga e da abnegação, aliada à falta de políticas institucionais de proteção, agrava ainda mais o quadro. Profissionais de enfermagem e técnicos, em especial, estão frequentemente expostos a jornadas estendidas, plantões consecutivos e ambientes com estresse elevado. Estudos como os de Sousa *et al.* (2019) apontam que a jornada noturna em hospitais, além de intensa, é emocionalmente desgastante, pois envolve lidar com situações de urgência, morte e sofrimento, muitas vezes sem suporte psicológico adequado. A ausência de pausas estruturadas e o acúmulo de funções favorecem a deterioração da saúde desses trabalhadores.

No campo da segurança pública, policiais e agentes penitenciários são expostos a riscos físicos constantes, situações de violência, tensão emocional elevada e jornadas que muitas vezes extrapolam os limites legais. Leite *et al.* (2018) constataram que os policiais militares em regime exclusivamente noturno apresentavam maior prevalência de distúrbios cardiovasculares, hipertensão, ansiedade e conflitos familiares. O turno noturno, nesse contexto, não é apenas um desafio biológico, mas também psíquico e social, por romper com o ciclo de descanso e agravar o afastamento da vida familiar.

Motoristas de transporte coletivo e caminhoneiros são outro grupo que merece atenção. A necessidade de longas viagens durante a madrugada, associada à pressão por horários, favorece o uso de estimulantes, alimentação inadequada e o sedentarismo. Borges (2021) observou que esses trabalhadores apresentam alto índice de hipertensão arterial, sonolência diurna e maior propensão a acidentes de trânsito. A jornada flexível e frequentemente mal fiscalizada contribui para o agravamento dos riscos, especialmente em rotas de longa duração ou em situações de trabalho autônomo.

Esses dados apontam para a necessidade urgente de políticas específicas voltadas aos setores mais expostos. A personalização das intervenções, respeitando as características de cada categoria profissional, é uma medida fundamental para promover saúde e bem-estar. Intervenções universais tendem a ser ineficazes se desconsiderarem os contextos de atuação. Nesse sentido, Queiroz (2024) propõe que empresas e instituições públicas desenvolvam programas de saúde ocupacional segmentados, com foco nas particularidades de cada grupo, incluindo avaliação médica periódica, programas de ergonomia, suporte emocional, reorganização de escalas e promoção de estilos de vida saudáveis.

3 METODOLOGIA

Para realizar este estudo, optou-se por conduzir uma revisão integrativa da literatura. Essa tática possibilita juntar os achados de pesquisas importantes sobre um tema em particular, de maneira organizada, crítica e seguindo um sistema. Essa forma de pesquisa se encaixa muito bem em assuntos complicados e



que envolvem várias áreas, como a influência do trabalho noturno na saúde dos empregados, já que reúne dados de diferentes estudos, jeitos de pesquisar e situações de trabalho.

A meta central desta análise foi descobrir, examinar e reunir os dados científicos mais atuais que tratam dos impactos físicos, mentais e sociais do trabalho à noite, assim como ideias de ações preventivas. A pergunta que guiou a pesquisa foi: "Quais são os maiores efeitos do trabalho em horários noturnos na saúde dos empregados e que ações preventivas são sugeridas nos estudos científicos?"

A seleção dos estudos seguiu critérios previamente estabelecidos. Foram incluídos artigos publicados entre os anos de 2015 e 2025, em português, inglês e espanhol, com acesso ao texto completo. A pesquisa contemplou trabalhos de natureza quantitativa, qualitativa e mista, desde que apresentassem relação direta com o tema. Foram excluídos editoriais, cartas ao leitor, resumos de eventos científicos e artigos com amostra não relacionada ao mundo do trabalho.

As bases de dados utilizadas para a busca dos estudos foram: SciELO, PubMed, LILACS, Google Scholar e Repositórios Acadêmicos Institucionais. Os descritores utilizados incluíram combinações dos termos: "trabalho noturno", "saúde do trabalhador", "fadiga", "síndrome de burnout", "ciclo circadiano", "intervenções preventivas", "transtornos do sono" e suas respectivas traduções para inglês e espanhol.

Para refinar a busca, utilizamos os operadores booleanos AND e OR. O objetivo era garantir que a pesquisa fosse abrangente e identificasse o máximo de estudos relevantes. Os artigos resultantes foram avaliados em três fases: primeiro, analisados os títulos e resumos; depois, lidos os textos completos e, por fim, avaliados a qualidade metodológica. Organizamos os dados extraídos dos artigos em uma matriz, registrando informações como: autores, ano de publicação, país de origem, delineamento do estudo, população analisada, resultados mais importantes e sugestões de intervenções.

Os dados extraídos foram organizados em categorias temáticas com base nos principais eixos identificados: (1) sono e fadiga, (2) efeitos metabólicos, (3) saúde mental, (4) setores vulneráveis, e (5) intervenções preventivas. Essa categorização permitiu uma análise crítica das convergências e divergências dos achados, fornecendo uma base sólida para as discussões e propostas desenvolvidas nas seções seguintes.

4 RESULTADOS

A análise dos estudos incluídos nesta revisão evidenciou a presença consistente de efeitos negativos do trabalho em turnos noturnos sobre diferentes aspectos da saúde dos trabalhadores. Os achados foram organizados em cinco categorias temáticas: (1) sono e fadiga, (2) efeitos metabólicos, (3) saúde mental, (4) grupos vulneráveis e (5) intervenções preventivas. Esses resultados estão explicitados nos estudos selecionados conforme pode ser visto no quadro1 abaixo:



Ouadro 1-Estudos incluídos na análise

Autores	Ano	População Estudada	Principais Achados	Intervenções Propostas
Bohrer	2020	Enfermeiros hospitalares	Fadiga crônica, insônia, desmotivação	Educação em higiene do sono
Queiroz	2024	Trabalhadores hospitalares	Síndrome metabólica elevada	Intervenção nutricional e exames periódicos
Seabra et al.	2020	Profissionais de enfermagem	Sono irregular, estresse, cansaço físico e emocional	Reformulação de escalas e apoio psicológico
Borges	2021	Trabalhadores da saúde	Distúrbios do sono e aumento da pressão arterial	Organização de escalas e controle da luminosidade
Leite et al.	2018	Policiais militares	Estresse elevado, conflitos familiares e hipertensão	Reorganização de turnos e apoio psicológico

Fonte: Autoria própria, 2025

A primeira categoria — sono e fadiga — foi unanimemente abordada nos estudos. Bohrer (2020) e Borges (2021) demonstraram que a privação do sono, a dificuldade de manter o sono diurno e a sonolência excessiva durante o trabalho são elementos centrais na experiência dos trabalhadores noturnos. Esses fatores comprometem a atenção, a memória e a tomada de decisão, ampliando o risco de erros e acidentes ocupacionais. A fadiga acumulada, especialmente quando não há pausas adequadas ou jornadas equilibradas, agrava esse quadro. Os estudos convergem ao indicar que a higiene do sono, a limitação da jornada e o descanso estratégico são medidas necessárias, mas pouco implementadas.

A segunda categoria refere-se aos efeitos metabólicos e fisiológicos. A pesquisa de Queiroz (2024) apontou taxas elevadas de síndrome metabólica entre trabalhadores noturnos, associadas a padrões alimentares irregulares e alterações hormonais. Medidas como orientação nutricional, oferta de refeições balanceadas durante os turnos e monitoramento de indicadores clínicos são defendidas em diversos estudos.

No eixo temático da saúde mental, a literatura é categórica ao apontar o aumento dos quadros de ansiedade, depressão, irritabilidade e desmotivação. A presença de sintomas da síndrome de Burnout em trabalhadores da saúde (Bohrer, 2020) e policiais (Leite *et al.*, 2018) revela o impacto psicológico intenso



dessa forma de jornada. O isolamento social, os conflitos familiares e a ausência de suporte institucional são elementos comuns a essas categorias. A análise mostra que, embora os efeitos sobre a saúde mental sejam reconhecidos, ainda há uma lacuna considerável na implementação de ações concretas como apoio psicológico, grupos terapêuticos ou treinamentos em enfrentamento emocional.

Em relação aos grupos vulneráveis, os achados reiteram que profissionais da saúde, segurança pública, motoristas e operários industriais enfrentam os maiores riscos associados ao trabalho noturno. Esses trabalhadores, além de expostos à jornada noturna, lidam com pressão, sobrecarga, riscos físicos e demandas emocionais intensas. Segundo Seabra *et al.* (2020), os profissionais de enfermagem que atuam em turnos noturnos relatam uma rotina marcada por privação de sono, exaustão física e distúrbios alimentares. A pesquisa revelou que mais de 60% dos participantes sentiam-se constantemente cansados durante os plantões e apresentavam alterações no apetite, preferindo alimentos industrializados por sua praticidade, o que impacta diretamente na saúde metabólica. Os autores também associaram essa rotina a episódios frequentes de cefaleia, irritabilidade e queda de produtividade no ambiente hospitalar. A situação é agravada pela escassez de pausas, infraestrutura inadequada nos plantões e ausência de políticas públicas protetivas. Como apontado por Borges (2021), é fundamental reconhecer as especificidades de cada setor na formulação de estratégias de prevenção.

Por fim, quanto às intervenções preventivas, os estudos analisados apresentam sugestões consistentes, porém ainda pouco aplicadas na prática. As propostas vão desde ações educativas e mudanças organizacionais, até programas institucionais mais robustos. A literatura converge quanto à importância da gestão adequada dos turnos, da criação de ambientes propícios ao descanso, da implementação de práticas de ergonomia e do acompanhamento periódico da saúde. A ausência de uma política institucional estruturada em muitas organizações é um entrave relevante apontado por diversos autores, como Queiroz (2024), que sugere protocolos integrados de cuidado ao trabalhador noturno como solução de médio prazo.

4.1 DISCUSSÃO CRÍTICA DOS RESULTADOS

Os resultados desta revisão confirmam a complexidade dos impactos do trabalho noturno, que afeta simultaneamente dimensões biológicas, psicológicas e sociais. A unanimidade dos estudos sobre distúrbios do sono e fadiga (Bohrer, 2020; Borges, 2021) revela um ciclo vicioso: a privação de sono compromete funções cognitivas, elevando riscos ocupacionais, enquanto a falta de políticas de descanso estratégico perpetua o problema. Essa relação é agravada pelos efeitos metabólicos (Queiroz, 2024), que vinculam turnos noturnos a alterações hormonais e padrões alimentares desregulados – fatores que, combinados, potencializam doenças crônicas.

No campo da saúde mental, a alta prevalência de ansiedade, depressão e Burnout (Bohrer, 2020; Leite *et al.*, 2018) reflete não apenas a carga fisiológica, mas também a vulnerabilidade psicossocial. O



isolamento e os conflitos familiares decorrentes da inversão de horários destacam a necessidade de intervenções que transcendam o âmbito individual, como programas institucionais de apoio psicológico e reestruturação de escalas.

Os grupos vulneráveis (profissionais da saúde, segurança e indústria) enfrentam riscos ampliados pela combinação de jornadas exaustivas, pressão laboral e falta de infraestrutura (Borges, 2021). A ausência de políticas setorializadas – como pausas remuneradas ou treinamentos em resiliência – expõe falhas críticas na proteção desses trabalhadores.

Embora as intervenções preventivas sejam reconhecidas como necessárias (higiene do sono, suporte emocional), sua implementação ainda é incipiente. A literatura sugere que estratégias multiníveis – incluindo adaptações organizacionais, políticas públicas e educação em saúde – são urgentes para mitigar esses efeitos (Seabra *et al.*, 2020). A lacuna entre evidências e práticas reforça a importância de ações concretas, como a criação de normativas trabalhistas específicas e a promoção de ambientes laborais mais saudáveis.

4.1.1 Propostas de Intervenção Preventiva

A elaboração de estratégias preventivas voltadas à mitigação dos efeitos do trabalho noturno deve considerar a complexidade do fenômeno e sua influência multidimensional sobre a saúde dos trabalhadores. As intervenções precisam ser planejadas com base em evidências científicas, adaptadas às especificidades de cada setor e implementadas de forma contínua, com participação ativa dos profissionais e gestores envolvidos. A seguir, são apresentadas propostas fundamentadas nos estudos analisados nesta revisão, agrupadas em categorias interdependentes: organizacionais, ambientais, comportamentais e institucionais.

No nível organizacional, uma das principais recomendações é a reorganização das escalas de trabalho. Estudos como os de Bohrer (2020) e Leite *et al.* (2018) indicam que a alternância rápida entre turnos diurnos e noturnos agrava o desalinhamento do ciclo circadiano, sendo mais prejudicial do que escalas fixas. Dessa forma, propõe-se a adoção de turnos fixos ou rotativos com maior tempo de adaptação, além da limitação da duração dos plantões noturnos para até 8 horas. A inclusão de pausas programadas e obrigatórias ao longo do turno também é considerada essencial para a redução da fadiga e prevenção de acidentes.

No âmbito ambiental, destaca-se a importância da adequação dos espaços físicos destinados aos trabalhadores noturnos. Deve-se promover a melhoria da iluminação artificial nos postos de trabalho, com uso de luz branca durante o turno e estímulo à exposição à luz natural ao final do expediente, como forma de auxiliar na regulação hormonal. Além disso, é recomendada a disponibilização de salas de descanso silenciosas e climatizadas, com cortinas blackout, para repouso durante as pausas. Segundo Borges (2021), essas medidas têm impacto positivo direto sobre a qualidade do sono e a disposição dos profissionais.



As intervenções de caráter comportamental e educativo devem ser voltadas à promoção da saúde integral do trabalhador. Isso inclui programas contínuos de educação em saúde, abordando temas como higiene do sono, alimentação noturna adequada, uso de substâncias psicoativas, gestão do estresse e prática de atividade física. Queiroz (2024) destaca que a reeducação alimentar, quando aliada ao acompanhamento nutricional individualizado, contribui para a prevenção de distúrbios metabólicos e melhora o rendimento laboral. Também se recomenda a criação de materiais educativos específicos para cada categoria profissional, com linguagem acessível e aplicabilidade prática.

No nível institucional, a presença de equipes multidisciplinares de saúde ocupacional atuando de forma preventiva é fundamental. Devem ser implementadas rotinas de avaliação médica periódica, com foco em indicadores de risco específicos para trabalhadores noturnos (pressão arterial, perfil lipídico, glicemia, saúde mental). Além disso, é essencial garantir o acesso facilitado a acompanhamento psicológico, com sessões individuais e coletivas. Conforme apontado por Sousa *et al.* (2019), o suporte emocional contínuo é um dos fatores mais eficazes na prevenção do adoecimento psíquico em trabalhadores da saúde e da segurança pública.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal entender como o trabalho durante a noite impacta a saúde dos trabalhadores, investigando tanto as mudanças que ocorrem no corpo quanto os efeitos no bem-estar psicológico e social. A ideia foi propor ações preventivas baseadas em dados científicos sólidos. Ao analisar diversos estudos, percebemos que trabalhar em horários noturnos por longos períodos está relacionado a diversos problemas, como falta constante de sono, cansaço extremo, aumento do risco de desenvolver doenças metabólicas e do coração, problemas de saúde mental e dificuldades de convivência.

Entre os trabalhadores mais impactados, sobressaem-se profissionais da enfermagem, agentes da polícia, condutores de veículos e técnicos fabris, que vivenciam jornadas com alta demanda física, estresse psicológico e insuficiente amparo dos seus empregadores. O cenário piora bastante quando as condições de trabalho são ruins e inexistem ações pensadas para o cuidado desses funcionários. Os estudos também mostram que os problemas de saúde se intensificam com o tempo, configurando um aumento gradual do esgotamento físico e mental.

Os estudos mais recentes sugerem boas alternativas para atenuar esses efeitos, enfatizando a relevância de estratégias que envolvam diferentes setores. Ações como modificar horários de serviço, adaptar os locais de trabalho, iniciativas de instrução sobre saúde, avaliação médica e psicológica constante e a criação de normas governamentais próprias se mostraram eficientes em várias situações. Contudo, seu uso ainda é limitado, necessitando não só de alterações na estrutura, mas também de uma mudança na mentalidade das empresas, com maior participação das organizações no fomento do bem-estar no trabalho.



Apesar da consistência dos resultados encontrados, é importante estarmos cientes das restrições inerentes a este estudo. A diversidade nos métodos empregados nas pesquisas que analisamos, a falta de acompanhamento dos participantes ao longo do tempo e o foco maior em trabalhadores da área da saúde dificultam a aplicação mais ampla das conclusões. Assim, torna-se evidente a importância de expandir as investigações para incluir outros grupos de profissionais, utilizando abordagens metodológicas mais uniformes e completas.

As constatações sublinham a necessidade imediata de colocar a saúde dos trabalhadores noturnos no topo das prioridades da saúde pública, exigindo colaboração entre empresas, entidades de fiscalização e o setor de saúde. Criar ambientes de trabalho noturnos mais protegidos e focados nas pessoas não é só possível, mas fundamental. Os dados compilados nesta pesquisa fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de estratégias e ações que podem mudar esse cenário, assegurando uma qualidade de vida e de trabalho superior para esses profissionais



REFERÊNCIAS

BOHRER, Caroline Zimer. Trabalho noturno: possíveis impactos na vida de profissionais de enfermagem. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Disponível em: http://repositorio.unisc.br:8080/jspui/bitstream/11624/2840/1/Caroline%20Zimer%20Bohrer.pdf. Acesso em: 15 mar. 2025.

BORGES, A. R. S. Efeitos da privação do sono na saúde dos trabalhadores noturnos. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/236434/001138379.pdf?sequence=1. Acesso em: 15 mar. 2025.

FRANÇA, R. S.; BELO, R. P.; TEIXEIRA, L. R. S.; RODRIGUES, P. N. V.; ARRUDA, V. G.; GUIMARÃES, C. G. M. Trabalho noturno e seus efeitos na saúde dos trabalhadores da área de segurança. Mudanças — Psicologia da Saúde, v. 27, n. 2, p. 1-15, 2019. Disponível em: https://pepsic.bvsalud.org/pdf/muda/v27n2/v27n2a05.pdf. Acesso em: 15 mar. 2025.

LEITE, M. S. M. et al. Qualidade de vida no trabalho dos policiais em turnos noturnos. *EIGEDIN – Revista Científica Eletrônica de Ciências Sociais Aplicadas*, 2018. Disponível em: https://desafioonline.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/download/7093/pdf_113/. Acesso em: 15 mar. 2025.

QUEIROZ, D. S. S. Síndrome metabólica em trabalhadores noturnos. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/283828/001240088.pdf?sequence=1. Acesso em: 10 mar. 2025.

SEABRA, Felipe José Guerra da Rocha de et al. O plantão noturno e suas implicações na saúde do profissional de enfermagem. *Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research – BJSCR*, v. 31, n. 1, p. 95–100, jun.–ago. 2020. ISSN 2317-4404. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342701650. Acesso em: 15 mar. 2025.

SILVA, V. da et al. Impactos do trabalho noturno no sono e suas complicações fisiológicas. Revista Contemporânea, 2024. Disponível em: https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/download/4881/3682. Acesso em: 15 mar. 2025.

SOUSA, K. H. J. F. et al. Transtornos mentais comuns em trabalhadores de enfermagem. *Acta Paulista de Enfermagem*, São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ape/a/NzdtCtsbKQknTjxg7qGwXrJ/?lang=pt. Acesso em: 14 mar. 2025.



ANÁLISE E CONTROLE DE INTERRUPÇÕES EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

ANALYSIS AND CONTROL OF INTERRUPTIONS IN ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS

doi.org/10.63330/aurumpub.005-004

Joelson Lopes da Paixão

Mestre em Engenharia Elétrica, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Educação Básica, Tecnológica e EAD E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

Alzenira da Rosa Abaide

Doutora em Engenharia Elétrica, professora titular na UFSM E-mail: alzenira@ufsm.br

RESUMO

A compreensão das características e dos procedimentos operacionais dos sistemas de distribuição de energia elétrica é essencial para um planejamento eficiente. No contexto das interrupções, é fundamental analisar as cargas conectadas e seu impacto na rede, bem como realizar medições periódicas para avaliar as condições operacionais, detectar distúrbios e verificar a qualidade da energia fornecida. A qualidade da energia elétrica é mensurada por meio de indicadores regulamentados, que influenciam diretamente a reputação das concessionárias perante os órgãos reguladores e os consumidores. Este estudo investiga a análise e o controle de interrupções em sistemas de distribuição de energia, destacando sua influência na determinação dos indicadores de continuidade. A partir desses indicadores, estratégias podem ser formuladas para aprimorar a confiabilidade e a qualidade do fornecimento, minimizando penalizações regulatórias. O principal objetivo das concessionárias é estabelecer metodologias eficazes para a restauração da energia com segurança e no menor tempo possível, garantindo a continuidade do serviço e a satisfação dos consumidores.

Palavras-chave: Análise de Interrupções; Controle de Interrupções; Interrupções Programadas; Interrupções não programadas; Qualidade da Energia Elétrica; Indicadores de Continuidade.

ABSTRACT

Understanding the characteristics and operational procedures of power distribution systems is essential for effective planning. In the context of interruptions, it is crucial to analyze the connected loads and their impact on the network, as well as to conduct periodic measurements to assess operating conditions, detect disturbances, and verify power quality. Power quality is measured through regulated indicators, which directly influences the reputation of utilities among regulatory agencies and consumers. This study investigates the analysis and control of interruptions in power distribution systems, highlighting their influence on continuity indicators. Based on these indicators, strategies can be formulated to enhance the reliability and quality of power supply, minimizing regulatory penalties. The primary objective of utilities is to establish efficient methodologies for restoring power safely and in the shortest possible time, ensuring service continuity and customer satisfaction.

Keywords: Interruption analysis; Interruption control; Scheduled interruptions; Unscheduled interruptions; Power quality; Continuity indicators.



1 INTRODUÇÃO

Para os sistemas de distribuição do Brasil, os procedimentos de operação são estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de modo que as distribuidoras e demais agentes formulem os planos e programas operacionais. Nestes, devem estar presentes a programação de intervenções em instalações, o controle da carga em situação de contingência ou emergência, o controle da qualidade do suprimento de energia elétrica e a coordenação operacional dos sistemas (ANEEL, 2022).

Através do CO das distribuidoras e demais agentes, é estabelecido um relacionamento operacional uniforme, garantindo a harmonia do sistema. O CO é responsável por coordenar e executar o processo de programação de intervenções no sistema de distribuição, em conjunto com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e o agente de transmissão. As solicitações de intervenção são analisadas pelo CO, que decide pela aprovação, cancelamento ou aprimoramento, considerando o impacto na rede e priorizando medidas preventivas para assegurar a qualidade e a continuidade do fornecimento de energia.

No caso de intervenções não programadas, o CO caracteriza se ela é emergencial ou de urgência, informando sempre ao ONS as manobras e os desligamentos que podem gerar impactos importantes na rede. Os pedidos de intervenções são encaminhados ao CO por consumidores, distribuidoras, centrais geradoras (CGs) e centros de despacho de geração distribuída. O planejamento das intervenções é realizado pela distribuidora ou pelo agente de distribuição das Demais Instalações de Transmissão (DIT), incluindo a análise prévia de riscos de acidentes. Além disso, devem ser informadas ao ONS todas as intervenções que possam interferir no sistema de transmissão (ST) ou no despacho de geração centralizado.

No presente trabalho, será abordado o controle e a análise das ocorrências em sistemas de distribuição de energia elétrica. Com caráter explicativo, serão apresentados os procedimentos relacionados ao atendimento das ocorrências provenientes de interrupções programadas e não programadas. O restante do artigo está estruturado da seguinte forma: a Seção II apresenta os aspectos considerados no planejamento de uma interrupção e os critérios para a solicitação de intervenção. A Seção III aborda as principais características das interrupções programadas. A Seção IV trata das interrupções não programadas. A Seção V discute o atendimento a ocorrências e os indicadores de continuidade na distribuição de energia elétrica. Por fim, a Seção VI apresenta as conclusões do estudo.

2 INTERRUPÇÕES

Uma interrupção é caracterizada pela descontinuidade do neutro ou da tensão disponível em qualquer uma das fases de um circuito elétrico (CEEE-D, 2010). Toda e qualquer interrupção, programada ou não, impacta negativamente a percepção do público sobre a concessionária distribuidora, além de gerar prejuízos financeiros. Dessa forma, o CO é responsável por reduzir as interrupções por meio de um



planejamento operativo adequado, em conformidade com as normas e procedimentos vigentes (ELETROBRAS, 1982).

Diversos aspectos devem ser considerados no planejamento de uma interrupção, tais como:

- recursos operacionais disponíveis para minimizar o trecho defeituoso;
- duração, horário e conveniência da interrupção;
- segurança das manobras;
- importância, tipo e classificação dos consumidores afetados;
- necessidade de emissão de avisos aos consumidores;
- consequências da interrupção.

2.1 PROGRAMAÇÃO DE INTERVENÇÕES

A programação de intervenções deve ser realizada com o objetivo de garantir a operacionalidade dos equipamentos e minimizar os riscos para o sistema elétrico (ANEEL, 2022). Dessa forma, a otimização das intervenções ocorre por meio de acordos entre distribuidoras, agentes de transmissão, centrais geradoras (CGs), consumidores e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), assegurando a qualidade e a continuidade do fornecimento de energia elétrica.

Com relação aos prazos para solicitação de um pedido de intervenção, o pedido de desligamento que implique interrupções para os consumidores deve ser encaminhado ao CO com pelo menos 10 dias úteis de antecedência. Já as solicitações que não resultem em interrupção para os consumidores devem ser feitas com, no mínimo, 5 dias úteis de antecedência. Nos casos em que haja transferência de carga entre subestações da rede de operação, a comunicação ao ONS deve ser feita com uma antecedência mínima de 15 dias (ANEEL, 2022). Além disso, é dever da distribuidora informar os acessantes sobre as interrupções programadas, conforme estabelecido pela regulamentação vigente (ANEEL, 2022).

2.2 CONDIÇÕES E CRITÉRIOS DAS SOLICITAÇÕES DE INTERVENÇÕES

A programação das intervenções está sujeita a condições específicas, que devem ser analisadas pelo CO antes da liberação dos trabalhos em equipamentos e instalações do sistema elétrico. A preservação da segurança dos equipamentos, trabalhadores, instalações e bens de terceiros deve ser garantida, além da segurança do próprio sistema.

A qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores deve estar dentro dos padrões normatizados. Além disso, a compatibilização das intervenções simultâneas e a observância dos procedimentos de rede do Sistema Interligado Nacional (SIN) são critérios fundamentais para a aprovação das solicitações.



Os desligamentos de urgência independem do período de carga, mas são programados para momentos que minimizem impactos ao sistema. No entanto, existem algumas condições impeditivas para a realização das intervenções, tais como:

- condições climáticas adversas;
- impedimentos de acesso às equipes de trabalho;
- atendimento de urgência ou ocorrência em andamento no sistema;
- indisponibilidade de recursos operacionais.

3 INTERRUPÇÕES PROGRAMADAS

A interrupção programada é caracterizada pela descontinuidade do fornecimento de energia precedida de um aviso prévio, com tempo preestabelecido, para viabilizar intervenções no sistema de distribuição. A distribuidora tem a obrigação de notificar todos os consumidores da área afetada, informando a data, a hora de início e o tempo estimado da interrupção.

O tempo de duração de uma interrupção programada deve, preferencialmente, não exceder quatro horas consecutivas, sendo recomendável que não ocorra mais de duas interrupções em uma mesma área dentro de um período de 15 dias. Procedimentos específicos são estabelecidos para cada faixa de tensão e tipo de consumidor no que diz respeito à comunicação e aos avisos obrigatórios.

3.1 REDE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA

No planejamento operacional das interrupções programadas, todos os consumidores industriais ou comerciais atendidos em tensão igual ou inferior a 1 kV, conectados ao trecho afetado, devem ser identificados para priorização no atendimento. Esses consumidores devem receber um aviso formal por escrito, informando o dia, a hora e a duração estimada da interrupção com antecedência mínima de três dias úteis.

Os demais consumidores devem ser informados por meios de comunicação eficazes, como rádio, televisão ou internet, com um prazo mínimo de 72 horas antes da interrupção. Esse procedimento visa minimizar transtornos e garantir que os usuários possam se planejar diante da descontinuidade temporária do fornecimento.

3.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA

Todas as interrupções programadas na rede de distribuição devem ser previamente comunicadas e aprovadas pelo CO, mesmo aquelas que forem momentâneas e realizadas exclusivamente para manobras operacionais. No caso das interrupções sustentadas na rede primária, a concessionária deve notificar os consumidores por meio de veículos de imprensa com pelo menos 72 horas de antecedência.



Unidades consumidoras atendidas em tensão superior a 1 kV e inferior a 230 kV, com demanda contratada igual ou superior a 500 kW, devem ser notificadas formalmente por meio de correspondência escrita com um prazo mínimo de cinco dias úteis. O mesmo procedimento deve ser adotado para unidades consumidoras conectadas em tensão inferior a 69 kV que prestam serviços essenciais, garantindo que a interrupção não comprometa a continuidade de operações críticas.

4 INTERRUPÇÕES NÃO PROGRAMADAS

As interrupções não programadas são eventos inesperados que resultam na descontinuidade do fornecimento de energia elétrica, podendo ser ocasionadas por falhas em equipamentos, condições climáticas adversas, interferências externas ou ações humanas. A compreensão dos fatores que caracterizam cada desligamento nos sistemas de distribuição é fundamental para permitir uma análise que possibilite a previsão, o registro e a mitigação desses eventos no futuro.

As causas das interrupções são variadas, devido ao caráter aleatório dessas ocorrências. No entanto, com base em análises históricas de falhas, é possível identificar padrões de interrupção e classificá-las nos principais grupos que impactam os índices de confiabilidade das concessionárias, tais como:

- falhas em equipamentos;
- interferência de animais ou vegetação em contato com a rede;
- condições climáticas extremas (ventos fortes, tempestades, descargas atmosféricas);
- interferência humana (vandalismo, acidentes de trânsito, obras próximas à rede).

A partir da identificação dessas ocorrências, torna-se possível direcionar recursos de forma mais eficiente e econômica, reduzindo a frequência e a duração das interrupções de energia elétrica.

4.1 REDE DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIA

Após a detecção de uma interrupção na rede secundária, é necessário avaliar a extensão dos danos, estimar o tempo médio de reparo e identificar a localização exata da falha. Com base nessas informações, as equipes de emergência iniciam o processo de reparo, garantindo que todas as condições técnicas e de segurança sejam atendidas.

Os consumidores prioritários devem ser informados imediatamente sobre a ocorrência. Os demais consumidores são notificados apenas se o tempo estimado de reparo for elevado, visando reduzir impactos e proporcionar previsibilidade no restabelecimento do serviço.



4.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA

Quando a falha ocorre na rede primária, o CO deve avaliar as contingências operacionais do sistema, planejar as manobras necessárias, acionar os recursos disponíveis e notificar os consumidores prioritários. Caso o tempo de reparo seja significativo, o serviço de relações públicas da concessionária deve emitir comunicados oficiais, garantindo a transparência e a correta comunicação com os consumidores afetados.

5 ATENDIMENTO A OCORRÊNCIAS E INDICADORES DE CONTINUIDADE

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atendimento às ocorrências emergenciais é avaliado por meio de indicadores vinculados a conjuntos de unidades consumidoras. Esses indicadores são apurados mensalmente pelas concessionárias e expressos em minutos, permitindo a análise da eficiência operacional no restabelecimento do fornecimento de energia.

Os principais indicadores de atendimento incluem:

- Tempo Médio de Preparação (TMP) intervalo entre o recebimento da ocorrência e o deslocamento da equipe técnica;
- Tempo Médio de Deslocamento (TMD) período entre a saída da equipe e sua chegada ao local da ocorrência;
- Tempo Médio de Execução (TME) duração necessária para a conclusão do reparo e normalização do sistema;
- Número de Ocorrências Emergenciais (NUMOCORR) total de eventos registrados dentro do período analisado;
- Número de Ocorrências Emergenciais com Interrupção de Energia (NIE) quantidade de eventos que resultaram em descontinuidade do fornecimento (ANEEL, 2024).

Na execução dos serviços pelas turmas de emergência, o objetivo principal é restabelecer o serviço com segurança e eficiência, minimizando impactos na continuidade do fornecimento. Além da restauração da energia, busca-se garantir a segurança dos trabalhadores e das instalações, reduzindo as consequências das falhas de material e prevenindo novas ocorrências.

A obtenção e o monitoramento contínuo dos indicadores permitem a formulação de estratégias para otimizar o tempo de atendimento às interrupções. Além disso, possibilitam um acompanhamento preciso por parte do órgão regulador e oferecem aos consumidores maior transparência na avaliação da qualidade dos serviços prestados.



5.2 INDICADORES DE CONTINUIDADE

No contexto do Sistema Elétrico de Potência (SEP), os indicadores de continuidade são amplamente utilizados para aferir a confiabilidade do fornecimento e a qualidade operacional das concessionárias. Entre os principais indicadores, destacam-se:

 Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC) – tempo total de interrupções para uma unidade consumidora dentro de um período determinado, conforme a Equação 1:

$$DIC = \sum_{i=1}^{n} t(i) \tag{1}$$

onde, *t* representa o tempo da duração da interrupção *i*; *i* representa o índice de interrupções da unidade consumidora considerada; *t(i)* representa o tempo de duração da interrupção (*i*) da unidade consumidora considerada.

- Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC) número total de interrupções que afetaram uma unidade consumidora no período analisado.
- Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora (DMIC) maior tempo de interrupção contínua ocorrido dentro do período de medição.
- Duração da Interrupção Individual Ocorrida em Dia Crítico por Unidade Consumidora (DICRI) – tempo de interrupção registrado em dias considerados críticos para o fornecimento de energia.
- Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) indicador calculado pela Equação 2:

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC(i)}{Cc}$$
 (2)

onde, DIC(i) corresponde ao DIC de cada consumidor (i) e Cc corresponde ao número total de unidades consumidoras faturadas.

• Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC) — métrica definida pela Equação 3:

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc}$$
 (3)



onde, FIC(i) corresponde ao FIC de cada consumidor (i) e Cc corresponde ao número total de unidades consumidoras.

Os limites dos indicadores variam conforme fatores específicos de cada concessionária, sendo definidos em conformidade com as regulamentações aplicáveis. Caso os valores estipulados sejam ultrapassados, a distribuidora está sujeita a penalizações pela ANEEL.

A correta utilização dos indicadores permite às concessionárias realizarem análises críticas sobre seus sistemas de distribuição, promovendo melhorias operacionais e evitando sanções regulatórias. Além disso, contribuem para a construção de uma imagem institucional positiva, demonstrando compromisso com a qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O adequado funcionamento dos sistemas de distribuição de energia elétrica requer um planejamento eficiente e a adoção de metodologias que garantam a continuidade e a qualidade do fornecimento. A análise e o controle das interrupções desempenham um papel fundamental na formulação de estratégias que minimizem os impactos das descontinuidades, assegurando a confiabilidade do sistema e a conformidade com os padrões regulatórios.

Neste estudo, foram abordados os aspectos essenciais relacionados ao controle e à análise das interrupções em sistemas de distribuição. Foram apresentadas as diretrizes para o atendimento a ocorrências, diferenciando as interrupções programadas das não programadas e destacando a importância do planejamento para minimizar seus efeitos.

No caso das interrupções programadas, a observância dos prazos e critérios estabelecidos para a comunicação aos consumidores é fundamental para garantir a previsibilidade e a mitigação dos impactos. Já nas interrupções não programadas, a identificação das causas possibilita o direcionamento eficiente de recursos para ações corretivas, reduzindo a duração e a frequência dos eventos.

Os indicadores de continuidade representam ferramentas essenciais para a avaliação do desempenho das concessionárias, permitindo o aprimoramento dos processos operacionais e a adoção de medidas preventivas. O monitoramento desses índices possibilita não apenas a adequação aos requisitos regulatórios, mas também a construção de um sistema elétrico mais robusto e eficiente.

Dessa forma, este estudo reforça a importância do planejamento operacional, da implementação de estratégias eficazes e da utilização de indicadores como subsídios para a tomada de decisão. O aprimoramento contínuo desses processos contribui diretamente para a melhoria da qualidade da energia elétrica fornecida, garantindo maior confiabilidade ao sistema e satisfação aos consumidores.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Módulo 4 - Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição. Resolução Normativa. Janeiro de 2022.

ELETROBRAS. *Manutenção e operação de sistemas de distribuição*. Coleção Distribuição de Energia Elétrica, Volume 4. Rio de Janeiro: Editora Campus/Eletrobras, 1982.

CEEE-D. Interrupções programadas. Procedimentos de distribuição. Março de 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Módulo 6 - Informações Requeridas e Obrigações. Resolução Normativa. Janeiro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. *Indicadores de Tempo de Atendimento às Ocorrências Emergenciais*. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Tempos medios de atendimento. Acesso em: 04 nov. 2024.

SPERANDIO, M. *Metodologia para o planejamento da automação de sistemas de distribuição de energia elétrica*. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.



PREVISÃO DE CARGA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO: DIRETRIZES REGULATÓRIAS, MODELOS MATEMÁTICOS E DESAFIOS NA ESTIMATIVA DA DEMANDA

LOAD FORECASTING IN DISTRIBUTION SYSTEMS: REGULATORY GUIDELINES, MATHEMATICAL MODELS AND CHALLENGES IN ESTIMATING DEMAND

ttps://doi.org/10.63330/aurumpub.005-005

Joelson Lopes da Paixão

Mestre em Engenharia Elétrica, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Educação Básica, Tecnológica e EAD E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

Alzenira da Rosa Abaide

Doutora em Engenharia Elétrica, professora titular na UFSM E-mail: alzenira@ufsm.br

RESUMO

A previsão de carga é um elemento essencial para o planejamento e a operação eficiente dos Sistemas Elétricos de Distribuição (SEDs), permitindo a alocação otimizada de recursos, a mitigação de sobrecargas e a garantia da qualidade do fornecimento de energia. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece diretrizes normativas para a previsão da demanda por meio do Módulo 2 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), exigindo que concessionárias e distribuidoras mantenham bases de dados atualizadas e realizem estudos periódicos. Diferentes modelos matemáticos são utilizados para estimar a evolução da carga, variando de abordagens tradicionais, como modelos lineares e polinomiais, até técnicas mais avançadas, como redes neurais artificiais e algoritmos genéticos. Além disso, a previsão de carga deve considerar fatores externos que influenciam o consumo energético, incluindo variáveis climáticas, mudanças no perfil socioeconômico e políticas de eficiência energética. Este trabalho apresenta uma análise detalhada dos procedimentos normativos estabelecidos pela ANEEL, discute os principais modelos matemáticos utilizados para previsão de carga e explora os desafios associados à projeção da demanda elétrica nos diferentes horizontes temporais.

Palavras-chave: Previsão de Carga; Modelos Matemáticos; Planejamento de Sistemas Elétricos; Otimização da Demanda; Sistemas de Distribuição.

ABSTRACT

Load forecasting is a crucial element for the planning and efficient operation of Electrical Distribution Systems (EDS), enabling optimized resource allocation, overload mitigation, and assurance of energy supply quality. The Brazilian Electricity Regulatory Agency (ANEEL) establishes regulatory guidelines for demand forecasting through Module 2 of the Electricity Distribution Procedures in the National Electric System (PRODIST), requiring utilities and distribution companies to maintain updated databases and conduct periodic studies. Various mathematical models are employed to estimate load evolution, ranging from traditional approaches such as linear and polynomial models to more advanced techniques like artificial neural networks and genetic algorithms. Furthermore, load forecasting must consider external factors influencing energy consumption, including climatic variables, socioeconomic profile changes, and energy efficiency policies. This study presents a detailed analysis of the regulatory procedures established by ANEEL, discusses the main mathematical models used for load forecasting, and explores the challenges associated with demand projection across different time horizons.



Keywords: Load Forecasting; Mathematical Models; Power System Planning; Demand Optimization; Distribution Systems.



1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha um papel essencial no desenvolvimento socioeconômico, sendo um recurso indispensável para setores estratégicos como indústria, comércio, serviços e infraestrutura urbana. A crescente dependência da sociedade moderna em relação a esse insumo transforma a confiabilidade e a eficiência dos sistemas elétricos em fatores críticos para a estabilidade econômica e a qualidade de vida da população. Nesse contexto, a previsão de carga é uma ferramenta fundamental para o planejamento da operação e da expansão dos Sistemas Elétricos de Distribuição (SEDs), permitindo a alocação eficiente de recursos, a mitigação de sobrecargas e a redução de custos operacionais.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece diretrizes normativas para a previsão de demanda no setor elétrico por meio do Módulo 2 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Essas regulamentações fornecem diretrizes metodológicas que orientam as concessionárias de energia quanto aos horizontes temporais de previsão, à periodicidade dos estudos e à gestão de bases de dados associadas às cargas conectadas à rede (ANEEL, 2021). O cumprimento dessas diretrizes é essencial para assegurar que o crescimento da demanda seja acompanhado por investimentos adequados na infraestrutura elétrica, garantindo a segurança do fornecimento e a qualidade do serviço prestado.

A previsão de carga, no entanto, envolve desafios significativos, pois o comportamento da demanda elétrica é influenciado por múltiplas variáveis, como condições meteorológicas (temperatura, umidade e velocidade do vento), fatores sazonais, mudanças econômicas e políticas energéticas, incluindo programas de eficiência energética e tarifação diferenciada (RIBEIRO, 2009; ALMEIDA; FISHWICH; TANG, 1991). Para lidar com essa complexidade, diversas metodologias vêm sendo empregadas na estimativa da evolução da demanda elétrica, abrangendo desde abordagens clássicas, como modelos lineares e polinomiais, até técnicas mais avançadas, como redes neurais artificiais e algoritmos genéticos (AGUIRRE, 2007; MACHADO, 2014; KAGAN et al., 2009). A escolha do modelo mais adequado depende do horizonte temporal da previsão—curto, médio ou longo prazo—e da disponibilidade de dados históricos confiáveis.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo apresentar os procedimentos normativos estabelecidos pela ANEEL para a previsão de carga em sistemas de distribuição, bem como discutir os principais modelos matemáticos empregados nessa análise. Adicionalmente, serão abordadas as características dos diferentes horizontes de previsão e os fatores críticos que influenciam as estimativas de demanda, fornecendo uma visão abrangente sobre a importância e os desafios da previsão de carga no setor elétrico.



2 PROCEDIMENTOS GERAIS ESTABELECIDOS PELA ANEEL

A previsão de carga nos SEDs é regulamentada pela ANEEL por meio do Módulo 2 do PRODIST, que define as diretrizes metodológicas e normativas para a realização de estudos de previsão de demanda. Essas diretrizes orientam as distribuidoras na elaboração de projeções de médio e longo prazo, garantindo que sejam utilizados dados atualizados e consistentes dos acessantes do sistema (ANEEL, 2021).

2.1 ESTRUTURAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BASES DE DADOS

As distribuidoras devem manter um banco de dados atualizado contendo informações detalhadas sobre o sistema elétrico e seus consumidores. Esses dados devem ser armazenados em plataformas de geoprocessamento, possibilitando a análise espacial e temporal da carga. A base de dados deve incluir registros históricos de consumo, medições realizadas, perfis de demanda e solicitações de acesso à rede. A ANEEL exige que esses registros sejam arquivados por um período mínimo de dez anos, permitindo auditorias e verificações regulatórias (ANEEL, 2021).

2.2 COMPATIBILIZAÇÃO COM O PLANEJAMENTO SETORIAL E REGIONAL

Os estudos de previsão de demanda devem estar alinhados aos planos diretores municipais, regionais e setoriais, considerando tendências de crescimento populacional, industrial e comercial. Além disso, as concessionárias devem analisar o impacto de pedidos de fornecimento e acréscimos de carga, ponderando o risco de não concretização desses projetos. Essa compatibilização visa evitar superdimensionamentos na infraestrutura de distribuição e assegurar investimentos eficientes no sistema elétrico (ANEEL, 2021).

2.3 CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS

A ANEEL não impõe um modelo matemático específico para a previsão de carga, permitindo que as distribuidoras escolham metodologias que melhor se adequem às suas necessidades operacionais. No entanto, as projeções devem ser embasadas em modelos validados e sujeitas à regulamentação da agência. Além disso, a previsão deve considerar, no mínimo, o histórico consolidado de carga dos últimos cinco anos, incluindo perdas técnicas e ganhos provenientes de programas de eficiência energética (AGUIRRE, 2007).

2.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O FATOR DE POTÊNCIA E A QUALIDADE DA ENERGIA

As distribuidoras devem adotar medições do fator de potência nas subestações ou utilizar valores padronizados com base nas características da carga. Caso não haja medições específicas, deve-se seguir o limite mínimo estabelecido no Módulo 8 do PRODIST, referente à QEE (ANEEL, 2021).



2.5 SEGMENTAÇÃO POR NÍVEIS DE TENSÃO

O sistema de distribuição brasileiro é dividido em três categorias principais, conforme os níveis de tensão:

- Alta Tensão: abrange tensões entre 69 kV e 230 kV. A previsão de demanda nesse segmento deve fornecer informações essenciais para o planejamento de linhas e subestações interligadas à Rede Básica, às DITs, a outras distribuidoras, a centrais geradoras e a grandes consumidores industriais. Os estudos devem ter um horizonte mínimo de dez anos, com revisões anuais, e considerar patamares de carga leve, média e pesada, bem como a influência da geração distribuída (ANEEL, 2021).
- Média Tensão: cobre tensões entre 1 kV e 44 kV, sendo utilizado na conexão de subestações com unidades consumidoras comerciais, industriais e residenciais de maior porte. As projeções para esse segmento devem abranger um horizonte de cinco anos, sendo atualizadas anualmente. A previsão deve ter um caráter espacial, identificando áreas representativas e suas respectivas demandas. Além disso, deve incluir a distribuição da carga ao longo dos circuitos e a necessidade de reforços ou expansões para atendimento a novas áreas com baixa densidade de carga (ANEEL, 2021).
- Baixa Tensão: refere-se a tensões inferiores a 1 kV, atendendo predominantemente consumidores residenciais e pequenos estabelecimentos comerciais. Os estudos de previsão nesse segmento devem considerar fatores como crescimento populacional, políticas de eficiência energética e a adoção de novas tecnologias consumidoras de eletricidade, como veículos elétricos e sistemas de climatização.

