



Tópicos Especiais em ENGENHARIA:

inovações e avanços tecnológicos

Vol. 14

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos
(Organizador)



AYA EDITORA

2024

Tópicos Especiais em ENGENHARIA:

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 14

Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 14

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos
(Organizador)



AYA EDITORA
2024

Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

Organizador

Prof.º Dr. Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

Capa

AYA Editora©

Revisão

Os Autores

Executiva de Negócios

Ana Lucia Ribeiro Soares

Produção Editorial

AYA Editora©

Imagens de Capa

br.freepik.com

Área do Conhecimento

Engenharias

Conselho Editorial

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva

Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Prof.º Dr. Aknaton Toczek Souza

Centro Universitário Santa Amélia

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos

Instituto Federal do Amapá

Prof.º Dr. Carlos López Noriega

Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP

Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva

Centro Universitário FACEX

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chirolí

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis

Universidade do Estado de Minas Gerais

Prof.ª Ma. Denise Pereira

Faculdade Sudoeste – FASU

Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig

Universidade Federal do Paraná

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos

Universidade Federal do Amapá

Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva

Universidade Estadual de Londrina

Prof.º Dr. Gilberto Zammar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza

Universidade Federal de Sergipe

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso

Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão

Faculdade Santa Helena

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior

Universidade Federal de Roraima

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara

Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti

Universidade Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim

Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.ª Dr.ª Lucimara Glap

Faculdade Santana

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa

Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes

Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira

Instituto Federal do Acre

Prof.º Dr. Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail

Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens

Faculdade Sagrada Família

Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

Universidade Federal do Piauí

Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros Rodrigues

Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues

Instituto Federal de Santa Catarina

O conteúdo deste livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores, que detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou as opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

T757 Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Rômulo Damasclín Chaves dos Santos (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2024. 180 p.

v.14

Inclui biografia
Inclui índice
Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
ISBN: 978-65-5379-659-1
DOI: 10.47573/aya.5379.2.400

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Energia - Fontes alternativas – Brasil. 3. Nanotecnologia. 4. Engenharia mecânica. 5. Engenharia elétrica. Santos, Rômulo Damasclín Chaves dos. II. Título

CDD: 620.007

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA

AYA Editora©

CNPJ: 36.140.631/0001-53
Fone: +55 42 3086-3131
WhatsApp: +55 42 99906-0630
E-mail: contato@ayaeditora.com.br
Site: <https://ayaeditora.com.br>
Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 11

01

Argamassas com Adição de Nanomateriais 12

Kézia Brasilino de Souza

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.1

02

Desenvolvimento de um Método de Cálculo do Momento Resistente Último de Vigas Protendidas 21

Lucas Manenti Serafim

Márcio Vito

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.2

03

Acréscimo na Força de Protensão por Alongamento Elástico em Verificações de Serviço de Vigas Protendidas 30

Lucas Manenti Serafim

Márcio Vito

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.3

04

Bloco de Solo-cimento de Vedação com Reforço de Fibra de Coco..... 39

Luciane Marques Daronch

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.4

05

Análise da Performance Mecânica do Concreto Convencional e com Adições de Fibra de Pet sob a Influência de Variações Térmicas: Estudo sobre Condições Extremas de Temperatura 64

Jean Emerson Thoele Schuster
Eduardo Damin

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.5

06

Processamento de Material Cerâmico Extraído do Interior de Pernambuco 72

Lucas Tomaz Vila Nova
Luan Vinícius Neves de Souza
Niraldo Mateus Medeiros Melo
Adilson José Felipe Neres Filho
Ricardo Barbosa de Lucena Junior
Arthur Nascimento de Melo
Maria Clara Carvalho Gusmão
Ana Beatriz da Silva Santos
Joyce Maria Batista Barbosa de Arruda
Brenda Natália Vieira Marcolino

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.6

07

O Potencial das Energias Renováveis para a Sustentabilidade no Setor Elétrico 79

Rafael Aparecido da Silva Campos
João Vitor de Lima
Junior Bispo do Nascimento

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.7

08

Novas Tecnologias em Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica..... 88

Lucas Ramos da Silva
Ronaldo Gomes Figueira
Fabiana Florian

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.8

09

Transformando Dados em Visualizações Dinâmicas: Explorando os Conceitos de Geovisualização na Elaboração de Mapas Web com Dados do *OpenStreetMap* 103

Jose Antonio Dias Cacciatore

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.9

10

Aplicação da Tecnologia da Informação em uma Transportadora de Cargas 121

Lucas Rodrigues
Gilmerson Inacio Gonçalves

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.10

11

Qualidade e Inovação na Avicultura: Ferramentas e Estratégias de Gestão..... 135

Michael Douglas Mello de Castro
Bruna Pasqualotto

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.11

12

Software Ftool para Validação dos Esforços Internos de Treliças Planas Hiperestáticas..... 150