3 MODELOS MATEMÁTICOS MAIS UTILIZADOS NAS PREVISÕES

A previsão de carga é um problema complexo, influenciado por múltiplos fatores, como variáveis socioeconômicas, mudanças climáticas e políticas energéticas. Dado esse contexto, a ANEEL não impõe um modelo matemático específico para estimativa da demanda, permitindo que as distribuidoras adotem abordagens que melhor se adequem às suas necessidades operacionais.

Diversos modelos matemáticos são utilizados na previsão de carga, abrangendo desde técnicas estatísticas convencionais até métodos baseados em inteligência artificial. Entre os modelos mais aplicados, destacam-se:

- Modelos estatísticos tradicionais: linear, quadrático, polinomial, logarítmico e exponencial;
- Modelos da Teoria de Identificação de Sistemas: métodos autorregressivos, como ARX e ARMAX;



• Modelos baseados em aprendizado de máquina: redes neurais artificiais, algoritmos genéticos e lógica fuzzy.

A seguir, são descritos os principais modelos aplicados na previsão de carga.

3.1 MODELOS ESTATÍSTICOS TRADICIONAIS

3.1.1 Modelo Linear

O modelo linear é um dos mais simples e amplamente utilizados para ajustes de séries temporais na previsão de carga. Ele assume que a demanda elétrica varia de maneira proporcional ao tempo, sendo representado pela equação (1):

$$y(x) = a0 + a1x \tag{1}$$

onde a0 e a1 são os coeficientes a serem determinados pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). No modelo, o y(x) representa a demanda ajustada no período x. Esse modelo é adequado para cenários onde o crescimento da demanda segue uma tendência aproximadamente linear ao longo do tempo.

3.1.2 Modelo Quadrático

Quando a evolução da carga apresenta comportamento não linear, o modelo quadrático pode ser mais apropriado. Sua formulação matemática é dada pela equação (2):

$$y(x) = a0 + a1x + a2x^2 (2)$$

onde a0, a1 e a2 são os coeficientes a serem determinados através de ajustes de curvas pelo MMQ. Nesse contexto, a expressão que representa a demanda y(x) tem uma variação quadrática em função do tempo x. Esse modelo permite capturar padrões de crescimento ou declínio acelerado da demanda ao longo do tempo.

3.1.3 Modelo Polinomial

O modelo polinomial é uma extensão dos modelos anteriores, permitindo ajustes mais flexíveis para séries temporais de demanda. Sua equação geral é expressa como (3):

$$y(x) = a0 + a1x + a2x^{2} + ... + anx^{n}$$
(3)

onde a0, a1, a2 e an são os coeficientes a serem determinados pelo ajuste de curvas através do MMQ. Assim como nos modelos anteriores, o y(x) representa a demanda ajustada e posteriormente estimada em



função do período x. Modelos de ordem mais elevada são úteis quando há grande dispersão nos dados, porém podem levar a problemas de sobreajuste.

3.1.4 Modelos Logarítmico e Exponencial

Os modelos logarítmico e exponencial descrevem comportamentos inversos da demanda elétrica. Enquanto o modelo logarítmico apresenta uma taxa de crescimento decrescente, o modelo exponencial exibe um crescimento acelerado. Suas equações são dadas por:

• Modelo logarítmico:

$$y(x) = a0 + b \ln(x) \tag{4}$$

onde *a0* e *b* são as constantes da função.

• Modelo exponencial:

$$y(x) = a0 e^{bx} (5)$$

onde $a\theta$ e b são as constantes da função de ajuste exponencial. Para que esses modelos sejam utilizados no MMQ, é necessário realizar uma linearização.

3.2 MODELOS DA TEORIA DE IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS

Os modelos autorregressivos são amplamente aplicados na previsão de carga devido à sua capacidade de capturar padrões temporais na série histórica. A formulação geral desses modelos pode ser descrita conforme a equação (6):

$$A(q)y(k) = \frac{B(q)}{F(q)}u(k) + \frac{C(q)}{D(q)}v(k)$$
(6)

onde: y(k) é a saída, u(k) é a entrada do sistema e v(k) é o ruído branco; A(q), B(q), C(q), D(q) e F(q) são, respectivamente, os polinômios dados por:

$$A(q) = 1 - a_1 q^{-1} - \dots - a_{n_y} q^{-n_y};$$

$$B(q) = b_1 q^{-1} + \dots + b_{n_u} q^{-n_u};$$

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c};$$

$$D(q) = 1 + d_1 q^{-1} + \dots + d_{n_u} q^{-n_d};$$



$$F(q) = 1 + f_1 q^{-1} + ... + f_{n_f} q^{-n_f};$$

onde: q^{-n} é o operador de atraso, de forma que y(k) $q^{-1} = y(k-1)$; $a_1 \dots a_{n_y}$, $b_1 \dots b_{n_u}$, $c_1 \dots c_{n_c}$, $d_1 \dots d_{n_d}$ e $f_1 \dots f_{n_f}$ são parâmetros que precisam ser estimados; e n_y , n_u , n_c , n_d , n_f são as ordens dos polinômios.

3.2.1 Modelo ARX (AutoRegressivo com Entradas Externas)

O modelo ARX é obtido a partir da equação (6), fazendo-se os polinômios C(q)=D(q)=F(q)=1; já os parâmetros dos polinômios A(q) e B(q) precisam ser estimados. A equação genérica do modelo ARX é dada por equação (7):

$$y(k) = \frac{B(q)}{A(q)}u(k) + \frac{1}{A(q)}v(k)$$
 (7)

Esse modelo é amplamente utilizado na previsão de carga devido à sua simplicidade e boa capacidade de representação de processos dinâmicos.

3.2.2 Modelo ARMAX (AutoRegressivo com Média Móvel e Entradas Externas)

O modelo ARMAX é obtido a partir da equação (6), fazendo-se os polinômios D(q)=F(q)=1; os parâmetros dos polinômios, A(q), B(q) e C(q) devem ser estimados.

$$y(k) = \frac{B(q)}{A(q)}u(k) + \frac{C(q)}{A(q)}v(k)$$
(8)

A inclusão do polinômio C(q) permite uma melhor adaptação a séries temporais sujeitas a ruídos correlacionados.

3.3 MODELOS BASEADOS EM APRENDIZADO DE MÁQUINA

3.3.1 Redes Neurais Artificiais

As redes neurais artificiais são modelos computacionais inspirados no funcionamento do cérebro humano, compostos por neurônios artificiais interconectados. Esses modelos são treinados a partir de dados históricos e podem capturar relações não lineares complexas na previsão de carga (RIBEIRO, 2009).

A principal vantagem das redes neurais é a capacidade de aprendizado adaptativo, permitindo a identificação de padrões sutis na demanda elétrica. No entanto, o treinamento pode ser computacionalmente custoso, e ajustes inadequados podem resultar em sobreajuste.



3.3.2 Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos são técnicas de otimização baseadas na Teoria da Evolução de Darwin. Eles operam sobre uma população de soluções, aplicando mecanismos de seleção, cruzamento e mutação para evoluir soluções cada vez mais eficientes (ALMEIDA; FISHWICH; TANG, 1991).

No contexto da previsão de carga, os algoritmos genéticos são frequentemente utilizados para otimizar parâmetros de modelos estatísticos ou redes neurais, melhorando a precisão das estimativas.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE MODELOS MATEMÁTICOS

A escolha do modelo mais adequado para previsão de carga depende de diversos fatores, incluindo a disponibilidade de dados históricos, o horizonte temporal da previsão e a complexidade da relação entre variáveis explicativas e a demanda. Enquanto modelos estatísticos tradicionais são eficientes para previsões de curto prazo com tendências bem definidas, técnicas mais avançadas, como redes neurais e algoritmos genéticos, são mais apropriadas para cenários onde a demanda apresenta padrões altamente não lineares.

Dessa forma, a seleção do modelo deve ser baseada em uma análise criteriosa, considerando não apenas a precisão das previsões, mas também a interpretabilidade dos resultados e a viabilidade computacional da aplicação.

4 HORIZONTES DE PREVISÃO

A previsão de carga elétrica é um processo que requer a análise detalhada do comportamento da demanda ao longo do tempo, considerando os fatores que a influenciam diretamente. Para isso, é essencial identificar e modelar as variáveis que impactam o consumo de energia, permitindo uma estimativa mais precisa das futuras necessidades do sistema elétrico (RIBEIRO, 2009).

A demanda elétrica apresenta padrões específicos que podem ser influenciados por fatores sazonais, econômicos e operacionais. Entre os principais elementos que afetam a previsão de carga, destacam-se: condições meteorológicas (temperatura, nebulosidade, precipitação), velocidade e direção do vento, variações bruscas de temperatura, umidade, além de fatores comportamentais, como a distinção entre dias úteis, finais de semana e feriados, e eventos atípicos que impactam o consumo energético (ALMEIDA; FISHWICH; TANG, 1991).

A definição do horizonte temporal da previsão é um aspecto crucial, pois influencia diretamente a escolha dos modelos matemáticos e das variáveis explicativas a serem consideradas. No contexto da distribuição de energia elétrica, a previsão de carga pode ser classificada em três principais horizontes: curto, médio e longo prazo.



4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS HORIZONTES DE PREVISÃO

- **Curto prazo:** previsão realizada em intervalos que variam de minutos até uma semana. Esse tipo de previsão é utilizado para controle operacional, despacho de geração e otimização da rede elétrica.
- **Médio prazo:** previsão voltada para a programação de recursos energéticos e planejamento sazonal da operação, abrangendo um horizonte de um a vários meses.
- Longo prazo: projeção da demanda para períodos superiores a um ano, essencial para o planejamento da expansão do sistema elétrico, definição de políticas tarifárias e avaliação de investimentos no setor energético.

A escolha do horizonte de previsão influencia diretamente os fatores considerados na modelagem, conforme descrito a seguir.

4.2 FATORES CONSIDERADOS PARA CADA HORIZONTE DE PREVISÃO

4.2.1 Curto Prazo

A previsão de curto prazo tem como principal objetivo garantir o equilíbrio entre oferta e demanda em tempo real, minimizando perdas e evitando sobrecargas na rede elétrica. Para isso, os seguintes fatores devem ser analisados:

- Consumo histórico de dias úteis, finais de semana e feriados;
- Estrutura produtiva da região;
- Grau de urbanização e padrões de consumo industrial, comercial e residencial;
- Variáveis climáticas (temperatura, vento, radiação solar, umidade);
- Políticas energéticas sazonais (exemplo: horário de verão);
- Características técnicas dos equipamentos conectados ao sistema.

4.2.2 Médio Prazo

A previsão de médio prazo é essencial para a alocação de recursos energéticos e planejamento da operação das concessionárias. Além dos fatores considerados no curto prazo, essa projeção deve incluir:

- Evolução histórica do consumo;
- Estação do ano e padrões sazonais de demanda;
- Tarifação horo-sazonal e impactos na modulação do consumo;
- Políticas energéticas estruturais (exemplo: incentivos à eficiência energética);
- Indicadores econômicos e projeções de crescimento setorial.



4.2.3 Longo Prazo

No longo prazo, a complexidade da previsão aumenta devido ao maior número de variáveis envolvidas e à incerteza associada às projeções macroeconômicas e tecnológicas. Nesse cenário, a estimativa da demanda deve considerar:

- Comportamento da economia local e nacional;
- Diretrizes energéticas estabelecidas por órgãos reguladores e governamentais;
- Políticas tarifárias e evolução dos preços de energia;
- Crescimento demográfico e expansão da malha urbana;
- Taxa de desemprego e impactos na demanda industrial e comercial;
- Influência de ações voltadas para conservação e eficiência energética;
- Avanços tecnológicos e adoção de novas tecnologias elétricas (exemplo: veículos elétricos, iluminação LED, sistemas fotovoltaicos);
- Questões ambientais e regulação sobre emissões e sustentabilidade;
- Competitividade no setor elétrico e participação de novos agentes de geração distribuída;
- Presença de Autoprodutores e Geradores Independentes;
- Evolução dos indicadores macroeconômicos, como PIB e inflação;
- Políticas públicas voltadas à universalização do acesso à energia, como os programas "Luz para Todos" e "Minha Casa Melhor".

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRECISÃO DAS PREVISÕES

À medida que o horizonte de previsão se amplia, a precisão dos modelos tende a diminuir devido ao aumento da incerteza associada às variáveis externas. No curto prazo, as previsões são geralmente mais acuradas, pois se baseiam em padrões de consumo bem estabelecidos e séries temporais detalhadas. Já no médio e longo prazo, torna-se necessário o uso de técnicas que lidam com a variabilidade e a incerteza, como intervalos de confiança e cenários probabilísticos.

A previsão de longo prazo, em especial, exige abordagens robustas que levem em conta múltiplos cenários e possíveis alterações nos padrões de consumo. Para mitigar as incertezas inerentes, adota-se a projeção por faixas de variação, estabelecendo limites dentro dos quais a demanda futura provavelmente estará inserida.

4.4 IMPORTÂNCIA DA DEFINIÇÃO DO HORIZONTE DE PREVISÃO

A escolha do horizonte de previsão adequado é essencial para a tomada de decisões no setor elétrico. Enquanto previsões de curto prazo são fundamentais para a operação diária e gerenciamento de carga,



projeções de médio e longo prazo orientam investimentos em infraestrutura, estratégias tarifárias e políticas energéticas.

Portanto, um sistema de previsão eficiente deve integrar diferentes horizontes temporais, combinando metodologias estatísticas, aprendizado de máquina e modelos econométricos para garantir estimativas precisas e confiáveis. Dessa forma, é possível planejar o fornecimento de energia elétrica com segurança e eficiência, atendendo às demandas atuais e futuras da sociedade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A previsão de carga desempenha um papel fundamental no planejamento e na operação eficiente dos SEDs, sendo essencial para garantir a confiabilidade do fornecimento de energia e a alocação otimizada de recursos. A ANEEL, por meio do PRODIST, estabelece diretrizes regulatórias que orientam as distribuidoras na elaboração de estudos de previsão de demanda, exigindo a manutenção de bases de dados atualizadas e a aplicação de metodologias robustas.

Os modelos matemáticos utilizados para a previsão de carga variam de abordagens estatísticas convencionais, como modelos lineares e polinomiais, até técnicas avançadas baseadas em inteligência artificial, como redes neurais e algoritmos genéticos. A escolha do modelo mais adequado depende do horizonte temporal da previsão e da disponibilidade de dados históricos confiáveis.

A definição do horizonte de previsão é crucial para o planejamento energético, pois diferentes prazos requerem variáveis e metodologias distintas. No curto prazo, fatores como padrões diários de consumo e condições climáticas são predominantes, enquanto no médio e longo prazo, aspectos econômicos, tecnológicos e políticas energéticas exercem maior influência sobre a demanda futura. Com o aumento do horizonte de previsão, cresce a complexidade do problema e a necessidade de técnicas que lidem com incertezas, exigindo a adoção de abordagens probabilísticas e análises de cenários.

Dessa forma, para assegurar previsões precisas e confiáveis, as concessionárias devem integrar diferentes metodologias e horizontes temporais, combinando técnicas estatísticas, aprendizado de máquina e modelagem econométrica. A correta estimativa da demanda futura permite um planejamento estratégico mais eficiente, reduzindo custos operacionais, mitigando riscos de sobrecarga e garantindo a expansão sustentável da infraestrutura elétrica.

Por fim, o avanço das tecnologias de medição e processamento de dados, aliado à crescente digitalização do setor elétrico, oferece novas oportunidades para aprimorar os métodos de previsão de carga. A incorporação de big data, inteligência artificial e sistemas de medição inteligente tende a proporcionar maior acurácia nas estimativas, permitindo uma gestão energética mais dinâmica e adaptativa às mudanças do setor.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Módulo 2 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição. Brasília, 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_1.pdf. Acesso em: 03 de janeiro de 2025.

AGUIRRE, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

ALMEIDA, C.; FISHWICH, P. A.; TANG, Z. Time series forecasting using neural networks vs. Box-Jenkins methodology. *Simulation Councils*, [S. 1.], p. 303-310, nov. 1991.

KAGAN, N. et al. Métodos de Otimização Aplicados a Sistemas Elétricos de Potência. São Paulo: Blucher, 2009.

MACHADO, M. V. Modelagem Matemática do Tempo de Vida de Baterias Utilizando Modelos Autorregressivos. 2014. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Unijuí, 2014.

RIBEIRO, C. V. Um ambiente para previsão de séries temporais utilizando comitês de aprendizado. 2009. Dissertação (Mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009.



PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE DISTRIBUIÇÃO: ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA PARA MELHORIAS E EXPANSÃO

PLANNING ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS: TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS FOR IMPROVEMENTS AND EXPANSION

ttps://doi.org/10.63330/aurumpub.005-006

Joelson Lopes da Paixão

Mestre em Engenharia Elétrica, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Educação Básica, Tecnológica e EAD E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

Alzenira da Rosa Abaide

Doutora em Engenharia Elétrica, professora titular na UFSM E-mail: alzenira@ufsm.br

RESUMO

O planejamento e a otimização dos sistemas elétricos de distribuição são fundamentais para garantir a confiabilidade do fornecimento de energia, a qualidade da eletricidade entregue aos consumidores e a viabilidade econômica dos investimentos no setor. A definição de alternativas para expansão e reforço da rede deve considerar critérios técnicos e econômicos, visando atender às exigências regulatórias e aos indicadores de continuidade e qualidade da energia elétrica. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma abordagem estruturada para a formulação e análise técnico-econômica de alternativas de melhoria nos sistemas de distribuição. São explorados aspectos como previsão de carga, modelagem da rede, otimização de investimentos e viabilidade operacional. A metodologia proposta permite a avaliação de diferentes cenários, considerando restrições operacionais, custos de investimento e indicadores de desempenho. Dessa forma, os resultados obtidos podem auxiliar na tomada de decisão, garantindo que as soluções adotadas sejam eficientes e sustentáveis para o setor elétrico.

Palavras-chave: Planejamento de Sistemas Elétricos; Análise Técnico-Econômica; Qualidade da Energia Elétrica; Redes de Distribuição.

ABSTRACT

The planning and optimization of electrical distribution systems are essential to ensure the reliability of power supply, the quality of electricity delivered to consumers, and the economic feasibility of investments in the sector. The definition of alternatives for network expansion and reinforcement must consider both technical and economic criteria, aiming to meet regulatory requirements and continuity and power quality indicators. In this context, this study presents a structured approach to the formulation and techno-economic analysis of improvement alternatives in distribution systems. Key aspects such as load forecasting, network modeling, investment optimization, and operational feasibility are explored. The proposed methodology enables the evaluation of different scenarios, considering operational constraints, investment costs, and performance indicators. Thus, the results obtained can support decision-making, ensuring that the adopted solutions are both efficient and sustainable for the electrical sector.

Keywords: Power System Planning; Techno-Economic Analysis; Power Quality; Distribution Networks.



1 INTRODUÇÃO

O planejamento e a operação dos sistemas elétricos de distribuição são processos fundamentais para garantir a confiabilidade, a eficiência e a sustentabilidade do fornecimento de energia elétrica. Aspectos como continuidade do serviço, qualidade dos níveis de tensão e análise técnico-econômica das alternativas disponíveis desempenham um papel central na definição das estratégias de expansão e modernização da infraestrutura elétrica. Dessa forma, torna-se essencial a adoção de metodologias que permitam avaliar, com precisão, as necessidades futuras do sistema e otimizar os investimentos necessários para a adequação da rede (ELETROBRAS, 1982).

O desempenho do sistema de distribuição está diretamente relacionado à previsão de carga e ao correto dimensionamento dos componentes da rede, de modo a minimizar riscos de sobrecarga, quedas de tensão e perdas elétricas excessivas. Para isso, é necessário um planejamento criterioso, que leve em consideração restrições técnicas, como limites de fluxo e fornecimento de potência em linhas e subestações, bem como a máxima queda de tensão permitida nos alimentadores e circuitos da rede elétrica (BERNARDON et al., 2010).

A formulação de alternativas para expansão e reforço da rede requer uma abordagem estruturada, contemplando a modelagem da rede elétrica e a realização de estudos de fluxo de potência para diagnosticar o comportamento do sistema frente ao crescimento da demanda. Essas análises permitem identificar áreas críticas e propor soluções, como a construção de novos circuitos, ampliação de subestações, instalação de equipamentos de compensação reativa ou reconfiguração da rede existente. No entanto, o maior desafio do planejamento está na necessidade de equilibrar o atendimento da demanda com a minimização de custos e a conformidade com as restrições operacionais, físicas e econômicas (SOUSA et al., 2010).

A tomada de decisão no setor elétrico exige um processo de análise que integre critérios técnicos e econômicos, permitindo a seleção da alternativa mais viável sob diferentes cenários. Para isso, ferramentas computacionais que aplicam métodos de otimização são amplamente utilizadas, auxiliando na escolha das soluções que melhor atendem aos requisitos de confiabilidade e eficiência energética. A avaliação da viabilidade econômica das alternativas deve considerar fatores como investimentos iniciais, custos de operação e manutenção, impacto sobre as perdas elétricas e retorno financeiro ao longo da vida útil dos ativos (PFITSCHER et al., 2015).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia estruturada para a formulação e análise técnico-econômica de alternativas de melhoria nos sistemas de distribuição. Serão abordados aspectos como horizonte de planejamento, análise de carga e configuração da rede, visando fornecer subsídios para a tomada de decisão de forma otimizada e alinhada às necessidades do setor elétrico.



2 FORMULAÇÃO DE ALTERNATIVAS

A formulação de alternativas para a melhoria dos SEDs é um processo essencial para atender às deficiências futuras da rede elétrica, garantindo que o sistema possua a capacidade necessária para suprir a demanda projetada dentro do horizonte de planejamento. Além disso, as alternativas propostas devem estar alinhadas com os indicadores de qualidade estabelecidos, assegurando confiabilidade, eficiência operacional e viabilidade econômica.

A primeira etapa desse processo consiste na **triagem inicial** dos projetos propostos, considerando as metas financeiras da concessionária ou da entidade responsável. Projetos que excedam os limites de custo estabelecidos podem ser descartados nessa fase. Em seguida, as alternativas tecnicamente viáveis são submetidas a uma análise mais detalhada, contemplando critérios técnico-econômicos, previsão de carga e características operacionais do sistema elétrico analisado (ELETROBRAS, 1982).

2.1 HORIZONTE DE PLANEJAMENTO

O horizonte de planejamento define o período de análise para a projeção da demanda e a avaliação da necessidade de investimentos na rede elétrica. Em sistemas de distribuição, os períodos típicos adotados são:

- Redes aéreas: horizonte de planejamento de até 10 anos;
- Redes subterrâneas: horizonte de planejamento de até 15 anos.

Para garantir uma avaliação adequada, é necessário considerar as particularidades de cada sistema, incluindo fatores como taxa de crescimento da carga, disponibilidade de infraestrutura e diretrizes estratégicas da concessionária (BERNARDON et al., 2010).

2.2 ANÁLISE DA CARGA

A análise de carga é um elemento central na formulação de alternativas, pois permite a identificação das necessidades futuras do sistema elétrico dentro do horizonte de planejamento. Essa análise se baseia em estudos de previsão de carga, que auxiliam na definição do tipo de sistema mais adequado (aéreo ou subterrâneo) e dos arranjos de rede que melhor atendem às demandas projetadas.

Os principais fatores a serem considerados incluem:

- Evolução histórica do consumo e tendências de crescimento;
- Distribuição espacial da carga e impacto de novos consumidores;
- Influência da sazonalidade e variações de consumo ao longo do tempo;
- Efeitos de políticas de eficiência energética e introdução de novas tecnologias.

Com base nesses fatores, torna-se possível estruturar alternativas de expansão e reforço da rede de maneira otimizada, garantindo confiabilidade no fornecimento de energia (PFITSCHER et al., 2015).



2.3 ASPECTOS CONSIDERADOS E CONFIGURAÇÕES DE REDE UTILIZADAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS

A formulação de alternativas exige uma compreensão detalhada dos aspectos técnicos que influenciam a operação da rede elétrica, bem como das diferentes configurações utilizadas nos sistemas de distribuição. Entre os principais fatores a serem analisados, destacam-se:

- Tensão nominal do sistema de distribuição: consideração das tensões já existentes, previsão de carga de longo prazo, densidade de carga, disponibilidade de equipamentos e distância média entre subestações.
- Transformadores e circuitos secundários: análise das configurações de redes secundárias, considerando alternativas aéreas (radiais e em anel) e subterrâneas (radiais e articuladas).
- Distribuição primária: avaliação das opções de redes aéreas e subterrâneas, com diferentes topologias operacionais, como sistemas radiais simples, radiais com recurso, primário seletivo e anel aberto.
- **Subestações:** planejamento da capacidade de transformação, do arranjo e da localização das subestações, visando garantir a confiabilidade do fornecimento de energia.
- **Subtransmissão:** escolha entre linhas aéreas e subterrâneas, levando em conta aspectos técnicos e econômicos. Em áreas densamente povoadas, as linhas subterrâneas podem ser mais adequadas, apesar do maior custo de implantação.

O estudo dessas configurações permite estruturar soluções que otimizem a operação da rede, equilibrando custos e desempenho.

2.4 EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

A seguir, são apresentados exemplos de sistemas de distribuição de média tensão (SDMT), ilustrando diferentes configurações de rede.



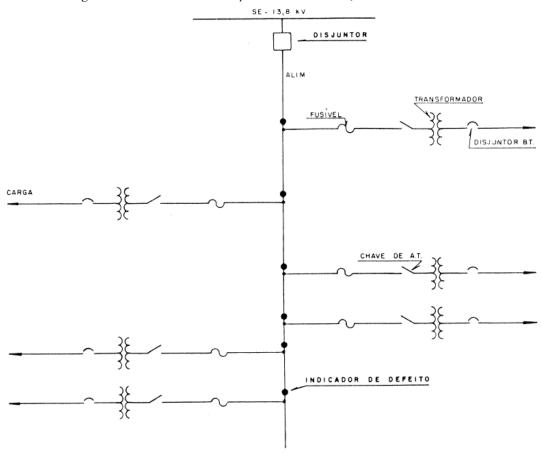


Figura 1 – Sistema de Distribuição de Média Tensão, Subterrâneo e Radial.

Fonte: (ELETROBRAS, 1982).

SE 15,8 KV TRONCO

Figura 2 – Sistema de Distribuição de Média Tensão, Aéreo e Radial

Fonte: (ELETROBRAS, 1982).



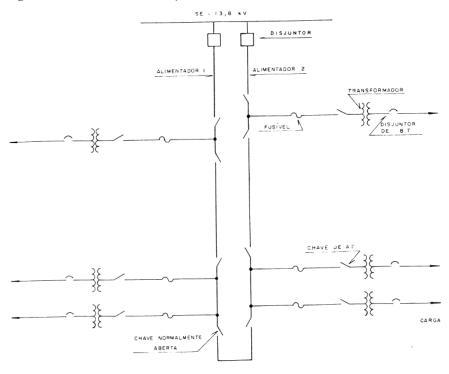


Figura 3 – Sistema de Distribuição de Média Tensão, Subterrâneo com Anel Aberto

Fonte: (ELETROBRAS, 1982).

TRONCO

RAMAIS

TRONCO

RAMAIS

RAMAIS

ALIMENTADOR
DE OUTRA SE

Figura 4 – Sistema de Distribuição de Média Tensão, Aéreo com Recurso

Fonte: (ELETROBRAS, 1982).

Cada uma dessas configurações apresenta vantagens e desafios específicos, que devem ser considerados na formulação das alternativas. Redes subterrâneas oferecem maior confiabilidade e menor impacto visual, mas possuem custos mais elevados. Por outro lado, redes aéreas apresentam menor custo de instalação e manutenção, porém estão mais sujeitas a interferências climáticas e eventos externos.



Dessa forma, a escolha da configuração mais adequada depende da análise técnica e econômica realizada para cada caso específico, conforme discutido na próxima seção.

3 ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DAS ALTERNATIVAS

A análise técnico-econômica é uma etapa fundamental na avaliação das alternativas propostas para melhorias nos SEDs. O objetivo desse processo é selecionar a solução que melhor atenda aos critérios técnicos e regulatórios, ao mesmo tempo em que minimize os custos operacionais e de investimento. A análise é composta por duas fases principais: avaliação técnica, onde são verificados aspectos operacionais e de desempenho da rede, e avaliação econômica, que considera os custos envolvidos ao longo da vida útil da alternativa selecionada (ELETROBRAS, 1982).

3.1 ANÁLISE TÉCNICA

A análise técnica das alternativas propostas visa garantir que a solução selecionada proporcione confiabilidade, qualidade e eficiência ao sistema elétrico. Essa etapa envolve a avaliação de três fatores principais: níveis de tensão, índices de continuidade e carregamento dos condutores e equipamentos.

1. Análise dos níveis de tensão:

A verificação dos níveis de tensão é essencial para garantir que a qualidade da energia fornecida esteja dentro dos limites estabelecidos pelas normas regulatórias. Esse processo pode ser realizado por meio de simulações computacionais de fluxo de potência, que permitem identificar trechos da rede com desvios de tensão e definir soluções corretivas, como a instalação de reguladores de tensão e compensadores reativos (BERNARDON et al., 2010).

2. Índices de continuidade do fornecimento:

A confiabilidade do sistema elétrico é avaliada com base nos índices regulatórios, como:

- o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), que mede o tempo médio de interrupção do fornecimento por consumidor.
- o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), que quantifica o número médio de interrupções por consumidor em um período determinado.

A análise da confiabilidade do sistema pode ser realizada por meio de fluxogramas operacionais, que permitem determinar o desempenho dos componentes da rede e projetar índices de continuidade para cada alternativa considerada (SOUSA et al., 2010).

3. Carregamento dos condutores e equipamentos:

- O dimensionamento adequado dos condutores e equipamentos é essencial para evitar sobrecargas e garantir a estabilidade da rede. Os cálculos de carregamento consideram:
- o O fluxo de potência ao longo dos circuitos;



- o A corrente máxima suportada pelos condutores e transformadores;
- o A capacidade de reserva dos alimentadores em caso de contingência.

Em sistemas com interligações entre alimentadores, a viabilidade de manobras operacionais depende da existência de margem de capacidade nos circuitos envolvidos (PFITSCHER et al., 2015).

3.2 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica tem como objetivo determinar os custos globais associados a cada alternativa e compará-los, garantindo que a escolha final seja a mais eficiente sob o ponto de vista financeiro. Os principais custos considerados são:

1. Investimentos iniciais:

Incluem os custos de aquisição de materiais e equipamentos, mão de obra, transporte, serviços contratados, aquisição de terrenos (quando aplicável) e taxas administrativas.

2. Custos de operação e manutenção:

Dependem do tipo de alternativa adotada, abrangendo despesas com inspeções, reparos, substituição de componentes e equipes de emergência.

3. Custo das perdas elétricas no sistema:

As perdas elétricas podem ser avaliadas com base em duas metodologias:

- o Cálculo do custo anual de perdas, considerando a energia dissipada ao longo do tempo.
- o Cálculo com base na tarifa de compra de energia, que estima o impacto financeiro das perdas no custo operacional da concessionária.

O custo das perdas pode ser expresso pela equação:

$$C_{\rm P} = P \cdot C_p + E \cdot C_e \tag{1}$$

onde, C_P é o custo de perdas, P é a perda de ponta máxima em kW, C_p é o custo do kW comprado pela empresa, E é a perda anual em kWh, C_e é o custo do kWh comprado pela empresa.

4. Vida útil e valor residual dos ativos:

A determinação da vida útil dos equipamentos e sua depreciação ao longo do tempo são fatores que impactam a análise econômica. Normalmente, considera-se um período médio de vida útil para os ativos do sistema, sem a necessidade de substituição imediata ao término desse período. O valor residual pode ser estimado pelo método linear de depreciação, garantindo que eventuais trocas de equipamentos sejam economicamente viáveis (SOUSA et al., 2010).



3.3 PROCESSO DE SELEÇÃO DA ALTERNATIVA ÓTIMA

A tomada de decisão na escolha da melhor alternativa de melhoria na rede elétrica deve integrar os resultados da análise técnica e econômica. O processo pode ser representado pelo Diagrama de Blocos da Figura 5, que ilustra a estrutura geral da análise técnico-econômica.

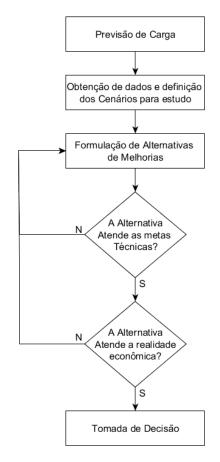


Figura 5 – Diagrama de Blocos do Processo de Análise Técnico-Econômica

A seleção da alternativa ideal deve ponderar tanto os critérios financeiros quanto os requisitos técnicos. Em alguns casos, uma solução que apresenta menor custo pode não atender adequadamente aos padrões de qualidade e continuidade exigidos, exigindo um compromisso entre investimento e confiabilidade.

Assim, a análise técnico-econômica desempenha um papel estratégico na definição das ações a serem adotadas para aprimorar a rede elétrica, proporcionando um processo de decisão embasado em critérios quantitativos e qualitativos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento e a otimização dos SEDs são fundamentais para garantir a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, a qualidade da eletricidade entregue aos consumidores e a viabilidade



econômica dos investimentos no setor. A formulação e a análise técnico-econômica de alternativas permitem que concessionárias e agentes reguladores tomem decisões mais assertivas na expansão e no aprimoramento da rede elétrica.

Este trabalho apresentou uma abordagem estruturada para a definição e avaliação de alternativas de melhoria nos sistemas de distribuição, abordando aspectos como horizonte de planejamento, análise de carga e configurações de rede. A análise técnico-econômica das alternativas foi discutida, destacando a importância da avaliação dos níveis de tensão, índices de continuidade e carregamento de condutores e equipamentos, além da necessidade de considerar os custos de investimento, operação e manutenção ao longo da vida útil dos ativos.

A escolha da melhor alternativa requer um equilíbrio entre desempenho técnico e viabilidade econômica. Alternativas mais robustas podem oferecer maior confiabilidade e qualidade da energia, mas com custos elevados de implementação e manutenção. Por outro lado, soluções mais econômicas podem não atender plenamente aos requisitos operacionais e regulatórios. Dessa forma, a utilização de metodologias baseadas em simulações computacionais, análise de fluxo de potência e otimização financeira são essenciais para garantir a tomada de decisão mais eficiente e sustentável.

A aplicação dessas metodologias impacta diretamente os indicadores técnicos do setor elétrico, incluindo o DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), além de influenciar os custos operacionais e a imagem da concessionária perante consumidores e órgãos reguladores.

Por fim, com os avanços das redes elétricas inteligentes e da digitalização do setor elétrico, novas tecnologias podem aprimorar ainda mais a previsão de carga, a alocação de recursos e a análise de confiabilidade. A incorporação de big data, inteligência artificial e sistemas automatizados de monitoramento e controle tende a proporcionar maior eficiência na gestão dos sistemas de distribuição, possibilitando melhorias contínuas no planejamento e na operação da rede elétrica.

Dessa forma, a abordagem apresentada neste estudo pode servir como base para futuras pesquisas e aplicações práticas, contribuindo para um setor elétrico mais confiável, sustentável e economicamente viável.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Brasília, 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em: 03 de dezembro de 2024.

BERNARDON, D. P.; SOARES, C.; SANTOS, M.; SPERANDIO, M. Curso de Extensão COTEU. Planejamento da Distribuição - PDD. Teutônia, 2010.

ELETROBRAS. Planejamento de Sistemas de Distribuição. Coleção Distribuição de Energia Elétrica, v. 1. Rio de Janeiro: Editora Campus/Eletrobrás, 1982.

PFITSCHER, L. L.; CANHA, L. N.; MELLO, A. P. C.; ABAIDE, A. R.; SPERANDIO, M.; GARCIA, V. J.; RAMOS, M. J. S. Sistemas de Distribuição no Contexto das Redes Elétricas Inteligentes: Uma Abordagem para Reconfiguração de Redes. 1ª ed. Santa Maria: AGEPOC, 2015.

SOUSA, J. et al. Planejamento de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Através de um Modelo de Otimização Clássica. XIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2010.



A IMPORTÂNCIA DA ADMINISTRAÇÃO NA ENGENHARIA AMBIENTAL

THE IMPORTANCE OF ADMINISTRATION IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-007

Fernanda Barrozo Oliveira

Pós-graduação especialista UNIFATECIE

E-mail: fernandabarrozo@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho trata da relevância da administração na engenharia ambiental, destacando sua importância para a sustentabilidade e a gestão eficiente dos impactos ambientais nas organizações. O objetivo principal é evidenciar como a integração entre conhecimento técnico e competências administrativas potencializa a atuação dos engenheiros ambientais na elaboração de políticas públicas, auditorias, certificações e no uso de ferramentas como o Sistema de Gestão Ambiental (SGA). A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, fundamentada em autores como Tavares, Gusmão, Garcia, Flickinger, Gonçalves, Machado, Carvalho e Tachizawa. A partir de uma análise crítica e histórica, observou-se que os impactos negativos da industrialização sobre o meio ambiente impulsionaram a necessidade de ações gerenciais voltadas à preservação e à adequação dos processos produtivos. A criação de normativas como a ISO 14001 e a aplicação de sistemas de controle ambiental demonstram a evolução da consciência ecológica nas empresas. O SGA, em especial, mostra-se como instrumento eficaz no monitoramento de resíduos, no planejamento ambiental e na promoção da ecoeficiência. Os resultados obtidos apontam que empresas que adotam práticas sustentáveis não apenas atendem às exigências legais, mas também conquistam vantagem competitiva e melhoram sua imagem perante a sociedade. Conclui-se que a administração é uma aliada indispensável para a engenharia ambiental, sendo essencial na construção de um modelo de desenvolvimento que alie progresso econômico à responsabilidade ecológica, contribuindo para um futuro mais equilibrado, justo e ambientalmente consciente.

Palavras-chave: Administração; Engenharia Ambiental; Sustentabilidade; Gestão Ambiental; ISO 14001.

ABSTRACT

This work deals with the relevance of administration in environmental engineering, highlighting its importance for sustainability and the efficient management of environmental impacts in organizations. The main objective is to show how the integration of technical knowledge and administrative skills enhances the performance of environmental engineers in drawing up public policies, audits, certifications and the use of tools such as the Environmental Management System (EMS). The methodology used was bibliographical research, based on authors such as Tavares, Gusmão, Garcia, Flickinger, Gonçalves, Machado, Carvalho and Tachizawa. Based on a critical and historical analysis, it was observed that the negative impacts of industrialization on the environment have driven the need for management actions aimed at preserving and adapting production processes. The creation of standards such as ISO 14001 and the application of environmental control systems demonstrate the evolution of ecological awareness in companies. The EMS, in particular, is proving to be an effective tool for monitoring waste, environmental planning and promoting eco-efficiency. The results show that companies that adopt sustainable practices not only meet legal requirements, but also gain a competitive advantage and improve their image in society. The conclusion is that administration is an indispensable ally for environmental engineering, and is essential in building a



development model that combines economic progress with ecological responsibility, contributing to a more balanced, fair and environmentally conscious future.

Keywords: Administration; Environmental Engineering; Sustainability; Environmental Management; ISO 14001.



1 INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como foco a análise da importância da administração no contexto da engenharia ambiental, considerando os desafios enfrentados pelas organizações diante das exigências ambientais, da necessidade de desenvolvimento sustentável e da gestão estratégica dos recursos naturais. A crescente preocupação com os impactos ambientais gerados por atividades humanas, especialmente a partir da Revolução Industrial, tem impulsionado a adoção de práticas administrativas voltadas à sustentabilidade, tornando a integração entre gestão e engenharia uma exigência contemporânea.

A pesquisa desenvolvida foi de natureza bibliográfica, com base em obras de autores como Tavares, Gusmão, Garcia, Flickinger, Gonçalves, Machado, Carvalho, Tachizawa, Souza, Weber, Diniz, Pimenta, Andrade e Meyer. O objetivo principal do estudo é demonstrar que a administração, quando aplicada à engenharia ambiental, fortalece as ações empresariais em prol do meio ambiente e potencializa o papel do engenheiro ambiental como agente de transformação sustentável. A hipótese que orienta esta investigação é que a formação interdisciplinar — unindo saberes técnicos e administrativos — é fundamental para o sucesso das ações ambientais nas organizações. A justificativa para o tema está na crescente demanda por práticas corporativas sustentáveis, na evolução das normas regulatórias e na pressão social por responsabilidade ambiental.

O trabalho está estruturado em três partes. A primeira parte, intitulado "Evolução da Consciência Ambiental", apresenta um panorama histórico sobre a construção da preocupação ecológica na sociedade, desde os impactos da industrialização até os marcos políticos internacionais, como a Conferência de Estocolmo (1972) e a Rio-92. Esse capítulo evidencia como o desenvolvimento sustentável passou a ser incorporado nos discursos e estratégias corporativas.

A segunda parte, "A Importância da Administração na Engenharia Ambiental", discute o papel da gestão na atuação do engenheiro ambiental. Aborda-se o uso de ferramentas como o planejamento estratégico, a gestão de projetos e a análise de riscos ambientais, além de destacar a relevância da formação multidisciplinar e da liderança técnica na implementação de soluções sustentáveis nas organizações.

A terceira parte, "Sistema de Gestão Ambiental", trata da estrutura, do funcionamento e dos objetivos do SGA, com ênfase na norma ISO 14001. Esse capítulo descreve as etapas de implementação, os benefícios para as empresas e a contribuição do SGA na construção de uma cultura organizacional ambientalmente responsável. Também aborda a importância da logística reversa, da gestão de resíduos e da conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

A conclusão retoma os principais pontos discutidos, reafirmando a tese de que a administração é uma aliada estratégica da engenharia ambiental, ao passo que a atuação integrada entre ambas é indispensável para o desenvolvimento sustentável das organizações e para a preservação do meio ambiente no cenário atual.



2 DESENVOLVIMENTO

2.1 EVOLUÇÃO DA CONSCIÊNCIA AMBIENTAL

Conforme aponta Weber (1999), a sociedade passou a reconhecer a importância da preservação ambiental para a sobrevivência humana. Inicialmente, acreditava-se que os danos ao ecossistema afetavam apenas a natureza, sem maiores impactos para o ser humano. Ainda segundo o autor, a poluição foi mais acentuada em países em desenvolvimento, devido à ausência de infraestrutura adequada e à falta de preocupação com práticas sustentáveis, o que agravou o efeito estufa e a destruição da camada de ozônio, contribuindo para as mudanças climáticas que atualmente afetam tanto o meio ambiente quanto as populações. Nos anos 1970, a temática ambiental era valorizada basicamente por ecologistas, sendo ignorada pela maioria da sociedade. Weber também ressalta que, à época, as agressões ambientais eram vistas como parte inevitável do progresso econômico e social. Um exemplo dessa visão limitada ocorreu na Conferência de Estocolmo, em 1972, quando o Brasil foi criticado internacionalmente por priorizar unicamente o crescimento econômico em detrimento das questões ambientais (Miranda, 2010).

Durante a década de 1980, surgiram iniciativas empresariais mais efetivas voltadas à gestão ambiental. Entre 1970 e 1985, teve início o movimento conhecido como "adaptação resistente", que introduziu a preocupação ambiental nas estratégias corporativas (Souza, 2002). Já nos anos 1990, com o fortalecimento do ambientalismo empresarial, o World Business Council for Sustainable Development difundiu o conceito de desenvolvimento sustentável, destacando a integração entre aspectos econômicos, sociais e ambientais, diferenciando-se do corporativismo tradicional, que se concentrava apenas na produção (Pimenta, 2008). Como consequência, o desenvolvimento sustentável passou a ser valorizado pelas empresas como princípio estratégico e passou a nortear ações produtivas, marketing verde e práticas sustentáveis (Diniz, 2009). Um marco importante foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 — a Rio-92. Segundo Souza (2008), esse evento foi decisivo para ampliar a consciência ambiental e promover debates sobre os impactos causados pelas atividades humanas. Com o tempo, as pressões sociais e políticas impulsionaram o crescimento da relevância das questões ambientais nas comunidades e nas corporações. Ainda conforme Souza (2002), esse movimento contribuiu para a inserção do pensamento sustentável nas estratégias de mercado, nas políticas públicas e na economia em geral, tornando-se elemento essencial para diferentes tipos de organização.

Nos dias atuais, o desenvolvimento sustentável é um dos temas centrais nas agendas globais, com discussões aprofundadas em torno de sua definição e aplicação (Andrade, 2000). De acordo com o Relatório *Brundtland*, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU, o desenvolvimento sustentável busca suprir as necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras. Meyer (2000) reforça essa ideia ao destacar que esse modelo de desenvolvimento deve conciliar



crescimento econômico e responsabilidade ambiental, especialmente no uso dos recursos naturais.

2.2 A IMPORTÂNCIA DA ADMINISTRAÇÃO NA ENGENHARIA AMBIENTAL

Segundo Tavares (2023), a administração exerce um papel essencial na engenharia ambiental ao fornecer os meios necessários para que os profissionais da área possam estruturar, organizar, conduzir e supervisionar projetos voltados à conservação ambiental, ao desenvolvimento sustentável e à minimização dos impactos causados pelas atividades humanas. Diante da crescente complexidade dos problemas enfrentados na contemporaneidade — como a escassez de água, a poluição atmosférica e hídrica, o descarte inadequado de resíduos e os efeitos das mudanças climáticas —, é fundamental que os engenheiros ambientais estejam capacitados não apenas do ponto de vista técnico, mas também sob uma ótica gerencial.

Nesse sentido, a administração disponibiliza instrumentos estratégicos que favorecem a tomada de decisões mais precisas, a utilização eficiente de recursos e a viabilidade econômica e ecológica dos empreendimentos. O planejamento estratégico, por exemplo, permite estabelecer metas objetivas, mapear riscos e delinear ações preventivas. A gestão de projetos, por sua vez, assegura o controle sobre cronogramas, orçamentos e padrões de qualidade, viabilizando a execução eficaz de soluções sustentáveis (Tavares, 2023).

A atuação do engenheiro ambiental ocorre, frequentemente, em ambientes interdisciplinares que exigem habilidades de liderança, negociação e comunicação com diversos profissionais, como biólogos, economistas, juristas e gestores. Assim, disciplinas como liderança, marketing ambiental, empreendedorismo e responsabilidade socioambiental têm ganhado crescente importância na formação desses profissionais (Tavares, 2023).

Além disso, a administração é indispensável na formulação de políticas públicas, auditorias, certificações e na implementação de sistemas de gestão ambiental como o ISO 14001. Profissionais com essa dupla formação conseguem alinhar os objetivos técnicos e ecológicos com os interesses empresariais e sociais, promovendo inovações sustentáveis (Garcia, 2018).

Conforme Gusmão (2019), a vida humana é intrinsecamente dependente dos sistemas naturais, o que exige um número cada vez maior de ações voltadas à sustentabilidade aliada ao progresso social. A poluição, como destaca Flickinger (2018), intensificou-se a partir da Revolução Industrial, com a emissão descontrolada de gases oriundos das fábricas. No entanto, a consciência ambiental só ganhou espaço nas sociedades quando a degradação tornou-se evidente e de grande escala (Gonçalves, 2019).

Nesse cenário, as indústrias da época priorizavam a produtividade sem qualquer compromisso com os impactos ambientais, explorando de forma predatória os recursos naturais (Flickinger, 2018). A partir das décadas de 1950 e 1960, começaram a surgir mobilizações em prol da preservação ambiental, que



gradualmente exigiram mais rigor nas punições para os crimes ecológicos (Gonçalves, 2019). A principal meta passou a ser conciliar o crescimento industrial com práticas sustentáveis (Garcia, 2018).

Segundo Gonçalves (2019), a gestão eficiente dos processos produtivos é imprescindível para se evitar desperdícios e garantir a efetividade da sustentabilidade nas organizações. A implementação de políticas ambientais — tanto nacionais quanto internacionais — visa promover o desenvolvimento social com menos desigualdades, alicerçado no cuidado com o meio ambiente (Machado, 2018).

Profissionais qualificados em engenharia ambiental, segundo Garcia (2018), possuem o preparo necessário para atuar de forma estratégica, equilibrando a preservação ambiental com o crescimento das empresas. Isso implica respeitar os princípios ecológicos e incorporar práticas sustentáveis no desenvolvimento de produtos e serviços (Machado, 2018).

A gestão ambiental nasce, como lembra Gusmão (2019), da necessidade de adequar os processos produtivos a políticas ambientais responsáveis. As empresas, portanto, precisam elaborar planos de contenção e reestruturação em caso de acidentes ambientais (Machado, 2018).

Para Flickinger (2018), a crescente preocupação com a degradação ambiental resultou em eventos marcantes como o Relatório do Clube de Roma e a Conferência de Estocolmo em 1972. Esses encontros incentivaram países a criarem padrões de controle e qualidade industrial baseados em avaliações de impacto ambiental, ainda que de maneira reativa.

Essas iniciativas motivaram o surgimento de políticas de controle dos danos ambientais provocados pelas atividades industriais, tornando possível um desenvolvimento mais consciente (Gonçalves, 2019). Tais compromissos se consolidaram globalmente por meio da atuação de ONGs, centros de pesquisa e políticas públicas (Machado, 2018).

Garcia (2018) ressalta que a preservação ambiental deve ser um esforço coletivo, que envolve governos, empresas e sociedade civil. Já nos anos 1980, as empresas começaram a compreender os benefícios da minimização de resíduos e da reciclagem como diferenciais competitivos.

A partir dos anos 1990, os códigos voluntários de conduta, como a ISO 14000, marcaram uma nova era na responsabilidade ambiental das empresas, introduzindo a ideia de ecoeficiência e gestão sustentável (Machado, 2018). Essas práticas passaram a integrar os sistemas de produção de forma a minimizar os impactos ecológicos (Garcia, 2018).

A pressão social por padrões produtivos mais limpos levou as organizações a se comprometerem com a sustentabilidade, adaptando-se a exigências ambientais cada vez mais rigorosas (Gusmão, 2019). Para Garcia (2018), a degradação ambiental, como o desmatamento e a contaminação dos rios, já era observada há tempos e impulsionou as primeiras ações de gestão ambiental.

Historicamente, como aponta Gusmão (2019), os alertas ambientais surgiram diante do esgotamento de recursos naturais, como a madeira, já na Idade Média. No entanto, a consciência ecológica moderna



ganhou força nas décadas de 1960 e 1970, passando a influenciar positivamente o comportamento empresarial a partir dos anos 1980 (Carvalho, 2019).

Com a implementação de Sistemas de Gestão Ambiental, tornou-se possível monitorar os resíduos e seu ciclo de vida, estabelecendo metas claras para sua redução. A administração moderna passou a incorporar a questão ambiental em seus objetivos, promovendo medidas ecológicas como reciclagem e economia de energia, transformando o cuidado com o meio ambiente em um investimento e em uma vantagem competitiva (Garcia, 2018).

2.3 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL

O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) envolve um conjunto de métodos de gestão com o objetivo de tornar os processos produtivos e de prestação de serviços das empresas mais sustentáveis. Por meio do SGA, as empresas definem sua gestão ambiental, estabelecem objetivos e indicadores, além de determinar como serão monitorados. Também identifica quais processos impactam o meio ambiente (Carvalho, 2019).

O SGA foi normatizado pela ABNT NBR ISO 14001, que visa controlar os processos empresariais em relação ao meio ambiente, abordando riscos, melhorias contínuas, prevenção de acidentes e redução de impactos ambientais (Tachizawa, 2019). A implementação do SGA é obrigatória para empresas sujeitas à PNRS, e todos os setores devem estar alinhados com os objetivos do sistema. Na fase inicial, realiza-se um mapeamento das atividades da empresa para identificar os aspectos e impactos ambientais gerados (Carvalho, 2019).

É essencial que as soluções tecnológicas respeitem as exigências legais de cada setor. Por exemplo, indústrias de pneus devem criar e implementar um sistema de logística reversa, conforme exigido por lei (Carvalho, 2019). Em seguida, inicia-se o planejamento do SGA, que inclui a avaliação dos impactos ambientais das atividades e a identificação dos requisitos legais pertinentes (Scherer, 2019).

A gestão de resíduos é uma aliada importante para mitigar os impactos negativos, especialmente os relacionados ao descarte final, contribuindo para a sustentabilidade ao adotar práticas que preservam o meio ambiente (Tachizawa, 2019). O SGA permite o controle dos resíduos, o acompanhamento de seu ciclo de vida e a definição de objetivos para reduzir sua geração.

Para compreender a relação entre a empresa e o meio ambiente, é necessário aceitar que a empresa é um sistema aberto, conforme a teoria de sistemas. As interpretações tradicionais tendem a apresentar uma visão limitada dos efeitos das empresas em seu entorno. O SGA estabelece como as organizações devem gerenciar o meio ambiente e quais indicadores devem ser monitorados. As normas ISO 14000 definem requisitos para organizações que buscam implementar um SGA e obter certificação, reduzindo os danos ambientais (Machado, 2018).

As empresas estão implementando mudanças para atender às necessidades de desenvolvimento



sustentável, criando políticas econômicas que favorecem ações sustentáveis. A gestão ambiental se torna estratégica para aumentar a competitividade e responder a pressões políticas e sociais (Gonçalves, 2019). As organizações têm se adaptado continuamente às novas demandas, com uma crescente preocupação com a situação ambiental do planeta e seus impactos. As práticas empresariais voltadas à minimização desses impactos têm gerado vantagens competitivas, refletindo a preocupação da sociedade com a escassez de recursos naturais (Scherer, 2019).

A adoção de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é fundamental para que as empresas se tornem mais sustentáveis e competitivas no cenário atual. Ao integrar práticas de gestão ambiental em seus processos, as organizações não apenas atendem às exigências legais, mas também demonstram um compromisso com a preservação do meio ambiente. A implementação eficaz do SGA permite o controle dos impactos ambientais, a identificação de oportunidades para melhoria contínua e a promoção de uma cultura de responsabilidade ambiental (Carvalho, 2019).

À medida que a sociedade se torna mais consciente dos desafios ambientais, as empresas que investem em sustentabilidade ganham vantagem competitiva e melhoram sua imagem perante clientes, investidores e a comunidade. Assim, o SGA não é apenas uma exigência regulatória, mas uma estratégia essencial para o desenvolvimento sustentável, que une interesses econômicos e ambientais em prol de um futuro mais equilibrado e saudável.

3 CONCLUSÃO

A presente pesquisa possibilitou uma reflexão profunda e fundamentada sobre a importância da administração no exercício da engenharia ambiental, revelando que a integração entre essas duas áreas do conhecimento é essencial para a construção de soluções eficazes diante dos desafios ambientais contemporâneos. Ao longo do trabalho, observou-se que as transformações sociais, políticas e econômicas ocorridas nas últimas décadas impulsionaram a consciência ecológica e tornaram indispensável a adoção de práticas gerenciais que incorporem o conceito de sustentabilidade como valor organizacional.

Com base na literatura consultada, verificou-se que os impactos negativos gerados pelo modelo de desenvolvimento industrial, especialmente nos países em desenvolvimento, evidenciaram a necessidade de uma nova postura empresarial diante do meio ambiente. A degradação ambiental, a escassez de recursos naturais e as mudanças climáticas tornaram-se questões centrais, demandando ações imediatas por parte do setor produtivo. A partir disso, a administração passa a ser vista como uma aliada estratégica da engenharia ambiental, por fornecer ferramentas de planejamento, controle e avaliação que tornam as práticas ambientais mais eficientes e integradas à lógica dos negócios. O estudo demonstrou que o engenheiro ambiental precisa estar preparado não apenas tecnicamente, mas também gerencialmente, com capacidade de liderar projetos sustentáveis, elaborar diagnósticos ambientais, gerir



equipes multidisciplinares e implementar políticas públicas e privadas de preservação e recuperação ambiental. Nesse contexto, ferramentas como o Sistema de Gestão Ambiental (SGA), normatizado pela ISO 14001, se destacam como instrumentos indispensáveis à governança corporativa, pois contribuem para o monitoramento de resíduos, a redução dos impactos ambientais, a conformidade legal e a valorização da imagem institucional perante a sociedade. Outro ponto relevante foi a análise da evolução histórica da consciência ambiental, que permitiu compreender como os debates globais — como os realizados na Conferência de Estocolmo (1972) e na Rio-92 — influenciaram diretamente as práticas empresariais e políticas públicas. A partir dos anos 1990, a sustentabilidade deixou de ser um diferencial e passou a constituir um critério obrigatório para a competitividade das organizações, levando ao surgimento do

ambientalismo empresarial e da incorporação de valores verdes nas cadeias produtivas.

É possível concluir que o desenvolvimento sustentável, ao articular os aspectos econômicos, sociais e ambientais, exige uma atuação integrada de profissionais capacitados, capazes de pensar estrategicamente a sustentabilidade. Nesse sentido, a administração oferece os meios para que a engenharia ambiental possa atingir seus objetivos com eficiência, responsabilidade e inovação. A gestão estratégica ambiental, quando bem aplicada, transforma o papel das empresas de agentes poluidores em protagonistas da preservação ambiental e do progresso sustentável.

Portanto, é precípuo que as instituições de ensino, empresas e governos invistam na formação de engenheiros ambientais com visão gerencial e pensamento sistêmico, aptos a tomar decisões sustentáveis em contextos cada vez mais complexos. A administração, ao lado da engenharia ambiental, constitui-se como uma ferramenta poderosa na construção de uma sociedade mais justa, ambientalmente equilibrada e comprometida com as futuras gerações.



REFERÊNCIAS

ANDRADE, O. B. Gestão Ambiental - Enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento Sustentável. São Paulo: Makron Book, 2000.

CARVALHO, Alexandre B. M.; Frosini, Luis H.; Frazão, Rogério. Sistema ISO de gestão ambiental. Revista Controle da Qualidade, São Paulo, n. 45, 2016.

DINIZ, R. V. W. Contribuição da ISO 14.001 para a construção de um novo paradigma nas empresas: estudo de caso em uma empresa certificada da Paraíba. 2009. 163 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

FLICKINGER, Hans-George. O ambiente epistemológico da educação ambiental. In: Educação e realidade. Porto Alegre, v. 19, n. 2, jul./dez. 2018.

GARCIA, Regina Leite. Educação ambiental: uma questão mal colocada. In: Cadernos Cedes: Educação ambiental. Campinas: Papirus, v. 29, p. 31-37, 2018.

GONÇALVES, Carlos Walter Porto. Os (des)caminhos do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 2019.

GUSMÃO, Antônio Carlos de Freitas de. Gestão Ambiental na Indústria. Rio de Janeiro: SMS Digital, 2019.

MACHADO, Paulo de Almeida. Ecologia humana. São Paulo: Cortez, 2018. MEYER, M. M. Gestão ambiental no setor mineral: um estudo de caso.

Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MIRANDA, M. B. Pessoa Jurídica e o Meio Ambiente: um panorama legal sobre a situação brasileira. Revista Virtual Direito Brasil, v.4, n.2. 2010.

PIMENTA, H. C. D. A produção mais limpa como ferramenta em busca da sustentabilidade empresarial: um estudo de múltiplos casos em empresas do estado do Rio Grande do Norte. Natal, 2008. Disponível em: http://pep.ufrn.br/publicacoes/publicacao 88.pdf. Acesso em: 17 Mai.2025.

SCHERER, Sistema de gestão ambiental – guia geral sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Manual de apoio da Empresa IGARAS Papéis e Embalagens S.A., 2019.

SOUZA, F. C. C. Evolução e condicionantes da gestão ambiental nas empresas. READ-Eletrônica, São Paulo, v.8, n.6, nov./dez. 2002. Disponível em: http://seer.ufrgs.br/read/article/view/15611. Acesso em: 17 Mai.2025.

TACHIZAWA, T. Gestão ambiental e responsabilidade corporativa: estratégia de negócios focadas na realidade brasileira. São Paulo: Atlas, 2019.

TAVARES, Bruno de Sousa Carvalho. A Importância do Sistema de Gestão Ambiental: para Pequenas Empresas. REBENA - Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem, v. 6, p. 270-281, 2023.



WEBER, P. S. A gestão ambiental na empresa. Ambiente Brasil – portal ambiental. Curitiba. In: Revista Sanare, v.12. jul-dez. 1999. Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/gestao/artigos/a_gestao_ambiental_na_ empresa.html. Acesso: 17 Mai.2025.



A ATUAÇÃO DO ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO

THE ROLE OF THE PRODUCTION ENGINEER IN THE JOB MARKET

di https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-008

Jaci Pereira de Castro

Graduação: Tecnólogo em Segurança Pública Pós-graduação MBA em Gestão de Obras, Qualidade e Desempenho das Construções FACPRISMA

E-mail: jacipcastro4@gmail.com

RESUMO

Este trabalho aborda a atuação do engenheiro de produção no mercado de trabalho, analisando as competências, desafios e oportunidades que caracterizam a prática desse profissional no contexto contemporâneo, marcado pela globalização, avanços tecnológicos e intensa competitividade. O objetivo principal foi compreender como o engenheiro de produção contribui para a otimização de processos produtivos e para a promoção da competitividade organizacional. A metodologia adotada foi a pesquisa bibliográfica, com base em autores consagrados da área, permitindo uma análise teórica acerca da evolução histórica da Engenharia de Produção, dos principais desafios enfrentados e das perspectivas futuras da profissão. Como resultado, identificou- se que o engenheiro de produção, graças à sua formação multidisciplinar, desempenha um papel estratégico na gestão da qualidade, na logística, no planejamento estratégico e na adoção de tecnologias emergentes, como a Indústria 4.0. Além disso, constatou-se que a atuação desse profissional é essencial para que as organizações se adaptem às demandas de um mercado globalizado, buscando sempre a inovação e a sustentabilidade. A conclusão do estudo reforça a ideia de que o engenheiro de produção é uma figura central na transformação e modernização das organizações, sendo indispensável para a construção de ambientes produtivos mais eficientes e competitivos. Dessa forma, este trabalho contribui para uma melhor compreensão das competências requeridas na formação e no exercício profissional do engenheiro de produção, além de apontar a necessidade contínua de atualização frente às rápidas mudanças tecnológicas e organizacionais que impactam o setor produtivo em escala global.

Palavras-chave: Engenharia de Produção; Mercado de Trabalho; Competitividade.

ABSTRACT

This paper looks at the role of the production engineer in the job market, analyzing the skills, challenges and opportunities that characterize the practice of this professional in the contemporary context, marked by globalization, technological advances and intense competitiveness. The main objective was to understand how the production engineer contributes to optimizing production processes and promoting organizational competitiveness. The methodology adopted was bibliographical research, based on renowned authors in the field, allowing a theoretical analysis of the historical evolution of Production Engineering, the main challenges faced and the future prospects of the profession. As a result, it was identified that production engineers, thanks to their multidisciplinary training, play a strategic role in quality management, logistics, strategic planning and the adoption of emerging technologies, such as Industry 4.0. In addition, it was found that the work of this professional is essential for organizations to adapt to the demands of a globalized market, always seeking innovation and sustainability. The conclusion of the study reinforces the idea that the production engineer is a central figure in the transformation and modernization of organizations, and is indispensable for building more efficient and competitive production environments. In this way, this work contributes to a better understanding of the skills required in the training and professional practice of



production engineers, as well as pointing out the continuous need for updating in the face of the rapid technological and organizational changes impacting the production sector on a global scale.

Keywords: Production Engineering; Labor Market; Competitiveness.



1 INTRODUÇÃO

A literatura consultada evidencia a evolução da Engenharia de Produção desde as práticas artesanais até sua consolidação como área acadêmica e profissional. Autores como Leme (1983), Fleury (2008), Batalha (2008), Jardim e Costa (2005) e Cunha et al. (2010) destacam a importância desse profissional na gestão da qualidade, na logística, no planejamento estratégico e na adoção de tecnologias emergentes, como as associadas à Indústria 4.0. A hipótese que orienta este estudo é a de que o engenheiro de produção, em função de sua formação multidisciplinar, desempenha papel essencial não apenas na otimização de processos produtivos, mas também na promoção da competitividade organizacional e na adaptação das empresas às demandas de um mercado cada vez mais dinâmico e globalizado.

Os objetivos específicos desta pesquisa são apresentar a evolução histórica da Engenharia de Produção, identificar os principais desafios enfrentados pelos engenheiros no mercado atual, analisar sua atuação em diferentes setores, destacando competências essenciais, e discutir as perspectivas futuras da profissão diante das transformações tecnológicas e organizacionais. A justificativa para o desenvolvimento deste trabalho reside na necessidade de compreender de forma sistemática o papel do engenheiro de produção, contribuindo para a formação acadêmica e profissional de futuros engenheiros e para o aprimoramento das práticas organizacionais.

O trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica, com base em autores consagrados da área, e está estruturado em quatro partes principais. A introdução apresenta o tema, sua relevância, os objetivos, a hipótese e a justificativa, além de descrever a organização do trabalho. O desenvolvimento é dividido em três seções: a primeira aborda o surgimento da Engenharia de Produção e sua evolução histórica; a segunda analisa os desafios enfrentados pelo engenheiro de produção, especialmente no que se refere à necessidade de conciliar produtividade, qualidade e competitividade em ambientes complexos e globalizados; e a terceira explora a atuação desse profissional no mercado, destacando as competências requeridas e as oportunidades em diversos setores econômicos. A conclusão sintetiza os principais achados do estudo, válida ou refuta a hipótese proposta e apresenta considerações sobre o futuro da profissão, indicando possíveis caminhos para novas pesquisas. Por fim, as referências reúnem todas as fontes bibliográficas utilizadas, garantindo a fundamentação teórica e a credibilidade do trabalho. Dessa forma, busca-se oferecer uma visão abrangente e atualizada sobre a Engenharia de Produção, ressaltando sua importância estratégica para o desenvolvimento organizacional e social no contexto contemporâneo.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 O SURGIMENTO DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

A Engenharia de Produção, inicialmente conhecida como "Engenharia Industrial", teve suas raízes no período artesanal, quando os artesãos começaram a se preocupar em organizar, mensurar e



aprimorar suas produções. Com a Revolução Industrial, que teve início na Inglaterra no século XVIII, surgiu a Era da manufatura, na qual os trabalhos manuais foram substituídos por máquinas, exigindo uma abordagem mais apropriada para o processo produtivo.

De acordo com Leme (1983), os primeiros registros dessa área surgiram entre o final do século XIX e o início do século XX, com pioneiros como Frederick Winslow Taylor, Harrington Emerson e Henry Gantt, que realizaram estudos sobre métodos para reduzir tempos e movimentos nas fábricas, visando aumentar a produtividade. Esse enfoque ficou conhecido como "Administração Científica" (do inglês Scientific Management). Seguindo a adequação proposta por Fleury (2008), a Associação Americana de Engenharia Industrial define a Engenharia de Produção da seguinte forma:

A Engenharia de Produção trata do projeto, aperfeiçoamento e implantação de sistemas integrados de pessoas, materiais, informações, equipamentos e energia, para a produção de bens e serviços, de maneira econômica, respeitando os princípios éticos e culturais. Tem como base os conhecimentos específicos e as habilidades associadas às ciências físicas, matemáticas e sociais, assim como aos princípios e métodos de análise da engenharia de projeto para especificar, predizer e avaliar os resultados obtidos por tais temas (Fleury, 2008, p. 32).

Os métodos criados foram amplamente utilizados no sistema de produção em massa da indústria automobilística, com Henry Ford sendo o pioneiro ao implementar o conceito de linha de montagem seriada. Isso resultou em aumento das taxas de produtividade, diminuição dos custos de produção e, consequentemente, em lucros significativos, impactando inicialmente as práticas de gestão nas empresas dos Estados Unidos e, posteriormente, em todo o mundo.

2.2 OS DESAFIOS DO ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

Conciliar todos os elementos que compõem os sistemas de produção de maneira harmoniosa, visando uma maior produtividade e redução de custos, representa um desafio significativo para os profissionais de Engenharia de Produção que estão entrando no mercado de trabalho atualmente (Faé; Ribeiro, 2005).

Os sistemas de produção não estão mais necessariamente concentrados num local, mas dispersos pelo mundo, envolvendo diferentes tipos de empresas em diferentes países, envolvendo sistemas de logísticas, exigindo uma enorme capacidade de coordenação e tendo de ser ágil, flexível e, ao mesmo tempo, eficiente (Batalha, 2008, p. 9).

Segundo Batalha (2008, p. 6) "para desenvolver corretamente sua atividade como engenheiro de produção, a pessoa precisa entender quem influencia na forma como os sistemas de produção têm de ser projetados, implantados e aperfeiçoados."



O objetivo, então, parece bem definido para a maioria das empresas: aumentar sua produtividade e oferecer a qualidade, o custo e a confiabilidade que o cliente deseja. O desafio está em desenhar uma estrutura inteligente de produção integrada, com redução de custos, otimização de recursos, gerenciamento eficiente de estoques e garantia da qualidade (Cordeiro et al., 2012, p. 2).

Nesse contexto, Batalha (2008) destaca que ainda há um longo caminho a percorrer nas áreas de comunicação e computação, elementos que favorecem a evolução na organização dos sistemas de produção e contribuem para sua fragmentação e dispersão.

2.3 COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL

O mercado atual exige que empresas e organizações integrem a gestão da produção com outros setores, passando de uma abordagem meramente tática e operacional para uma perspectiva estratégica (Jardim; Costa, 2005). O cenário contemporâneo é marcado pela internacionalização e globalização da economia, resultando em níveis crescentes de competitividade. Assim, a Produtividade e a Qualidade, que historicamente foram focos de interesse na Engenharia de Produção, tornaram-se necessidades competitivas globais, relevantes não apenas para organizações, mas também para diversos países (ENCEP, 2001, p. 2).

Com a globalização, cresce a preocupação com a qualidade e a busca por transformações estruturais nos processos produtivos, visando aumentar a competitividade com foco nas necessidades dos clientes (Mariano *et al.*, 2012, p. 1). O engenheiro de produção possui uma formação abrangente, que permite a identificação de soluções efetivas e duradouras para os desafios enfrentados (Jardim; Costa, 2005).

Ao longo do tempo, os sistemas produtivos evoluíram, desde a produção artesanal até a produção em massa, e, atualmente, com a adoção de métodos como a produção enxuta e filosofias japonesas. O engenheiro de produção tem se adaptado às demandas da sociedade capitalista, incorporando novas ciências ao seu aprendizado (Piratelli, 2005, p. 6).

Jardim e Costa (2005, p. 2) destacam que as transformações nos métodos e tecnologias de gestão da produção de bens e serviços nas últimas décadas têm sido rápidas e significativas, contribuindo para o sucesso e a competitividade das organizações globalmente. Fatores como demanda, segmento industrial, tipo de produto, processo de fabricação, capacitação da equipe e cultura organizacional influenciam de maneira distinta a aplicabilidade dos métodos e técnicas de gestão da produção (Jardim; Costa, 2005). Nesse novo cenário de gestão, o engenheiro de produção tornou-se uma figura essencial.

Os profissionais precisam ser capazes de avaliar de um lado os componentes conceituais, tecnológicos, humanos e organizacionais e, de outro, as suas interrelações, origens, possibilidades de adaptação a outros ambientes, processos de implantação, experiências práticas passadas, e perspectivas futuras. (Jardim; Costa, 2005, p. 2).

A atuação do engenheiro de produção é vital dentro da Gestão da Qualidade, conforme ressaltam Netto e Tavares (2008). Em um mercado competitivo, é essencial contar com profissionais que consigam



gerenciar todo o processo de qualidade, desde a sua concepção até a finalização de produtos ou serviços. Outro aspecto importante na formação do engenheiro de produção é a logística. Vieira *et al.* (2012, p. 1) afirmam que "a competitividade das empresas no contexto internacional depende, entre outros fatores, do aprimoramento de seu processo logístico como um todo."

Na área de Gestão Econômica, esse profissional pode contribuir de forma significativa para a competitividade da empresa. Netto e Tavares (2008, p. 11) destacam que o engenheiro de produção é capacitado a realizar estudos de mercado que ajudam a definir a competitividade entre as empresas e a identificar fatores determinantes, considerando sua capacidade competitiva através de projetos. Ele possui uma visão integrada dos sistemas de produção, sendo capaz de desenvolver novos modelos e sistemas que melhorem essa competitividade.

Diante das incertezas do mercado, os gestores têm buscado maneiras mais estruturadas de tomar decisões, garantindo a competitividade organizacional e a sustentabilidade dos negócios (Piana *et al.*, 2012, p. 3). Batalha (2008) ressalta que áreas tradicionais da Engenharia de Produção, como Gestão de Operações e Qualidade, capacitam os profissionais a enfrentar a intensa competição do mercado. A necessidade de oferecer produtos e serviços de qualidade a um custo reduzido é cada vez mais premente.

Cordeiro *et al.* (2012, p. 1) afirmam que a disputa por consumidores intensificou a competitividade entre as empresas, onde a manutenção de uma produção eficiente é crucial para alcançar a excelência. Eles observam que os mecanismos de planejamento e controle da produção são essenciais para um sistema produtivo mais eficiente, com o objetivo de otimizar as etapas de aquisição, armazenamento e distribuição (Cordeiro *et al.*, 2012, p. 2).

Batalha (2008) também menciona que empresas com um planejamento estratégico sólido têm mais chances de se manter no mercado competitivo, embora isso não garanta o sucesso. O planejamento estratégico é uma ferramenta que o engenheiro de produção pode implementar. Lira *et al.* (2012) destacam a importância desse planejamento na competitividade entre empresas, sugerindo que a adoção de estratégias alinhadas com a realidade do mercado é fundamental para o sucesso organizacional.

O conhecimento se tornou uma vantagem competitiva crucial na gestão empresarial, abrangendo estratégia, qualidade e controle de processos produtivos, áreas que fazem parte da formação em Engenharia de Produção (Cunha *et al.*, 2010). Segundo Cunha *et al.* (2010, p. 35), essa formação permite que a Engenharia de Produção articule funções clássicas como mercado, finanças e produção, integrando-as ao conhecimento tecnológico.

Durante o ENCEP de 2001, foi destacado que a formação dos grandes blocos econômicos e conceitos como Manufatura de Classe Mundial e Gestão da Qualidade Total evidenciam a necessidade de profissionais com domínio sobre temas ligados ao processo produtivo. Os avanços tecnológicos também exigem esses profissionais com habilidades amplas em Engenharia de Produção, refletindo mudanças



significativas nas expectativas de mercado (ENCEP, 2001, p. 2).

Por fim, Oliveira (2005, p. 3) afirma que o conhecimento é um dos ativos mais valiosos das empresas atualmente, influenciando diretamente a obtenção de vantagem competitiva em processos produtivos e gestão, áreas essenciais à Engenharia de Produção.

2.4 ATUAÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO

A atuação do engenheiro de produção no mercado de trabalho é fundamental para a otimização de processos e a melhoria da eficiência nas organizações. Esse profissional é responsável por planejar, implementar e gerenciar sistemas de produção, integrando pessoas, materiais e tecnologias. Sua formação abrange conhecimentos em áreas como engenharia, administração, economia e logística, o que lhe confere uma visão ampla e estratégica (Cunha *et al.*, 2010).

No contexto atual, onde a competitividade é intensa, o engenheiro de produção desempenha um papel crucial na busca por inovação e redução de custos. Ele atua em diversos setores, como indústria, serviços, agronegócio e tecnologia, adaptando-se às demandas específicas de cada área. Entre suas atividades, destacam-se a análise de processos, o gerenciamento de projetos, a implementação de metodologias de melhoria contínua, como Lean Manufacturing e Six Sigma, e a coordenação de equipes multidisciplinares (Cunha *et al.*, 2010).

Além disso, a crescente adoção de tecnologias digitais, como a Indústria 4.0, tem ampliado as oportunidades para esses profissionais. Eles estão cada vez mais envolvidos em projetos que envolvem automação, big data e inteligência artificial, contribuindo para a transformação digital das empresas. Essa versatilidade e capacidade de adaptação tornam o engenheiro de produção uma peça-chave na construção de ambientes de trabalho mais eficientes e sustentáveis (Cunha *et al.*, 2010).

Em suma, a atuação do engenheiro de produção no mercado de trabalho é marcada pela busca incessante por melhoria e inovação. Sua presença é essencial para que as organizações se mantenham competitivas e capazes de responder às demandas de um mercado em constante evolução.

3 CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho reforça a importância estratégica da atuação do engenheiro de produção no mercado contemporâneo, marcado pela intensa competitividade, pela globalização e pela constante evolução tecnológica. A partir da análise desenvolvida, confirmou-se a hipótese de que esse profissional exerce um papel fundamental na promoção da eficiência organizacional, na integração de sistemas complexos e na busca contínua pela inovação e sustentabilidade. Conforme salientado por Fleury (2008), a Engenharia de Produção não se limita apenas ao domínio técnico, mas envolve a gestão integrada de pessoas, materiais, informações, equipamentos e energia, o que exige uma formação ampla e



multidisciplinar, capaz de responder às demandas crescentes do setor produtivo.

O estudo evidenciou que os desafios enfrentados pelo engenheiro de produção extrapolam as questões meramente operacionais, estendendo-se à necessidade de compreender e gerenciar sistemas de produção globalmente dispersos, conforme apontado por Batalha (2008). A fragmentação dos sistemas produtivos, associada ao avanço das tecnologias de informação e comunicação, exige desse profissional competências para lidar com processos cada vez mais complexos e dinâmicos, bem como habilidades para atuar em ambientes de alta incerteza e volatilidade.

Além disso, os resultados obtidos neste trabalho confirmam que a competitividade e a qualidade, historicamente associadas à Engenharia de Produção, tornaram-se fatores indispensáveis à sobrevivência organizacional em um mercado globalizado, como destacam Jardim e Costa (2005). Nesse sentido, a atuação do engenheiro de produção não se restringe apenas à aplicação de técnicas e métodos, mas envolve a capacidade de propor soluções inovadoras, de promover transformações estruturais nos processos produtivos e de alinhar as estratégias organizacionais às exigências do mercado, conforme ressaltado por Mariano *et al.* (2012).

A análise da literatura também permitiu compreender que a evolução da Engenharia de Produção está intrinsicamente relacionada aos avanços históricos e tecnológicos, desde as práticas artesanais, passando pela Revolução Industrial e pela produção em massa, até chegar às abordagens contemporâneas, como a produção enxuta e a Indústria 4.0 (Leme, 1983; Piratelli, 2005; Cunha *et al.*, 2010). Neste contexto, a capacidade de adaptação do engenheiro de produção é essencial para que ele continue sendo um agente de mudança e inovação nas organizações, atuando de forma proativa na incorporação de novas tecnologias e no desenvolvimento de sistemas produtivos mais sustentáveis e eficientes.

Outro aspecto relevante destacado no trabalho é a atuação do engenheiro de produção nas áreas de gestão da qualidade, logística e planejamento estratégico. Como defendem Netto e Tavares (2008), a gestão da qualidade é um campo essencial da atuação deste profissional, especialmente em um cenário em que a excelência operacional e a satisfação do cliente são determinantes para o sucesso empresarial. Da mesma forma, a logística, conforme salientam Vieira *et al.* (2012), representa uma das principais áreas de intervenção do engenheiro de produção, sendo fundamental para o aprimoramento dos fluxos de materiais e informações, bem como para a redução de custos e o aumento da competitividade.

A importância do planejamento estratégico como ferramenta de gestão também foi evidenciada ao longo do estudo, destacando-se como uma competência indispensável para que o engenheiro de produção possa contribuir efetivamente para o sucesso organizacional, como apontam Lira *et al.* (2012). O domínio das práticas de gestão estratégica permite a esse profissional alinhar as operações produtivas com os objetivos organizacionais de longo prazo, promovendo não apenas ganhos de eficiência, mas também vantagens competitivas sustentáveis.



Por fim, destaca-se que o conhecimento, conforme enfatizado por Oliveira (2005), tornou-se um dos principais ativos das organizações na atualidade, sendo fundamental para a construção de vantagens competitivas duradouras. A formação do engenheiro de produção, ao integrar conhecimentos técnicos, gerenciais e tecnológicos, coloca esse profissional em uma posição privilegiada para liderar processos de inovação e para contribuir de forma decisiva para o desenvolvimento organizacional e social. Em síntese, o presente trabalho permitiu concluir que o engenheiro de produção é uma figura central na transformação e modernização das organizações, sendo indispensável para a construção de ambientes produtivos mais eficientes, inovadores e sustentáveis. O estudo também evidenciou a necessidade contínua de atualização e capacitação desse profissional, frente às rápidas mudanças tecnológicas e organizacionais que impactam o setor produtivo em escala global. Dessa forma, espera-se que esta pesquisa possa contribuir para uma melhor compreensão da relevância da Engenharia de Produção no contexto contemporâneo, bem como para o fortalecimento da formação acadêmica e profissional de futuros engenheiros de produção.



REFERÊNCIAS

ATALHA, M. O. Introdução à Engenharia de Produção. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

CUNHA, G. D.; OLIVEIRA, V. F.; TAVARES, W. R. Introdução à Engenharia de Produção. Florianópolis: Visual Books, 2006.

ENCEP. Engenharia de Produção: Grande área e diretrizes curriculares. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, n. 17, 1997. Disponível em: http://www.abepro.org.br/arquivos/websites/1/Ref_curriculares_ABEPRO.pdf.

Acesso em: 27 maio 2025.

FAÉ, C. S.; RIBEIRO, J. L. D. Um retrato da Engenharia de Produção no Brasil. Revista Gestão Industrial, v. 1, n. 3, p. 24-33, 2005. Disponível em: http://revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/revistagi/article/view/151/147. Acesso em: 27 maio 2025.

FLEURY, A. O que é Engenharia de Produção?. In: BATALHA, M. O (Org.). Introdução à Engenharia de Produção. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

FLEURY, M.; FLEURY, A. Estratégias Empresariais e Formação de Competências – um quebra cabeça caleidoscópio da Indústria Brasileira. São Paulo: Atlas, 2001

GIL, Antonio C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

JARDIM, E. G. M.; COSTA, R. S. O Papel do Engenheiro de Produção. Informativo TGPS, ano I, n. 1. Disponível em: http://www.tgps.com.br/site old/jornal01/info01.html. Acesso em: 27 maio 2025.

LIRA JÚNIOR, J. S. Elaboração de uma estratégia empresarial para uma academia desportiva do interior do Rio Grande do Norte/RN. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, n. 32, 2012. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2012_TN_STO_163_952_20260.p df. Acesso em: 27 maio 2025.

MARIANO, F. D. CEP como ferramenta de verificação e melhoria da qualidade em uma organização do ramo alimentício. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, n. 32, 2012. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca /ENEGEP2012TN STP15892119990.pdf Acesso em: 27 maio 2025.

NETTO, A. A. O.; TAVARES, W. R. Introdução à Engenharia de Produção. 1. ed. Florianópolis: Visual Books, 2006.

OLIVEIRA, V. F. A Avaliação dos Cursos de Engenharia de Produção. Revista Gestão Industrial, v. 1, n. 3, p. 1-12, 2005. Disponível em: http://revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/revistagi/article/viewArticle/149. Acesso em: 27 maio 2025.

PIANA, J. Proposta e Avaliação de um simulador organizacional em uma Universidade de Portugal. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção,

n. 32, 2012. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ ENEGEP2012_TN STO 66 963 20026.pdf. Acesso em: 27 maio 2025.



PIRATELLI, C. L. A Engenharia de Produção no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 33, 2005. Disponível em: http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2005/artigos/SP-15- 25046352818-1117717074687.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED TO SOFTWARE ENGINEERING

di https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-009

Robson dos Santos Fernandes

Graduação: Análise e Desenvolvimento de sistemas Pós-graduação: MBA em Gestão de Vendas Unifatecie

E-mail: robsonfern and esgym@gmail.com

RESUMO

Este trabalho aborda a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na engenharia de software, destacando como diferentes técnicas podem contribuir para melhorar processos de desenvolvimento, reduzir riscos e estimar custos de forma mais precisa. O objetivo principal desta produção foi investigar e apresentar as principais metodologias de IA utilizadas na engenharia de software, com foco especial nas redes neurais, lógica fuzzy e redes bayesianas, analisando seus conceitos, aplicações práticas e resultados obtidos em estudos de caso. A metodologia empregada foi a pesquisa bibliográfica, fundamentada em obras e artigos científicos de diversos autores renomados da área, como Pfleeger, Pressman, Haykin, Barros e Cozman, entre outros. Como resultado, verificou-se que as redes neurais são eficazes na estimativa de custos e esforços de projetos de software, utilizando dados históricos para aprimorar a acurácia das previsões. A lógica fuzzy se mostrou uma ferramenta adequada para avaliar a qualidade de software, considerando fatores subjetivos e imprecisos típicos de ambientes reais. As redes bayesianas, por sua vez, se destacaram pela capacidade de modelar incertezas e estabelecer relações causais entre variáveis, proporcionando simulações úteis na tomada de decisão. Conclui-se que a incorporação dessas técnicas de IA na engenharia de software representa uma evolução significativa, promovendo ganhos em eficiência, qualidade e confiabilidade dos sistemas desenvolvidos. Além disso, observa-se a necessidade de aprofundar pesquisas e aplicações práticas, visando maximizar o potencial dessas ferramentas no contexto do desenvolvimento de software.

Palavras-chave: Engenharia de Software; Inteligência Artificial; Redes Neurais.

ABSTRACT

This work addresses the application of Artificial Intelligence (AI) in software engineering, highlighting how different techniques can contribute to improving development processes, reducing risks and estimating costs more accurately. The main objective of this production was to investigate and present the main AI methodologies used in software engineering, with a special focus on neural networks, fuzzy logic and Bayesian networks, analyzing their concepts, practical applications and results obtained in case studies. The methodology used was bibliographical research, based on works and scientific articles by various renowned authors in the field, such as Pfleeger, Pressman, Haykin, Barros and Cozman, among others. As a result, it was found that neural networks are effective in estimating software project costs and efforts, using historical data to improve the accuracy of forecasts. Fuzzy logic proved to be a suitable tool for assessing software quality, taking into account subjective and imprecise factors typical of real environments. Bayesian networks, in turn, stood out for their ability to model uncertainties and establish causal relationships between variables, providing useful simulations for decision-making. It can be concluded that the incorporation of these AI techniques into software engineering represents a significant evolution, promoting gains in efficiency, quality and reliability of the systems developed. Furthermore, there is a need for further



research and practical applications in order to maximize the potential of these tools in the context of software development.

Keywords: Software Engineering; Artificial Intelligence; Neural Networks.



1 INTRODUÇÃO

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na engenharia de software constitui um tema de grande relevância no contexto atual, dada a crescente necessidade de aprimorar a eficiência, qualidade e confiabilidade no desenvolvimento de sistemas computacionais. A literatura aponta que a engenharia de software é uma disciplina da engenharia industrial que estuda métodos sistemáticos para garantir que softwares complexos atendam às expectativas de clientes, apresentem confiabilidade e sejam produzidos com qualidade, dentro dos prazos e orçamentos estipulados (Pfleeger, 1998; Pressman, 2010). Paralelamente, a evolução da IA oferece recursos que imitam a capacidade humana de resolver problemas e aprender com eles, promovendo um avanço significativo nas práticas de desenvolvimento de software (Castro, 2009).

O objetivo deste trabalho foi investigar e apresentar as principais metodologias de Inteligência Artificial aplicadas na engenharia de software, com ênfase em três técnicas: redes neurais, lógica fuzzy e redes bayesianas. Como hipótese, considerou-se que a aplicação dessas técnicas pode contribuir significativamente para a melhoria das estimativas de custo, avaliação da qualidade e gestão de riscos em projetos de software. A justificativa da pesquisa fundamenta-se na necessidade de explorar alternativas tecnológicas que superem as limitações das metodologias tradicionais, evidenciadas pelo baixo índice de sucesso em projetos de software, conforme indicam os dados do Standish Group (2009).

A metodologia adotada foi a pesquisa bibliográfica, com base em obras e artigos científicos de referência, como Haykin (2001), Barros e Bassanezi (2006; 2010), Cozman (2000) e outros, que forneceram o embasamento teórico necessário para a análise das técnicas selecionadas. O trabalho foi desenvolvido em quatro partes principais: a primeira parte apresenta os fundamentos da engenharia de software, abordando seu conceito, ciclo de vida e importância para a indústria. A segunda parte fala sobre as Considerações iniciais sobre Inteligência Artificial, destacando seu conceito. A terceira parte trata da aplicação da Inteligência Artificial nesse campo, destacando seus benefícios e desafios. A quarta parte explora de forma detalhada três técnicas específicas: redes neurais, lógica fuzzy e redes bayesianas, exemplificando suas aplicações práticas na estimativa de custos e avaliação da qualidade de software. Por fim, a quinta parte expõe a conclusão, que sintetiza os resultados obtidos e reforça a importância da integração da Inteligência Artificial como estratégia para potencializar o desenvolvimento de software. Assim, este trabalho visa contribuir para o avanço das práticas na área de engenharia de software, incentivando a adoção de abordagens inovadoras e eficientes.



2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ENGENHARIA DE SOFTWARE

A engenharia de software é um ramo da engenharia industrial que se dedica a estudar os métodos de trabalho e as práticas ideais adotadas pelos profissionais que desenvolvem sistemas de software (Pfleeger, 1998). Seu foco principal está na aplicação de procedimentos sistemáticos que assegurem que softwares complexos correspondam às expectativas dos clientes, apresentem confiabilidade, sejam fáceis de manter, ofereçam bom desempenho e sejam produzidos dentro dos prazos e orçamentos previstos (Pressman, 2010).

Essa disciplina, também conhecida como engenharia aplicada ao desenvolvimento de programas de computador, envolve a especificação, produção e implantação do código-fonte do software (Rezende, 2002). A engenharia de software abrange todo o ciclo de vida do software (Sommerville, 2007), envolvendo desde a análise de requisitos, elaboração de especificações, concepção do funcionamento interno, escolha de técnicas de programação, desenvolvimento, testes e, por fim, manutenção do sistema (Magela, 2006).

2.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A definição de inteligência artificial (IA) é ampla e complexa, dificultando uma compreensão única e definitiva. Conforme afirmou recentemente Sam Altman, CEO da OpenAI, quando pensamos ter compreendido a IA, na verdade, não a entendemos; somente começamos a captar sua essência quando admitimos que não a compreendemos plenamente¹. A literatura contemporânea distingue três tipos principais de IA: a IA Fraca (ou estreita), a IA Forte (ou Geral) e a IA Superinteligente. A IA Fraca corresponde àquela que encontramos em Chatbots, sistemas de recomendação de conteúdo e em tecnologias de reconhecimento de voz e imagem. Sem possuir autonomia ou "consciência", opera dentro de parâmetros e regras previamente estabelecidos. Por outro lado, a IA Forte representa uma forma hipotética de inteligência capaz de atuar de maneira semelhante ao intelecto humano, dotada, teoricamente, de autoconsciência² e apta a resolver problemas, pensar criticamente e articular experiências como um ser humano. Por fim, a IA Superinteligente, ainda um conceito teórico, superaria as capacidades intelectuais humanas (OPENAI, 2023a).

No âmbito da IA Fraca, distinguem-se duas categorias principais: a IA Generativa e a IA Interativa. A primeira é desenvolvida para realizar tarefas específicas de criação de conteúdo, como textos, imagens, músicas ou códigos de programação. Já a IA Interativa é projetada para interagir com usuários em contextos delimitados, mediante comandos textuais ou de voz, como ocorre com assistentes virtuais, Chatbots ou serviços de atendimento ao cliente. Apesar dessa distinção, ambas podem se sobrepor, como exemplifica o ChatGPT: simultaneamente gera conteúdo e interage em tempo real com os usuários, respondendo perguntas, mantendo diálogos e adaptando-se ao contexto da interação (OPENAI, 2023b).



Dentro desse espectro da IA Fraca, no qual atualmente nos situamos, podemos visualizar uma metáfora útil para compreender parcialmente essa tecnologia: uma grande máquina, onipresente e onisciente, capaz de prever, decidir, criar e agir conforme padrões pré-estabelecidos, sobretudo relacionados ao conhecimento explícito. Trata-se de um sistema que agrega todo o saber técnico e científico humano acumulado, sendo capaz de mobilizá-lo na execução de uma ampla gama de tarefas intelectuais e práticas. O que a IA pode realizar? Em termos gerais, qualquer atividade passível de ser convertida em conhecimento explícito pode ser utilizada pela IA para processar, interrelacionar, analisar e tomar decisões. Assim, funções cognitivas e produtivas que envolvam esse tipo de conhecimento podem ser desempenhadas por sistemas orientados por IA. Entre as principais capacidades destacam-se: reconhecimento de padrões, como leitura facial ou impressão digital, além de identificação de tendências de mercado; processamento de linguagem natural, possibilitando a compreensão e resposta à linguagem humana, inclusive com tradução e análise de sentimentos; aprendizado de máquina, permitindo que o sistema aprenda e aperfeiçoe suas respostas com base em experiências não programadas; resolução de problemas e apoio à tomada de decisões, como na definição de rotas de transporte; visão computacional, com a capacidade de interpretar imagens e vídeos, além de possibilitar a navegação autônoma de veículos; robótica autônoma, que inclui robôs aptos a manusear materiais, realizar cirurgias ou conduzir veículos; criação assistida, com produção de textos, músicas ou imagens; e análise preditiva de dados, aplicada, por exemplo, à previsão do tempo, oscilações do mercado financeiro e planejamento urbano (OPENAI, 2023c).

Sob a perspectiva prática, a IA já desempenha uma série de aplicações relevantes, incluindo: diagnóstico médico, com análise de imagens e dados, bem como acesso a literatura especializada para auxiliar na formulação de diagnósticos e proposição de terapias baseadas em dados atualizados globalmente; previsão meteorológica; assistentes virtuais como Siri e Alexa; recomendações personalizadas em plataformas como Netflix e Spotify; veículos autônomos; automação industrial; análise financeira; Chatbots e serviços de atendimento ao cliente; segurança cibernética; e agricultura de precisão, entre outros (OPENAI, 2023d).

Enquanto a inteligência artificial geral ainda não se concretiza, os Chatbots especializados tendem a ganhar importância significativa no campo das atividades educacionais e profissionais nos próximos anos. Focados em domínios específicos do conhecimento, esses sistemas podem representar ferramentas valiosas tanto para apoiar processos de ensino-aprendizagem quanto para auxiliar profissionais na tomada de decisões. Em determinadas situações, poderão inclusive substituir segmentos inteiros de trabalho humano, uma vez que sua precisão tende a ser altamente confiável.



2.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA ENGENHARIA DE SOFTWARE

Nos tempos recentes, observa-se um contínuo avanço na computação e, paralelamente, no desenvolvimento de software. Embora diversos métodos e ferramentas tenham sido criados, ainda é baixo o número de produtos entregues com confiabilidade e dentro dos prazos estabelecidos. Segundo dados do Standish Group (2009), apenas cerca de 30% dos projetos de software são concluídos com êxito. Essas dificuldades são comuns nas organizações que desenvolvem software, pois analisar riscos e dimensionar o esforço necessário para o desenvolvimento são tarefas complexas (Stahnke; Vahldick, 2013).

Atualmente, existem várias metodologias voltadas à superação desses desafios. Uma alternativa viável é a aplicação da Inteligência Artificial (IA), que, conforme Castro (2009), utiliza informações de projetos anteriores para apoiar na estimativa de novos projetos e na análise de riscos. Nessa linha, Moura, Pinto e Lustosa Filho (2011) indicam que sistemas inteligentes podem complementar ou mesmo substituir outras metodologias tradicionais. Para Castro (2009), a IA busca criar sistemas computacionais que imitem o comportamento humano, baseando-se na capacidade humana de resolver problemas e aprender com suas experiências.

2.4 REDES NEURAIS

Inspiradas na estrutura do cérebro humano, as redes neurais são compostas por múltiplos neurônios artificiais. Essas redes são implementadas por meio de programação ou utilizando componentes eletrônicos específicos (Haykin, 2001).

Os neurônios artificiais, ou nós, constituem as unidades básicas de uma rede neural. Eles recebem valores de entrada, associados a determinados pesos que indicam a força e direção das conexões. Cada neurônio processa a soma ponderada dessas entradas por meio de uma função de ativação, gerando assim uma saída (Russell; Norvig, 2004).

Um exemplo prático do uso de redes neurais foi apresentado por Moura, Pinto e Lustosa Filho (2011), que desenvolveram uma ferramenta para estimar o custo de projetos de software de maneira semelhante ao raciocínio de engenheiros experientes. A ferramenta emprega o modelo de pontos por função, atribuindo pesos a diversos fatores importantes, cujos valores são processados pela rede neural para estimar o custo. A rede foi treinada com dados de 70 projetos reais, e outros 30 projetos foram utilizados para validar as estimativas geradas.

Outro exemplo envolve uma ferramenta também baseada em redes neurais, destinada à estimativa de custos de software, mas utilizando abordagens diferentes. Nesse caso, as entradas são os requisitos a serem implementados e o tempo padrão para sua execução, com o treinamento da rede realizado a partir de tempos indicados por especialistas. A rede ajusta-se gradualmente, através da comparação entre as saídas geradas e os padrões, até alcançar uma estimativa próxima à de um especialista humano (Borsoi *et al.*, 2011).



Ainda utilizando redes neurais, Garcia *et al.* (2011) desenvolveram um modelo para estimar o esforço total de um projeto de software, considerando características comuns entre os diversos projetos. A rede neural foi estruturada com três camadas, onde as entradas representam características relevantes, e a saída corresponde à estimativa final do custo. O treinamento foi realizado com dados de 214 projetos, sendo parte deles usada para validação do modelo.

2.5 A LÓGICA FUZZY

Enquanto os computadores operam com dados precisos, representados por sequências de 1 e 0 e declarações estritamente verdadeiras ou falsas (Barros; Bassanezi, 2006), o cérebro humano é capaz de lidar com informações incertas e julgamentos subjetivos como "o ar está frio" ou "a velocidade é rápida". Além disso, as pessoas utilizam o bom senso para raciocinar em ambientes onde as verdades são parciais (Barros; Bassanezi, 2010).

A lógica fuzzy é uma vertente da Inteligência Artificial que permite ao computador processar informações do mundo real em um espectro contínuo entre o verdadeiro e o falso. Matemáticos lógicos, desde a década de 1920, já haviam estabelecido que muitas questões são graduais, e não absolutas. A lógica fuzzy lida com conceitos vagos como "quente" ou "úmido", permitindo o desenvolvimento de aparelhos como televisores e condicionadores de ar capazes de operar com informações imprecisas. Assim, sistemas fuzzy surgem como uma alternativa às concepções clássicas de pertencimento e lógica formuladas na Grécia Antiga (Benini, 2007).

Quando se traduz a linguagem humana para a lógica clássica, há uma perda de nuances importantes, o que pode ser prejudicial no desenvolvimento de sistemas especialistas. Por exemplo, médicos utilizam medidas exatas, mas o diagnóstico envolve raciocínios imprecisos e subjetivos (Jafelice, 2003). Em situações onde não existem algoritmos claros para determinar a resposta de um sistema, a lógica fuzzy possibilita o controle ou a descrição do sistema com base em regras intuitivas. Esses sistemas geralmente se baseiam em regras fornecidas por especialistas, mas, na ausência deles, podem aprender observando como pessoas operam sistemas reais (Barros; Bassanezi, 2010).

A lógica fuzzy é caracterizada como uma lógica multivalorada, na qual as variáveis podem assumir valores reais entre 0 e 1, ao invés de simplesmente verdadeiro ou falso. Dessa maneira, ela expande a lógica booleana clássica ao incorporar graus parciais de verdade (Barros; Bassanezi, 2010). Segundo Boente (2009), a lógica fuzzy pode ser entendida como uma extensão da teoria de conjuntos, aplicada à modelagem de dados imprecisos. Por essas características, é utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade de produtos de software. Na pesquisa de Boente (2009), foram estabelecidos termos e escalas de medição, aplicados questionários para avaliar parâmetros de qualidade e satisfação dos gestores, e então processados os dados com a fórmula da média fuzzy, resultando em um índice de qualidade do software.



2.6 REDES BAYESIANAS

A representação do conhecimento e a inferência baseada nessas representações originaram diversos modelos (Cozman, 2000). Entre eles, destacam-se os modelos gráficos probabilísticos, especialmente as redes bayesianas, concebidas por Judea Pearl na década de 1980, que se consolidaram como ferramentas valiosas para representar conhecimentos incertos e raciocinar a partir de informações incompletas (Hruschka Jr, 2003).

As redes bayesianas modelam a distribuição de probabilidade conjunta entre variáveis, sendo preferidas em métodos de amostragem estocástica. Elas possibilitam a geração de dados simulados conforme necessário, permitindo que especialistas observem o comportamento do sistema em cenários que, na prática, podem não ser testáveis (Paulino; Turkman; Murteira, 2003).

De acordo com Stahnke e Vahldick (2013), uma rede bayesiana possui duas componentes: qualitativa e quantitativa. A parte qualitativa é representada por um grafo, onde cada nó corresponde a uma variável relevante para a resolução do problema, e as conexões expressam, probabilisticamente, as relações entre essas variáveis. Já a parte quantitativa consiste nas tabelas de probabilidades condicionais associadas a cada nó, indicando as hipóteses envolvidas.

Mendes (2010) aplicou redes bayesianas no desenvolvimento de um software para estimar os custos de aplicações web. Inicialmente, identificaram-se os componentes essenciais para essa estimativa, considerados como variáveis da rede. Posteriormente, construiu-se o grafo, relacionando as variáveis com base nas suas interações causais. Com a estrutura estabelecida, iniciou-se o cálculo das probabilidades. A validação do software foi realizada por meio de simulações com diferentes cenários, todas executadas com sucesso, além de comparações com dados históricos de projetos previamente desenvolvidos.

3 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada sobre a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na engenharia de software revelou a importância crescente dessas tecnologias no aprimoramento dos processos de desenvolvimento de sistemas. Ao longo do trabalho, foi possível identificar que as metodologias de IA, como redes neurais, lógica fuzzy e redes bayesianas, não apenas oferecem soluções inovadoras, mas também abordam de maneira eficaz as limitações das metodologias tradicionais.

As redes neurais, inspiradas no funcionamento do cérebro humano, demonstraram ser particularmente eficazes na estimativa de custos e esforços em projetos de software. Através da análise de dados históricos, essas redes conseguem aprimorar a acurácia das previsões, permitindo que equipes de desenvolvimento tomem decisões mais informadas. Isso é crucial em um cenário onde apenas 30% dos projetos de software são concluídos com sucesso, conforme indicam dados do Standish Group. A utilização das redes neurais não apenas melhora a precisão das estimativas, mas também contribui para a gestão de



riscos, uma vez que oferece uma visão mais clara das variáveis envolvidas nos projetos.

A lógica fuzzy se destacou pela sua capacidade de lidar com a incerteza e a subjetividade, características intrínsecas ao desenvolvimento de software. Ao permitir que sistemas computacionais processem informações em um espectro contínuo entre o verdadeiro e o falso, a lógica fuzzy se apresenta como uma ferramenta poderosa para avaliar a qualidade de software. Essa metodologia é especialmente valiosa em contextos onde os critérios de avaliação são vagos ou não podem ser quantificados de maneira precisa. Ao incorporar a lógica fuzzy, os desenvolvedores podem obter uma visão mais holística da qualidade do software, considerando fatores que vão além das métricas tradicionais.

Por sua vez, as redes bayesianas se mostraram indispensáveis na modelagem de incertezas e na representação de relações causais entre variáveis. A capacidade de simular cenários e prever comportamentos em condições de incerteza é uma vantagem significativa para a tomada de decisões estratégicas. A aplicação das redes bayesianas na estimativa de custos e na análise de riscos oferece uma nova abordagem que pode auxiliar significativamente na mitigação de falhas em projetos, proporcionando uma compreensão mais profunda das interações envolvidas.

Em suma, a integração de técnicas de IA na engenharia de software não apenas representa uma evolução necessária, mas também um caminho promissor para enfrentar os desafios contemporâneos da área. O estudo conclui que a adoção dessas metodologias pode levar a ganhos substanciais em eficiência, qualidade e confiabilidade dos sistemas desenvolvidos. Contudo, é fundamental que as pesquisas continuem a explorar novas aplicações práticas e a maximizar o potencial das ferramentas de IA, sempre visando à inclusão e à melhoria contínua dos processos de desenvolvimento de software.

Portanto, recomenda-se que as organizações invistam na capacitação de suas equipes em relação a essas tecnologias inovadoras, promovendo uma cultura de aprendizado e adaptação às novas ferramentas disponíveis. Somente assim será possível elevar o padrão da engenharia de software, garantindo que os sistemas não apenas atendam às expectativas dos clientes, mas também sejam sustentáveis e adaptáveis às constantes mudanças do mercado.



REFERÊNCIAS

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática. Campinas: UNICAMP/IMECC, 2006.

BENINI, L. C. Estimação da densidade de solos utilizando sistemas de inferência fuzzy. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

BOENTE, A. N. P. Um modelo fuzzy para avaliação da qualidade de produtos de software e da satisfação dos gerentes de projetos numa fundação pública estadual. Dissertação (Mestrado), Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, 2009.

CASTRO, R. D. Avaliação de riscos em projetos de software a partir do uso de técnicas de inteligência computacional. Monografia, Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

COZMAN, F. G. Generalizing variable elimination in bayesian networks. Workshop on Probabilistic Reasoning in Artificial Intelligence, 2000.

HAYKIN, S. Redes Neurais: Princípios e Práticas. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HRUSCHKA JR, E. R. Imputação Bayesiana no contexto da Mineração de Dados. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MAGELA, R. Engenharia de Software Aplicada: Princípios. Rio de Janeiro: Alta Books, 2006.

MENDES, E. Construindo um modelo especialista de estimativa de esforço de aplicações web usando redes bayesianas. WAMPS, 2010.

MOURA, Í. B.; PINTO, J. P.; LUSTOSA FILHO, J. Neural Estimate: Uma ferramenta para a estimativa de custo de software. Escola Regional de Computação dos Estados do Ceará, Maranhão e Piauí, Teresina, 2011.

OPENAI. ChatGPT-4. Em qual dessas categorias entraria a IA generativa e a IA interativa? Acesso em: 26 Mai. 2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Enumere as principais atividades cognitivas que a inteligência artificial é capaz de realizar. Acesso em: 26 Mai. 2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Enumere as principais atividades práticas que a inteligência artificial é capaz de realizar. Acesso em: 26 Mai. 2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Quais são as diferentes atividades cognitivas que a inteligência artificial é capaz de realizar? Acesso em: 26 Mai. 2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Quais são os diferentes tipos de inteligência artificial? Acesso em: 26 Mai. 2025.

PAULINO, C. D.; TURKMAN, M. A.; MURTEIRA, B. Estatística Bayesiana. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2003.



PFLEEGER, S. L. Software Engineering: theory and practice. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1998.

PRESSMAN, R. S. Engenharia de Software. 6ª ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2010.

REZENDE, D. A. Engenharia de software e sistemas de informação. 2ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2002.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. Inteligência Artificial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SOMMERVILLE, I. Engenharia de Software. 8^a ed. Boston: Addison Wesley, 2007.

STAHNKE, E.; VAHLDICK, A. Inteligência artificial aplicada na engenharia de software. Resumos Internos, vol. 2, no. 1, 2013.



A IMPORTÂNCIA DAS ENGENHARIAS NA MODERNIDADE

THE IMPORTANCE OF ENGINEERING IN MODERN TIMES

di https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-010

Ana Cláudia Simões Félix Thomé

Pós-graduaçãoem direito notarial e Registral Faculdade Anhanguera

Ana Júlia Simões Thomé

Tecnólogo em gestão empresarial Faculdade Anhanguera

Fernanda Barrozo Oliveira

Pós-graduação especialista UNIFATECIE E-mail: fernandabarrozo@yahoo.com.br

Isabella de Sousa Thomé

Jaci Pereira de Castro

Pós-graduação Facprisma E-mail: jacipcastro4@gmail.com

Kaleb Thomé Ribeiro Oliveira

Ramon Santos Fernandes

Reinaldo da Silva Thomé

Possui graduação em Gestão Pública pelo Centro Universitário Internacional(2012), graduação em Tecnólogo Engenharia em Segurança do Trabalho pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2023), especialização em Aconselhamento e Psicologia Pastoral pela Faculdade Iguaçu(2024) e especialização em Pós-Graduação de Engenharia em Segurança do Trabalho pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2025).

LATTES: http://lattes.cnpq.br/8413778291707095

Robson dos Santos Fernandes

Graduação: Análise e Desenvolvimento de sistemas Pós-graduação: MBA em Gestão de

VendasUnifatecie

E-mail: robsonfernandesgym@gmail.com

Rosangela Thomé da Silva

Mestre em engenharia biomédica

UnB

E-mail: rosangelaengbio@gmail.com



RESUMO

A importância das engenharias na modernidade constitui o tema central deste artigo, que busca compreender o papel fundamental das engenharias no desenvolvimento humano, social e tecnológico. O objetivo principal é analisar como as diferentes áreas da engenharia, de forma integrada e multidisciplinar, contribuem para a solução de problemas complexos e para a melhoria da qualidade de vida na sociedade contemporânea. A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, com base em autores como Siqueira De Luca et al. (2018), Bazzo e Pereira (2013), Dagnino et al. (2013), entre outros, permitindo uma reflexão teórica e crítica sobre a função estratégica do engenheiro na atualidade. O artigo está estruturado em dois capítulos principais, além da introdução e da conclusão. O primeiro capítulo apresenta uma contextualização histórica e conceitual das engenharias, destacando suas diversas especializações e seu caráter multidisciplinar. Já o segundo capítulo aborda a aplicação prática da engenharia na sociedade moderna, exemplificando como tecnologias como drones, cirurgias laparoscópicas e sistemas automatizados impactam positivamente o cotidiano, sobretudo nas áreas de saúde, transporte, alimentação e energia. Os resultados indicam que a engenharia contemporânea está profundamente comprometida com a inovação e com a busca por soluções sustentáveis e humanizadas, sendo essencial para enfrentar os desafios atuais, como as mudanças climáticas, a digitalização e a urbanização. Conclui-se que a engenharia deve ser compreendida não apenas como um campo técnico, mas como uma força transformadora e socialmente engajada, capaz de moldar o presente e o futuro de forma mais justa, eficiente e sustentável.

Palavras-chave: Engenharia moderna; Desenvolvimento social; Inovação tecnológica; Qualidade de vida.

ABSTRACT

The importance of engineering in modern times is the central theme of this article, which seeks to understand the fundamental role of engineering in human, social and technological development. The main objective is to analyze how the different areas of engineering, in an integrated and multidisciplinary way, contribute to solving complex problems and improving the quality of life in contemporary society. The methodology used was bibliographical research, based on authors such as Siqueira De Luca et al. (2018), Bazzo and Pereira (2013), Dagnino et al. (2013), among others, allowing a theoretical and critical reflection on the strategic role of the engineer today. The article is structured in two main chapters, in addition to the introduction and conclusion. The first chapter presents a historical and conceptual contextualization of engineering, highlighting its various specializations and its multidisciplinary nature. The second chapter looks at the practical application of engineering in modern society, exemplifying how technologies such as drones, laparoscopic surgery and automated systems have a positive impact on everyday life, especially in the areas of health, transportation, food and energy. The results indicate that contemporary engineering is deeply committed to innovation and the search for sustainable and humanized solutions, and is essential for facing current challenges such as climate change, digitalization and urbanization. The conclusion is that engineering should be understood not just as a technical field, but as a transformative and socially engaged force, capable of shaping the present and the future in a fairer, more efficient and sustainable way.

Keywords: Modern engineering; Social development; Technological innovation; Quality of life.



1 INTRODUÇÃO

A engenharia, enquanto campo do conhecimento aplicado, vem assumindo papel cada vez mais estratégico no enfrentamento dos desafios do mundo contemporâneo. Este artigo tem como tema central a importância das engenharias na modernidade, e parte da premissa de que a atuação dos engenheiros ultrapassa os limites da técnica e da prática, constituindo-se também como um exercício de responsabilidade social, ética, ambiental e humana. A proposta do estudo é discutir como as engenharias, em suas múltiplas especializações, contribuem significativamente para o desenvolvimento científico, tecnológico, econômico e, sobretudo, social, dialogando com as necessidades do presente e projetando soluções para o futuro.

A metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, com ênfase em autores consagrados como Siqueira De Luca et al. (2018), Bazzo e Pereira (2013), Dagnino et al. (2013), Holtzapple e Reece (2014), entre outros. Esses autores sustentam a ideia de que a engenharia moderna não pode ser compreendida de forma isolada, mas como um campo articulador de saberes que opera na intersecção entre ciência, tecnologia, sociedade e cultura. A hipótese que orienta o artigo é a de que a engenharia moderna, ao incorporar práticas inovadoras e sustentáveis, é essencial para a promoção da qualidade de vida e para o enfrentamento das grandes questões da contemporaneidade, como as mudanças climáticas, a urbanização acelerada, a transformação digital e os desafios na saúde e na infraestrutura.

Justifica-se este estudo pela relevância crescente da engenharia nos mais variados setores da vida social e econômica, e pela necessidade de formar uma visão crítica, interdisciplinar e transformadora acerca do papel do engenheiro no século XXI. O artigo está estruturado em três partes principais, além da introdução e da conclusão, oferecendo um percurso de análise que vai desde a origem da engenharia até sua atuação prática na sociedade contemporânea.

O primeiro capítulo, intitulado *Breve história da engenharia*, apresenta um panorama da evolução da engenharia ao longo do tempo, desde as técnicas rudimentares do período Paleolítico, passando pelo Neolítico, pela Idade dos Metais e pela Revolução Industrial, até alcançar o surgimento da engenharia moderna, marcada pela sistematização do conhecimento científico e sua aplicação a problemas reais. Fundamentado nos estudos de Castro (2010), esse capítulo demonstra como a engenharia se consolidou a partir de avanços no campo da matemática, da física e da mecânica, destacando marcos como a prensa tipográfica de Gutenberg, os experimentos de Galileu Galilei e as contribuições de Leonardo da Vinci.

O segundo capítulo, denominado *Engenharias*, trata da diversidade de áreas que compõem o campo da engenharia e sua atuação nos diversos setores da sociedade. São analisadas áreas como a Engenharia Civil, Elétrica, Mecânica, Química, Ambiental, de Produção, de Computação e Biomédica, evidenciando o caráter multidisciplinar e inovador da profissão. De acordo com Siqueira De Luca et al. (2018), a engenharia atual demanda profissionais que conciliem conhecimento técnico com visão crítica e compromisso ético.



Este capítulo também aborda a formação do engenheiro como agente social, conforme discutido por Bazzo e Pereira (2013), Milititsky (1998) e Dagnino et al. (2013), enfatizando sua atuação estratégica no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e no progresso coletivo.

O terceiro capítulo, A engenharia e sua importância na evolução do Homem e desenvolvimento social, aprofunda a discussão sobre a aplicação prática da engenharia e seus impactos diretos na vida das pessoas. A partir de exemplos como o uso de drones em operações de risco, as cirurgias laparoscópicas, os sistemas de transporte e as tecnologias de produção de alimentos e energia, este capítulo ilustra como a engenharia se insere no cotidiano com soluções que promovem segurança, eficiência, inovação e qualidade de vida. Bernasconi (2010) ressalta o papel da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico nesse processo, enquanto autores como Riviera (2000), Maza (2002) e Rutkowski e Lianza (2004) discutem a importância da multidisciplinaridade e da constante atualização dos profissionais da área.

A conclusão retoma as principais ideias desenvolvidas ao longo do artigo, reafirmando que a engenharia moderna é um campo fundamental para o avanço da sociedade, não apenas por seu domínio técnico, mas sobretudo por sua capacidade de pensar criticamente, propor soluções sustentáveis e intervir socialmente. A formação de engenheiros conscientes, éticos e preparados para os desafios do presente é, portanto, indispensável para garantir um futuro mais justo, tecnológico e sustentável.

Dessa forma, este artigo oferece uma visão ampla e fundamentada da importância das engenharias na modernidade, mostrando que, além de construir pontes, edifícios e máquinas, os engenheiros constroem também caminhos para o progresso humano, social e ambiental.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 BREVE HISTÓRIA DA ENGENHARIA

As primeiras manifestações das técnicas que hoje conhecemos como engenharia surgiram com a descoberta e o uso da alavanca, o domínio do fogo, o aperfeiçoamento das pedras por meio do polimento e o preparo dos alimentos com calor, tudo isso ainda no período Paleolítico. Já no Neolítico, houve um avanço significativo com a adoção da agricultura e a domesticação dos animais, além da confecção de instrumentos como machadinhas, produzidos em oficinas rudimentares (Castro, 2010).

Essas inovações modificaram profundamente a estrutura social, permitindo que os seres humanos se dedicassem menos ao trabalho físico e mais ao desenvolvimento do pensamento, o que impulsionou o progresso intelectual e técnico. Por volta de 2000 a.C., teve início a Idade dos Metais, período marcado pela criação da roda e pelas primeiras máquinas simples. Ao longo do tempo, novas invenções e acúmulos de conhecimento fortaleceram esse processo evolutivo (Castro, 2010).

Um momento marcante ocorreu em 1450, quando Johannes Gutenberg, inspirando-se em uma antiga invenção chinesa, aperfeiçoou e mecanizou a prensa tipográfica. Isso acelerou a disseminação do



conhecimento, antes limitado a transmissões orais e a raros manuscritos, tornando-o mais acessível e amplamente difundido (Castro, 2010).

Com a crescente aplicação da ciência à resolução de problemas concretos, emergiu a figura do engenheiro como resultado de séculos de evolução. O avanço das ciências exatas, especialmente da matemática e da física, consolidou a engenharia como um campo estruturado por princípios sistemáticos no século XVIII. Esse período marcou a transição entre a engenharia empírica do passado e a engenharia moderna (Castro, 2010).

A engenharia moderna distingue-se pelo uso intensivo de conhecimentos científicos na solução de desafios práticos. Ainda que se ocupe de problemas semelhantes aos enfrentados no passado, sua atuação é baseada em fundamentos científicos como modelagens matemáticas, propriedades dos materiais, eletromagnetismo, leis mecânicas e dinâmicas energéticas (Castro, 2010).

A Revolução Industrial evidenciou que os princípios científicos poderiam ser aplicados em todas as criações humanas. Um dos precursores dessa nova era foi Leonardo da Vinci, seguido por Galileu Galilei no século XVII, que contribuiu decisivamente para o surgimento de uma abordagem científica mais rigorosa. Em 1590, Galileu desafiou ideias aristotélicas com experimentos e, em 1638, publicou um estudo fundamental sobre a resistência à flexão de vigas, contribuindo com as bases teóricas da engenharia estrutural (Castro, 2010).

Com esses avanços, a engenharia moderna impulsionou a Revolução Industrial, marcada pela introdução da máquina a vapor nas fábricas têxteis e pela aplicação crescente da ciência em processos produtivos (Castro, 2010).

2.2 ENGENHARIAS

Segundo Siqueira de Luca *et al.* (2018), a engenharia constitui um amplo e dinâmico campo do conhecimento humano, dedicado à aplicação de princípios científicos, matemáticos e tecnológicos para criar, desenvolver e aprimorar estruturas, sistemas, produtos e processos que atendam às necessidades da sociedade. Desde a Antiguidade, engenheiros têm desempenhado papel crucial no progresso das civilizações, sendo responsáveis por construções monumentais, sistemas hidráulicos, máquinas e inovações que transformaram a forma como os seres humanos vivem, produzem e se relacionam com o meio ambiente.

Ao longo do tempo, a engenharia se diversificou em múltiplas áreas de especialização, como Engenharia Civil, voltada para projetos de infraestrutura; Engenharia Mecânica, dedicada aos sistemas mecânicos e térmicos; Engenharia Elétrica, responsável pela geração, transmissão e uso da energia elétrica; e Engenharia Química, que atua nos processos físico-químicos da matéria. Além dessas, surgiram áreas como Engenharia Ambiental, de Produção, de Alimentos, da Computação e Biomédica, que refletem a interdisciplinaridade e a capacidade de adaptação da engenharia às demandas contemporâneas da indústria



e da sociedade (Siqueira de Luca et al., 2018).

Nesse contexto, o engenheiro moderno é um profissional que precisa integrar competências técnicas, analíticas e criativas, além de demonstrar responsabilidade ética e social. Segundo Bazzo e Pereira (2013), a engenharia é uma construção coletiva, uma resposta a anseios individuais projetados em um coletivo sociocultural. O engenheiro, portanto, é mais do que um solucionador técnico: é um agente reflexivo e interativo, que atua em constante diálogo com o seu trabalho e o meio histórico e social que o cerca (Milititsky, 1998). Essa atuação vai além da lógica científica, envolvendo também aspectos subjetivos e humanos, o que demonstra a importância da engenharia na melhoria da qualidade de vida e do convívio social (Dagnino *et al.*, 2013).

Para Holtzapple e Reece (2014), a engenharia é essencialmente voltada à resolução de problemas, o que requer do profissional uma postura de atenção, análise e reflexão diante dos desafios. O engenheiro "nato", como apontam Bazzo e Pereira (2013), é aquele que observa o contexto, reflete e age de forma crítica, promovendo não apenas soluções técnicas, mas contribuindo diretamente para o bem-estar coletivo. Nesse sentido, Riviera (2000) ressalta que a engenharia também se vincula à promoção da qualidade de vida, reforçando seu papel social.

Além disso, conforme Dagnino *et al.* (2013), os engenheiros desempenham funções estratégicas no desenvolvimento tecnológico, atuando em processos de inovação, pesquisa, desenvolvimento de produtos, gestão de métodos produtivos e melhoria contínua. Esses profissionais estão presentes em setores acadêmicos, governamentais e empresariais (Maza, 2002), e exercem funções que vão desde a atuação em obras e infraestrutura até o desenvolvimento de tecnologias e soluções digitais. Rutkowski e Lianza (2004, p.178) destacam ainda a importância da multidisciplinaridade e da presença constante do engenheiro no mercado, especialmente no que diz respeito à integração entre tecnologia e inovação.

Assim, a engenharia configura-se hoje como uma profissão de aplicação ampla, multidisciplinar e essencialmente voltada à solução de problemas concretos. Seja nas áreas de infraestrutura, saneamento, transportes ou grandes obras, envolve planejamento, execução e controle. Exige do engenheiro iniciativa, proatividade, senso crítico, trabalho em equipe, capacidade de inovação e visão sistêmica — habilidades fundamentais em uma rede de saberes voltada para resultados e centrada nas necessidades da sociedade (Siqueira de Luca *et al.*, 2018).

2.3 A ENGENHARIA E SUA IMPORTÂNCIA NA EVOLUÇÃO DO HOMEM E DESENVOLVIMENTO SOCIAL

A engenharia, enquanto campo voltado à criação e à resolução de problemas, tem como objetivo central atender às necessidades da sociedade, contribuindo diretamente para o bem-estar coletivo. Trata-se de uma área essencialmente multidisciplinar, integrando saberes das ciências exatas, tecnológicas e



humanas com o intuito de compreender o ser humano em sua totalidade, inclusive por meio de seus comportamentos. Por meio de estratégias e técnicas voltadas à modelagem e concretização de ideias, a engenharia possibilita, desde a concepção de um projeto, a produção de impactos positivos que são percebidos na qualidade de vida das pessoas. Nesse sentido, sua prática só adquire real significado quando orientada para o benefício social amplo (Siqueira de Luca *et al.*, 2018)

Conforme destacam Pereira e Bazzo (2006), a engenharia se manifesta de forma contextualizada tanto no âmbito tecnológico quanto humano, sendo protagonista em uma trajetória histórica marcada por inovações e avanços aplicados ao conhecimento. Está presente nos mais variados sistemas da vida moderna: desde transporte e comunicação até a produção e processamento de alimentos; da distribuição de água e energia à criação de ferramentas, utensílios domésticos, dispositivos médicos e equipamentos de lazer. Tal presença é cada vez mais intensa e diversificada, sobretudo em áreas como a saúde, sempre guiada por uma visão sistêmica e integrada que direciona os projetos desde sua origem para finalidades sociais específicas.

Sob essa perspectiva, Bernasconi (2010) aponta que a motivação pela pesquisa e pelo desenvolvimento constitui o cerne da indústria da engenharia contemporânea, cuja atuação se expande para múltiplas especialidades – como civil, mecânica, produção, alimentos, elétrica, entre outras – sempre gerando resultados que visam à promoção do desenvolvimento e do bem-estar social. Um exemplo claro disso é o uso de drones, que, operando em baixas altitudes (até cerca de duzentos metros), vêm sendo empregados em registros visuais, coleta de informações em áreas de risco e apoio a pesquisas. Essa tecnologia contribui com operações mais seguras e eficientes, substituindo o ser humano em atividades perigosas, como a inspeção de fachadas de edifícios, promovendo ganhos significativos em produtividade e segurança.

Na medicina, a engenharia também tem desempenhado papel transformador, como evidenciam as cirurgias laparoscópicas, que oferecem intervenções menos invasivas, diminuindo riscos e aumentando o conforto dos pacientes em comparação aos procedimentos tradicionais. Tais avanços, entre muitos outros, ilustram o amplo espectro de aplicações da engenharia voltadas a propósitos sociais. Seja nos transportes, aumentando a mobilidade com segurança, seja na área de alimentos, promovendo melhorias nutricionais, ou ainda na automação e elétrica, buscando eficiência e segurança, a engenharia demonstra ser uma força estruturante do progresso humano (Siqueira de Luca *et al.*, 2018).

Siqueira de Luca *et al.* (2018) destaca ainda que as engenharias são responsáveis por projetar, implementar e aprimorar sistemas e estruturas que viabilizam o funcionamento das cidades, das indústrias, das redes de comunicação, do transporte e da produção de alimentos e energia. A partir de áreas tradicionais, como a Engenharia Civil, Elétrica, Mecânica e Química, até áreas mais recentes como a Engenharia Ambiental, Biomédica, de Computação e de Produção, o campo da engenharia tornou-se cada vez mais multidisciplinar e integrado às demandas atuais da sociedade. Na modernidade, o engenheiro não é apenas



um técnico especializado, mas também um agente transformador com responsabilidade social, ética e ambiental. Ele atua de forma estratégica em processos de inovação, pesquisa e desenvolvimento, contribuindo para o avanço tecnológico, para a competitividade industrial e para a geração de soluções sustentáveis. Questões urgentes como as mudanças climáticas, a escassez de recursos naturais, a mobilidade urbana e a transformação digital exigem profissionais capazes de articular conhecimento técnico com visão crítica e sistêmica (Siqueira de Luca *et al.*, 2018).

Dessa forma, é evidente a relevância da engenharia e do engenheiro no processo de evolução do ser humano e no desenvolvimento social. Sua atuação está intimamente ligada à criação de soluções para problemas coletivos e à promoção da qualidade de vida. Em um escopo mais abrangente, preocupa-se com a infraestrutura essencial à sociedade, considerando aspectos como trabalho, meio ambiente e recursos materiais, físicos, humanos e econômicos. Assim, a engenharia configura-se como um campo que articula técnicas, ferramentas e capital intelectual em prol da transformação social e da melhoria contínua das condições de vida da humanidade (Siqueira de Luca *et al.*, 2018).

3 CONCLUSÃO

A engenharia, ao longo da história da humanidade, tem se consolidado como um dos pilares centrais do desenvolvimento civilizacional, sendo responsável por grandes transformações na organização social, na produção econômica e na melhoria das condições de vida da população. A partir de um acúmulo progressivo de conhecimento técnico e científico, esse campo se desdobrou em diversas áreas de especialização que, juntas, atuam de maneira integrada para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo. O presente artigo permitiu compreender como a engenharia, quando compreendida para além de sua função técnica e aplicada, assume um papel estratégico no fortalecimento da sociedade, na promoção da sustentabilidade e na transformação da realidade.

A partir da revisão de autores como Siqueira De Luca et al. (2018), Bazzo e Pereira (2013) e Dagnino et al. (2013), tornou-se evidente que o engenheiro do século XXI é um profissional que articula raciocínio lógico e pensamento crítico com responsabilidade ética, social e ambiental. Para Bazzo e Pereira (2013), o engenheiro moderno deve ser compreendido como um agente reflexivo, engajado com as questões sociais e com a construção de soluções que promovam o bem-estar coletivo. De forma semelhante, Milititsky (1998) reforça que a formação do engenheiro deve considerar seu papel como transformador social, capaz de dialogar com os desafios impostos por um mundo em constante mudança.

Ao longo do artigo, observou-se que a engenharia moderna está diretamente ligada à inovação tecnológica, ao avanço da ciência aplicada e à criação de sistemas sustentáveis. Conforme Siqueira De Luca et al. (2018), a engenharia hoje é multidisciplinar, envolvendo desde a construção de estruturas físicas à implementação de soluções digitais e biotecnológicas. A atuação do engenheiro se estende para campos



como saúde, mobilidade, alimentação, energia, segurança e tecnologia da informação, sempre com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população e garantir o uso racional dos recursos naturais.

A pesquisa bibliográfica realizada demonstrou que a engenharia acompanha e impulsiona os ciclos de transformação da humanidade desde os primórdios, como mostrou Castro (2010) ao relatar as primeiras inovações técnicas na Pré-História e os avanços ocorridos ao longo da Idade dos Metais, da Revolução Científica e da Revolução Industrial. Leonardo da Vinci, Galileu Galilei e Johannes Gutenberg foram pioneiros que influenciaram diretamente a evolução da engenharia, criando pontes entre conhecimento empírico e ciência experimental.

No contexto atual, Bernasconi (2010) salienta que a motivação pela pesquisa e pelo desenvolvimento é o que move a engenharia contemporânea. A busca constante por novas soluções tem resultado em tecnologias cada vez mais sofisticadas, como drones aplicados em situações de risco, equipamentos médicos de alta precisão e sistemas automatizados que otimizam processos industriais. Riviera (2000) e Maza (2002) destacam ainda que a formação do engenheiro precisa acompanhar essa evolução, promovendo uma visão sistêmica e humanística capaz de unir produtividade com responsabilidade social.

A engenharia também desempenha papel fundamental nas questões ambientais e sociais, ao propor soluções sustentáveis que respeitam os limites ecológicos e promovem justiça social. Rutkowski e Lianza (2004) abordam a importância da multidisciplinaridade na formação do engenheiro, destacando que os desafios atuais não podem ser resolvidos por uma única área do saber, mas sim por meio da colaboração entre diferentes campos do conhecimento.

Em síntese, este artigo permitiu compreender que as engenharias não são apenas uma ciência da exatidão ou da construção de estruturas, mas uma prática social orientada por valores, contextos e finalidades que afetam diretamente o presente e o futuro da humanidade. A engenharia moderna, ao incorporar tecnologias sustentáveis e princípios éticos, assume o papel de força propulsora do desenvolvimento humano em suas múltiplas dimensões. Portanto, conclui-se que a formação de engenheiros críticos, comprometidos e multidisciplinares é uma condição essencial para a construção de um mundo mais justo, eficiente e sustentável. Que esse profissional, cada vez mais, seja visto não apenas como executor de projetos, mas como agente de transformação consciente, capaz de planejar e agir em benefício de toda a sociedade.



REFERÊNCIAS

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. Ensino de Engenharia: na busca do seu aprimoramento. Florianópolis: Editora da UFSC, 2013.

BERNASCONI, A. Motivação pela pesquisa e desenvolvimento na engenharia. Revista de Engenharia e Tecnologia, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. Parecer nº CNE/CES 1362/2001. Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia. Diário Oficial da União, 25 fev. 2002, Seção 1, p. 17.

BRASIL. Ministério da Educação. Portaria 011/2002 do CNE. Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Engenharia. Disponível em: http://www.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES012002.pdf. Acesso em: 20 jul. 2010.

CASTRO, R. N. A. DE. Teorias do currículo e suas repercussões nas diretrizes curriculares dos cursos de engenharia. Goiânia, v. 13, n. 2, p. 307- 322, 2010.

DAGNINO, R.; NOVAES, H. T.; FRAGA, L. O engenheiro e a sociedade: como transformar a sociedade de classes através da ciência e tecnologia. Florianópolis: Insular, 2013.

HOLTZAPPLE, M. T.; REECE, W. D. Introdução à engenharia. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

MAZA, F. O idealismo prático de Roberto Simonsen: ciência, tecnologia e indústria na construção da nação. São Paulo: USP, 2002.

MILITITSKY, J. O desafio de formar engenheiros como transformadores sociais. Gazeta Mercantil, 1998.

MOREIRA, A. F.; SILVA, T. T. (Org.). Currículo, cultura e sociedade. São Paulo: Cortez, 1994. cap. 1.

RIVIERA, G. G. R. A formação humanística do engenheiro. In: XXVII Conferência Nacional de Engenharia, 2000.

RUTKOWSKI, J.; LIANZA, F. Importância da multidisciplinaridade na engenharia. Revista de Engenharia, n. 178, 2004.

SACRISTÁN, J. G. A educação que ainda é possível: ensaios sobre a cultura para a educação. Porto Alegre: ArtMed, 2007.

SACRISTÁN, J. G.; PÉREZ, G. A. I. Compreender e transformar o ensino. Porto Alegre: ArtMed, 2000.

SIQUEIRA DE LUCA, M. A. et al. A engenharia no contexto social: evolução e desenvolvimento. Gestão, Tecnologia e Inovação, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2018. ISSN 2595-3370.



MODELOS DE PROCESSOS DE ENGENHARIA DE SOFTWARE

SOFTWARE ENGINEERING PROCESS MODELS

https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-011

Ramon Santos Fernandes

Engenharia de software UniFatecie E-mail: rosangelaengbio@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como tema central a análise dos modelos de processos de engenharia de software, com foco nas abordagens adotadas para o desenvolvimento de sistemas computacionais e nas contribuições que essas metodologias oferecem para a eficiência, qualidade e organização dos projetos. O objetivo principal é compreender como os modelos mais tradicionais e modernos de desenvolvimento auxiliam na superação dos desafios recorrentes na criação de softwares, como alterações nos requisitos, controle de prazos, custos e satisfação do usuário final. A pesquisa foi conduzida por meio de uma metodologia bibliográfica, com base em autores como Pressman, Sommerville, IBM e o IEEE, utilizando suas obras como referência para examinar os principais modelos aplicados na engenharia de software. Entre os modelos abordados estão o modelo cascata, a prototipação, o modelo espiral, o modelo incremental e o desenvolvimento baseado em componentes. Também foi incluída a análise do guia SWEBOK (Software Engineering Body of Knowledge), que sistematiza as áreas do conhecimento necessárias ao exercício da engenharia de software. Os resultados da pesquisa demonstram que, embora cada modelo possua características próprias e limitações específicas, a escolha e a aplicação adequada de um processo de desenvolvimento têm impacto direto na qualidade e no sucesso do software produzido. Verificou-se ainda que modelos mais iterativos e adaptáveis, como o espiral e o incremental, oferecem maior flexibilidade frente à complexidade dos sistemas atuais, enquanto abordagens como o modelo cascata são mais indicadas em contextos com requisitos bem definidos. Conclui-se que a engenharia de software, ao integrar técnicas sistematizadas com foco na análise de riscos, reuso de componentes e participação do usuário, representa uma ferramenta indispensável na construção de soluções tecnológicas eficazes. Além disso, destaca-se a importância da atualização constante dos profissionais da área, diante das rápidas transformações tecnológicas e da evolução das metodologias empregadas no setor.

Palavras-chave: Engenharia de Software; Modelos de Processo; Desenvolvimento de Sistemas; Qualidade de Software.

ABSTRACT

The central theme of this work is the analysis of software engineering process models, with a focus on the approaches adopted for the development of computer systems and the contributions that these methodologies make to the efficiency, quality and organization of projects. The main objective is to understand how the most traditional and modern development models help to overcome the recurring challenges in software creation, such as changes to requirements, control of deadlines, costs and end-user satisfaction. The research was conducted using a bibliographic methodology, based on authors such as Pressman, Sommerville, IBM and the IEEE, using their works as a reference to examine the main models applied in software engineering. Among the models covered are the waterfall model, prototyping, the spiral model, the incremental model and component-based development. Also included was an analysis of the SWEBOK (Software Engineering Body of Knowledge) guide, which systematizes the areas of knowledge



necessary for software engineering. The results of the research show that although each model has its own characteristics and specific limitations, the choice and proper application of a development process has a direct impact on the quality and success of the software produced. It was also found that more iterative and adaptable models, such as the spiral and incremental, offer greater flexibility in the face of the complexity of today's systems, while approaches such as the waterfall model are more suitable in contexts with well-defined requirements. It is concluded that software engineering, by integrating systematized techniques with a focus on risk analysis, component reuse and user participation, represents an indispensable tool in the construction of effective technological solutions. In addition, the importance of constantly updating professionals in the field is highlighted, given the rapid technological changes and the evolution of the methodologies used in the sector.

Keywords: Software Engineering; Process Models; Systems Development; Software Quality.



1 INTRODUCÃO

A crescente complexidade dos sistemas computacionais e a necessidade de entregar softwares confiáveis, eficientes e dentro de prazos e orçamentos cada vez mais rígidos tornam a Engenharia de Software uma disciplina essencial no cenário atual da tecnologia. Este trabalho tem como tema central os modelos de processos de desenvolvimento de software, destacando suas contribuições para a organização, qualidade e eficácia na produção de sistemas. Fundamentado na literatura de autores como Pressman, Sommerville, IBM e no guia SWEBOK, este estudo se propõe a analisar de forma comparativa diferentes abordagens metodológicas adotadas ao longo do tempo, entre elas o modelo cascata, a prototipação, o modelo espiral, o incremental e o desenvolvimento baseado em componentes. Parte-se da hipótese de que a escolha adequada do modelo de processo impacta significativamente o sucesso do projeto, principalmente em termos de adaptabilidade a mudanças, controle de riscos, produtividade da equipe e satisfação do usuário final.

A justificativa da pesquisa reside no fato de que, mesmo com o avanço das metodologias e ferramentas de apoio, muitas organizações ainda enfrentam dificuldades na implementação eficaz de processos de desenvolvimento, o que compromete a qualidade do produto final. Assim, o estudo visa não apenas descrever os modelos, mas também evidenciar suas vantagens, limitações e contextos de aplicação mais apropriados.

É importante destacar que a Engenharia de Software não surgiu como uma disciplina técnica isolada, mas como uma resposta concreta aos problemas recorrentes enfrentados pelas indústrias de software a partir da década de 1960, quando o desenvolvimento de sistemas se tornava cada vez mais complexo e instável. Os primeiros modelos de processo, como o ciclo de vida em cascata, foram desenvolvidos para trazer uma abordagem mais formal e previsível ao desenvolvimento de software, buscando aplicar princípios da engenharia tradicional ao campo computacional. No entanto, com o passar do tempo, percebeu-se que os modelos rígidos apresentavam limitações diante da natureza dinâmica e imprevisível de muitos projetos, levando à criação de modelos mais flexíveis, iterativos e adaptáveis, como o modelo espiral, o incremental e o baseado em componentes.

A revisão bibliográfica conduzida neste trabalho possibilitou compreender que não existe um modelo de processo universalmente ideal, mas sim metodologias que devem ser escolhidas conforme as características do projeto, o perfil da equipe, o domínio do problema e o nível de envolvimento dos usuários. A literatura consultada, como a obra de Pressman (2006), destaca que muitos fracassos em projetos de software estão relacionados à escolha inadequada do modelo de desenvolvimento ou à aplicação ineficiente das boas práticas recomendadas. Sommerville (1995), por sua vez, reforça que a engenharia de software deve estar orientada por processos bem definidos, mas flexíveis o suficiente para acomodar mudanças e incertezas. O guia SWEBOK, por sua vez, sistematiza o corpo de conhecimentos essenciais da área e aponta



para a necessidade de formação interdisciplinar e contínua dos profissionais que atuam nesse campo.

Dessa forma, este trabalho também busca, como objetivo complementar, fomentar uma reflexão crítica sobre como os modelos de processo podem ser combinados ou adaptados de forma híbrida para atender melhor às demandas de projetos contemporâneos, como aqueles baseados em metodologias ágeis ou voltados para arquitetura orientada a serviços. A conclusão da pesquisa mostra que o uso consciente, estratégico e contextualizado dos modelos de engenharia de software pode reduzir falhas, aumentar a previsibilidade, melhorar a comunicação entre os envolvidos e, sobretudo, garantir a entrega de um produto que atenda às expectativas do cliente e da sociedade. Portanto, além de fornecer uma análise técnica sobre cada modelo, este trabalho contribui para o fortalecimento da capacidade de tomada de decisão em projetos de software, essencial para o sucesso em um mercado em constante transformação.

A metodologia adotada foi a pesquisa bibliográfica, com base em fontes técnicas e acadêmicas reconhecidas na área da Engenharia de Software. A estrutura do trabalho foi organizada em capítulos que seguem uma progressão lógica do conhecimento. O primeiro capítulo apresenta o conceito e a evolução histórica da Engenharia de Software, com foco em sua importância estratégica e nos princípios fundamentais da área. No segundo capítulo, são discutidas as técnicas e práticas da engenharia aplicadas ao desenvolvimento de software, evidenciando a necessidade de processos bem definidos. O terceiro capítulo detalha os principais modelos de processo: o modelo cascata, com sua estrutura linear e previsível; a prototipação, voltada à interação com o usuário e testes rápidos; o modelo espiral, que incorpora a análise de riscos em ciclos evolutivos; o incremental, que busca entregar partes funcionais do software ao longo do tempo; e o desenvolvimento baseado em componentes, que enfatiza a reutilização de módulos de software.

Por fim, o trabalho apresenta uma reflexão sobre o SWEBOK, o guia do IEEE que sistematiza os conhecimentos essenciais da área em dez áreas principais, destacando também suas limitações frente à constante evolução das práticas de desenvolvimento. Assim, este estudo contribui para a compreensão crítica dos modelos de processos em Engenharia de Software, ressaltando que a escolha da abordagem mais adequada pode representar a diferença entre o sucesso e o fracasso de um projeto de software.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ENGENHARIA DE SOFTWARE

Atualmente, o software de computadores representa uma tecnologia essencial em escala global, tendo apresentado um desenvolvimento acelerado desde os anos 1950. Com esse crescimento intenso, surgiram diversos desafios, especialmente relacionados à correção de erros, adaptação, aprimoramento e, principalmente, à manutenção, que acaba demandando mais recursos humanos e financeiros do que o próprio desenvolvimento de novos sistemas. Diante dessas dificuldades, novos conceitos foram sendo formulados, dentre eles o da Engenharia de Software. Conforme definição de Fritz Bauer, Engenharia de



Software consiste na "criação e uso de princípios sólidos da engenharia com o objetivo de produzir softwares econômicos, confiáveis e eficientes em máquinas reais". Já o IEEE apresenta uma concepção mais ampla, descrevendo-a como: "(1) a aplicação de uma abordagem sistemática, disciplinada e quantificável ao desenvolvimento, operação e manutenção do software — ou seja, a aplicação da engenharia ao software; (2) o estudo dessas abordagens". (PRESSMAN, 2006). Essas definições estão reunidas na obra de Pressman, que enfatiza a Engenharia de Software como uma tecnologia estruturada em camadas — Ferramentas, Métodos, Processo e Foco na Qualidade —, sendo fundamental que as organizações se comprometam com a busca contínua pela qualidade.

2.1 TÉCNICAS DE ENGENHARIA DE SOFTWARE

A Engenharia de Software é reconhecida como uma abordagem eficaz para o desenvolvimento de projetos de software. No entanto, muitas de suas práticas ainda não são plenamente adotadas na produção de sistemas, o que contribui para a persistência de diversos problemas no setor. A criação de softwares complexos, capazes de atender às expectativas dos usuários e que sejam entregues dentro dos prazos e orçamentos definidos, ainda representa um grande desafio. Diante disso, alguns estudiosos, como Pressman (2006), chegaram a afirmar que a Engenharia de Software se encontra em um estado de aflição crônica. À medida que a capacidade técnica de desenvolver software avançou, também aumentou a complexidade dos sistemas demandados, especialmente com o surgimento de novas tecnologias oriundas da convergência entre sistemas computacionais e de comunicação. Essa evolução trouxe novos desafios para os engenheiros de software, que, em muitos casos, ainda enfrentam dificuldades devido à aplicação ineficiente das práticas da área pelas organizações. Apesar disso, a situação não é tão crítica quanto alguns pessimistas apontam, embora haja, de fato, muito espaço para melhorias.

Nesse contexto, destaca-se a importância dos modelos de processo de software, que consistem em representações abstratas dos processos de desenvolvimento e fornecem visões específicas e parciais sobre as atividades envolvidas (SOMMERVILLE, 1995). Entre os modelos que serão discutidos neste artigo, encontram-se: o modelo em cascata, o desenvolvimento evolucionário, o desenvolvimento iterativo (incluindo os modelos espiral e incremental) e o desenvolvimento baseado em componentes. Além desses, existem outros modelos citados por Pressman (2006), que não serão abordados com profundidade neste trabalho, tais como o modelo incremental, o modelo RAD (Desenvolvimento Rápido de Aplicações), o modelo de desenvolvimento concorrente, o modelo de métodos formais e o Processo Unificado.

2.2 CASCATA, LINEAR OU CLÁSSICO

O modelo em cascata caracteriza-se por adotar uma abordagem linear e sequencial no desenvolvimento de software. Nele, cada fase do processo deve ser concluída integralmente antes que a

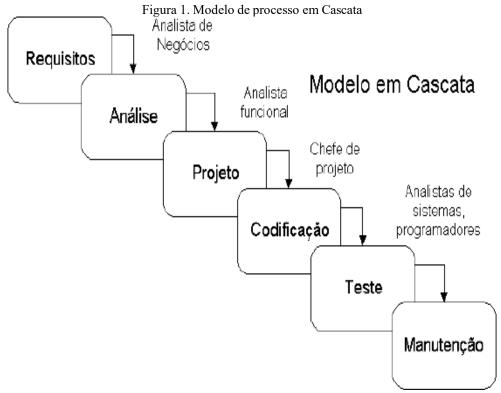


próxima se inicie, sem a possibilidade de retornos ou revisões entre as etapas. Essa estrutura favorece o controle organizacional e gerencial, permitindo que cada estágio tenha prazos bem definidos e contribuindo para que o produto avance de forma ordenada até sua conclusão, teoricamente dentro do cronograma previsto. O fluxo de desenvolvimento segue uma trajetória rígida, que parte do conceito inicial, passa pelo projeto (design), implementação, testes, instalação, detecção de defeitos, até chegar à operação e manutenção, sem sobreposição ou repetições entre as fases (PRESSMAN, 2006). Contudo, a principal limitação desse modelo reside na baixa flexibilidade para revisões. Assim, quando o sistema atinge a etapa de testes, tornase difícil modificar elementos que foram mal planejados nas fases iniciais, especialmente no conceito do projeto.

O modelo em cascata parte de uma visão orientada a projetos, tratando o desenvolvimento de software como uma tarefa bem definida, cujos resultados são determinados com precisão desde o início. Entretanto, Pressman (1995) destaca alguns problemas que surgem na prática da aplicação desse modelo. Um deles é o fato de que projetos reais raramente seguem um fluxo totalmente linear, havendo sempre alguma forma de iteração, o que dificulta a aplicação rigorosa do paradigma. Além disso, é comum que o cliente tenha dificuldades para especificar todas as exigências de forma clara no início do projeto, e o ciclo de vida tradicional exige justamente essa definição precoce, o que nem sempre é viável. Outro ponto crítico é a necessidade de paciência por parte do cliente, já que uma versão funcional do software só é disponibilizada tardiamente, o que pode ser problemático caso algum erro grave só seja identificado nesse estágio, acarretando grandes prejuízos.

Complementando essa análise, Peters (2001) aponta como vantagem do modelo cascata a facilidade de gerenciamento dos "baselines", ou seja, dos conjuntos fixos de documentos gerados ao final de cada etapa do desenvolvimento. No entanto, entre as desvantagens, destaca-se a dificuldade de aplicar engenharia reversa em sistemas já existentes, bem como a ausência de mecanismos para prototipagem rápida e desenvolvimento incremental, aspectos considerados importantes nos contextos de desenvolvimento contemporâneos.





 $Fonte: LESSA; LESSA\; JUNIOR, [s.d.]$

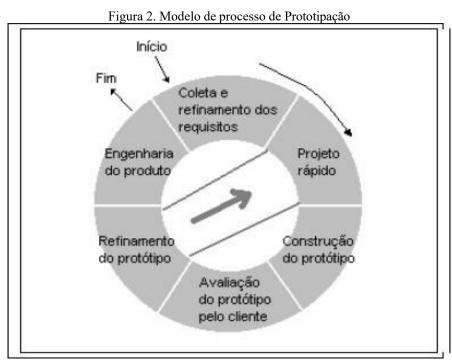
2.3 PROTOTIPAÇÃO

A prototipação consiste na construção de versões preliminares de um sistema — os chamados protótipos — e pode ser classificada com base em diferentes critérios. Essa abordagem apresenta diversas vantagens relevantes, sendo a principal delas o fato de que não é necessário definir todos os requisitos do sistema de forma completa e antecipada, pois eles podem ser modificados ao longo do desenvolvimento. Além disso, a prototipação contribui para a entrega de definições claras e compreensíveis do sistema, o que facilita a elaboração das especificações voltadas ao usuário final. Como consequência, há um aumento significativo no envolvimento e na satisfação dos usuários, uma vez que eles conseguem visualizar e interagir com versões iniciais do sistema. Outro benefício importante é a possibilidade de testar rapidamente o ambiente de desenvolvimento, avaliando aspectos como funcionalidades, desempenho e integração com banco de dados (IBM, 2002).

Apesar dessas vantagens, a prototipação também apresenta algumas limitações. Um dos problemas recorrentes é o início precoce da modelagem, muitas vezes sem uma análise adequada da situação atual e da situação desejada, bem como sem uma compreensão clara do problema a ser resolvido — aspectos que são tão importantes quanto a busca por soluções. Esse risco se intensifica no caso da prototipação evolucionária, na qual, a cada iteração, o protótipo pode ser ajustado de maneira inadequada, incorporando menos funcionalidades do que o necessário ou incluindo elementos supérfluos, comprometendo o resultado final do projeto. Outro risco significativo é relacionado à percepção do usuário final. O processo de



prototipação pode gerar uma falsa expectativa de que qualquer sugestão será facilmente implementada, independentemente da fase em que o desenvolvimento se encontra. Além disso, ao verem uma versão demonstrativa do sistema funcionando, muitos usuários não compreendem por que há demora na entrega da aplicação final, desconhecendo as complexidades e etapas técnicas que ainda precisam ser cumpridas (IBM, 2002).



Fonte: LESSA; LESSA JUNIOR, [s.d.]

2.4 MODELO DE PROCESSO DE SOFTWARE EVOLUCIONÁRIO

Pesquisas indicam que, assim como outros sistemas complexos, o software tende a evoluir ao longo do tempo. Durante esse processo, os requisitos de negócio e do produto frequentemente se modificam, dificultando uma trajetória linear até a obtenção de um produto final completo (PRESSMAN, 2006). Diante desse cenário dinâmico, surgem modelos de desenvolvimento iterativos, que buscam construir versões progressivamente mais completas do software.

Um dos modelos que seguem essa lógica é o modelo espiral, proposto por Barry Boehm em 1988. Ele combina elementos positivos do modelo clássico em cascata e da prototipação, acrescentando um diferencial essencial: a análise contínua de riscos. Essa estrutura é composta por quatro quadrantes fundamentais: planejamento (definição de objetivos, alternativas e restrições), análise de riscos (identificação e resolução de problemas potenciais), engenharia (desenvolvimento do próximo nível do produto) e avaliação pelo cliente (validação dos resultados obtidos). O modelo espiral adota uma abordagem evolucionária da engenharia de software, permitindo que desenvolvedores e usuários compreendam e



enfrentem os riscos de forma sistemática em cada ciclo. A prototipação é empregada como uma estratégia de mitigação de riscos, podendo ser aplicada em qualquer etapa do desenvolvimento. Essa metodologia integra a disciplina e a estrutura sequencial do ciclo de vida clássico a uma dinâmica iterativa, mais condizente com os contextos reais de desenvolvimento. O modelo exige que os riscos técnicos sejam considerados desde o início do projeto, de modo a evitá-los antes que comprometam o produto (PRESSMAN, 2006).

Além disso, o modelo espiral reconhece que o processo de desenvolvimento de software não pode ser totalmente definido desde o início. Através de ciclos evolutivos, cada etapa do projeto contempla atividades como a definição de metas e restrições, a avaliação de alternativas frente aos objetivos estabelecidos, a elaboração técnica dos componentes do sistema e, por fim, o planejamento do próximo ciclo, sendo possível inclusive encerrar o projeto caso se constate um risco elevado.

Outro modelo relevante é o modelo incremental, que, segundo Pressman (2006), combina aspectos do modelo cascata com uma execução iterativa. Ele difere da prototipação por entregar, a cada incremento, um produto funcional. Essa característica torna o modelo especialmente útil em contextos nos quais a empresa não dispõe de todos os recursos humanos necessários para uma implementação completa e imediata, permitindo que o sistema seja desenvolvido por partes, dentro do prazo estipulado.

O desenvolvimento baseado em componentes, também chamado de *component-based development* (CBD) ou *component-based software engineering* (CBSE), fundamenta-se na reutilização de módulos de software previamente criados. Embora Pressman (2006) não forneça uma definição exata de componente, ele associa esse modelo ao paradigma da orientação a objetos, no qual as classes são vistas como elementos reutilizáveis que encapsulam dados e algoritmos. Esse modelo integra a lógica iterativa do modelo espiral à prática da construção de bibliotecas de classes, que podem ser reutilizadas ao longo de diferentes projetos. A cada ciclo da espiral, avalia-se se as classes existentes na biblioteca são suficientes ou se é necessário desenvolver novas para uso futuro.

Diante da complexidade e abrangência da Engenharia de Software, o IEEE formou um comitê responsável pela criação do SWEBOK (Software Engineering Body of Knowledge), um guia que organiza essa área em dez grandes áreas de conhecimento: Requisitos de Software, Projeto (Design) de Software, Construção de Software, Teste de Software, Manutenção de Software, Gerência de Configuração de Software, Gerência de Engenharia de Software, Processos de Engenharia de Software, Ferramentas e Métodos de Engenharia de Software, e Qualidade de Software. Cada área é subdividida em tópicos específicos, que compõem o escopo dos conhecimentos fundamentais que os engenheiros devem dominar. Entretanto, o próprio guia reconhece que o conhecimento exigido na área vai além do que está ali formalizado, incluindo disciplinas associadas como engenharia da computação, ciência da computação, matemática, gerenciamento de projetos e da qualidade, ergonomia e engenharia de sistemas.

O SWEBOK passou por três versões, representadas metaforicamente por estágios de robustez:



"homem de palha", "homem de pedra" (1998–2001) e, por fim, "homem de ferro" (2003), considerada a versão final. Contudo, por mais abrangente que seja, o guia não consegue acompanhar com total precisão as constantes transformações que ocorrem no campo da engenharia de software, especialmente com o surgimento de novas tecnologias e práticas, o que pode torná-lo parcialmente defasado com o tempo.

3 CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho reafirma a importância dos modelos de processos de engenharia de software como ferramentas fundamentais para a organização, o controle e a qualidade no desenvolvimento de sistemas computacionais. Ao longo da pesquisa, foi possível observar que, embora existam diversos modelos disponíveis, cada um apresenta características, vantagens e limitações que os tornam mais adequados a determinados contextos e necessidades. O modelo cascata, por exemplo, se destaca pela estrutura sequencial e previsível, mas apresenta dificuldades em se adaptar a mudanças de requisitos ao longo do projeto. Já a prototipação oferece maior flexibilidade e interação com o usuário, embora possa gerar expectativas irreais e problemas de definição de escopo. O modelo espiral, por sua vez, introduz de forma eficaz a análise de riscos como elemento central, oferecendo uma estrutura iterativa que contempla tanto planejamento quanto avaliação contínua, sendo mais apropriado para projetos complexos e sujeitos a incertezas. O modelo incremental propõe uma entrega progressiva de funcionalidades, possibilitando melhorias contínuas e validações parciais durante o desenvolvimento, enquanto o desenvolvimento baseado em componentes enfatiza o reuso de soluções e a modularização, contribuindo para a eficiência e a padronização de sistemas maiores. Além disso, o estudo do SWEBOK demonstrou que a engenharia de software é uma área dinâmica e multidisciplinar, que requer conhecimento técnico atualizado, domínio de processos e compreensão das relações entre a engenharia e outras áreas do conhecimento, como gestão, ergonomia, matemática e ciência da computação. A análise dos modelos reforça a hipótese de que a escolha adequada de um processo de desenvolvimento está diretamente associada à complexidade do projeto, ao perfil da equipe, ao grau de maturidade da organização e às demandas específicas dos usuários. Também foi possível perceber que as abordagens iterativas, como o espiral e o incremental, têm se mostrado mais eficazes frente à volatilidade dos requisitos e à necessidade de maior interação com os usuários finais. Por fim, conclui-se que, para garantir o sucesso de um projeto de software, é essencial que os profissionais da área estejam atentos não apenas às ferramentas e técnicas disponíveis, mas também às transformações constantes do setor tecnológico, à busca por qualidade contínua e ao compromisso com as boas práticas da engenharia de software. O aprimoramento contínuo dos métodos de desenvolvimento e a adoção consciente dos modelos de processo são, portanto, caminhos indispensáveis para a construção de soluções eficazes, sustentáveis e alinhadas às exigências do mercado atual.



REFERÊNCIAS

BROWN, ALAN W., On Components and *Objects: The Fundation of Component- Based Development,* Assessment of Software Tools and Tecnology, Procedings Fifth International Symposium on Proceedings - IEEE, 1997.

IBM; Practicing Object-Oriented Analysis and Design- ERC2.2.; IBM Education and Training; 2002L.

LESSA, Rafael Orivaldo; LESSA JUNIOR, Edson Orivaldo. *Princípios da engenharia de software*. Palhoça, SC: Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, [s.d.].

PRESSMAN, ROGER S., Engenharia de Software- (3ª edição), São Paulo, Ed. MakronBooks, 1995.

PRESSMAN, ROGER S., Engenharia de Software- (6ª edição), São Paulo, Ed. McGrawHill, 2006.

PETERS, JAMES F., Engenharia de Software: Teoria e Prática, Rio de Janeiro, Editora Campus, 2001.

SOMMERVILLE, I. Software Engineering (International Computer Science Series). 5a Edição. Reading: Addison-Wesley, 1995.

SWEBOK 2004, Guide for the Software Engineering Body of Knowledge, 2004 version, IEEE Computer Society, California, EUA.



ENGENHARIA DE SOFTWARE E REDES NEURAIS

SOFTWARE ENGINEERING AND NEURAL NETWORKS

doi.org/10.63330/aurumpub.005-012

Kaleb Thomé Ribeiro Oliveira

Graduando, Engenharia de software UniFatecie

E-mail: rosangelaengbio@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como tema central a integração entre engenharia de software e redes neurais artificiais, abordando como a combinação dessas duas áreas pode resultar em soluções computacionais mais eficientes, inteligentes e adaptativas. O principal objetivo da pesquisa foi investigar de que forma as redes neurais, inspiradas no funcionamento do cérebro humano, podem ser aplicadas no contexto do desenvolvimento de software para melhorar processos como a estimativa de custos, identificação de falhas e otimização de desempenho. Para isso, utilizou-se uma metodologia de pesquisa bibliográfica, com base em autores como Haykin (2001), Pressman (2010), Pfleeger (1998), Silva, Spatti e Flauzino (2010), entre outros, além da análise de estudos de caso e aplicações práticas já desenvolvidas na área. A engenharia de software foi analisada desde seus fundamentos, incluindo suas fases essenciais como levantamento de requisitos, modelagem, codificação, testes e manutenção. Em paralelo, foram exploradas as características das redes neurais artificiais, como sua capacidade de aprendizado, adaptação e generalização, com destaque para aplicações concretas na estimativa de esforço de desenvolvimento de software. Os resultados da análise indicaram que a incorporação de redes neurais no ciclo de vida do software pode tornar os processos mais precisos, ágeis e responsivos a mudanças. Constatou-se ainda que o uso de RNAs promove a automação de tarefas que exigem julgamento subjetivo ou conhecimento especializado, contribuindo para a redução de falhas humanas e para a melhoria da qualidade final do produto de software. Conclui-se, portanto, que a convergência entre engenharia de software e redes neurais artificiais representa uma tendência promissora, capaz de transformar a forma como sistemas computacionais são projetados, desenvolvidos e mantidos, fortalecendo a inovação tecnológica no campo da inteligência computacional.

Palavras-chave: Redes Neurais Artificiais; Engenharia de Software; Inteligência Computacional.

ABSTRACT

The central theme of this work is the integration of software engineering and artificial neural networks, addressing how the combination of these two areas can result in more efficient, intelligent and adaptive computing solutions. The main objective of the research was to investigate how neural networks, inspired by the functioning of the human brain, can be applied in the context of software development to improve processes such as cost estimation, fault identification and performance optimization. To this end, a bibliographic research methodology was used, based on authors such as Haykin (2001), Pressman (2010), Pfleeger (1998), Silva, Spatti and Flauzino (2010), among others, as well as the analysis of case studies and practical applications already developed in the area. Software engineering was analyzed from its foundations, including its essential phases such as requirements gathering, modeling, coding, testing and maintenance. In parallel, the characteristics of artificial neural networks were explored, such as their ability to learn, adapt and generalize, with emphasis on concrete applications in estimating software development effort. The results of the analysis indicated that incorporating neural networks into the software life cycle can make processes more precise, agile and responsive to change. It was also found that the use of ANNs



promotes the automation of tasks that require subjective judgment or specialized knowledge, contributing to the reduction of human failures and improving the final quality of the software product. It is therefore concluded that the convergence between software engineering and artificial neural networks represents a promising trend, capable of transforming the way computer systems are designed, developed and maintained, strengthening technological innovation in the field of computational intelligence.

Keywords: Artificial Neural Networks; Software Engineering; Computational Intelligence.



1 INTRODUÇÃO

A integração entre a engenharia de software e as redes neurais artificiais configura o tema central deste trabalho, cuja relevância cresce na medida em que as demandas por sistemas computacionais inteligentes, eficientes e adaptativos se intensificam. A engenharia de software, enquanto disciplina voltada ao desenvolvimento sistemático de programas computacionais, apresenta métodos, técnicas e boas práticas para garantir a qualidade, a confiabilidade e a manutenção dos sistemas. Por sua vez, as redes neurais artificiais, inspiradas na estrutura e no funcionamento do cérebro humano, contribuem com capacidades de aprendizado, generalização e predição, atuando como ferramentas poderosas na automação e na análise de dados complexos. O objetivo deste trabalho é analisar como essas duas áreas se complementam e de que forma a aplicação de redes neurais pode melhorar processos dentro do ciclo de vida do software, especialmente no que diz respeito à estimativa de custos, à predição de esforço e à detecção de falhas. Partese da hipótese de que a incorporação de modelos neurais à engenharia de software representa um avanço significativo, tanto do ponto de vista técnico quanto gerencial, promovendo maior precisão nos processos de desenvolvimento e mais eficiência nos resultados obtidos. Justifica-se esta pesquisa pela crescente necessidade do mercado de software por soluções automatizadas e inteligentes, capazes de lidar com incertezas e adaptar-se a contextos variados. A metodologia adotada foi a pesquisa bibliográfica, com base em autores como Haykin (2001), Pressman (2010), Pfleeger (1998), Silva, Spatti e Flauzino (2010), entre outros, além da análise de estudos de caso que demonstram aplicações reais das RNAs em projetos de engenharia de software.

O trabalho está estruturado em quatro capítulos principais, além desta introdução. No primeiro capítulo, aborda-se a engenharia de software em sua totalidade, incluindo sua definição, ciclo de vida, fases do processo de desenvolvimento e metodologias utilizadas. No segundo capítulo, exploram-se os fundamentos das redes neurais artificiais, suas estruturas, funcionamento, tipos de neurônios e funções de ativação.

Em seguida, no terceiro capítulo, é feita uma análise histórica e técnica mais aprofundada das RNAs, destacando suas aplicações na área de tecnologia da informação, especialmente em sistemas computacionais. Por fim, no quarto capítulo, discute-se a interligação entre engenharia de software e redes neurais, destacando estudos de caso, experimentos, vantagens e limitações dessa integração. A conclusão do trabalho reafirma a importância da convergência entre essas duas áreas como forma de promover a inovação tecnológica, sugerindo que a união entre metodologias estruturadas e inteligência computacional representa um caminho promissor para o futuro do desenvolvimento de software.



2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ENGENHARIA DE SOFTWARE

A engenharia de software, considerada um ramo da engenharia industrial, dedica-se à análise das metodologias de trabalho e das práticas recomendadas utilizadas por profissionais na criação de sistemas de software (Pfleeger, 1998). O principal objetivo dessa área está na utilização de abordagens sistemáticas que garantam que sistemas complexos atendam às necessidades dos usuários, sejam confiáveis, de fácil manutenção, com bom desempenho e que possam ser desenvolvidos dentro dos prazos e orçamentos estabelecidos (Pressman, 2010).

Também conhecida como uma forma de engenharia aplicada ao desenvolvimento de programas computacionais, essa disciplina compreende as etapas de especificação, construção e implantação do código do software (Rezende, 2002). De acordo com Sommerville (2007), a engenharia de software cobre todo o ciclo de vida do sistema, abrangendo desde o levantamento de requisitos, elaboração das especificações, definição da arquitetura interna, escolha das estratégias de programação, desenvolvimento propriamente dito, realização de testes e, finalmente, manutenção do software (Magela, 2006).

O processo de Engenharia de Software abrange várias etapas, incluindo a análise de requisitos, o design do sistema, a implementação, os testes e a manutenção. A análise de requisitos é crucial, pois é nesse estágio que as expectativas dos usuários são levantadas e documentadas. Um bom entendimento dos requisitos é essencial para evitar retrabalhos e garantir que o produto final atenda às necessidades do mercado.

O design do sistema envolve a criação da arquitetura do software, definindo como os diferentes componentes interagem entre si. Essa fase é seguida pela implementação, onde os desenvolvedores escrevem o código-fonte. A qualidade do código é um fator determinante, e práticas como revisão de código e programação em pares são frequentemente utilizadas para garantir sua robustez.

Os testes são outra fase crítica, pois asseguram que o software funcione corretamente e esteja livre de falhas. Testes unitários, de integração e funcionais são realizados para validar o comportamento do sistema em diferentes cenários. Após o lançamento, a manutenção se torna uma parte contínua do ciclo de vida do software, onde melhorias e correções são implementadas conforme necessário.

Além das técnicas e metodologias, a Engenharia de Software também abrange aspectos de gestão de projetos, como o gerenciamento de equipes e o controle de prazos e orçamentos. Metodologias ágeis, como Scrum e Kanban, têm ganhado popularidade, permitindo que as equipes respondam rapidamente a mudanças e entreguem incrementos de software de forma contínua.

Em resumo, a Engenharia de Software é uma área dinâmica e em constante evolução, que combina conhecimentos técnicos e habilidades de gestão para produzir software de alta qualidade, atendendo às demandas de um mercado cada vez mais exigente.



2.2 REDES NEURAIS

As redes neurais artificiais são projetadas com base no funcionamento do cérebro humano, sendo compostas por diversos neurônios artificiais. Essas redes são implementadas por meio de programação computacional ou por meio de circuitos eletrônicos (HAYKIN, 2001). Os neurônios artificiais, também conhecidos como nós, são as unidades fundamentais dessas redes. Eles recebem múltiplos valores de entrada, cada um associado a um peso que define a força e a direção da conexão. Cada neurônio é equipado com uma função de ativação, que realiza o processamento da soma ponderada das entradas e gera um valor de saída correspondente (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Um exemplo prático da aplicação de redes neurais pode ser encontrado no trabalho de Moura, Pinto e Lustosa Filho (2011), que desenvolveram uma ferramenta destinada à estimativa de custos de projetos de software, simulando o processo de análise realizado por engenheiros experientes. Para isso, utilizaram o modelo de pontos por função, atribuindo pesos a diversos fatores relevantes para o cálculo. Esses pesos compõem os dados de entrada da rede neural, que então estima o custo do projeto. O treinamento dessa rede foi realizado com informações de 70 projetos reais, enquanto outros 30 projetos serviram como base para validação dos resultados obtidos pela ferramenta, de acordo com o aprendizado da rede.

Em outra pesquisa, também baseada em redes neurais, foi desenvolvida uma ferramenta voltada à estimativa de custos de software, porém com abordagem distinta. Nesse caso, as entradas da rede incluem os requisitos do sistema e o tempo padrão estimado para sua implementação. A rede é treinada com base em tempos padrão fornecidos por especialistas. Ao submeter a rede a diferentes conjuntos de dados e comparar os resultados obtidos, a ferramenta ajusta seus parâmetros até alcançar uma estimativa próxima àquela feita por um profissional experiente (BORSOI et al., 2011).

Outra aplicação importante do uso de redes neurais artificiais está no trabalho de Garcia et al. (2011), cujo objetivo foi prever o esforço total necessário para o desenvolvimento de um software, com base em características comuns entre os projetos analisados. Para isso, foi implementada uma rede com três camadas, sendo que os valores de entrada correspondiam às variáveis mais relevantes para a estimativa, enquanto a saída era o custo final previsto. O treinamento da rede envolveu dados de 214 projetos, dos quais uma parte foi utilizada para testar e validar o desempenho do modelo.

2.3 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são estruturas computacionais inspiradas no funcionamento do sistema nervoso dos seres vivos. Seu principal diferencial está na habilidade de adquirir e preservar conhecimentos, sendo constituídas por um conjunto de unidades de processamento (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). Essas redes são compostas por Neurônios Artificiais interligados por inúmeras conexões, denominadas sinapses artificiais, que podem ser representadas por vetores ou matrizes. O modelo



matemático das RNAs baseia-se na arquitetura neural de organismos inteligentes, permitindo que elas aprendam por meio da experiência, o que as torna comparáveis, em certa medida, ao cérebro humano (HAYKIN, 2001). Essa semelhança decorre da capacidade de aprendizagem e das conexões entre os neurônios artificiais, chamadas de pesos sinápticos, onde o conhecimento é efetivamente armazenado (HAYKIN, 2001). As RNAs podem ser implementadas por meio de componentes eletrônicos ou simuladas em computadores digitais, destacando-se por características como aprendizado, adaptação, generalização e facilidade na prototipagem (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

O estudo pioneiro sobre RNAs foi conduzido em 1943 por McCulloch e Pitts, cujo objetivo era modelar matematicamente o neurônio biológico. Eles demonstraram que o comportamento do neurônio seguia o princípio do "tudo ou nada", sendo essencial que suas funções fossem descritas de maneira linear (CARDON; MÜLLER, 1994). Apesar dos avanços obtidos até os anos 1950, o primeiro modelo prático de RNA surgiu com o Perceptron, desenvolvido por Frank Rosenblatt em 1958. O Perceptron representa uma RNA simples, formada por uma camada de entrada e outra de saída, onde cada entrada é associada a um peso, sendo a saída calculada a partir da soma dos produtos entre entradas e seus respectivos pesos (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

2.4 REDE NEURAL PERCEPTRON

A Rede Neural Perceptron é um modelo fundamental em aprendizado de máquina, especialmente na área de redes neurais. Desenvolvido por Frank Rosenblatt na década de 1950, o perceptron é um tipo de rede neural de camada única que simula o funcionamento de um neurônio biológico. Ele é projetado para realizar tarefas de classificação binária, onde a saída é uma decisão entre duas classes.(MOLETTA,2015)

O funcionamento do perceptron se baseia em uma combinação linear das entradas, que são ponderadas por pesos ajustáveis. Cada entrada é multiplicada por um peso correspondente, e o resultado é somado. Essa soma é então passada por uma função de ativação, geralmente uma função degrau, que determina a saída do perceptron. Se a soma ponderada exceder um determinado limiar, o perceptron ativa uma saída positiva; caso contrário, a saída é negativa. (MOLETTA,2015)

O treinamento de um perceptron envolve a atualização dos pesos com base na diferença entre a saída prevista e a saída real, utilizando um algoritmo de aprendizado conhecido como regra de atualização do perceptron. Este processo é repetido por várias iterações até que o modelo atinja um nível satisfatório de precisão. (MOLETTA,2015)

Ainda, Hebb escreve que, os neurônios que tem sua ação em conjunto, ou seja, são estimulados ou exercem estímulo, fortalecem a ligação sináptica, no caso das RNAs, os pesos sinápticos. Observou-se no estudo da programação destes sistemas especialistas que o acréscimo dos pesos ocorre de maneira proporcional, e simétrica (CARDON; MÜLLER, 1994).



Embora o perceptron tenha limitações, como a incapacidade de resolver problemas linearmente inseparáveis (por exemplo, o problema XOR), ele é a base para o desenvolvimento de redes neurais mais complexas, como as redes multicamadas, que utilizam múltiplas camadas de neurônios e técnicas de retropropagação. A simplicidade e a elegância do perceptron o tornam um ponto de partida essencial para quem deseja entender os fundamentos das redes neurais e do aprendizado de máquina. (MOLETTA,2015)

2.5 ENGENHARIA DE SOFTWARE E REDES NEURAIS

A engenharia de software e as redes neurais artificiais representam dois campos interdependentes que, quando integrados, potencializam significativamente o desenvolvimento de soluções computacionais inteligentes e adaptativas. A engenharia de software, por sua vez, oferece os fundamentos metodológicos e técnicos necessários para a criação sistemática e eficiente de sistemas de software, enquanto as redes neurais — inspiradas na estrutura e funcionamento do cérebro humano — introduzem capacidades de aprendizado, generalização e predição ao processo de desenvolvimento. (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Ao incorporar redes neurais artificiais no contexto da engenharia de software, torna-se possível otimizar atividades críticas como estimativas de esforço e custo, identificação de falhas, testes automatizados e análise de requisitos. Essas tarefas, tradicionalmente executadas com base em métodos estatísticos ou heurísticos, ganham maior precisão e adaptabilidade com o uso de modelos neurais, que aprendem a partir de dados históricos e comportamentos anteriores. Assim, as redes neurais passam a atuar como componentes inteligentes dentro das etapas do ciclo de vida do software, aumentando a confiabilidade dos sistemas desenvolvidos. (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

Além disso, a engenharia de software contribui para a estruturação e manutenção de aplicações baseadas em redes neurais, oferecendo frameworks e boas práticas para o design modular, testes, reuso de componentes e gerenciamento de versões. Essa colaboração entre as áreas é essencial para que os sistemas neurais, muitas vezes complexos e sensíveis a variações nos dados, sejam implementados de forma robusta e escalável. (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010).

A sinergia entre engenharia de software e redes neurais resulta em soluções computacionais mais eficientes, capazes de se adaptar a ambientes dinâmicos e de aprender continuamente com novas informações. Esse entrelaçamento não apenas aprimora a qualidade do software, mas também impulsiona a inovação tecnológica em áreas como sistemas preditivos, reconhecimento de padrões, automação inteligente e tomada de decisão autônoma. Com isso, a convergência entre essas duas disciplinas se consolida como um dos pilares do avanço da inteligência computacional e da construção de sistemas mais inteligentes, responsivos e personalizados.



3 CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho reafirma a relevância da integração entre a engenharia de software e as redes neurais artificiais como um caminho estratégico e inovador para o desenvolvimento de sistemas computacionais mais eficientes, flexíveis e inteligentes. Ao longo desta pesquisa, ficou evidente que ambas as áreas, embora distintas em suas origens e fundamentos, apresentam complementaridades técnicas e metodológicas que, quando exploradas em conjunto, oferecem soluções avançadas para os desafios contemporâneos da tecnologia da informação. A engenharia de software, com seu rigor metodológico e foco na qualidade de processos e produtos, fornece uma base sólida para o planejamento, implementação, teste e manutenção de sistemas. Já as redes neurais artificiais, inspiradas no funcionamento do cérebro humano, agregam ao processo de desenvolvimento a capacidade de aprender com dados, identificar padrões complexos, fazer predições e adaptar-se a novas informações sem a necessidade de reprogramação explícita.

A análise dos estudos de caso apresentados demonstrou que a aplicação de redes neurais em processos como a estimativa de esforço e custo, a avaliação de requisitos, a previsão de defeitos e a automação de testes contribui significativamente para a otimização do ciclo de vida do software. Esses modelos computacionais, quando corretamente treinados e ajustados, superam limitações de abordagens tradicionais e reduzem a dependência de julgamento humano em tarefas subjetivas, promovendo maior consistência e produtividade. Além disso, o uso das RNAs permite que sistemas se tornem progressivamente mais autônomos, com capacidade de resposta e adaptação a contextos dinâmicos e incertos.

A pesquisa bibliográfica, baseada em autores renomados como Haykin, Pfleeger, Pressman, Sommerville, Silva, Spatti e Flauzino, entre outros, forneceu um arcabouço teórico robusto que sustentou a compreensão das características, potencialidades e desafios envolvidos na aplicação de redes neurais em projetos de software. A escolha por esse tipo de metodologia mostrou-se apropriada, uma vez que permitiu o levantamento de conceitos fundamentais, bem como a análise crítica de experiências práticas e evidências empíricas sobre o uso integrado das duas áreas.

Conclui-se, portanto, que a convergência entre engenharia de software e redes neurais artificiais representa mais do que uma tendência passageira: trata-se de uma necessidade frente às exigências de um mercado que demanda soluções cada vez mais inteligentes, personalizadas, rápidas e confiáveis. A consolidação dessa integração exige investimentos em capacitação profissional, pesquisa multidisciplinar e desenvolvimento de ferramentas que favoreçam a aplicabilidade desses conceitos no cotidiano das organizações. Espera-se que este trabalho sirva como ponto de partida para aprofundamentos futuros, fomentando discussões acadêmicas e práticas sobre o papel das redes neurais no contexto da engenharia de software, bem como sobre as transformações que essa interação pode promover na forma como os sistemas computacionais são concebidos, implementados e evoluem. Em um cenário de constante inovação



tecnológica, o diálogo entre essas áreas se configura como elemento-chave para o avanço da inteligência computacional e para a construção de um futuro digital mais eficiente, autônomo e inteligente.



REFERÊNCIAS

AGUIAR, F. G. Utilização de redes neurais artificiais para detecção de padrões de vazamento indutos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010.

ANJOS, J. M. S.; VILLANI, E. Modelagem e verificação de uma proposta para arquitetura de controle de um efetuador robótico baseada em LabViewTM. 2010.

AZEVEDO, F. M. de; BRASIL, L. M.; OLIVEIRA, R. C. L. de. Redes neurais com aplicação em controles e em sistemas especialistas. Florianópolis: Visual Books Editora, 2000.

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática. Campinas: UNICAMP/IMECC, 2006.

BENINI, L. C. Estimação da densidade de solos utilizando sistemas de inferência fuzzy. 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

BOENTE, A. N. P. Um modelo fuzzy para avaliação da qualidade de produtos de software e da satisfação dos gerentes de projetos numa fundação pública estadual. 2009. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: http://boente.eti.br/fuzzy/tese-fuzzy-boente.pdf. Acesso em: 26 Jun. 2025.

BORSOI, Beatriz et al. Redes neurais aplicadas na estimativa de prazos de projetos de software. 2011. Disponível em: http://www.inf.unioeste.br/epac/anais2011/artigos_epac/A15.pdf. Acesso em: 22 Jun. 2025.

CARDON, A.; MÜLLER, D. N. Introdução às redes neurais artificiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

CASTRO, Raphael D. Avaliação de riscos em projetos de software a partir do uso de técnicas de inteligência computacional. 2009. Monografia — Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: http://tcc.ecomp.poli.br/20091/TCC%20Jose%20DCastro-TCC.pdf. Acesso em: 26 Jun. 2025.

CAVALCANTE, M. M. et al. A plataforma Arduino para fins didáticos: estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ. XXXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação – CSBC, 2014.

COZMAN, F. G. Generalizing variable elimination in bayesian networks. Workshop on Probabilistic Reasoning in Artificial Intelligence, 2000.

CUNHA, F. L. et al. O uso de redes neurais artificiais para o reconhecimento de padrões em uma prótese mioelétrica de mão. Laboratório de Biocibernética e Engenharia de Reabilitação – D.E.E. – E.E.S.C./ USP, 2007.

GARCIA, A. et al. Methodology for software development estimation optimization based on neural networks. 2011. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5893788. Acesso em: 26 Jun. 2025.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de pesquisa. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.



GOMIDE, F. A. Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas: curso prático. Controle & Automação, v. 23, n. 5, 2012.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. Tratado de fisiologia médica. 12. ed. São Paulo: Elsevier Editora Ltda., 2011.

HAYKIN, Simon. Redes neurais: princípios e práticas. 2. ed. Tradução: Paulo Martins Engel. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HRUSCHKA JR, E. R. Imputação bayesiana no contexto da mineração de dados. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

KLIR, George; YUAN, Bo. Fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy system: selected papers by Lotfi A. Zadeh. Tradução do autor. World Scientific Publishing, 1996.

MAGELA, R. Engenharia de software aplicada: princípios. Rio de Janeiro: Alta Books, 2006.

MENDES, Emilia. Construindo um modelo especialista de estimativa de esforço de aplicações web usando redes bayesianas. 2010. Disponível em: https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/1024.pdf#page=64.

Acesso em: 20 jun. 2025.

MOLETTA, Eduardo. Redes neurais com estados de eco aplicadas em controle dependente dos estados. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

MONTANAR, T. Histologia: texto, atlas e roteiro de aulas práticas. 3. ed. Porto Alegre: Edição do Autor, 2016.

MOURA, Íthalo Bruno de; PINTO, João Phellipe; LUSTOSA FILHO, José. Neural Estimate: uma ferramenta para a estimativa de custo de software. Escola Regional de Computação dos Estados do Ceará, Maranhão e Piauí, Teresina, 2011. Disponível em: http://www.die.ufpi.br/ercemapi2011/artigos/ST2 11.pdf. Acesso em: 20 jun. 2025.

NATIONAL INSTRUMENTS. Líder global em soluções de teste, medição e controle. 2006. Disponível em: http://www.ni.com/pt-br.html. Acesso em: 22 Jun.2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Quais são os diferentes tipos de inteligência artificial? Acesso em: 26 mai. 2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Quais são as diferentes atividades cognitivas que a inteligência artificial é capaz de realizar? Acesso em: 26 Jun. 2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Enumere as principais atividades cognitivas que a inteligência artificial é capaz de realizar. Acesso em: 26 Jun. 2025.

OPENAI. ChatGPT-4. Enumere as principais atividades práticas que a inteligência artificial é capaz de realizar. Acesso em: 26 Jun. 2025.

PAGANI, D. H. Estudo comparativo entre redes neurais artificiais e redes neurais pulsadas usando MATLAB®. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2012.



PAULINO, C. D.; TURKMAN, M. A.; MURTEIRA, B. Estatística bayesiana. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2003.

PFLEEGER, S. L. Software engineering: theory and practice. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1998.

PRESSMAN, R. S. Engenharia de software. 6. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2010.

REZENDE, D. A. Engenharia de software e sistemas de informação. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2002.

SALLE, CTP et al. Uso de redes neurais artificiais para estimar parâmetros de produção de galinhas reprodutoras pesadas em recria. CDPA – Faculdade de Veterinária / UFRGS, 2012.

SILVA, I. N. da; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A. Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2010.

SOMMERVILLE, I. Engenharia de software. 8. ed. Boston: Addison Wesley, 2007.



ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E A GESTÃO DE RISCOS

PRODUCTION ENGINEERING AND RISK MANAGEMENT

di https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-013

Reinaldo da Silva Thomé

Possui graduação em Gestão Pública pelo Centro Universitário Internacional (2012), graduação em Tecnólogo Engenharia em Segurança do Trabalho pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2023), especialização em Aconselhamento e Psicologia Pastoral pela Faculdade Iguaçu (2024) e especialização em Pós-Graduação de Engenharia em Segurança do Trabalho pela Universidade Anhanguera de São Paulo (2025).

LATTES: http://lattes.cnpq.br/8413778291707095

RESUMO

A gestão de riscos é um tema central na Engenharia de Produção, especialmente em um cenário caracterizado pela complexidade dos sistemas produtivos e pela volatilidade dos mercados. Este trabalho tem como objetivo analisar o papel das metodologias clássicas de análise de riscos na Engenharia de Produção, ressaltando sua aplicação prática e relevância diante dos desafios contemporâneos. A metodologia utilizada foi uma revisão bibliográfica qualitativa, com foco em autores clássicos e contemporâneos da área de gerenciamento de projetos e engenharia de produção. O estudo aborda conceitos fundamentais de risco, suas implicações práticas e as metodologias clássicas como Análise SWOT, Análise de Árvore de Falhas (FTA), Análise de Valor (AV), Técnica Delphi e simulação de Monte Carlo. Os resultados indicam que o uso adequado e integrado dessas metodologias pode potencializar os resultados dos projetos, reduzindo impactos negativos e aproveitando oportunidades. Além disso, destaca-se a importância de uma cultura organizacional voltada para a gestão de riscos, que deve ser integrada a outras áreas da administração, como qualidade e planejamento estratégico. As conclusões reafirmam a necessidade de uma abordagem sistêmica e multidisciplinar na gestão de riscos, ressaltando sua relevância para a sustentabilidade econômica, ambiental e social das organizações. O trabalho sugere que futuras pesquisas continuem a explorar e aprimorar as metodologias de análise de riscos, promovendo uma cultura que valorize a inovação e a responsabilidade social.

Palavras-chave: Gestão de riscos; Engenharia de produção; Metodologias de análise; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Risk management is a central theme in Production Engineering, especially in a scenario characterized by the complexity of production systems and the volatility of markets. This paper aims to analyze the role of classic risk analysis methodologies in Production Engineering, highlighting their practical application and relevance in the face of contemporary challenges. The methodology used was a qualitative literature review, focusing on classic and contemporary authors in the field of project management and production engineering. The study addresses fundamental risk concepts, their practical implications and classic methodologies such as SWOT Analysis, Fault Tree Analysis (FTA), Value Analysis (VA), Delphi Technique and Monte Carlo simulation. The results indicate that the appropriate and integrated use of these methodologies can boost project results, reducing negative impacts and taking advantage of opportunities. In addition, the importance of an organizational culture focused on risk management is highlighted, which should be integrated with other areas of management, such as quality and strategic planning. The conclusions reaffirm the need for a systemic and multidisciplinary approach to risk management, highlighting its relevance to the economic, environmental and social sustainability of organizations. The



work suggests that future research should continue to explore and improve risk analysis methodologies, promoting a culture that values innovation and social responsibility.

Keywords: Risk management; Production engineering; Analysis methodologies; Sustainability.



1 INTRODUÇÃO

A gestão de riscos tem se consolidado como um tema central no universo da engenharia de produção, especialmente em um cenário marcado pela crescente complexidade dos sistemas produtivos, pela volatilidade dos mercados e pela constante demanda por inovação e eficiência. Desde os primórdios da civilização, o ser humano tem se deparado com a necessidade de lidar com a incerteza, e no contexto atual, essa necessidade se traduz de forma objetiva na aplicação de metodologias estruturadas para prever, avaliar e mitigar riscos em projetos industriais, organizacionais e estratégicos. Com base nesse panorama, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo principal analisar o papel das metodologias clássicas de análise de riscos na engenharia de produção, bem como sua aplicação prática e relevância frente aos desafios contemporâneos.

A partir da fundamentação teórica de autores como Espósito e Palmier (2013), Vezzoni (2011), Cardoso (2017), Keeling (2014), Yin (2011), Carvalho e Rabechini (2011), Kerzner (2016), Caldeira (2008), Gido e Clements (2007), Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), entre outros, este trabalho buscou revisar criticamente os conceitos fundamentais de risco e suas implicações práticas no desenvolvimento de projetos. Parte-se da hipótese de que o uso adequado e integrado das metodologias clássicas de análise de riscos — como a Análise SWOT, a Análise de Árvore de Falhas (FTA), a Análise de Valor (AV), a Técnica Delphi e a simulação de Monte Carlo — pode potencializar os resultados dos empreendimentos de engenharia de produção, reduzindo os impactos negativos, aproveitando oportunidades e promovendo uma cultura organizacional mais proativa.

A justificativa para o desenvolvimento deste estudo reside na crescente demanda por práticas gerenciais eficazes em ambientes de elevada incerteza, nos quais falhas no planejamento ou na antecipação de riscos podem comprometer não apenas o desempenho dos projetos, mas também a sustentabilidade econômica, ambiental e social das organizações. Além disso, a integração da gestão de riscos com outras áreas da administração, como qualidade, meio ambiente e planejamento estratégico, demanda uma abordagem sistêmica e multidisciplinar, que exige reflexão teórica e aprimoramento metodológico contínuos.

A metodologia adotada para a construção deste trabalho foi baseada em uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa, com foco em autores clássicos e contemporâneos da área de gerenciamento de projetos e engenharia de produção. O trabalho está estruturado em três capítulos principais.

O Capítulo 1, correspondente à introdução, apresenta o tema, os objetivos, hipóteses, justificativas e metodologia, contextualizando a importância da análise de riscos na engenharia de produção e delineando o percurso investigativo adotado.

O Capítulo 2, subdividido em duas seções, constitui o núcleo do desenvolvimento do estudo. A Seção 2.1 trata da revisão dos conceitos e definições fundamentais sobre risco, destacando aspectos



teóricos, éticos e práticos da análise e gestão de riscos. Nesse ponto, são exploradas definições centrais, como a noção de risco como evento incerto com potencial de causar impactos (Cardoso, 2017), os componentes que estruturam o conceito de risco segundo Keeling (2014), e a relação entre risco e incerteza conforme abordado por Yin (2011). Também são discutidas as múltiplas aplicações da análise de riscos e sua importância para a tomada de decisões em diversos setores.

Já a Seção 2.2 foca especificamente na aplicação das metodologias clássicas de análise de riscos em projetos de engenharia de produção, abordando sua origem histórica, forma de aplicação e benefícios. São analisadas a Análise SWOT, a FTA, a AV, a técnica Delphi e a análise de Monte Carlo, além de serem discutidas questões contemporâneas, como a cultura de gestão de riscos nas organizações (Caldeira, 2008), a necessidade de capacitação técnica e a integração com outras práticas gerenciais (Vergara, Teixeira e Yamanari, 2017).

Por fim, o Capítulo 3 apresenta as conclusões do estudo, destacando as principais contribuições teóricas e práticas da análise de riscos na engenharia de produção, reafirmando a importância da sua aplicação contínua e integrada, e apontando sugestões para futuros estudos e aprimoramentos metodológicos.

Assim, este trabalho busca contribuir com a literatura acadêmica e com a prática profissional na área da engenharia de produção, oferecendo uma visão crítica e atualizada sobre as metodologias de análise de riscos, sua relevância estratégica e os desafios de sua implementação eficaz em um ambiente organizacional em constante transformação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 CICLO DE GESTÃO DE RISCO

Diversas ferramentas estão disponíveis para orientar de forma eficaz a análise de riscos, sendo necessário, em muitos casos, que o profissional da área reconheça a importância de integrar informações provenientes de diferentes instrumentos para alcançar decisões mais assertivas. Conforme salientam Gaither et al. (2022), em qualquer segmento de atuação, é essencial reconhecer que nem sempre os processos se desenrolarão conforme o planejado. Todo empreendimento, seja por influências internas ou fatores externos, está sujeito a riscos. Dessa maneira, uma gestão de riscos eficiente torna-se imprescindível para assegurar resultados mais estáveis e promissores no médio e longo prazo.

O ciclo da Gestão de Riscos compreende cinco etapas principais: Estabelecimento do Contexto, Identificação de Riscos, Estimativa de Riscos, Avaliação de Riscos e Tratamento de Riscos. Complementarmente, existem dois processos contínuos que permeiam todas as fases: a "Comunicação e Consulta" e o "Monitoramento e Análise Crítica". Já no que se refere à Análise de Riscos, Ottonicar et al. (2019) explicam que essa não contempla o Tratamento de Risco, pois essa função é inerente à etapa de



gestão. A atuação dos setores de Inteligência, por exemplo, restringe-se à assessoria, sem a execução direta de ações. Dessa forma, mesmo que o analista percorra todas as fases do processo de gestão para compor um relatório de análise, é possível retornar a etapas anteriores sempre que necessário, promovendo ajustes e realimentações.

A norma ISO 31000, segundo Lizardo e Ribeiro (2020), apresenta uma abordagem ampla e flexível, capaz de ser aplicada a variados contextos e tipos de organização. Essa característica possibilita sua adaptação conforme as especificidades de cada sistema. Nesse sentido, Gonçalves, Rosa e Kern (2023) observam que a estrutura sugerida pela norma não busca impor um modelo fixo de gestão, mas sim orientar as organizações na integração do ciclo de riscos ao seu sistema de gestão global, promovendo uma personalização conforme suas necessidades.

No âmbito da Inteligência de Segurança Pública, Andrade (2017) propõe uma adaptação da estrutura da ISO 31000, incorporando a etapa de "Estabelecimento do Contexto" à fase de Análise de Riscos. Essa modificação permite que o setor aproveite seu conhecimento específico para delinear com maior precisão os caminhos e diretrizes a serem seguidos, conforme também apontam Fernandes, Matsuoka e Costa (2018). A proposta é oferecer princípios gerais que possam ser aplicados a diferentes áreas, respeitando a natureza dinâmica e mutável das atividades de risco (Junior; Lima; Stoco, 2020).

Cada organização, no entanto, possui demandas específicas, e por isso os critérios de análise e tratamento dos riscos devem ser aplicados de forma individualizada. Ainda que exista uma estrutura metodológica sistemática e lógica, ela deve ser adaptada à realidade da organização, considerando as particularidades do sistema em questão (Lizardo; Ribeiro, 2020). A norma ISO/IEC 31010 contribui nesse aspecto ao apresentar uma tabela de aplicabilidade das ferramentas de análise de riscos, classificando-as conforme seu grau de aderência ao contexto analisado.

Durante o processo de gestão, aspectos como "Comunicação e Consulta" e "Monitoramento e Análise Crítica" devem ser mantidos constantemente. Embora não componham uma etapa isolada, esses elementos sustentam todo o ciclo, promovendo sua continuidade e adaptabilidade (Junior; Lima; Stoco, 2020). Como destacam Neto, Tavares e Hoffmann (2019), a integração desses elementos em todas as fases do processo contribui significativamente para o aprimoramento da segurança organizacional, da eficiência operacional e da capacidade de resposta diante de mudanças internas e externas.

A análise de riscos deve ser conduzida com atenção minuciosa, especialmente no que diz respeito aos impactos financeiros, éticos e à segurança das pessoas. Ferramentas específicas auxiliam na tomada de decisões e na mitigação de riscos, ao permitirem avaliações tanto qualitativas quanto quantitativas das probabilidades e severidades envolvidas (Bazzo, 2017). Com isso, gestores tornam-se mais preparados para tomar decisões informadas e prevenir prejuízos aos processos, às pessoas e à sustentabilidade do negócio.

Por fim, é importante considerar que, no cotidiano das organizações, pequenos erros são comuns.



Contudo, como adverte Carvalho (2015), é fundamental compreender as causas desses equívocos e desenvolver mecanismos preventivos, especialmente em relação aos erros mais críticos. Reduzir a frequência desses incidentes por meio de uma gestão de riscos bem estruturada é um passo essencial para manter a integridade dos processos e assegurar a rentabilidade ao longo do tempo.

2.2 REVISÃO DOS CONCEITOS E DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS DE ANÁLISE DE RISCOS

A análise de riscos constitui uma ferramenta essencial para subsidiar decisões em diversos campos da sociedade, desde a administração de empresas até a elaboração de políticas públicas. Diante da crescente complexidade dos sistemas e da incerteza sobre eventos futuros, torna-se evidente a importância de compreender e administrar os riscos associados a diferentes contextos. Nesse sentido, torna-se fundamental revisitar os principais conceitos e definições da análise de riscos, com o intuito de aprimorar sua aplicação e o entendimento de suas especificidades.

Espósito e Palmier (2013) definem a análise de riscos como um procedimento sistemático que visa identificar, avaliar e hierarquizar os riscos em determinado cenário, além de propor estratégias para sua mitigação. Em essência, trata-se de compreender os possíveis eventos que podem representar ameaças ou oportunidades e, com base nisso, adotar medidas adequadas. Vezzoni (2011) complementa essa perspectiva ao ressaltar que a análise de riscos não se restringe aos aspectos negativos, também incluindo os riscos positivos — ou oportunidades — que podem ser explorados em prol de benefícios organizacionais ou sociais.

Para garantir a eficácia desse processo, é necessário estabelecer definições claras e precisas. Segundo Cardoso (2017), o risco pode ser compreendido como a possibilidade de ocorrência de um evento futuro incerto, com potencial impacto positivo ou negativo. Contudo, essa explicação não abarca toda a complexidade envolvida. Keeling (2014) argumenta que o risco envolve três elementos fundamentais: a probabilidade de ocorrência, as consequências e a percepção dos indivíduos ou instituições diante do evento. Assim, além de uma análise quantitativa, é indispensável considerar o componente subjetivo da avaliação de riscos.

Outro aspecto que não pode ser ignorado é a ligação direta entre risco e incerteza. Yin (2011) define a incerteza como a ausência de conhecimento ou informações suficientes sobre uma determinada situação, o que pode levar a interpretações divergentes e, consequentemente, a diferentes percepções de risco. Dessa forma, mesmo com análises cuidadosas, é necessário lidar com margens de incerteza e desenvolver estratégias para sua gestão.

A compreensão desses fundamentos é crucial para uma análise de riscos eficiente, abrangente e contínua, exigindo revisões periódicas diante de novas informações e mudanças no ambiente. É igualmente relevante destacar a amplitude de aplicação dessa ferramenta. Embora comumente associada à gestão de



projetos, a análise de riscos é amplamente utilizada em diversas áreas, como a administração empresarial, o planejamento estratégico, a gestão de crises e o setor público.

No contexto empresarial, por exemplo, ela se mostra indispensável para a identificação e priorização de riscos, favorecendo ações preventivas e estratégicas. Espósito e Palmier (2013) enfatizam que a análise de riscos também fortalece o planejamento organizacional, permitindo que lideranças reconheçam oportunidades e otimizem recursos. No setor público, conforme destaca Vezzoni (2011), a análise de riscos é essencial para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes, contribuindo para a prevenção de impactos adversos à sociedade.

Apesar de seus benefícios, ainda há certa resistência à sua adoção em algumas organizações e governos, que preferem confiar na intuição ou em experiências passadas. Essa postura, conforme alertam Espósito e Palmier (2013), pode gerar consequências graves, muitas vezes evitáveis com uma análise de riscos adequada.

Outro ponto relevante diz respeito à dimensão ética da análise de riscos. Quando decisões podem afetar direta ou indiretamente a vida de outras pessoas, é fundamental que esse processo seja pautado por princípios éticos, considerando os direitos e interesses dos envolvidos. Yin (2011) salienta que a análise de riscos deve extrapolar os aspectos técnicos, incorporando também variáveis culturais, políticas e sociais, de modo a garantir uma abordagem mais justa e integrada.

A comunicação também desempenha um papel decisivo na eficácia da análise de riscos. Segundo Keeling (2014), a má interpretação dos riscos muitas vezes se deve à comunicação ineficiente. Portanto, é essencial que os resultados da análise sejam transmitidos de forma clara, transparente e adaptada ao público-alvo. Além disso, a participação de diferentes stakeholders no processo de identificação de riscos amplia as perspectivas e fortalece a construção coletiva do conhecimento.

A gestão de riscos, por sua vez, deve ser compreendida como uma etapa complementar e indispensável da análise. Para que o processo seja eficaz, é necessário estabelecer planos de ação com responsabilidades, prazos e recursos definidos, como apontam Espósito e Palmier (2013). Além disso, é crucial manter a vigilância contínua sobre novos riscos e ajustar os planos conforme as transformações do cenário. A análise e gestão de riscos, portanto, devem ser processos dinâmicos, interdisciplinares e adaptáveis à realidade em constante mudança.

2.3 ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Desde os tempos antigos, o ser humano tem enfrentado o desafio constante de lidar com incertezas e riscos em suas atividades. Essa questão torna-se ainda mais complexa no âmbito dos projetos de engenharia de produção, os quais envolvem elevado grau de complexidade técnica e impactos econômicos significativos. Dentro desse contexto, as metodologias clássicas de análise de riscos tornam-se ferramentas



essenciais para assegurar o êxito dos projetos e minimizar possíveis consequências adversas.

Para compreender o papel das metodologias tradicionais na engenharia de produção, é necessário primeiro entender o conceito de risco e como ele deve ser tratado. Conforme apontam Carvalho e Rabechini (2011), o risco pode ser caracterizado como a possibilidade de eventos que comprometam negativamente o desempenho de um projeto. Em outras palavras, trata-se de incertezas que podem interferir na concretização dos objetivos traçados. Dessa maneira, os gestores precisam estar aptos a identificar e gerenciar esses riscos por meio de decisões estratégicas. É nesse cenário que as metodologias clássicas de análise de riscos desempenham um papel crucial ao fornecer um processo sistemático de identificação, avaliação, priorização e controle dos riscos.

Entre essas metodologias, destaca-se a análise SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats), desenvolvida por Albert Humphrey na década de 1960. Essa abordagem permite a identificação de forças e fraquezas internas, bem como de oportunidades e ameaças externas, possibilitando uma visão abrangente dos fatores que podem impactar o projeto. Outra técnica relevante é a análise de árvore de falhas (FTA), criada por H.A. Watson em 1962, que utiliza uma estrutura lógica para mapear os eventos que podem culminar em falhas, facilitando a identificação das causas fundamentais dos riscos e promovendo ações preventivas.

Também merece destaque a análise de valor (AV), proposta por Lawrence Miles na década de 1940, que busca otimizar o desempenho e reduzir custos, promovendo alternativas que agreguem valor ao projeto. Já a técnica Delphi, elaborada por Olaf Helmer e Norman Dalkey nos anos 1950, utiliza a expertise de especialistas para estimar, debater e consensuar os riscos mais relevantes por meio de um processo iterativo.

Além dessas ferramentas, destaca-se a importância da análise quantitativa de riscos. Kerzner (2016) ressalta que, ao permitir a avaliação de probabilidades e impactos, essa abordagem oferece uma base sólida para decisões mais assertivas e embasadas. Embora tais métodos não eliminem completamente os riscos, contribuem significativamente para sua mitigação, aumentando a probabilidade de sucesso dos projetos.

Outro aspecto essencial é o fortalecimento de uma cultura organizacional voltada para a gestão de riscos. Segundo Caldeira (2008), essa mentalidade deve estar integrada à estratégia da organização, envolvendo todos os níveis hierárquicos e promovendo uma postura proativa diante dos riscos. Sem esse alinhamento cultural, mesmo as metodologias mais eficazes tendem a perder força.

A capacitação das equipes também é imprescindível. O uso adequado das metodologias requer profissionais bem preparados e engajados. Além disso, é necessário considerar a atualidade e pertinência das metodologias clássicas frente às exigências dos projetos modernos. Conforme Gido e Clements (2007), a evolução tecnológica e a complexidade crescente dos empreendimentos têm demandado novas ferramentas, como os modelos matemáticos e simulações computacionais, a exemplo da análise de Monte Carlo, amplamente aplicada para prever e simular cenários em projetos de alta incerteza.



A gestão de riscos, por sua vez, deve estar integrada a outras áreas, como qualidade, meio ambiente e gerenciamento de projetos. Essa visão integrada, de acordo com Vergara, Teixeira e Yamanari (2017), permite reduzir conflitos, otimizar processos e ampliar os benefícios. Além disso, a gestão de riscos deve acompanhar todas as fases do projeto, desde o planejamento inicial até o encerramento.

Cabe destacar que, embora fundamentais, as metodologias clássicas de análise de riscos devem ser acompanhadas por outras práticas complementares, como a gestão de mudanças e a análise de lições aprendidas, que contribuem para uma abordagem mais eficaz e adaptativa. Assim, fica evidente que essas metodologias constituem um dos pilares indispensáveis para o sucesso de projetos de engenharia de produção, promovendo a redução de impactos negativos e a maximização de resultados positivos.

3 CONCLUSÃO

A gestão de riscos na Engenharia de Produção emerge como um elemento crucial para a sustentabilidade e eficiência dos projetos contemporâneos. Ao longo deste trabalho, tornou-se evidente que a complexidade dos sistemas produtivos atuais, aliada à volatilidade dos mercados, exige uma abordagem robusta e integrada na identificação, avaliação e mitigação de riscos. A aplicação de metodologias clássicas de análise de riscos, como a Análise SWOT, a Análise de Árvore de Falhas (FTA), a Técnica Delphi e a simulação de Monte Carlo, demonstra-se fundamental para a melhoria dos resultados em projetos de engenharia. Essas ferramentas não apenas previnem falhas, mas também exploram oportunidades que podem surgir em ambientes incertos.

Os conceitos discutidos evidenciam que a análise de riscos não é apenas uma prática técnica, mas uma abordagem estratégica que deve permeiar todas as etapas do ciclo de vida de um projeto. A interligação da gestão de riscos com outras áreas, como qualidade, meio ambiente e planejamento estratégico, reforça a necessidade de uma visão sistêmica. Esta visão considera as múltiplas dimensões e implicações das decisões tomadas, promovendo uma cultura organizacional mais integrada e colaborativa.

Ademais, a cultura organizacional voltada para a gestão de riscos é essencial. Para garantir que todos os colaboradores estejam engajados e preparados para lidar com as incertezas do cotidiano, é necessário fomentar um ambiente onde o diálogo sobre riscos seja aberto e encorajado. Tal cultura não apenas melhora a capacidade de resposta a eventos inesperados, mas também promove um aprendizado contínuo, onde as lições aprendidas em projetos anteriores são incorporadas em novas iniciativas.

A revisão crítica dos principais autores da área também aponta para a importância de uma formação contínua e da capacitação das equipes. A evolução tecnológica e a crescente complexidade dos projetos exigem profissionais atualizados e aptos a utilizar ferramentas modernas de análise e gestão. A resistência à adoção de práticas sistemáticas de análise de riscos, muitas vezes baseada em intuições ou experiências passadas, pode levar a consequências adversas evitáveis com uma abordagem estruturada.



Outro ponto a ser destacado é a ética na gestão de riscos. O impacto das decisões tomadas em um contexto de incerteza pode afetar não apenas a viabilidade de um projeto, mas também a vida de pessoas e comunidades. Portanto, é fundamental que a análise de riscos incorpore considerações éticas, assegurando que os direitos e interesses dos stakeholders sejam respeitados. A comunicação efetiva dos riscos e suas consequências é igualmente crucial. Informações claras e acessíveis ajudam a alinhar expectativas e a promover uma compreensão compartilhada dos desafios enfrentados.

Por fim, este trabalho não apenas contribui para a literatura acadêmica, mas também oferece insights valiosos para a prática profissional na Engenharia de Produção. A relevância da gestão de riscos se torna ainda mais evidente em um mundo em constante transformação, onde a agilidade e a proatividade são essenciais para o sucesso organizacional. Assim, é fundamental que estudos futuros continuem a explorar e aprimorar as metodologias de análise de riscos, promovendo uma cultura organizacional que valorize a inovação, a colaboração e a responsabilidade social.

A busca incessante pela excelência em gestão de riscos não é apenas uma necessidade, mas um compromisso ético com a sustentabilidade e o desenvolvimento das organizações e da sociedade como um todo. Portanto, a integração da gestão de riscos na Engenharia de Produção deve ser vista como uma oportunidade de fortalecer a resiliência organizacional, preparando as empresas para enfrentar os desafios do futuro com confiança e competência. O comprometimento com práticas eficazes de gestão de riscos não só melhora o desempenho dos projetos, mas também contribui para a construção de um ambiente mais seguro e sustentável, beneficiando não apenas as organizações, mas a sociedade como um todo.



REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. Antônio; SCHMITZ, A. Eber. Análise de risco em gerência de projetos. Rio de Janeiro: Brasport, 2005.

ANDRADE, F. S. Análise de riscos e a atividade de inteligência. *Revista Brasileira de Ciências Policiais*, Brasília, v. 8, n. 2, p. 91–116, jul./dez. 2017. Disponível em: https://periodicoshom.pf.gov.br/index.php/RBCP/article/view/462/311. Acesso em: 26 Jun. 2025.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. *Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos.* 4. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2017.

BASSO, J. *Diagnóstico de utilização de técnicas de gestão de risco em empresas de projetos de engenharia*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

BIER, V. M. Modeling. In: MOLAK, V. (ed.). *Fundamentals of risk analysis and risk management*. USA: Lewis Publishers, 1997.

BLASCO, E.; ORTEGA, E. Emergency action plans in Northern Patagonia. In: BERGA, L. (ed.). *Dam safety*. Rotterdam: Balkema, 1998.

CALDEIRA, L. M. M. S. Análises de riscos em geotécnica: aplicação a barragens de aterro. Lisboa: LNEC, 2008.

CARDOSO, P. I. F. C. Melhoria do processo de desenvolvimento de produtos alimentícios por meio do mapeamento do fluxo de valor. João Pessoa, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba.

CARVALHO, M. R. Gestão de projetos, da academia à sociedade. 2011.

CARVALHO, M. M. de; RABECHINI JÚNIOR, R. Fundamentos em gestão de projetos: construindo competências para gerenciar projetos. São Paulo: Atlas, 2011.

CARVALHO, S.; MELLO, I. S. Mapeamento de processos em uma construtora com ênfase em gerenciamento de projetos. *Revista Boletim do Gerenciamento*, n. 18, 2020. Disponível em: https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/462/304. Acesso em: 26 Jun. 2025.

COVELLO, V. T.; MUNPOWER, J. Risk analysis and risk management: an historical perspective. *Risk Analysis*, v. 5, p. 103–120, 1985.

ESPÓSITO, T.; PALMIER, L. R. Application of risk analysis methods on tailings dams. *Soils and Rocks*, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 97–117, jan./abr. 2013.

FERNANDES, C. E. N.; MATSUOKA, J. V.; COSTA, E. S. Avaliação do sistema de gestão de qualidade utilizando o MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade na análise de falhas da construção civil. *Revista Getec*, v. 7, n. 19, p. 72–92, 2018. Disponível em: https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/1607. Acesso em: 26 Jun. 2025.

FOSTER, M.; FELL, R.; SPANNAGLE, M. The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 25, p. 1000–1024, 2000.



GAITHER, N. et al. Administração da produção e operações. 8. ed. São Paulo: Pioneira, 2022.

GIDO, J.; CLEMENTS, J. P. Gestão de projetos. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2007.

GONÇALVES, M. V.; ROSA, F. P.; KERN, A. P. Análise da integração do planejamento e controle da produção com o sistema de gestão da qualidade. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2023. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 191–200. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/euroelecs/article/view/2732. Acesso em: 26 Jun. 2025.

HELDMAN, K. Gerência de projetos – fundamentos: um guia prático para quem quer certificação em gerência de projetos. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2005.

JUNIOR, M. P.; LIMA, A.; STOCO, W. H. Busca de melhoria contínua em processo produtivo: aplicações das ferramentas de gestão da qualidade. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 10621–10634, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-078. Acesso em: 26 Jun. 2025.

KEELING, R. Gestão de projetos: uma abordagem global. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. Coautoria de Renato Henrique Ferreira Branco.

KERZNER, H. Gestão de projetos: as melhores práticas. Porto Alegre: Bookman, 2016.

LIZARDO, C.; RIBEIRO, P. A. A importância da gestão da qualidade e aplicação das suas ferramentas na logística com vista à satisfação dos clientes. *Gestão e Desenvolvimento*, n. 28, p. 3–28, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.34632/gestaoedesenvolvimento.2020.9463. Acesso em: 26 Jun. 2025.

MENEZES, L. C. M. Gestão de projetos. 4. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2018.

NETO, J. B. M. R.; TAVARES, J.; HOFFMANN, S. C. Sistemas de gestão integrados: qualidade, meio ambiente, responsabilidade social, segurança e saúde no trabalho. São Paulo: Senac, 2019.

OTTONICAR, S. L. C. et al. A gestão do conhecimento como processo fundamental para a gestão da qualidade: inter-relação que subsidia a tomada de decisão empresarial. *Liinc em Revista*, v. 15, n. 1, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.18617/liinc.v15i1.4478. Acesso em: 26 Jun. 2025.

VERGARA, W. R. H.; TEIXEIRA, R. T.; YAMANARI, J. S. Análise de risco em projetos de engenharia: uso do PERT/CPM com simulação. *Exacta – EP*, 2017.

VERÍSSIMO, M. P.; SAIANI, C. C. S. Evidências da importância da indústria e dos serviços para o crescimento econômico dos municípios brasileiros. *Economia e Sociedade*, v. 28, n. 3, Campinas, set./dez. 2019. Epub 13 dez. 2019.

VEZZONI, G. et al. *Identificação e análise de fatores críticos de sucesso em projetos*. 2011.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.



A SUSTENTABILIDADE NA ENGENHARIA DE SOFTWARE

SUSTAINABILITY IN SOFTWARE ENGINEERING

di https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-014

Isabella de Sousa Thomé

Mestre em engenharia biomédica UnB

E-mail: rosangelaengbio@gmail.com

RESUMO

A sustentabilidade na engenharia de software representa um avanço necessário diante dos desafios ambientais enfrentados atualmente, especialmente com o crescimento acelerado do setor de tecnologia da informação. O presente trabalho tem como tema central a incorporação de práticas sustentáveis ao desenvolvimento de software, tendo como objetivo geral analisar metodologias e estratégias que permitam reduzir os impactos ambientais provocados por sistemas computacionais. Os objetivos específicos incluem compreender o conceito de sustentabilidade sob uma perspectiva ecológica e tecnológica, identificar práticas sustentáveis aplicadas à engenharia de software e investigar soluções como a computação em nuvem, métricas de eficiência energética e gestão inteligente de requisitos. A hipótese que norteia a pesquisa é a de que a aplicação de práticas sustentáveis desde a fase inicial de desenvolvimento pode reduzir significativamente o consumo de energia, evitar desperdícios e melhorar a eficiência geral dos sistemas, ao mesmo tempo que promove responsabilidade ambiental. A metodologia adotada é de natureza bibliográfica, com a análise de produções científicas e acadêmicas nacionais e internacionais, abordando autores como Boff (2012), Ibrahim et al. (2021), Verdecchia et al. (2021) e Freed et al. (2023). O trabalho foi estruturado em três capítulos: o primeiro traz a introdução com apresentação do tema, justificativa, objetivos, hipóteses e metodologia; o segundo, dividido em seções, explora conceitos fundamentais da engenharia de software, o histórico da sustentabilidade, os fundamentos do software verde e as práticas específicas da engenharia de software verde, incluindo o uso de videoconferências, redução de deslocamentos, otimização de dados e consumo computacional eficiente. O capítulo final reúne os resultados obtidos com a pesquisa, destacando a viabilidade da integração entre sustentabilidade e desenvolvimento de software como um caminho promissor para o futuro da tecnologia.

Palavras-chave: Engenharia de Software; Tecnologia Verde; Desafios ambientais.

ABSTRACT

Sustainability in software engineering represents a necessary step forward in the face of the environmental challenges faced today, especially with the rapid growth of the information technology sector. The central theme of this work is the incorporation of sustainable practices into software development, with the general objective of analyzing methodologies and strategies to reduce the environmental impacts caused by computer systems. The specific objectives include understanding the concept of sustainability from an ecological and technological perspective, identifying sustainable practices applied to software engineering and investigating solutions such as cloud computing, energy efficiency metrics and intelligent requirements management. The hypothesis guiding the research is that applying sustainable practices from the initial development phase can significantly reduce energy consumption, avoid waste and improve the overall efficiency of systems, while promoting environmental responsibility. The methodology adopted is of a bibliographical nature, with the analysis of national and international scientific and academic productions, addressing authors such as Boff (2012), Ibrahim et al. (2021), Verdecchia et al. (2021) and Freed et al.



(2023). The work has been structured into three chapters: the first introduces the topic, justifies the objectives, hypotheses and methodology; the second, divided into sections, explores fundamental concepts of software engineering, the history of sustainability, the fundamentals of green software and the specific practices of green software engineering, including the use of videoconferencing, travel reduction, data optimization and efficient computational consumption. The final chapter brings together the results obtained from the research, highlighting the feasibility of integrating sustainability and software development as a promising path for the future of technology.

Keywords: Software Engineering; Green technology; Environmental challenges.



1 INTRODUCÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais causados pelo avanço tecnológico tem impulsionado discussões e práticas voltadas à sustentabilidade em diversos setores, incluindo o da tecnologia da informação. Neste contexto, a sustentabilidade na engenharia de software emerge como uma abordagem indispensável para alinhar o desenvolvimento tecnológico às exigências ambientais do século XXI. O presente trabalho tem como tema central a sustentabilidade aplicada ao desenvolvimento de software, abordando como princípios sustentáveis podem ser incorporados em todas as etapas do ciclo de vida de um software. O objetivo geral é analisar as práticas e metodologias que contribuem para a redução dos impactos ambientais decorrentes da produção de sistemas computacionais, com foco na engenharia de software verde. Entre os objetivos específicos, destacam-se: compreender o conceito de sustentabilidade sob a ótica ambiental e tecnológica; identificar práticas sustentáveis no desenvolvimento de software; e investigar como a computação em nuvem, as métricas de eficiência e a gestão de requisitos podem promover soluções mais ecológicas. A hipótese orientadora do estudo é que a incorporação de práticas verdes desde a fase inicial do desenvolvimento de software pode minimizar significativamente o consumo de recursos, como energia e materiais, além de promover maior eficiência e responsabilidade ambiental.

A justificativa para a escolha do tema se baseia na urgência de se repensar os modelos de desenvolvimento de software frente à crise ecológica atual, destacada por autores como Boff (2012), que propõem uma nova consciência coletiva sobre o uso dos recursos naturais. A engenharia de software, como área estruturada em camadas – métodos, ferramentas, processos e foco na qualidade, conforme aponta Pressman (2006) –, deve acompanhar essa transformação, adotando diretrizes que considerem não apenas aspectos técnicos e econômicos, mas também ambientais e sociais. O trabalho foi desenvolvido a partir de uma pesquisa bibliográfica, com base em autores nacionais e internacionais que abordam a relação entre tecnologia e sustentabilidade, tais como Boff (2012), Ibrahim et al. (2021), Freed et al. (2023), Verdecchia et al. (2021), entre outros. A metodologia consistiu na análise e organização dos conceitos, práticas e indicadores que compõem o campo da engenharia de software verde, articulando-os às políticas sustentáveis mais amplas da sociedade.

A estrutura do trabalho está organizada em capítulos que abordam progressivamente os elementos essenciais para a compreensão da sustentabilidade no contexto da engenharia de software. O Capítulo 1 apresenta a introdução, onde são expostos o tema, a relevância da pesquisa, os objetivos, hipóteses e metodologia, além de uma visão geral sobre o conteúdo dos capítulos seguintes. No Capítulo 2, intitulado "Desenvolvimento", o conteúdo é dividido em quatro seções principais. A primeira delas, 2.1 Engenharia de Software, traz um panorama histórico e conceitual da área, destacando os principais desafios do desenvolvimento de sistemas e as definições clássicas da engenharia de software. Em seguida, na seção 2.2



Conceito de Sustentabilidade, são discutidos os fundamentos teóricos e históricos do conceito, a partir de autores como Boff (2012), Freitas (2012), Fiorillo (2013) e Schramm & Corbetta (2015), além da distinção entre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

Na subsequente seção 2.3 Software Verde, o enfoque é direcionado à importância de considerar o papel do software no consumo energético, ressaltando práticas como a computação em nuvem (Chowdhury, 2012) e a distinção entre *green by software* e *green in software*, conforme as contribuições de Ibrahim et al. (2021, 2022). Já a seção 2.4 Engenharia de Software Verde e suas práticas aprofunda as ações concretas para um desenvolvimento sustentável de software, apresentando desde as etapas do ciclo de vida até as métricas sustentáveis propostas por autores como Freed et al. (2023), Dick et al. (2010), Edérlyi (2013) e Raisian et al. (2021), destacando, entre outras práticas, o uso de videoconferências, redução de deslocamentos, otimização de dados e eficiência computacional.

Por fim, o Capítulo 3, denominado "Conclusão", apresenta uma síntese dos principais achados da pesquisa, reafirmando a importância da integração entre sustentabilidade e desenvolvimento de software como estratégia essencial para o futuro da tecnologia da informação. As referências bibliográficas utilizadas estão listadas ao final, seguindo os padrões acadêmicos. Assim, este trabalho busca contribuir para a reflexão crítica e a prática consciente de profissionais e estudantes da área de computação, promovendo a construção de soluções tecnológicas alinhadas com os princípios da sustentabilidade.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ENGENHARIA DE SOFTWARE

Atualmente, o software de computadores representa uma tecnologia essencial em escala global, tendo apresentado um desenvolvimento acelerado desde os anos 1950. Com esse crescimento intenso, surgiram diversos desafios, especialmente relacionados à correção de erros, adaptação, aprimoramento e, principalmente, à manutenção, que acaba demandando mais recursos humanos e financeiros do que o próprio desenvolvimento de novos sistemas. Diante dessas dificuldades, novos conceitos foram sendo formulados, dentre eles o da Engenharia de Software. Conforme definição de Fritz Bauer, Engenharia de Software consiste na "criação e uso de princípios sólidos da engenharia com o objetivo de produzir softwares econômicos, confiáveis e eficientes em máquinas reais". Já o IEEE apresenta uma concepção mais ampla, descrevendo-a como: "(1) a aplicação de uma abordagem sistemática, disciplinada e quantificável ao desenvolvimento, operação e manutenção do software — ou seja, a aplicação da engenharia ao software; (2) o estudo dessas abordagens". (PRESSMAN, 2006). Essas definições estão reunidas na obra de Pressman, que enfatiza a Engenharia de Software como uma tecnologia estruturada em camadas — Ferramentas, Métodos, Processo e Foco na Qualidade —, sendo fundamental que as organizações se comprometam com a busca contínua pela qualidade.



2.2 CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE

A expressão "sustentabilidade" tem conquistado crescente relevância tanto no contexto nacional quanto no internacional ao longo dos anos, especialmente em função do surgimento de sérios problemas ambientais que afetam o planeta. Esses problemas decorrem, em grande parte, das ações predatórias do ser humano em relação à natureza, movido por um desejo constante de explorar os recursos naturais para atender às suas próprias necessidades, muitas vezes sem perceber que tais recursos são limitados e essenciais para a continuidade da vida humana. Essa postura inconsequente tem contribuído diretamente para a intensificação de uma grave crise ambiental. Todo esse cenário de desequilíbrio pode ser compreendido da seguinte maneira:

A situação atual se encontra, social e ecologicamente, tão degradada que a continuidade da forma de habitar a Terra, de produzir, de distribuir e de consumir, desenvolvida nos últimos séculos, não nos oferece condições de salvar a nossa civilização e, talvez até, a própria espécie humana; daí que imperiosamente se impõe um novo começo, com novos conceitos, novas visões e novos sonhos, não excluídos os instrumentos científicos e técnicos indispensáveis; trata-se sem mais nem menos, de refundar o pacto social entre os humanos e o pacto natural com a natureza e a Mãe Terra. (BOFF, 2012, p. 15).

A sustentabilidade tem se consolidado como um caminho viável para despertar uma nova consciência em cada indivíduo, contribuindo assim para uma melhoria gradual das condições ambientais. Para compreender mais amplamente esse conceito, Boff (2012, p. 14) o define como:

"[...] o conjunto dos processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e a integridade da Mãe Terra, a preservação dos seus ecossistemas com todos os elementos físicos, químicos e ecológicos que possibilitam a existência e a reprodução da vida, o atendimento das necessidades da presente e das futuras gerações, e a continuidade, a expansão e a realização das potencialidades da civilização humana em suas várias expressões."

Além disso, Freitas (2012, p. 41) caracteriza a sustentabilidade como um princípio de natureza constitucional que impõe ao Estado e à sociedade a responsabilidade solidária pelo desenvolvimento — material e imaterial — de forma ética, inclusiva, inovadora e ecologicamente equilibrada, garantindo o bemestar atual e das futuras gerações, preferencialmente por meio de ações preventivas.

Neste contexto, é importante esclarecer a diferença conceitual entre "sustentabilidade" e "desenvolvimento sustentável", bem como compreender a evolução histórica de ambos os termos. A expressão "desenvolvimento sustentável" emergiu oficialmente durante a Conferência Mundial do Meio Ambiente, realizada em Estocolmo no ano de 1972, e, desde então, passou a integrar a agenda das principais discussões ambientais globais (FIORILLO, 2013, p. 56).

Posteriormente, em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento apresentou, na Noruega, o Relatório Brundtland — também conhecido como *Nosso Futuro Comum* —, no qual se definiu o desenvolvimento sustentável como:



"O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais" (SCHRAMM; CORBETTA, 2015, p. 35).

A atual relevância do tema se reflete na própria Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, que estabelece no artigo 225, caput:

"Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações" (BRASIL, 1988).

Apesar disso, é necessário ressaltar que os termos "sustentabilidade" e "desenvolvimento sustentável" não são sinônimos. Segundo Machado (2015, p. 61), o desenvolvimento sustentável representa uma locução verbal, em que o conceito de sustentabilidade qualifica o tipo de desenvolvimento pretendido. Nesse sentido, sustentabilidade é o processo, enquanto o desenvolvimento sustentável é o objetivo a ser alcançado (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2012).

A partir dessa perspectiva, John Elkington propôs o modelo *Triple Bottom Line*, ou "três pilares", que aponta que o verdadeiro desenvolvimento sustentável deve ser sustentado em três dimensões: viabilidade econômica, equilíbrio ambiental e justiça social (ELKINGTON, 2012, p. 107). Assim, Oliveira (2012, p. 70-82) reforça que somente quando esses três aspectos coexistem de forma harmônica é possível garantir a sustentabilidade efetiva.

Por fim, vale destacar que, para alguns estudiosos, os conceitos de "desenvolvimento" e "sustentabilidade" podem ser vistos como contraditórios. Para esses autores, a ideia de crescimento contínuo, inerente ao desenvolvimento, entra em conflito com os limites naturais do planeta, tornando inviável a conciliação entre esses dois princípios.

[...] desenvolvimento e sustentabilidade obedecem a lógicas diferentes e que se contrapõem. O desenvolvimento, como vimos, é linear, deve ser crescente, supondo a exploração da natureza, gerando profundas desigualdades — riquezas de um lado e pobreza do outro — e privilegia a acumulação individual. Portanto, é um termo que vem do campo da economia política industrialista/capitalista. A categoria sustentabilidade, ao contrário, provém do âmbito da biologia e da ecologia, cuja lógica é circular e includente. Representa a tendência dos ecossistemas ao equilíbrio dinâmico, à cooperação e à coevolução, e responde pelas interdependências de todos com todos, garantindo a inclusão de cada um, até dos mais fracos. Se esta compreensão for correta, então fica claro que sustentabilidade e desenvolvimento configuram uma contradição nos próprios termos. Eles têm lógicas que se autonegam: uma privilegia o indivíduo, a outra o coletivo; uma enfatiza a competição, a outra a cooperação; uma a evolução do mais apto, a outra a coevolução de todos juntos e inter-relacionados. (BOFF, 2012, p. 45).

Em resumo, ao considerar o que foi discutido sobre o conceito e a aplicação da sustentabilidade na



atualidade, pode-se afirmar que ela é indiscutivelmente fundamental em todas as esferas da sociedade e em todas as atividades humanas. Isso porque representa uma interação genuína entre os seres humanos e o meio ambiente, visando atingir um equilíbrio ecológico e um verdadeiro apreço por aquilo que sustenta a vida.

2.3 SOFTWARE VERDE

A redução do consumo de energia no setor de Tecnologia da Informação (TI) é comumente associada ao uso de hardware, porém é essencial considerar também o papel do software, já que este é responsável por gerenciar o funcionamento do hardware (IBRAHIM; YAHAYA; SALLEHUDIN, 2022; IBRAHIM et al., 2021). Nesse contexto, diversas práticas têm sido apontadas como fundamentais para o desenvolvimento de soluções sustentáveis em TI, Sistemas de Informação (SI) e softwares. Entre essas práticas, destaca-se a computação em nuvem, vista como um elemento central no desenvolvimento de softwares sustentáveis (CHOWDHURY, 2012). A adoção da nuvem proporciona uma expressiva economia de energia, com estudos indicando uma redução de até 64% no consumo energético (VERDECCHIA et al., 2021).

Ao tratar de SI ou software verde, é necessário diferenciar os tipos de contribuição à sustentabilidade: (a) há os softwares que promovem a sustentabilidade de equipamentos ou processos (conhecidos como *green by software*), como os voltados para a gestão de data centers e infraestrutura em nuvem; e (b) há os softwares que são sustentáveis em sua própria concepção e ciclo de vida, chamados *green in software* (IBRAHIM; YAHAYA; SALLEHUDIN, 2022). Neste segundo caso, cabe à engenharia de software investigar e aplicar práticas sustentáveis em todas as etapas do desenvolvimento, assegurando que o produto final esteja alinhado aos princípios da sustentabilidade.

2.4 ENGENHARIA DE SOFTWARE VERDE E SUAS PRÁTICAS

A engenharia de software verde (*green software engineering*) é o ramo responsável pela criação e aplicação de práticas que visam reduzir os impactos ambientais causados pelo desenvolvimento de softwares (FREED et al., 2023). Para que isso ocorra de forma efetiva, é fundamental analisar as diferentes etapas do ciclo de vida do software e identificar formas de torná-las mais sustentáveis. Segundo Ibrahim et al. (2021, p. 590), o processo de desenvolvimento de software geralmente é composto por cinco fases principais: levantamento de requisitos, projeto, implementação, testes e manutenção.

De acordo com os mesmos autores, a adoção de práticas sustentáveis nesse processo envolve eliminar desperdícios de materiais, como o uso excessivo de papel, bem como evitar o consumo desnecessário de tempo e energia elétrica. A fase de levantamento de requisitos é especialmente crítica, pois permite entender com precisão as demandas dos stakeholders e, assim, evitar a criação de funcionalidades desnecessárias ou a reformulação de requisitos mal definidos. Nesse mesmo sentido, Dick et al. (2010)



sugerem que a redução de viagens presenciais, substituindo-as por reuniões virtuais, é uma ação eficaz para minimizar os impactos ambientais desde o início do desenvolvimento.

Durante a fase de projeto, Edérlyi (2013) propõe quatro pilares centrais para o desenvolvimento sustentável: eficiência computacional, eficiência no uso de dados, consideração do contexto em que o software será utilizado e o desempenho do aplicativo quando operando em segundo plano.

Já na etapa de implementação, os deslocamentos frequentes para reuniões com membros da equipe ou com clientes continuam sendo um desafio ambiental, sendo as videoconferências uma alternativa viável e ecológica. Na fase de distribuição, é importante adotar mídias reutilizáveis e considerar o tamanho do software quando ele for disponibilizado para download, sempre levando em conta o impacto no consumo energético dos dispositivos utilizados.

Raisian et al. (2021) também contribuem para a discussão ao apresentar um conjunto de métricas relevantes para o desenvolvimento de software sustentável, destacando a importância da eficiência no uso de energia e recursos — sejam eles materiais ou humanos. Entre as métricas sugeridas, incluem-se: eficiência energética e de recursos, usabilidade, produtividade, redução de custos, suporte ao funcionário e suporte às ferramentas empregadas.

3 CONCLUSÃO

Diante da crescente preocupação com as mudanças climáticas, a escassez de recursos naturais e os impactos ambientais provocados pelas atividades humanas, torna-se imperativo repensar os modelos tradicionais de desenvolvimento tecnológico. Neste contexto, a presente pesquisa buscou compreender de que forma a engenharia de software pode se alinhar aos princípios da sustentabilidade, contribuindo efetivamente para a construção de uma sociedade mais equilibrada, consciente e responsável ambientalmente.

Ao longo do trabalho, constatou-se que a engenharia de software verde representa uma abordagem promissora e necessária para a mitigação dos impactos ambientais causados por sistemas computacionais. Através da revisão de literatura, foi possível identificar práticas, metodologias e conceitos que visam tornar o ciclo de vida do software mais sustentável, desde o levantamento de requisitos até a sua manutenção. Entre as principais estratégias destacam-se o uso da computação em nuvem, a redução de viagens presenciais por meio de videoconferências, a otimização do uso de dados e recursos computacionais, bem como a preocupação com a eficiência energética e a minimização de resíduos.

Além disso, foi ressaltada a importância de diferenciar os conceitos de "sustentabilidade" e "desenvolvimento sustentável", compreendendo que a sustentabilidade é um processo contínuo, que exige mudanças culturais, políticas e econômicas profundas. A aplicação desses conceitos no campo da tecnologia da informação evidencia que a sustentabilidade não é uma barreira ao progresso, mas sim um



novo paradigma que desafía os profissionais da área a inovarem com responsabilidade ambiental e social.

A hipótese inicialmente proposta — de que a integração de práticas sustentáveis ao desenvolvimento de software pode reduzir significativamente o consumo de energia e recursos — foi confirmada ao longo da análise. As evidências apontam que a adoção de princípios da engenharia de software verde não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também promove maior qualidade nos produtos desenvolvidos, eficiência nos processos e economia para as organizações.

Portanto, conclui-se que o futuro da engenharia de software deve estar intrinsecamente ligado à sustentabilidade. Cabe às instituições de ensino, empresas e desenvolvedores incorporarem tais práticas em seus projetos, fortalecendo o compromisso com o desenvolvimento sustentável e com o bem-estar das futuras gerações. O presente estudo, embora limitado à análise teórica, oferece subsídios para pesquisas futuras que explorem, na prática, a eficácia e os impactos reais dessas práticas sustentáveis no setor de tecnologia da informação.



REFERÊNCIAS

BOFF, Leonardo. Sustentabilidade: o que é – o que não é. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 26 jun. 2025.

BRAUN, Diogo Marcel Reuter; ROBL, Ronan Saulo. O ICMS ecológico como instrumento auxiliar para o alcance da sustentabilidade. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; ARMADA, Charles Alexandre (Orgs.). Sustentabilidade, meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas [e-book]. Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2015.

CASAGRANDE JUNIOR, Eloy Fassi. Inovação tecnológica e sustentabilidade: integrando as partes para proteger o todo. Disponível em: http://aplicweb.feevale.br/site/files/documentos/pdf/23231.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

CHOWDHURY, G. Building environmentally sustainable information services: A green IS research agenda. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 63, n. 4, p. 633–647, 2012.

DICK, M.; NAUMANN, S.; KUHN, N. A model and selected instances of green and sustainable software. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, v. 328, p. 248–259, 2010.

DWIVEDI, Y. K. et al. Climate change and COP26: Are digital technologies and information management part of the problem or the solution? *International Journal of Information Management*, v. 63, p. 102456, 2022.

ELKINGTON, John. Sustentabilidade, canibais com garfo e faca. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2012.

ERDELYI, K. Special factors of development of green software supporting eco sustainability. In: 2013 IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY). IEEE, 2013. p. 337-340.

FERRER, Gabriel Real; CRUZ, Paulo Márcio. Direito, sustentabilidade e a premissa tecnológica como ampliação de seus fundamentos. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; REZENDE, Elcio Nacur (Orgs.). Sustentabilidade e meio ambiente: efetividades e desafios. Belo Horizonte: Editora D'Plácido, 2017.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. Curso de direito ambiental brasileiro. 14. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. FREED, M. et al. An Investigation of Green Software Engineering. *Communications in Computer and Information Science*, v. 1890 CCIS, p. 124–137, 2023.

FREITAS, Juarez. Sustentabilidade: direito ao futuro. 2. ed. Belo Horizonte, MG: Fórum, 2012.

IBRAHIM, S. R. A. et al. The Development of Green Software Process Model: A Qualitative Design and Pilot Study. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, v. 12, n. 8, p. 589–598, 2021.



IBRAHIM, S. R. A.; YAHAYA, J.; SALLEHUDIN, H. Green Software Process Factors: A Qualitative Study. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 18, 2022.

JACOBI, Pedro. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. *Cadernos de Pesquisa: revista de estudos e pesquisa em educação* (Fundação Carlos Chagas), n. 118, mar. 2003.

LAGO, P. et al. Framing sustainability as a property of software quality. *Communications of the ACM*, v. 58, n. 10, p. 70-78, 2015.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. Direito ambiental brasileiro. 23. ed. São Paulo: Malheiros, 2015.

MENDES, Jefferson Marcel Gross. Dimensões da Sustentabilidade. *Revista das Faculdades Integradas Santa Cruz de Curitiba – Inove*, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 49-59, 2009. Disponível em: http://www.santacruz.br/v4/download/revista- academica/13/cap5.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

MICHAELIS. Dicionário brasileiro da língua portuguesa. Editora Melhoramentos, 2017. Disponível em:

http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=psicologia. Acesso em: 26 jun. 2025.

MOLLA, A.; COOPER, V.; PITTAYACHAWAN, S. The green IT readiness (Greadiness) of organisations: An exploratory analysis of a construct and instrument. *Communications of the Association for Information Systems*, v. 29, n. 1, p. 67-96, 2011.

MURUGESAN, S. Harnessing green IT: Principles and practices. *IT Professional*, v. 10, n. 1, p. 24-33, 2008.

NAUMANN, S. et al. The GREENSOFT Model: A reference model for green and sustainable software and its engineering. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 1, n. 4, p. 294–304, 1 dez. 2011.

OLIVEIRA, Lucas Rebello de et al. Sustentabilidade: da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. *Produção*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 70-82, jan./fev. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/prod/v22n1/aop 0007 0245.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

PÓVOAS, Monike Silva. O amor na sociedade de risco: a sustentabilidade e as relações de afeto. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; ARMADA, Charles Alexandre (Orgs.). Sustentabilidade, meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas [e-book]. Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2015.

RAISIAN, K. et al. The Green Software Measurement Structure Based on Sustainability Perspective. In: *2021 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*. IEEE, 2021. p. 1-6. RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, v. 49, p. 98-113, 2019.

SACHS, Ignacy. Estratégias de transição para o Século XXI: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo, SP: Studio Nobel: Fundação do Desenvolvimento Administrativo, 1993.



SARTORI, Simone; LATRÔNICO, Fernanda; CAMPOS, Lucila M. S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/asoc/v17n1/v17n1a02.pdf. Acesso em: 26 jun. 2025.

SCHRAMM, Alexandre Murilo; CORBETTA, Janiara Maldaner. Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade: conceitos antagônicos ou compatíveis? In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; ARMADA, Charles Alexandre (Orgs.). Sustentabilidade, meio ambiente e sociedade: reflexões e perspectivas [e-book]. Umuarama: Universidade Paranaense – UNIPAR, 2015.

SILVA, Antonio Sergio da; SOUZA, José Gilberto de; LEAL, Antonio Cezar. A sustentabilidade e suas dimensões como fundamento da qualidade de vida. *Geoatos: Revista Geografia em Atos*, Presidente Prudente, v. 1, n. 12, p. 22-42, jun. 2012. Disponível em: http://revista.fct.unesp.br/index.php/geografiaematos/article/view/1724/sergiosilva. Acesso em: 26 jun. 2025.

SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; GARCIA, Rafaela Schmitt. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desdobramentos e desafios pós-relatório Brundtland. In: SOUZA, Maria Cláudia da Silva Antunes de; REZENDE, Elcio Nacur (Orgs.). Direito e sustentabilidade II [recurso eletrônico on- line]. Florianópolis: CONPEDI, 2016.

VERDECCHIA, R. et al. Green IT and Green Software. IEEE Software, v. 38, n. 6, p. 7–15, 2021.

YIN, R. K. Case study research: design and methods. Beverly Hills: Sage Publishing, 2010.



METODOLOGIAS ÁGEIS E TRADICIONAIS NO CICLO DE VIDA DO SOFTWARE

AGILE AND TRADITIONAL METHODOLOGIES IN THE SOFTWARE LIFE CYCLE

di https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-015

Renato Vidal Borges Engenharia de software

RESUMO

Este trabalho aborda a comparação entre metodologias ágeis e tradicionais aplicadas ao ciclo de vida do software, considerando suas características, aplicações, limitações e contribuições para o desenvolvimento de sistemas computacionais. O objetivo principal foi analisar como essas metodologias influenciam a eficiência, a flexibilidade e a qualidade no processo de produção de software, considerando as demandas contemporâneas de mercado. A pesquisa adotou abordagem qualitativa, de natureza bibliográfica, com base em autores como Pressman (2001), Sommerville (2003), Beck (1999), Royce (1970) e dados do Standish Group (1995). O estudo identificou que as metodologias tradicionais, representadas pelo modelo clássico ou cascata, ainda são úteis em contextos com requisitos bem definidos e necessidade de rigor documental. No entanto, apresentam dificuldades em projetos sujeitos a mudanças frequentes, devido à sua rigidez e estrutura sequencial. Em contrapartida, as metodologias ágeis, como o Extreme Programming e o Scrum, oferecem maior adaptabilidade, promovem a comunicação direta entre equipes e clientes, favorecem entregas rápidas e contínuas e reduzem falhas ao longo do projeto. Os resultados indicam que a escolha metodológica deve considerar o contexto organizacional, o tipo de projeto e o grau de instabilidade dos requisitos. Conclui-se que, embora não haja uma metodologia universalmente superior, as abordagens ágeis têm se mostrado mais eficazes em ambientes dinâmicos, colaborativos e orientados à entrega contínua de valor ao cliente.

Palavras-chave: Engenharia de Software; Metodologias Ágeis; Metodologias tradicionais.

ABSTRACT

This paper compares agile and traditional methodologies applied to the software life cycle, considering their characteristics, applications, limitations and contributions to the development of computer systems. The main objective was to analyze how these methodologies influence efficiency, flexibility and quality in the software production process, considering contemporary market demands. The research adopted a qualitative, bibliographical approach, based on authors such as Pressman (2001), Sommerville (2003), Beck (1999), Royce (1970) and data from the Standish Group (1995). The study found that traditional methodologies, represented by the classic or waterfall model, are still useful in contexts with well-defined requirements and the need for rigorous documentation. However, they present difficulties in projects subject to frequent changes, due to their rigidity and sequential structure. On the other hand, agile methodologies, such as Extreme Programming and Scrum, offer greater adaptability, promote direct communication between teams and clients, favor fast and continuous delivery and reduce failures throughout the project. The results indicate that the methodological choice must take into account the organizational context, the type of project and the degree of instability of the requirements. The conclusion is that, although there is no universally superior methodology, agile approaches have proven to be more effective in dynamic, collaborative environments geared towards the continuous delivery of value to the client.

Keywords: Software Engineering; Agile Methodologies; Traditional Methodologies.



1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de software é uma atividade complexa que requer organização, planejamento e escolha adequada de métodos que conduzam à entrega de produtos eficazes, dentro dos prazos e custos previstos. Nesse contexto, a Engenharia de Software surge como um campo fundamental, pois oferece princípios, modelos e práticas que orientam a criação de sistemas computacionais confiáveis e de qualidade. Autores como Pressman (2001) e Sommerville (2003) destacam que o software, enquanto produto lógico, precisa ser desenvolvido com base em metodologias bem estruturadas que favoreçam sua manutenção e evolução, ao mesmo tempo que garantam funcionalidade e desempenho.

Diante da diversidade de demandas do mercado e da constante evolução tecnológica, diferentes abordagens de desenvolvimento foram surgindo. Entre elas, destacam-se as metodologias tradicionais — como o modelo em cascata proposto por Royce (1970) —, que se caracterizam por uma sequência rígida de etapas, e as metodologias ágeis — como o Extreme Programming (XP), de Beck (1999), e o Scrum, de Schwaber e Beedle (2002) —, que oferecem flexibilidade, foco no cliente e adaptação rápida a mudanças. O ponto de virada que consolidou as abordagens ágeis foi o Manifesto Ágil, publicado em 2001 por um grupo de especialistas, cujo objetivo era estabelecer valores e princípios mais adequados às necessidades reais de desenvolvimento de software em ambientes dinâmicos (Agile Manifesto, 2004).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo principal comparar metodologias ágeis e tradicionais no ciclo de vida do software, analisando suas características, vantagens, limitações e aplicabilidades. Partese da hipótese de que, embora as metodologias tradicionais ainda sejam úteis em certos contextos, as metodologias ágeis apresentam maior aderência às necessidades contemporâneas de desenvolvimento, especialmente em projetos que exigem rapidez, interação contínua com o cliente e flexibilidade diante de mudanças.

Justifica-se a relevância deste estudo pelo fato de que a escolha do modelo de desenvolvimento impacta diretamente na qualidade do produto final, no desempenho das equipes e na satisfação do cliente. Além disso, compreender as particularidades dessas metodologias permite às organizações tomarem decisões mais estratégicas e alinhadas aos seus objetivos e realidades operacionais.

A metodologia adotada neste trabalho é de natureza qualitativa, com base em pesquisa bibliográfica, utilizando obras clássicas e contemporâneas da Engenharia de Software, como as de Pressman (2001), Sommerville (2003), Beck (1999) e dados empíricos como os relatórios do Standish Group (1995). O desenvolvimento do trabalho está estruturado em três capítulos principais, além desta introdução e da conclusão.

O Capítulo 1 apresenta os fundamentos da Engenharia de Software, explorando sua evolução histórica, definições e objetivos, com apoio teórico de autores como Sommerville (2003) e Paula Filho (2009). O Capítulo 2 trata das metodologias tradicionais de desenvolvimento, com ênfase no modelo



clássico ou sequencial, detalhando sua estrutura, aplicação e críticas, como as formuladas por Brooks (1987) e Gilb (1999). Já o Capítulo 3 aborda as metodologias ágeis, com destaque para o Manifesto Ágil, o Extreme Programming e suas práticas fundamentais, como planejamento, feedback, simplicidade, programação em pares e integração contínua.

Por fim, na conclusão, são retomadas as principais diferenças entre os dois modelos, discutindo-se as condições ideais para aplicação de cada um e destacando- se a importância de adaptação metodológica às características específicas de cada projeto. Com isso, espera-se que este estudo contribua para o entendimento crítico e atualizado sobre as metodologias de desenvolvimento de software, fortalecendo a capacidade de escolha consciente e estratégica por parte de profissionais e organizações da área.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 ENGENHARIA DE SOFTWARE

De acordo com Sommerville (2007, p. 5), o software compreende tanto os programas de computador quanto a documentação vinculada a eles. Esses produtos podem ser desenvolvidos sob encomenda para um cliente específico ou para atender a um público mais amplo. Pressman (1995, p. 12), por sua vez, conceitua software como um conjunto de instruções que, ao serem executadas, proporcionam determinada funcionalidade e desempenho. Com base nisso, pode-se compreender o software como um conjunto de algoritmos interpretados pela máquina com a finalidade de executar uma tarefa definida, acompanhado de sua devida documentação, podendo ou não ter uma aplicação comercial.

Compreender não apenas o que é software, mas também suas propriedades, é fundamental. As características do software são indispensáveis para se entender o processo de desenvolvimento e manutenção. Conforme destaca Pressman (1995), por ser um componente lógico e imaterial, o software não deve ser tratado como produtos manufaturados tangíveis, pois sua criação ocorre em ambiente virtual e não está sujeito a desgastes físicos. Entretanto, como qualquer produto, o software precisa de melhorias constantes e de manutenções regulares ao longo de seu ciclo de vida.

Mesmo não sofrendo deterioração ambiental, o software requer atualizações que podem introduzir falhas. Pressman (1995) ilustra essa dinâmica por meio de uma curva de falhas, na qual os picos representam as alterações feitas no software durante os processos de manutenção. Cada modificação pode gerar novos erros e, antes que a taxa de falhas retorne ao nível inicial, uma nova mudança pode ocorrer, provocando mais um aumento na curva. Ao longo do tempo, essa sequência contínua de modificações pode levar a uma elevação gradual do nível mínimo da curva, indicando um desgaste decorrente das manutenções (PRESSMAN, 1995).

Diante da constatação de que o software também se deteriora, ainda que por vias diferentes das de produtos físicos, surgiu a necessidade de uma área específica de estudo voltada à melhoria do processo de



criação e comercialização de softwares. Assim, torna-se essencial organizar o processo de desenvolvimento para garantir a eficácia e qualidade do produto final. Paula Filho (2009, p. 5) observa que a Engenharia de Software tem como foco principal o software enquanto produto. Estão fora de seu escopo programas criados apenas como passatempo pelos desenvolvedores ou pequenas soluções descartáveis, elaboradas para resolver problemas pontuais e pessoais. A Engenharia de Software, portanto, foca em aplicações que exigem maior complexidade e padrão de qualidade, voltadas à distribuição e uso comercial.

O conceito de Engenharia de Software foi introduzido inicialmente por Friedrich Ludwig Bauer durante uma conferência na década de 1960 que discutia a chamada "crise do software". Segundo Pressman (1995), Bauer definiu essa engenharia como o uso de princípios sólidos de engenharia para possibilitar, de forma econômica, o desenvolvimento de softwares confiáveis e eficientes, capazes de operar em sistemas reais.

Diversas definições surgiram desde então, mas a proposta de Sommerville (2007, p. 5) se destaca pela clareza e abrangência, ao definir Engenharia de Software como uma disciplina voltada a todos os aspectos do processo de produção de software, desde sua concepção até as atividades de manutenção após a implantação. Para sistematizar esse processo de desenvolvimento, foram criados os chamados modelos de processo de software, que estruturam em etapas a criação e a manutenção dos programas (PRESSMAN, 1995). Esses modelos se dividem entre os modelos prescritivos (ou tradicionais) e as metodologias ágeis.

2.2 METODOLOGIAS TRADICIONAIS

As metodologias tradicionais de desenvolvimento de software, frequentemente denominadas metodologias "pesadas" ou "orientadas à documentação", surgiram em um cenário tecnológico bastante distinto do que se observa atualmente. Essas abordagens foram concebidas em uma época em que o processo de desenvolvimento era centrado em mainframes, com terminais considerados burros, ou seja, dispositivos sem capacidade de processamento próprio Royce (1970). Nesse contexto, o acesso a computadores era restrito, os recursos eram escassos e não existiam ferramentas modernas de apoio ao desenvolvimento, como os depuradores (debuggers), analisadores de código ou ambientes integrados de desenvolvimento (IDEs) que hoje são comuns.

Devido a essas limitações, os custos associados a modificações e correções em softwares eram extremamente elevados. Qualquer erro descoberto tardiamente no processo significava um grande retrabalho, o que motivava uma ênfase quase absoluta no planejamento detalhado e na documentação minuciosa antes mesmo que qualquer linha de código fosse escrita. O foco estava em prever, antecipadamente, todas as etapas do sistema, reduzindo ao máximo as incertezas e garantindo que os requisitos estivessem completamente definidos antes da fase de implementação. Royce (1970)

Nesse cenário, consolidou-se o chamado modelo clássico, também conhecido como modelo cascata



(waterfall), proposto inicialmente por Royce em 1970. Este modelo tornou-se a principal representação das metodologias tradicionais e, apesar das transformações pelas quais passou o desenvolvimento de software ao longo das décadas, ainda é utilizado em determinados tipos de projetos, especialmente naqueles que envolvem requisitos estáveis e bem compreendidos desde o início. A estrutura sequencial do modelo clássico – composta por fases rígidas e sucessivas como levantamento de requisitos, análise, projeto, implementação, testes e manutenção – reflete essa mentalidade de controle rigoroso e previsibilidade. Royce (1970)

Atualmente, embora os métodos ágeis tenham ganhado espaço significativo devido à sua flexibilidade e capacidade de adaptação às mudanças, as metodologias tradicionais continuam sendo relevantes em contextos que exigem alto grau de formalidade, documentação completa e conformidade com normas e regulamentações. Por isso, é importante compreendê-las historicamente e metodologicamente, uma vez que formam a base sobre a qual muitas das práticas modernas foram construídas.

2.3 MODELO CLÁSSICO

O modelo Clássico, também conhecido como modelo Sequencial ou em Cascata, foi o primeiro processo estruturado de desenvolvimento de software a ser formalmente divulgado, conforme Pressman (2001). Desde sua criação, esse modelo tem sido amplamente empregado, especialmente em contextos onde há uma clareza inicial sobre os requisitos do sistema. Ele é caracterizado por um fluxo linear de etapas, em que o término de uma fase condiciona o início da próxima. Cada fase deve ser finalizada com uma documentação específica que, após aprovada, autoriza a continuidade para o estágio seguinte.

De forma geral, o modelo Clássico compreende as seguintes fases: levantamento e definição de requisitos, elaboração do projeto de software, codificação e testes unitários, integração e testes de sistema, seguidos pelas etapas de operação e manutenção. A principal crítica a esse modelo reside em sua estrutura rígida, que dificulta a incorporação de mudanças ao longo do projeto — algo bastante comum no desenvolvimento de software. Por isso, recomenda-se sua utilização apenas em situações nas quais os requisitos estejam totalmente definidos e bem compreendidos desde o início do processo. Pressman (2001)

Durante muitos anos, o modelo Clássico dominou o cenário do desenvolvimento de software, especialmente até o início dos anos 1990. Contudo, diversos especialistas e pesquisadores começaram a apontar suas limitações. Fred Brooks, por exemplo, em seu renomado artigo *No Silver Bullet: Essence and Accidents of Software Engineering*, publicado em 1987, argumenta que é inviável especificar completamente um software antes do início da sua implementação Brooks (1987). Tom Gilb, outro nome de destaque na área, também critica a rigidez do modelo Clássico, recomendando o desenvolvimento incremental como uma abordagem mais segura e eficaz, especialmente para projetos de maior porte, pois oferece menor risco e maior probabilidade de êxito Gilb (1999).



Dados levantados pelo Standish Group em 1995, com base na análise de 8.380 projetos de software, evidenciam os problemas práticos relacionados à aplicação do modelo Clássico. Os números são alarmantes: apenas 16,2% dos projetos foram concluídos dentro do prazo, do orçamento previsto e com todas as funcionalidades inicialmente planejadas. Cerca de 31% foram cancelados antes de sua conclusão, e 52,7% foram finalizados, mas extrapolando prazos, custos ou com funcionalidades incompletas. Entre os projetos que não atenderam às expectativas iniciais, verificou- se uma média de atraso de 222% e um aumento médio de 189% no custo. Além disso, desses projetos entregues com atraso e sobrecusto, apenas 61% das funcionalidades planejadas foram efetivamente implementadas.

Mesmo os projetos que conseguiram cumprir prazos e orçamentos apresentaram problemas de qualidade, o que, segundo o estudo, pode estar ligado à pressão excessiva sobre os desenvolvedores — uma situação que, de acordo com a pesquisa, quadruplica a incidência de erros no software. Diante de tais resultados, ficou evidente que o modelo Clássico apresentava sérias deficiências em projetos mais complexos e dinâmicos. A recomendação final do estudo do Standish Group (1995) foi a adoção de modelos incrementais de desenvolvimento, por serem mais adaptáveis às mudanças e mais eficientes na redução das falhas observadas.

2.4 METODOLOGIAS ÁGEIS

O termo "Metodologias Ágeis" ganhou notoriedade a partir de 2001, quando dezessete especialistas em desenvolvimento de software, representando métodos como Scrum Schwaber e Beedle (2002), Extreme Programming – XP Beck (1999) e outros, reuniram-se para definir princípios comuns a essas abordagens. Esse encontro resultou na criação da Aliança Ágil e na formulação do chamado *Manifesto Ágil* Agile Manifesto (2004), um documento que passou a nortear práticas de desenvolvimento mais flexíveis e colaborativas.

O *Manifesto Ágil* propõe uma mudança de foco em relação aos modelos tradicionais, ao valorizar mais as pessoas e suas interações do que os processos e ferramentas; a entrega de software funcional em vez de documentação excessiva; a colaboração com o cliente em vez da rigidez contratual; e a capacidade de responder rapidamente a mudanças em lugar do apego a planos fixos.

Vale destacar que o manifesto não ignora a importância dos elementos relegados ao segundo plano, como processos, ferramentas, documentação e contratos. Ele apenas ressalta que, no contexto ágil, esses elementos não devem se sobrepor à flexibilidade, à comunicação eficiente e à entrega contínua de valor.

Essa filosofia se adapta melhor à realidade de pequenas e médias empresas, que muitas vezes lidam com mudanças frequentes e recursos limitados. Entre as metodologias ágeis mais conhecidas destaca-se a *Extreme Programming* (XP), proposta por Beck (1999), voltada especialmente para equipes pequenas e médias que trabalham com requisitos instáveis e em constante evolução. A XP se diferencia por promover



feedback contínuo, ciclos incrementais e forte incentivo à comunicação entre os membros da equipe e com o cliente.

O projeto C3 da Chrysler foi um marco na história da XP. Após sucessivos fracassos utilizando metodologias tradicionais, a aplicação da XP resultou na entrega do sistema em pouco mais de um ano [Highsmith et al. (2000)]. A XP causou impacto no mundo do desenvolvimento por propor práticas que, isoladamente, podem parecer controversas, mas que, quando aplicadas de forma conjunta e sinérgica, se mostram eficazes e inovadoras. O objetivo central da XP é garantir entregas rápidas, satisfação do cliente e maior assertividade nas estimativas, além de proporcionar um ambiente de trabalho colaborativo e produtivo.

Beck (1999) define quatro valores fundamentais para a XP: comunicação, simplicidade, feedback e coragem. A comunicação visa fortalecer o relacionamento entre desenvolvedores e clientes, privilegiando conversas diretas e evitando e-mails ou telefonemas sempre que possível. A simplicidade, por sua vez, orienta o desenvolvimento de códigos objetivos, sem funcionalidades desnecessárias ou voltadas a requisitos futuros incertos. Implementar apenas o que é necessário no presente, com possibilidade de ajustar futuramente, é mais eficaz do que tentar prever tudo de antemão.

O feedback constante é outro pilar da XP. Ele se manifesta tanto nos testes automatizados que avaliam continuamente o código, quanto nas entregas frequentes de versões funcionais do software para que o cliente possa acompanhar e sugerir melhorias. Com isso, eventuais falhas ou equívocos são detectados precocemente e corrigidos com agilidade, aumentando as chances de o produto final estar de acordo com as expectativas do cliente.

Já a coragem é necessária para sustentar os outros três valores. Nem todos os profissionais estão habituados à comunicação direta ou à exposição constante a críticas e mudanças. Ter coragem, nesse contexto, significa estar aberto à melhoria contínua, aceitar alterações de requisitos e não temer revisões frequentes de código. Além dos valores, a XP se apoia em doze práticas essenciais [Beck (1999)].

Entre elas, está o planejamento, que define as prioridades do projeto com base em requisitos atuais, e não em previsões futuras. O cliente participa ativamente das decisões sobre escopo, entregas e versões, enquanto os desenvolvedores definem prazos e cronogramas. As entregas frequentes fazem parte dessa lógica, permitindo que versões reduzidas, porém funcionais, sejam disponibilizadas mensalmente, favorecendo o feedback contínuo.

A prática da metáfora permite descrever o funcionamento do software em termos simples, sem jargões técnicos, facilitando o entendimento por todos os envolvidos. O projeto simples é uma diretriz para evitar códigos complexos ou recursos prematuros. Os testes são desenvolvidos antes da codificação, garantindo que o sistema funcione como esperado desde os estágios iniciais.

A programação em pares, outra característica marcante da XP, consiste em dois desenvolvedores



trabalhando juntos no mesmo computador: um escreve o código enquanto o outro revisa em tempo real, sugerindo melhorias e identificando falhas. Essa interação constante favorece o aprendizado mútuo e a qualidade do código. Já a refatoração visa aprimorar o design do software, tornando-o mais limpo e eficiente sem comprometer suas funcionalidades.

Na propriedade coletiva, o código pertence a toda a equipe. Qualquer membro pode modificálo, desde que realize os testes necessários, promovendo responsabilidade compartilhada e facilitando a continuidade do projeto, mesmo diante de eventuais saídas de integrantes. A integração contínua garante que o sistema seja atualizado e testado diversas vezes ao dia, minimizando conflitos de código e falhas. A XP também preza pela sustentabilidade do trabalho, propondo jornadas regulares de até 40 horas semanais. O excesso de horas é visto como sinal de falha no planejamento, e não como solução para atrasos. O envolvimento direto do cliente presente durante todo o processo assegura esclarecimento rápido de dúvidas e alinhamento constante com as expectativas. Por fim, o uso de código padrão facilita o entendimento coletivo da base de código, promovendo coesão e qualidade técnica.

Em síntese, a XP propõe uma forma revolucionária de desenvolver software, baseada em colaboração, simplicidade e adaptação contínua, oferecendo uma alternativa eficaz frente às limitações das abordagens tradicionais.

3 CONCLUSÃO

A conclusão deste trabalho ressalta a importância da comparação entre metodologias ágeis e tradicionais no ciclo de vida do software, evidenciando que não existe uma abordagem única que se destaque como a melhor para todos os cenários. As metodologias tradicionais, como o modelo em cascata, ainda têm sua relevância em contextos onde os requisitos são bem definidos e a documentação rigorosa é necessária. Elas proporcionam uma estrutura clara e sequencial que pode ser vantajosa em projetos de menor complexidade ou em ambientes regulados.

Por outro lado, as metodologias ágeis, representadas por abordagens como Extreme Programming e Scrum, se mostram mais adequadas para ambientes dinâmicos e colaborativos, onde a flexibilidade e a capacidade de adaptação às mudanças são cruciais. O Manifesto Ágil, com seus valores voltados para a comunicação, entrega contínua e colaboração com o cliente, reflete uma resposta às exigências contemporâneas do mercado, onde a inovação e a rapidez na entrega de valor são fundamentais.

A análise realizada neste trabalho confirma que a escolha da metodologia deve ser estratégica, levando em consideração fatores como o tipo de projeto, a estabilidade dos requisitos e o contexto organizacional. As metodologias ágeis, com sua ênfase na interação constante entre equipes e clientes, permitem uma maior agilidade e redução de riscos, promovendo um ambiente de trabalho mais produtivo e satisfatório.



Além disso, este estudo destaca a necessidade de um entendimento crítico sobre as metodologias de desenvolvimento, permitindo que profissionais e organizações façam escolhas mais informadas e alinhadas aos seus objetivos. A capacidade de adaptação às características específicas de cada projeto é essencial para maximizar a eficiência e a qualidade do produto final, contribuindo assim para a satisfação do cliente e o sucesso do empreendimento.

Em suma, enquanto as metodologias tradicionais ainda têm seu espaço, as abordagens ágeis têm se destacado como uma resposta eficaz às demandas atuais do desenvolvimento de software. A evolução contínua das práticas de engenharia de software exige que os profissionais estejam sempre atualizados e prontos para adotar a metodologia que melhor se encaixe nas necessidades do projeto em questão, garantindo assim a entrega de soluções de qualidade e que realmente atendam às expectativas do mercado.



REFERÊNCIAS

AGILE MANIFESTO. Disponível em: http://agilemanifesto.org/. Acesso em: 30 Jun. 2025.

BECK, K. Programação extrema explicada. Bookman, 1999.

BROOKS, F. No silver bullet: essence and accidents of software engineering. In: Proc. IFIP. IEEE CS Press, 1987. p. 1069-1076. Reimpresso em IEEE Computer, abr. 1987. p. 10-19.

CHARETTE, R. Fair fight? Agile versus heavy methodologies. Cutter Consortium E- project Management Advisory Service, v. 2, n. 13, 2001.

COCKBURN, A.; HIGHSMITH, J. Agile software development: the business of innovation. IEEE Computer, set. 2001. p. 120-122.

GILB, T. Principles of software engineering management. Addison-Wesley, 1988.

HIGHSMITH, J.; ORR, K.; COCKBURN, A. Extreme programming. E-Business Application Delivery, fev. 2000. p. 4-17.

PRESSMAN, R. Engenharia de software. McGraw-Hill, 2001.

ROYCE, W. W. Managing the development of large software systems: concepts and techniques. In: Proc. IEEE Westcon. Los Angeles, CA, 1970.

SCHWABER, K.; BEEDLE, M. Agile software development with Scrum. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

SOMMERVILLE, I. Engenharia de software. São Paulo: Addison-Wesley, 2003.

STANDISH GROUP. CHAOS report. 586 Olde Kings Highway. Dennis, MA 02638, USA, 1995.

XPLANNER. Disponível em: http://www.xplanner.org/. Acesso em: 30 Jun. 2025.

KOSCIANSKI, André; SOARES, Michel dos Santos. Qualidae de Software: Aprenda as metodologias e técnicas mais modernas para o desenvolvimento de software. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora, 2007.

PAULA FILHO, Wilson de Pádua. Engenharia de software: fundamentos, métodos e padrões. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PAULA FILHO, Wilson de Pádua. Engenharia de software: fundamentos, métodos e padrões. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PRESSMAN, Roger S. Engenharia de software. Trad. José Carlos Barbosa dos Santos. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

PRESSMAN, Roger S. Engenharia de software. Trad. Rosângela Delloso Penteado. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.



PRESSMAN, Roger S. Engenharia de software: uma abordagem profissional. Trad. Ariovaldo Griesi. 7. ed. São Paulo: Bookman, 2011.

PRIKLADNICKI, Rafael; WILLI, Renato; MILANI, Fabiano. Métodos Ágeis Para Desenvolvimento De Software. Porto Alegre: Bookman, 2014.

SOARES, Michel dos Santos. Comparação entre metodologias ágeis e tradicionais para odesenvolvimento de Software. 2004. Disponível em: http://www.dcc.ufla.br/infocomp/index.php/INFOCOMP/article/view/68/53. Acesso em: 13 nov. 2015.

SOMMERVILLE, Ian. Engenharia de software. Trad. Selma Shin Shimizu Melnikoff et al. 8. ed. São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2007.

SOMMERVILLE, Ian. Engenharia de software. Trad. Ivan Bosnic e Kalinka G. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.



CIBERSEGURANÇA E CONFLITOS GLOBAIS: UMA ANÁLISE QUALITATIVA DAS RELAÇÕES INTERNACIONAIS NA ERA DIGITAL

CYBERSECURITY AND GLOBAL CONFLICTS: A QUALITATIVE ANALYSIS OF INTERNATIONAL RELATIONS IN THE DIGITAL AGE

https://doi.org/10.63330/aurumpub.005-016

Marcelo da Silva Lima Segurança Cibernética

RESUMO

A segurança cibernética é o tema central deste trabalho, que analisa seus principais desafios e oportunidades no contexto global contemporâneo. O estudo parte da constatação de que, com o avanço acelerado das tecnologias da informação e comunicação, o ciberespaço tornou-se um domínio estratégico para Estados, empresas e cidadãos, exigindo respostas institucionais cada vez mais sofisticadas frente ao crescimento das ameaças digitais. O objetivo principal da pesquisa é examinar criticamente os riscos relacionados à cibersegurança e identificar as potencialidades que esse campo oferece nas esferas política, econômica e social. A metodologia utilizada foi qualitativa, com base em revisão bibliográfica e documental de autores e instituições de referência, como Singer e Friedman, Nocetti, Nye, Clarke e Knake, OCDE, Fórum Econômico Mundial, entre outros. O trabalho estrutura-se em três capítulos. O primeiro apresenta a evolução do conceito de segurança cibernética e sua inserção na agenda internacional, destacando a crescente relevância do tema no desenvolvimento econômico e na governança global. O segundo capítulo aborda os principais desafios, com ênfase no problema da atribuição de ataques, nas vulnerabilidades das infraestruturas críticas e no risco de escalada de tensões geopolíticas. Também são discutidos fenômenos como botnets, hacktivismo e o "paradoxo da conectividade", que torna os países mais avançados tecnologicamente os mais expostos a ameaças. No terceiro capítulo, são analisadas as oportunidades da segurança cibernética, com destaque para o fortalecimento da economia digital, a criação de empregos especializados, a cooperação internacional e o estímulo à educação e à inclusão digital. Entre os resultados obtidos, conclui-se que a segurança cibernética, além de um desafio técnico e geopolítico, é também uma oportunidade estratégica de inovação, integração institucional e fortalecimento da cidadania digital. A pesquisa evidencia que uma abordagem colaborativa, baseada em planejamento, resiliência e governança participativa, é essencial para transformar o ambiente digital em um espaço mais seguro, confiável e inclusivo.

Palavras-chave: Segurança cibernética; Tecnologia da informação; Ambiente digital.

ABSTRACT

Cyber security is the central theme of this work, which analyzes its main challenges and opportunities in the contemporary global context. The study starts from the realization that, with the accelerated advance of information and communication technologies, cyberspace has become a strategic domain for states, companies and citizens, requiring increasingly sophisticated institutional responses to the growth of digital threats. The main objective of the research is to critically examine the risks related to cybersecurity and identify the potential that this field offers in the political, economic and social spheres. The methodology used was qualitative, based on a bibliographical and documentary review of leading authors and institutions, such as Singer and Friedman, Nocetti, Nye, Clarke and Knake, the OECD and the World Economic Forum, among others. The work is structured in three chapters. The first presents the evolution of the concept of cyber security and its inclusion on the international agenda, highlighting the growing relevance of the issue



in economic development and global governance. The second chapter addresses the main challenges, with an emphasis on the problem of attributing attacks, the vulnerabilities of critical infrastructures and the risk of escalating geopolitical tensions. Phenomena such as botnets, hacktivism and the "connectivity paradox", which makes the most technologically advanced countries the most exposed to threats, are also discussed. In the third chapter, the opportunities of cyber security are analyzed, with emphasis on strengthening the digital economy, creating specialized jobs, international cooperation and stimulating education and digital inclusion. Among the results obtained, it is concluded that cyber security, in addition to being a technical and geopolitical challenge, is also a strategic opportunity for innovation, institutional integration and strengthening digital citizenship. The research shows that a collaborative approach, based on planning, resilience and participatory governance, is essential for transforming the digital environment into a safer, more reliable and inclusive space.

Keywords: Cyber security; Information technology; Digital environment.



1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa tem como tema central a segurança cibernética, cuja relevância tem crescido de forma exponencial na agenda internacional, acompanhando o avanço das tecnologias da informação e da comunicação. Com o surgimento de novas ameaças digitais, a segurança no ciberespaço tornou-se uma das principais preocupações de Estados, empresas e cidadãos, exigindo análises aprofundadas sobre seus desafios e oportunidades.

Segundo Nye (1998), a globalização pode ser compreendida como um processo decorrente do crescimento e da atuação de novos atores no cenário internacional — como organizações internacionais, empresas multinacionais, organizações não governamentais e outras entidades — que investem em mecanismos de expansão e influência no Sistema Internacional. Essa dinâmica favorece a cooperação entre atores estatais e não estatais, contribuindo para relações mais pacíficas e funcionais, com impacto positivo sobre o desenvolvimento e a manutenção da paz. Já sob a perspectiva de Lévy (1999), a globalização é impulsionada pelo progresso tecnológico internalizado pela sociedade. Para ele, essa transformação social avança com maior rapidez do que a capacidade dos Estados de desenvolver ferramentas adequadas, criando um novo ambiente informacional que reduz distâncias e inaugura novas realidades, como a internet.

Buzan (1998), por sua vez, interpreta a globalização como uma consequência dos investimentos estatais em novas formas de poder, o que fomenta o desenvolvimento de tecnologias que alimentam disputas no Sistema Internacional — sejam elas econômicas, militares ou tecnológicas. Em comum, todas essas visões destacam a relação intrínseca entre globalização e o avanço tecnológico, sugerindo que a segurança cibernética se insere nesse contexto como um elemento estratégico decorrente da crescente interconectividade e interdependência global, com repercussões amplas nos campos social, econômico, político e cultural.O estudo está fundamentado em uma revisão bibliográfica que inclui autores como Singer e Friedman (2014), Nocetti (2018), Nye (2010), Clarke e Knake (2015), entre outros, que oferecem contribuições fundamentais para o entendimento da complexidade do tema. O objetivo geral deste trabalho é analisar criticamente os principais desafios enfrentados pelos Estados e pelas instituições no âmbito da segurança cibernética, ao mesmo tempo em que se investigam as oportunidades que esse campo oferece nas esferas política, econômica e social. Parte-se da hipótese de que, apesar dos riscos associados à crescente digitalização, a segurança cibernética também pode se configurar como vetor de desenvolvimento estratégico, inovação tecnológica e cooperação internacional. Justifica-se esta pesquisa pela necessidade urgente de compreender o impacto das ameaças digitais na estabilidade das democracias, na integridade das infraestruturas críticas e na confiança dos usuários nas tecnologias digitais, além de propor caminhos que visem à construção de uma governança mais eficaz no ciberespaço.

A metodologia adotada é qualitativa, com base em pesquisa bibliográfica e documental. O trabalho



encontra-se estruturado em três capítulos principais. O primeiro capítulo trata da segurança cibernética no cenário internacional, abordando sua emergência como tema de segurança global, com destaque para o papel da internet e das TICs no desenvolvimento econômico e social e a crescente sofisticação das ameaças cibernéticas, conforme demonstrado em relatórios da OCDE (2012) e do Fórum Econômico Mundial (2018).

O segundo capítulo, intitulado Novos desafios, discute o problema da atribuição de ataques cibernéticos, as vulnerabilidades das infraestruturas críticas e os riscos de escalada de tensões entre Estados. São abordados conceitos como *botnets*, *hacktivismo*, espionagem digital e o "paradoxo da conectividade", que evidencia como os países mais tecnologicamente avançados são também os mais vulneráveis, conforme destacam Gartzke (2013) e o relatório *Strategic Survey 2018* (IISS, 2018).

O terceiro capítulo explora as oportunidades relacionadas à segurança cibernética, especialmente nas áreas da economia, das relações internacionais e da cidadania digital. Discute-se como a cibersegurança pode fomentar a criação de empregos, promover o desenvolvimento de novos setores de tecnologia e fortalecer a cooperação entre países na formulação de normas e políticas internacionais para a proteção do ciberespaço.

Por fim, o trabalho é concluído com uma reflexão sobre a importância de uma abordagem integrada e colaborativa para enfrentar os desafios da segurança cibernética e aproveitar suas oportunidades, reforçando a necessidade de investimentos contínuos em tecnologia, educação digital, governança e resiliência institucional. O estudo pretende, assim, contribuir para o debate acadêmico e prático sobre a construção de um ambiente digital mais seguro, inclusivo e confiável.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 SEGURANÇA CIBERNÉTICA

Até o final do século XX, a agenda de segurança internacional era tradicionalmente dominada por certos temas, como os conflitos entre e dentro dos Estados, além da segurança ambiental e da segurança humana. Contudo, com a virada do milênio e o início do século XXI, surge um novo tópico de destaque: a cibersegurança (cybersecurity). Esse novo eixo de preocupação está diretamente relacionado à revolução tecnológica e informacional vivenciada desde os anos finais do século passado, marcada, sobretudo, pela rápida disseminação de informações e pela redução contínua de seus custos. Devido à constante evolução tecnológica associada ao tema, a cibersegurança demanda atualização frequente, visto que suas ferramentas e métodos estão em constante aperfeiçoamento.

Em 2012, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) publicou o relatório *Cybersecurity Policy Making at a Turning Point*, no qual avaliou as estratégias de cibersegurança de dez países membros. O documento (OCDE, 2012) evidenciou dois aspectos recorrentes nessas políticas



nacionais: (i) o papel central da internet e das tecnologias da informação para o crescimento econômico e social, sendo tratadas como infraestrutura essencial; e (ii) o crescimento veloz e constante das ameaças cibernéticas.

Esse entendimento foi reforçado por Jean-Yves Le Drian, então ministro das Relações Exteriores da França, durante a 72ª Assembleia Geral da ONU, em setembro de 2017. Para ele, o ciberespaço se consolidou como um novo ambiente de oportunidades econômicas e transformações sociais. No entanto, ele alertou para as vulnerabilidades emergentes do ambiente digital, que podem ameaçar os princípios fundamentais de abertura e liberdade que sustentam o ciberespaço, além de comprometer as vantagens econômicas da revolução digital. Le Drian advertiu que as ameaças estão se multiplicando nesse ambiente, configurando um desafio central, ainda em seus estágios iniciais, e que tende a se agravar nos próximos anos.

Jean-Claude Juncker, então presidente da Comissão Europeia, também enfatizou a gravidade das ameaças digitais ao afirmar, em seu discurso sobre o estado da União, em 2017, que "os ataques cibernéticos podem ser mais perigosos para a estabilidade das democracias e das economias do que armas e tanques".

Nye (2018) corrobora essa visão ao observar que, desde 2013, o Diretor de Inteligência Nacional dos Estados Unidos passou a considerar os riscos cibernéticos como a maior ameaça à segurança nacional. De forma semelhante, o relatório *Strategic Survey 2018: The Annual Assessment of Geopolitics*, do International Institute for Strategic Studies (IISS), salienta que a revolução digital está impactando profundamente todos os elementos da arte de governar (statecraft), como a diplomacia, os serviços de inteligência e o uso da força.

No campo econômico, especialmente no setor financeiro, Boer e Vazquez (2017) apontam dados alarmantes sobre os prejuízos causados por ciberataques. Um estudo do Lloyd's of London, realizado em julho de 2017, indicava que um ataque cibernético global poderia gerar perdas superiores a 121 bilhões de dólares. Já o *Global Risks Report 2018*, do Fórum Econômico Mundial, baseado em pesquisa do Juniper Research, estimou que o custo global do cibercrime para as empresas entre 2017 e 2022 chegaria a 8 trilhões de dólares.

Dessa forma, a relevância da cibersegurança no cenário internacional contemporâneo aumenta de forma acelerada. Por isso, investigar a segurança no ciberespaço tornou-se essencial para a formulação de políticas e a tomada de decisões por parte dos atores das relações internacionais. Assim, compreender o que configura o ciberespaço representa um ponto inicial fundamental para tais análises.

2.2 NOVOS DESAFIOS

Um dos principais obstáculos enfrentados no campo da segurança cibernética é o problema da atribuição, ou seja, a dificuldade em identificar de forma precisa o autor de um ataque digital. Essa limitação



compromete a capacidade de resposta dos Estados, uma vez que impossibilita medidas de retaliação claras e eficazes, inviabilizando o pleno exercício do direito à legítima defesa (SINGER; FRIEDMAN, 2014; NOCETTI, 2018). Conforme destacam Singer e Friedman (2014), os atacantes frequentemente recorrem a malwares — softwares maliciosos — que permitem controlar, sem o conhecimento do usuário, dispositivos pessoais conectados à internet. Esses computadores passam a compor redes chamadas botnets, usadas com frequência em ataques de negação de serviço (DDoS), dificultando ainda mais a identificação da origem dos ataques.

Três características dessas botnets são ressaltadas por Singer e Friedman (2014): a ausência de fronteiras geográficas, a ignorância do proprietário em relação à utilização indevida de sua máquina e, por fim, a limitação da investigação técnica, que geralmente consegue rastrear apenas até o dispositivo intermediário utilizado, e não ao verdadeiro autor do ataque. Assim, a atribuição formal de ataques cibernéticos torna-se incomum, sendo frequentemente motivada mais por razões políticas do que por provas técnicas incontestáveis (NOCETTI, 2018). Gartzke (2013, p. 46) reforça esse ponto ao afirmar que "os atacantes têm maior propensão a agir quando sabem que é improvável sofrerem retaliação".

Esse contexto leva à utilização de estratégias de disfarce, como a negação de envolvimento estatal e a atribuição dos ataques a grupos civis ou ativistas digitais, os chamados "cibercidadãos" ou *netizens* (FERNANDES, 2012). Uma forma de ação comum nesses casos é o hacktivismo, definido por Singer e Friedman (2014, p. 77) como o uso de meios cibernéticos não violentos — ainda que legalmente questionáveis — para promover ou resistir a mudanças sociais ou políticas. Os hacktivistas podem atuar individualmente ou em coletivos descentralizados, como o Anonymous, ou ainda em organizações mais estruturadas. Um exemplo notável é o uso de grupos terceirizados suspeitos de desenvolver armas cibernéticas em nome do governo russo, tornando incerta a origem real dos ataques — como ocorreu durante a "guerra cibernética da Estônia", envolvendo hackers patrióticos russos (CHIVVIS; DION-SCHWARZ, 2017).

Além da atribuição, outra questão fundamental para a segurança cibernética dos Estados são as vulnerabilidades estruturais. Nye (2010) adverte que a crescente dependência de sistemas digitais para atividades militares e econômicas abre novas brechas exploráveis por atores não estatais. Tais vulnerabilidades atingem especialmente as infraestruturas críticas, definidas pelo USA Patriot Act (2001) como sistemas e ativos, físicos ou virtuais, cuja destruição comprometeria a segurança nacional, a economia e a saúde pública dos Estados Unidos. Willett (2019) cita exemplos de setores visados por ataques, como bancos, indústrias petrolíferas, usinas nucleares, redes elétricas e sistemas de comunicação. Quanto maior a integração desses setores ao ciberespaço, maior a exposição a riscos.

O *Strategic Survey 2018*, do IISS (2018), introduz o conceito de "paradoxo da conectividade", segundo o qual os países mais tecnologicamente avançados são, paradoxalmente, os mais vulneráveis a



ataques cibernéticos. McCarthy et al. (2009, p. 545) reforçam essa ideia ao destacar que o ciberespaço funciona como o "sistema nervoso das infraestruturas críticas nacionais e da economia global". Nos Estados Unidos, por exemplo, um ataque a essas estruturas poderia provocar impactos catastróficos em múltiplas esferas: romper barragens e causar inundações, comprometer dados militares e de inteligência, ou ainda desestabilizar o sistema financeiro.

Muitos desses ataques empregam bombas lógicas — códigos maliciosos ocultos em falhas dos sistemas que são ativados estrategicamente em momentos de conflito (CLARKE; KNAKE, 2015). Essas bombas, além de danosas, servem como mecanismos de dissuasão, por meio da ameaça de retaliação severa. A detecção dessas ameaças, porém, é extremamente complexa: segundo dados do IISS (2018), o tempo médio de identificação pode ultrapassar 146 dias nos EUA e mais de 400 dias na União Europeia. Clarke e Knake (2015) apontam a vulnerabilidade da rede elétrica americana como exemplo emblemático, mencionando que, desde os anos 1990, a digitalização dos sistemas de controle facilita a sabotagem remota, como o aumento da rotação de geradores até a destruição de suas turbinas.

Adicionalmente, Gartzke (2013) observa que, embora as forças armadas americanas tenham se beneficiado do avanço tecnológico no campo de batalha, essa modernização também as tornou mais suscetíveis a ataques cibernéticos. Essa dualidade exemplifica os riscos intrínsecos à interdependência digital.

Outro desafio central reside no risco de escalada de tensões no ciberespaço, muitas vezes agravado pela falta de atribuição clara. Estratégias de contenção, nesse contexto, tornam-se cruciais. Nocetti (2018) relata, por exemplo, a abordagem cautelosa do governo Obama diante do roubo de dados do JP Morgan (2014) e do vazamento de informações da Casa Branca e do Departamento de Estado (2015). Apesar dos indícios apontarem hackers russos, possivelmente com respaldo do Kremlin, o governo evitou acusações diretas, optando por deixar que a mídia divulgasse os fatos, enviando assim uma mensagem política indireta.

O ciberespaço também está transformando profundamente as práticas de inteligência dos Estados. Um novo panorama se delineia com o crescimento de empresas privadas especializadas em cibersegurança, que atuam na detecção e análise de programas espiões. Essas empresas frequentemente publicam suas descobertas, democratizando o acesso à informação sobre as capacidades de espionagem digital dos governos. Essa nova realidade contrasta com o sigilo característico das operações durante a Guerra Fria (NOCETTI, 2018).

Como resultado dessa maior transparência, uma variedade de incidentes cibernéticos se torna objeto de análise pública e acadêmica, contribuindo para o amadurecimento do campo da segurança cibernética e oferecendo lições fundamentais sobre os riscos, estratégias e implicações políticas dos conflitos no espaço digital.



2.3 OPORTUNIDADES

No plano econômico, a segurança cibernética representa uma oportunidade de crescimento para setores especializados, como as empresas de tecnologia da informação, análise de risco, forense digital, criptografia e desenvolvimento de softwares de proteção. A demanda por soluções inovadoras em segurança digital estimula o empreendedorismo e a pesquisa científica, além de promover a criação de empregos altamente qualificados. A formação de profissionais capacitados para atuar em áreas como engenharia de segurança da informação, auditoria de sistemas e resposta a incidentes torna-se estratégica para os países que desejam se manter competitivos e proteger sua soberania digital. (SINGER; FRIEDMAN, 2014; NOCETTI, 2018)

No campo das relações internacionais, a segurança cibernética possibilita a construção de parcerias multilaterais, tratados de cooperação e mecanismos de governança global para lidar com ameaças comuns. Iniciativas como o desenvolvimento de marcos legais internacionais para o uso ético do ciberespaço, o intercâmbio de informações entre agências e a criação de protocolos de resposta conjunta a ciberataques fortalecem a diplomacia e a estabilidade internacional. Além disso, a cibersegurança promove o conceito de resiliência digital, ou seja, a capacidade dos sistemas e das sociedades de resistirem, responderem e se adaptarem rapidamente a ataques ou falhas tecnológicas, garantindo a continuidade dos serviços e a proteção dos direitos fundamentais dos cidadãos. (SINGER; FRIEDMAN, 2014; NOCETTI, 2018)

Do ponto de vista social, investir em segurança cibernética é uma forma de ampliar a confiança na utilização das tecnologias digitais. Ao garantir a privacidade dos dados, proteger sistemas de saúde, educação e finanças, e combater fraudes e desinformação, a cibersegurança contribui para a inclusão digital e para o fortalecimento da cidadania no ambiente virtual. Iniciativas de educação digital, campanhas de conscientização sobre práticas seguras e inclusão da cibersegurança nos currículos escolares e universitários representam importantes oportunidades de formação crítica da população frente aos desafios da sociedade da informação. (SINGER; FRIEDMAN, 2014; NOCETTI, 2018)

Portanto, embora os desafios da segurança cibernética sejam significativos, suas oportunidades são igualmente amplas. Elas envolvem não apenas avanços tecnológicos, mas também melhorias na governança pública, no desenvolvimento socioeconômico e na promoção de uma cultura digital segura e consciente. Aproveitar essas oportunidades exige planejamento, investimento e cooperação entre os setores público, privado e a sociedade civil, com vistas a construir um ciberespaço mais confiável, resiliente e inclusivo.

3 CONCLUSÃO

Diante do cenário apresentado ao longo deste trabalho, é possível afirmar que a segurança cibernética se consolidou como uma das principais questões da contemporaneidade, exigindo atenção estratégica de governos, empresas e da sociedade civil. Os desafios identificados, como o problema da



atribuição de ataques, as vulnerabilidades das infraestruturas críticas, a sofisticação crescente das ameaças e a possibilidade de escalada de conflitos entre Estados, evidenciam a complexidade do tema e sua interconexão com dimensões políticas, econômicas e sociais. A análise realizada demonstrou que a atuação no ciberespaço ultrapassa os limites do campo técnico, abrangendo também o âmbito da diplomacia, da segurança nacional e das relações internacionais, tornando-se essencial à manutenção da estabilidade e da soberania dos Estados.

Contudo, o estudo revelou também que, paralelamente aos riscos e ameaças, a segurança cibernética representa um campo fértil para oportunidades. O fortalecimento das estruturas de defesa digital pode impulsionar a inovação tecnológica, fomentar o crescimento de novos mercados e ampliar as possibilidades de cooperação internacional em torno de uma governança digital ética e responsável. A expansão de setores especializados, como forense digital, auditoria de sistemas, criptografia e desenvolvimento de softwares de proteção, abre novas frentes de atuação profissional e acadêmica, além de contribuir para a construção de uma cultura digital baseada na proteção de dados, na privacidade e na confiança dos usuários.

Além disso, observou-se que as iniciativas voltadas à educação e à conscientização da população sobre boas práticas no uso das tecnologias são fundamentais para reduzir a exposição a riscos, garantir o exercício pleno da cidadania no ambiente digital e promover a inclusão digital. Nesse contexto, a segurança cibernética deixa de ser uma responsabilidade exclusiva do Estado ou de especialistas em tecnologia e passa a demandar o envolvimento de múltiplos atores sociais. O fortalecimento da resiliência digital, por meio de investimentos em infraestrutura segura, marcos regulatórios atualizados e formação profissional adequada, torna-se indispensável para enfrentar os desafios emergentes e aproveitar, de forma estratégica, as oportunidades oferecidas pelo ambiente digital.

Por fim, é importante destacar que a consolidação de uma cultura de segurança cibernética também passa pela articulação entre as esferas pública e privada, pelo incentivo à pesquisa interdisciplinar e pela formulação de políticas públicas baseadas em evidências. A promoção da cooperação regional e internacional, a padronização de normas e protocolos de segurança e a criação de redes colaborativas de resposta a incidentes são estratégias fundamentais para a construção de um ecossistema digital mais seguro. Assim, enfrentar os desafios da cibersegurança com eficácia requer uma abordagem integrada, que valorize tanto a proteção técnica quanto os aspectos sociais, educacionais e éticos envolvidos na relação da sociedade com as tecnologias digitais.

Considerando o ritmo acelerado das transformações tecnológicas, é indispensável que os Estados e instituições estejam atentos à constante atualização de suas políticas e estratégias de segurança cibernética. A antecipação de riscos, a adoção de tecnologias emergentes como a inteligência artificial e o fortalecimento de capacidades locais de inovação são elementos-chave para garantir a soberania digital e a segurança da informação. Dessa forma, a segurança cibernética deve ser tratada como uma prioridade



permanente das agendas governamentais e institucionais, assegurando não apenas a proteção frente às ameaças, mas também o aproveitamento pleno das oportunidades trazidas pela era digital.



REFERÊNCIAS

OCDE. *Cybersecurity Policy Making at a Turning Point*. 2012. Disponível em: http://www.oecd.org/sti/ieconomy/cybersecurity%20policy%20making.pdf. Acesso em: 27 Jun.2025.

LE DRIAN, Jean-Yves. Discurso na 72^a Assembleia Geral da ONU, setembro de 2017. JUNCKER, Jean-Claude. Discurso sobre o estado da União. 2017.

NYE, Joseph S. Cyber Power. Cambridge: Belfer Center for Science and International Affairs, 2010.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR STRATEGIC STUDIES (IISS). Strategic Survey 2018: The Annual Assessment of Geopolitics. Londres: IISS, 2018.

BOER, M.; VAZQUEZ, J. Cyber Security & Financial Stability: how cyber-attacks could materially impact the global financial system. Institute of International Finance, set. 2017. Disponível em:

https://www.iif.com/Publications/ID/228/Cyber-Security- Financial-Stability-How-Cyber-attacks-Could-Materially-Impact-the-Global-Financial-System. Acesso em: 27 Jun.2025.

LLOYD'S OF LONDON. Estimativas de perdas financeiras devido a ciberataques. Julho de 2017.

WORLD ECONOMIC FORUM. *Global Risks Report 2018*. Genebra: WEF, 2018. Disponível em: https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2018. Acesso em: 27 Jun.2025.

SINGER, P. W.; FRIEDMAN, A. Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know. Nova Iorque: Oxford University Press, 2014.

NOCETTI, J. Géopolitique de la cyber-conflictualité. Politique étrangère, vol. 83, n. 2, ver. 2018. Disponível em: https://www.ifri.org/fr/publications/politique-etrangere/geopolitique-de-cyber. Acesso em: 27 Jun.2025.

GARTZKE, E. The Myth of Cyberwar: bringing war in cyberspace back down to Earth. *International Security*, Cambridge, v. 38, n. 2, p. 41-73, out. 2013. Disponível em: https://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/ISEC_a_00136. Acesso em: 27 Jun.2025.

FERNANDES, J. P. T. A ciberguerra como nova dimensão dos conflitos do século XXI. *Relações Internacionais*, Lisboa, n. 33, p. 53-69, mar. 2012. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1645-91992012000100005&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 27 Jun.2025.

CHIVVIS, C. S.; DION-SCHWARZ, C. Why It's So Hard to Stop a Cyberattack – and Even Harder to Fight Back. RAND Corporation, 2017. Disponível em: https://www.rand.org/blog/2017/03/why-its-so-hard-to-stop-a-cyberattack-and-even- harder.html. Acesso em: 27 Jun.2025.

NYE, J. S. *Cyber War and Peace*. 2012. Disponível em: https://www.belfercenter.org/publication/cyberwar-and-peace. Acesso em: 27 Jun.2025.

USA PATRIOT ACT. Uniting and Strengthening America by Providing Appropriate Tools Required to Intercept and Obstruct Terrorism. Public Law 107-56 – Oct. 26, 2001. Disponível em: https://www.congress.gov/107/plaws/publ56/PLAW- 107publ56.pdf. Acesso em: 27 Jun.2025.



WILLETT, M. Cyber instruments and international security. The International Institute for Strategic Studies, 2019. Disponível em:

https://www.iiss.org/blogs/analysis/2019/03/cyber-instruments-and-international- security. Acesso em: 27 Jun.2025

MCCARTHY, J. A.; BURROW, C.; DION, M.; PACHECO, O. Cyberpower and Critical Infrastructure Protection: A Critical Assessment of Federal Efforts. In: KRAMER, F. D.; STARR, S. H.; WENTZ, L. K. (Ed.). *Cyberpower and National Security*. 1. ed. Potomac Books, 2009. Cap. 23.

CLARKE, R.; KNAKE, R. Cyber War: The Next Threat to National Security and What to Do About It. Rio de Janeiro: Brasport, 2015.

GARTZKE, E. The Myth of Cyberwar: bringing war in cyberspace back down to Earth. *International Security*, Cambridge, v. 38, n. 2, p. 41-73, out. 2013. Disponível em: https://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/ISEC a 00136. Acesso em: 27 Jun.2025



A EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA CIBERNÉTICA: DESAFIOS E SOLUÇÕES NO SÉCULO XXI

THE EVOLUTION OF CYBER SECURITY: CHALLENGES AND SOLUTIONS IN THE 21ST CENTURY

bttps://doi.org/10.63330/aurumpub.005-017

David Aguiar Segurança Cibernética

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como tema central a evolução da segurança cibernética no século XXI, com ênfase nos principais desafios enfrentados por indivíduos, organizações e governos, bem como nas soluções desenvolvidas para mitigar os riscos no ambiente digital. Considerando o avanço exponencial da tecnologia, a crescente dependência de sistemas informacionais e a sofisticação dos crimes cibernéticos, torna-se essencial compreender como a cibersegurança se transformou em uma pauta estratégica em escala global. O objetivo geral da pesquisa foi analisar criticamente a evolução da segurança cibernética, identificando as principais ameaças contemporâneas, como ataques de ransomware, invasões de sistemas, vulnerabilidades em dispositivos da Internet das Coisas (IoT) e a fragilidade das legislações frente às novas formas de criminalidade digital. Para isso, foi adotada uma metodologia qualitativa, de natureza exploratória, com base em revisão bibliográfica e documental. Foram consultadas obras acadêmicas, relatórios técnicos, discursos políticos e estudos especializados de autores e instituições reconhecidas na área, como Doneda (2019), Bauman (2017), Castells (2003), Anderson e Moore (2020), além de organismos como a OCDE, IBM, Fórum Econômico Mundial e o International Institute for Strategic Studies. A pesquisa foi estruturada em três capítulos principais. No primeiro, desenvolve-se um panorama histórico e conceitual da segurança cibernética, desde seus primórdios até a sua consolidação como prioridade na governança digital. No segundo capítulo, são discutidos os desafios técnicos, organizacionais, jurídicos e sociais da cibersegurança no contexto atual, com destaque para a descentralização do trabalho, a defasagem regulatória e a insuficiência de cultura de segurança em ambientes corporativos. Também são analisadas as soluções implementadas, como o modelo Zero Trust, a criptografia avançada, o uso de inteligência artificial para detecção de ameaças e a importância da cooperação internacional. O terceiro capítulo apresenta a síntese dos principais achados, destacando a complexidade do cenário e a necessidade de abordagens interdisciplinares e colaborativas. Conclui-se que a segurança cibernética não pode mais ser tratada apenas como uma questão técnica, mas como um desafio transversal que demanda integração entre tecnologia, legislação, educação, governança e políticas públicas. A proteção do ciberespaço exige ações coordenadas em nível local e global, que visem não apenas à defesa dos sistemas, mas à preservação dos direitos, da privacidade e da confiança social na era digital.

Palavras-chave: Segurança Cibernética; Crimes Digitais; Proteção de Dados; Tecnologias da Informação.

ABSTRACT

The central theme of this term paper is the evolution of cybersecurity in the 21st century, with an emphasis on the main challenges faced by individuals, organizations and governments, as well as the solutions developed to mitigate risks in the digital environment. Considering the exponential advance of technology, the growing dependence on information systems and the sophistication of cybercrime, it is essential to understand how cybersecurity has become a strategic agenda on a global scale. The general objective of the research was to critically analyze the evolution of cybersecurity, identifying the main contemporary threats,



such as ransomware attacks, system invasions, vulnerabilities in Internet of Things (IoT) devices and the fragility of legislation in the face of new forms of digital crime. To this end, a qualitative, exploratory methodology was adopted, based on a bibliographic and documentary review. We consulted academic works, technical reports, political speeches and specialized studies by renowned authors and institutions in the field, such as Doneda (2019), Bauman (2017), Castells (2003), Anderson and Moore (2020), as well as organizations such as the OECD, IBM, the World Economic Forum and the International Institute for Strategic Studies. The research is structured in three main chapters. The first provides a historical and conceptual overview of cybersecurity, from its beginnings to its consolidation as a priority in digital governance. The second chapter discusses the technical, organizational, legal and social challenges of cybersecurity in the current context, highlighting the decentralization of work, the regulatory gap and the lack of a security culture in corporate environments. Implemented solutions are also analyzed, such as the Zero Trust model, advanced cryptography, the use of artificial intelligence to detect threats and the importance of international cooperation. The third chapter summarizes the main findings, highlighting the complexity of the scenario and the need for interdisciplinary and collaborative approaches. It concludes that cyber security can no longer be treated solely as a technical issue, but as a cross-cutting challenge that demands integration between technology, legislation, education, governance and public policies. Protecting cyberspace requires coordinated action at local and global level, aimed not only at defending systems, but also at preserving rights, privacy and social trust in the digital age.

Keywords: Cyber Security; Digital Crimes; Data Protection; Information Technology.



1 INTRODUÇÃO

A crescente digitalização das estruturas sociais, econômicas e políticas no século XXI tem gerado transformações profundas no modo como indivíduos, instituições e Estados se organizam e interagem. A segurança cibernética, nesse contexto, torna-se uma preocupação central, uma vez que os riscos associados ao uso indevido de informações, invasões de sistemas e crimes digitais complexos crescem na mesma proporção em que a tecnologia se expande e se integra ao cotidiano. Esse cenário, caracterizado por um ambiente global interconectado e tecnologicamente dependente, impõe desafios sem precedentes à proteção de dados, à soberania informacional e à preservação dos direitos fundamentais. Segundo autores como Castells (2003) e Bauman (2017), vivemos uma era de redes fluidas e fronteiras digitais frágeis, em que a segurança se redefine constantemente diante das ameaças emergentes.

Diante disso, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo principal analisar a evolução da segurança cibernética nas últimas décadas, com ênfase nos desafios enfrentados por diferentes setores da sociedade e nas soluções propostas e adotadas para mitigar os riscos no ambiente digital. Partese da hipótese de que, apesar dos avanços tecnológicos e normativos já implementados, as ações isoladas são insuficientes para garantir uma cibersegurança eficaz; sendo necessário um modelo multidisciplinar que una tecnologia, legislação, cooperação internacional, educação e governança estratégica. A escolha do tema justifica-se por sua atualidade, relevância global e impacto direto na vida das pessoas e na estabilidade das instituições, especialmente em contextos marcados por ameaças persistentes, como ataques de ransomware, espionagem digital e manipulação de dados sensíveis.

A metodologia adotada para a elaboração deste trabalho baseia-se em uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em pesquisa bibliográfica e documental. Foram consultadas obras clássicas e contemporâneas sobre o tema, com destaque para autores como Doneda (2019), Nye (2011), Rezende (2020), Anderson e Moore (2020), Ferreira e Almeida (2021) e Zúquete (2022), além de relatórios técnicos de instituições renomadas, como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2012), o Fórum Econômico Mundial (2018), a IBM Security (2024), o Lloyd's of London (2017) e o International Institute for Strategic Studies (2018). A seleção das fontes seguiu critérios de relevância acadêmica e atualidade, buscando oferecer uma visão ampla e fundamentada sobre os principais aspectos da segurança cibernética contemporânea. O procedimento metodológico incluiu a leitura, sistematização e análise crítica das publicações, permitindo a identificação de padrões, desafios recorrentes e propostas inovadoras.

A estrutura do trabalho está dividida em três partes interdependentes. O primeiro capítulo trata da contextualização teórica e histórica da segurança cibernética, abordando desde o surgimento das preocupações digitais no final do século XX até sua consolidação como pauta estratégica no século XXI. São discutidos os impactos da revolução informacional e da dependência tecnológica no surgimento de novas



ameaças e na reorganização dos mecanismos de segurança em nível global. O segundo capítulo concentra-se na análise dos principais desafios enfrentados pela cibersegurança atualmente, tais como ataques sofisticados, vulnerabilidades de dispositivos conectados (IoT), descentralização das estruturas de trabalho, defasagem legislativa e falta de cultura organizacional de segurança. Também são discutidas as soluções implementadas e em desenvolvimento, como o modelo "Zero Trust", o uso de criptografia avançada, inteligência artificial aplicada à defesa digital, políticas de compliance e ações de cooperação internacional.

O terceiro e último capítulo apresenta as considerações finais da pesquisa, com a síntese dos principais achados e uma reflexão crítica sobre as tendências futuras da segurança cibernética. Reforça-se a necessidade de uma abordagem transversal, que envolva múltiplos atores e dimensões — técnica, jurídica, institucional e cultural — para que se possa enfrentar com eficácia os desafios complexos do ciberespaço.

Com essa estrutura, o trabalho pretende não apenas descrever os avanços e obstáculos da cibersegurança no século XXI, mas também contribuir para o debate acadêmico e institucional sobre as formas mais adequadas de proteger o ambiente digital, os dados dos cidadãos e os sistemas críticos de informação em uma era cada vez mais vulnerável e interdependente.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 SEGURANÇA CIBERNÉTICA

A Segurança da Informação é uma disciplina relativamente recente no âmbito do conhecimento humano, mas que ganhou destaque significativo nas últimas décadas devido ao crescimento exponencial do uso da tecnologia. Para Araujo e Ferreira (2009), trata-se de uma área essencial que exige a elaboração e implementação de políticas eficazes, especialmente voltadas à proteção da confidencialidade das informações. Os autores propõem um guia prático para políticas de segurança, classificando os sistemas de informação em níveis de acesso e controle — do mais restrito ao mais básico. Entretanto, eles reconhecem que os demais princípios da segurança da informação, como integridade e disponibilidade, ainda carecem de maior aprofundamento.

Complementando essa perspectiva, Fontes (2006) apresenta a segurança da informação com ênfase no papel do usuário, adotando uma abordagem organizacional. Para ele, é fundamental investir na preparação e conscientização dos usuários, pois a manipulação inadequada dos dados pode comprometer toda a estrutura de segurança. Seu enfoque na educação do usuário busca garantir que as informações sejam tratadas com responsabilidade, promovendo assim um ambiente digital mais seguro.

Nesse mesmo sentido, o CERT.br (Centro de Estudos, Resposta e Tratamento de Incidentes de Segurança no Brasil), por meio de sua cartilha educativa, oferece orientações práticas sobre os principais riscos enfrentados pelos usuários da internet. A cartilha descreve golpes, ataques e vulnerabilidades



recorrentes, ao mesmo tempo em que apresenta ferramentas e boas práticas para utilizar a internet de forma segura.

Laudon e Laudon (2014), por sua vez, destacam que compreender os sistemas de informação é vital para o fortalecimento de empresas competitivas, a gestão de corporações globais e o fornecimento de serviços e produtos úteis. Em sua obra, os autores abordam os sistemas de informação de forma prática e didática, com exemplos reais e abordagem ética, enfatizando a importância da privacidade e da segurança digital no contexto empresarial.

Spyman (2000) trata de um tema polêmico, mas necessário: o surgimento de hackers e a vulnerabilidade de empresas e usuários conectados à internet. Em *Manual Completo Hacker Millennium*, o autor apresenta os principais nomes e terminologias do universo hacker, explicando suas motivações, métodos e como evitá-los. A obra também oferece uma introdução aos programas e scripts disponíveis na internet, revelando como eles podem ser utilizados de maneira ofensiva ou defensiva.

No campo jurídico, Clough (2010) analisa os princípios do cibercrime sob a perspectiva de diferentes jurisdições — Austrália, Canadá, Reino Unido e Estados Unidos. Sua obra é um marco para aqueles que buscam compreender os desafios legais e investigativos relacionados ao crime cibernético, trazendo exemplos práticos e análises comparativas entre os sistemas jurídicos.

Nesse sentido, Gragido et al. (2013) oferecem uma abordagem especializada sobre segurança cibernética, investigando as ações de organizações criminosas virtuais, a espionagem industrial e os impactos econômicos e geopolíticos dos crimes cibernéticos. Os autores reúnem suas expertises para construir uma verdadeira enciclopédia sobre ameaças digitais, abordando desde ataques coordenados por Estados até as chamadas guerras cibernéticas.

Ao se discutir crimes cibernéticos, é importante diferenciar os cibercrimes dos chamados crimes de informática. Os crimes de informática englobam qualquer conduta ilegal relacionada ao processamento de dados, seja na forma de armazenamento, compilação ou transmissão. Já o cibercrime, de modo mais específico, diz respeito a delitos cometidos por meio da tecnologia da informação com o objetivo de causar dano a terceiros. Tais condutas ilícitas podem ser enquadradas legalmente como crimes virtuais, já tipificados pelo Código Penal Brasileiro.

Schmidt (2014) classifica os crimes cibernéticos em três categorias principais: crimes puros, mistos e comuns. Os crimes puros afetam diretamente a estrutura física (hardware) ou lógica (software) de sistemas computacionais, como no caso do vírus Melissa, que em 1999 gerou prejuízos superiores a 80 milhões de dólares ao comprometer usuários do Microsoft Word. Os crimes mistos utilizam a tecnologia como meio para a execução da ação criminosa, como nas fraudes por meio de Internet Banking. Já os crimes comuns se valem da internet apenas como canal para a disseminação do conteúdo ilícito, como ocorre nos casos de pornografia infantil.



Ainda segundo Schmidt (2014), os crimes cibernéticos podem ser classificados em próprios, quando o alvo e a ferramenta do crime são ambos sistemas computacionais — como em invasões de rede realizadas por hackers —, e impróprios, quando o computador é apenas um meio para atingir vítimas humanas ou instituições, a exemplo de casos de estelionato, calúnia ou pedofilia digital.

A crescente sofisticação desses crimes reforça a importância da cibersegurança como um dos principais temas da agenda internacional contemporânea. Até o final do século XX, as principais preocupações de segurança estavam voltadas a conflitos armados, à segurança humana e ao meio ambiente. No entanto, com a virada do milênio, a cibersegurança emerge como novo eixo estratégico, impulsionada pela revolução informacional e pela aceleração da transformação digital.

O relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2012) evidenciou a centralidade da internet para o desenvolvimento econômico e social, bem como o aumento das ameaças digitais. Essa preocupação foi reiterada por líderes como Jean-Yves Le Drian e Jean-Claude Juncker, que alertaram para os riscos à liberdade, à democracia e à estabilidade institucional decorrentes de ataques cibernéticos. Nye (2018) destaca que, desde 2013, os riscos digitais passaram a ser considerados a maior ameaça à segurança nacional dos Estados Unidos, visão corroborada pelo *Strategic Survey* do International Institute for Strategic Studies (IISS, 2018), que reconhece o impacto da revolução digital sobre todas as formas de governança global.

No campo econômico, os prejuízos são alarmantes. Boer e Vazquez (2017) apontam que um ataque cibernético em larga escala pode gerar perdas superiores a 121 bilhões de dólares. O *Global Risks Report* do Fórum Econômico Mundial (2018) estima que, entre 2017 e 2022, o custo global do cibercrime para as empresas pode atingir 8 trilhões de dólares.

Diante desse panorama, torna-se evidente que compreender o funcionamento do ciberespaço e enfrentar os desafios da cibersegurança é essencial para a formulação de políticas eficazes e para a proteção de indivíduos, empresas e governos frente aos riscos da era digital.

2.2 DESAFIOS E SOLUÇÕES NO SÉCULO XXI

A segurança cibernética tornou-se um dos maiores desafios do século XXI, impulsionada pela crescente digitalização de dados, serviços e relações sociais, bem como pela rápida transformação tecnológica que caracteriza a chamada Quarta Revolução Industrial. À medida que governos, empresas e indivíduos migram suas atividades para o ambiente digital, aumentam também as ameaças cibernéticas, que se tornam cada vez mais complexas, organizadas e difíceis de combater. Como destacam Castells (2003) e Bauman (2017), vivemos em uma era marcada pela fluidez das redes, pela interconectividade global e pela fragilidade das fronteiras digitais, o que amplia significativamente os riscos para a integridade, confidencialidade e disponibilidade das informações.



Um dos principais desafios da segurança cibernética contemporânea reside na sofisticação dos ataques. Grupos criminosos e ciberatacantes utilizam técnicas avançadas, como phishing com engenharia social refinada, ataques de ransomware, exploração de vulnerabilidades em sistemas legados, e a utilização de inteligência artificial para automatizar ataques em larga escala. Segundo relatório da IBM Security (2024), o tempo médio de detecção de uma violação de dados ainda ultrapassa 200 dias, o que demonstra a vulnerabilidade estrutural das organizações diante de ameaças persistentes e ocultas.

Além disso, o crescimento da Internet das Coisas (IoT) e da computação em nuvem introduziu novas superfícies de ataque. Cada dispositivo conectado representa uma possível brecha na rede, especialmente em contextos nos quais a segurança embarcada é negligenciada por questões de custo ou agilidade de mercado. Conforme observa Zúquete (2022), a fragmentação e heterogeneidade dos dispositivos conectados dificultam a implementação de políticas unificadas de proteção e monitoramento.

Outro desafio emergente é o da cibersegurança em ambientes de trabalho remoto, intensificado pela pandemia da COVID-19. Com a descentralização dos espaços corporativos, os perímetros tradicionais de segurança foram diluídos, exigindo novas abordagens, como o modelo "Zero Trust", que parte do princípio de que nenhuma entidade — interna ou externa — deve ser automaticamente confiável. Conforme ressaltam Ferreira e Almeida (2021), essa mudança de paradigma exige uma reestruturação profunda das práticas de autenticação, autorização e monitoramento.

No campo jurídico e regulatório, o desafio é igualmente significativo. A lentidão da legislação em acompanhar as rápidas mudanças tecnológicas gera lacunas legais, dificultando a responsabilização de cibercriminosos e a definição de limites claros sobre o uso ético dos dados. A promulgação da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), no Brasil, e do Regulamento Geral de Proteção de Dados (GDPR), na União Europeia, representa avanços importantes, mas ainda insuficientes diante da globalização das ameaças. Como observa Doneda (2019), a proteção de dados exige não apenas normas, mas uma cultura de responsabilidade digital e transparência.

Em resposta a esses desafios, diversas soluções têm sido propostas e implementadas em múltiplos níveis. No plano técnico, destacam-se o uso crescente de criptografia de ponta a ponta, o desenvolvimento de algoritmos de detecção de anomalias com base em machine learning e a adoção de firewalls inteligentes que se atualizam em tempo real. As estratégias de defesa cibernética também passam a incorporar práticas proativas, como pentests, simulações de ataques e auditorias contínuas. Segundo Anderson e Moore (2020), a cibersegurança não deve ser pensada como um estado, mas como um processo contínuo de adaptação e resposta.

Do ponto de vista organizacional, o investimento em educação e cultura de segurança é fundamental. Funcionários despreparados representam uma das maiores vulnerabilidades, sendo responsáveis por uma parte considerável das brechas exploradas por atacantes. A capacitação contínua, associada a políticas claras



de uso dos sistemas e à conscientização sobre boas práticas digitais, torna-se uma estratégia essencial. Nesse sentido, Rezende (2020) aponta que a cibersegurança deve ser integrada ao planejamento estratégico das instituições, e não tratada apenas como uma função técnica do setor de TI.

No nível governamental e internacional, a cooperação entre países, agências reguladoras e empresas privadas é cada vez mais necessária para enfrentar ataques transnacionais. Iniciativas como a criação de centros de resposta a incidentes (CERTs), a assinatura de acordos multilaterais e a atuação conjunta de forças policiais especializadas têm mostrado resultados promissores. Contudo, ainda existem barreiras geopolíticas e interesses econômicos que dificultam ações coordenadas em larga escala. Como lembra Nye (2011), o ciberespaço é um território novo onde o poder é difuso, e a soberania nacional se vê constantemente desafiada por atores não estatais e transnacionais.

Dessa forma, a segurança cibernética no século XXI é um campo em constante transformação, que exige um olhar multidisciplinar, reunindo conhecimentos de tecnologia, direito, administração, ética e educação. O enfrentamento dos desafios cibernéticos passa, inevitavelmente, por soluções integradas e colaborativas, capazes de proteger não apenas sistemas e dados, mas os próprios valores democráticos e a confiança social na era digital.

3 CONCLUSÃO

Diante da complexidade e da abrangência do tema estudado, conclui-se que a segurança cibernética constitui hoje uma das mais urgentes e estratégicas preocupações da sociedade contemporânea, impactando diretamente os setores público, privado e civil em escala global. A pesquisa demonstrou que, à medida que as tecnologias digitais se tornaram onipresentes na vida social, econômica e institucional, os riscos associados ao ciberespaço evoluíram em sofisticação, frequência e impacto. Essa nova realidade exige não apenas a adoção de ferramentas técnicas de proteção, mas uma abordagem sistêmica, multidisciplinar e preventiva, capaz de articular soluções jurídicas, organizacionais, educacionais e políticas. A elemento estruturante para a soberania digital, a proteção dos direitos fundamentais, a estabilidade econômica e a confiança social. Ela está diretamente relacionada à proteção da privacidade, à liberdade de expressão, à integridade das instituições democráticas e ao bem-estar dos cidadãos em um mundo cada vez mais digitalizado. A evolução da cibersegurança deve, portanto, acompanhar o ritmo da inovação tecnológica, mas também das transformações sociais, culturais e normativas que permeiam o uso da informação.

Sendo assim, o presente trabalho contribui para o debate acadêmico e institucional ao reafirmar a necessidade de políticas públicas robustas, marcos regulatórios eficazes e práticas de gestão inovadoras voltadas à construção de um ambiente digital mais seguro, ético e resiliente. Conclui-se, portanto, que o fortalecimento da cibersegurança é um imperativo coletivo, contínuo e interdisciplinar, essencial para enfrentar os desafios do século XXI e garantir a integridade da sociedade da informação. Somente com



articulação entre conhecimento técnico, sensibilidade ética, visão estratégica e vontade política será possível proteger os sistemas, os dados e, sobretudo, as pessoas que habitam e dependem do universo digital em constante transformação.



REFERÊNCIAS

ANDERSON, Ross; MOORE, Tyler. *Security Economics and the Internal Market*. European Network and Information Security Agency – ENISA, 2020. Disponível em: https://www.enisa.europa.eu. Acesso em: 10 jul. 2025.

ARAUJO, Márcio T.; FERREIRA, Fernando Nicolau Freitas. *Política de Segurança da Informação*. 2. ed. -: Ciência Moderna, 2009.

BAUMAN, Zygmunt. Vigilância líquida. Rio de Janeiro: Zahar, 2017.

BOER, M.; VAZQUEZ, J. *Cyber Security & Financial Stability: how cyber-attacks could materially impact the global financial system*. Institute of International Finance, set. 2017. Disponível em:

https://www.iif.com/Publications/ID/228/Cyber-Security- Financial-Stability-How-Cyber-attacks-Could-Materially-Impact-the-Global-Financial-System. Acesso em: 14 jul. 2025.

CASTELLS, Manuel. *A galáxia da internet: reflexões sobre a internet, os negócios e a sociedade*. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.

CLARKE, R.; KNAKE, R. Cyber War: The Next Threat to National Security and What to Do About It. Rio de Janeiro: Brasport, 2015.

CLOUGH, Jonathan. Principles of Cybercrime. New York: Cambridge University Press, 2010.

DONEDA, Danilo. Da privacidade à proteção de dados pessoais. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2019.

FERREIRA, Ana Paula; ALMEIDA, Lucas Henrique. Cibersegurança e o modelo Zero Trust: uma abordagem emergente frente ao trabalho remoto. *Revista Gestão e Tecnologia*, v. 21, n. 2, p. 132–148, 2021.

FONTES, Edison Luiz Gonçalves. Segurança da Informação: o usuário faz a diferença. Rio de Janeiro: Saraiva, 2007.

GARTZKE, E. The Myth of Cyberwar: bringing war in cyberspace back down to Earth. *International Security*, Cambridge, v. 38, n. 2, p. 41-73, out. 2013. Disponível em: https://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/ISEC_a_00136. Acesso em: 14 jul. 2025.

GRAGIDO, Will; MOLINA, Daniel; PIRC, John; SELBY, Nick; HAY, Andrew. *Blackhatonomics: an inside look at the economics of cybercrime*. Waltham: Elsevier, 2013.

IBM SECURITY. Cost of a Data Breach Report 2024. Armonk, NY: IBM Corporation, 2024. Disponível em: https://www.ibm.com/security/data-breach. Acesso em: 10 jul. 2025.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR STRATEGIC STUDIES (IISS). *Strategic Survey* 2018: The Annual Assessment of Geopolitics. Londres: IISS, 2018. JUNCKER, Jean-Claude. *Discurso sobre o estado da União*. 2017.

LAUDON, Kenneth; LAUDON, Jane. Sistemas de Informações Gerenciais. -: Pearson Universidades, 2014.

LE DRIAN, Jean-Yves. Discurso na 72^a Assembleia Geral da ONU, setembro de 2017.



LLOYD'S OF LONDON. Estimativas de perdas financeiras devido a ciberataques. Julho de 2017.

NYE, Joseph S. The Future of Power. New York: PublicAffairs, 2011.

OCDE. *Cybersecurity Policy Making at a Turning Point*. 2012. Disponível em: http://www.oecd.org/sti/ieconomy/cybersecurity%20policy%20making.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

REZENDE, Denis Alcides. Governança de Tecnologia da Informação e Comunicação: fundamentos, modelos e aplicação nas organizações. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

SCHMIDT, Guilherme. Crimes Cibernéticos. 2014. Disponível em: https://gschmidtadv.jusbrasil.com.br/artigos/149726370/crimes-ciberneticos. Acesso em: 14 jul. 2025.

SPYMAN, Hacking. Manual Completo do Hacker. 3. ed. -: Book Express, 2000.

WORLD ECONOMIC FORUM. *Global Risks Report 2018*. Genebra: WEF, 2018. Disponível em: https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2018. Acesso em: 14 jul. 2025.

ZÚQUETE, André. Segurança em Redes e Sistemas Computacionais. Lisboa: FCA, 2022.

REALIZAÇÃO:



CNPJ: 589029480001-12 contato@aurumeditora.com (41) 98792-9544 Curitiba - Paraná www.aurumeditora.com