Kézia Brasilino de Souza

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.12

13

Aplicação do Ciclo SDCA na Indústria Alimentícia: Melhoria Contínua no Setor de Manutenção 158

Emerson Rodrigues Prazeres

Adriano Gabriel Souza Santos

Amanda Lucena de Medeiros

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.13

Organizador..... 173

Índice Remissivo..... 175

Apresentação

O volume 14 da série ***Tópicos Especiais em Engenharia: Inovações e Avanços Tecnológicos*** reúne uma seleção abrangente de estudos que abordam desafios e soluções contemporâneas no campo da engenharia, refletindo o constante avanço tecnológico em áreas estratégicas. Os capítulos contemplam desde materiais inovadores e métodos de construção até o uso de tecnologias da informação e estratégias de gestão, criando um panorama interdisciplinar que destaca a importância da pesquisa aplicada na evolução do setor.

A exploração de materiais compósitos e reforçados ganha destaque em diversos estudos apresentados. A análise do desempenho mecânico do concreto convencional e adicionado de fibras de PET, por exemplo, demonstra a relevância das variações térmicas em condições extremas, enquanto o desenvolvimento de argamassas com nanomateriais revela o potencial de aprimoramento das propriedades estruturais. Complementando esta abordagem, o uso de blocos de solo-cimento reforçados com fibras vegetais apresenta soluções alinhadas à sustentabilidade e à eficiência econômica.

No campo das estruturas, os métodos de cálculo para vigas protendidas e a análise de acréscimos na força de protensão oferecem contribuições valiosas para o avanço das técnicas construtivas. Estes estudos propõem abordagens que otimizam a segurança e a durabilidade das estruturas, evidenciando a sinergia entre teoria e prática na engenharia estrutural.

As inovações no setor energético também ocupam uma posição de destaque. A investigação sobre fontes renováveis e tecnologias de transmissão e distribuição de energia elétrica ressalta as possibilidades de avanço rumo à sustentabilidade no setor elétrico. Este tema é complementado por estudos que integram conceitos de geovisualização, utilizando dados abertos para o desenvolvimento de soluções práticas, como a criação de mapas dinâmicos.

O papel da tecnologia da informação e da gestão eficiente é explorado em setores distintos, incluindo a logística de transportadoras de carga e a avicultura, demonstrando como ferramentas digitais e metodologias de melhoria contínua, como o ciclo SDCA, podem ser aplicadas para otimizar processos e garantir maior competitividade. A aplicação de softwares como o Ftool para validação de esforços internos em estruturas hiperestáticas também reflete a crescente digitalização dos processos de análise e validação.

Este conjunto de capítulos oferece um panorama abrangente das inovações recentes na engenharia, evidenciando a importância da integração entre pesquisa, desenvolvimento e aplicação prática. O volume 14 é, assim, uma contribuição significativa para o diálogo sobre os avanços tecnológicos que moldam as práticas de engenharia e impactam diretamente a sociedade.

Boa leitura!

Argamassas com Adição de Nanomateriais

Mortars with the Addition of Nanomaterials

Kézia Brasilino de Souza

RESUMO

Atualmente na construção civil o uso de argamassas está se destacando, pois, além do uso em revestimentos, ela vem mostrando ganhos na reparação e reabilitação de estruturas. Devido as argamassas seria um material que vem trazendo diversos benefícios a construção civil, as novas tecnologias, em especial, nanotecnologias, estão sendo adicionadas as argamassas, com intuito de gerar novas oportunidades. Sendo assim, faz-se necessário estudos que avaliem o impacto desses novos componentes na trabalhabilidade das argamassas, ademais o comportamento em suas propriedades mecânicas. Desse modo, este estudo tem como finalidade analisar trabalhos que analisem a adição nanomateriais incorporado a argamassa, a fim de investigar seu comportamento quanto às propriedades do estado fresco e estado endurecido. Portanto, por meio desse estudo, é possível concluir que a depender do tipo de nano material, este pode gerar ganhos significativos para a resistência de argamassas. Os resultados apontam que as adições de nanotubos de carbonos elevam a resistência à tração de forma significativa.

Palavras-chave: argamassas; nanomaterial; influência.

ABSTRACT

Currently, the use of mortars in the construction industry is gaining prominence because, in addition to their use in coatings, they have also shown gains in the repair and rehabilitation of structures. Because mortars are a material that has brought many benefits to civil construction, new technologies, especially nanotechnologies, are being added to mortars in order to generate new opportunities. Therefore, studies are needed to assess the impact of these new components on the workability of mortars, as well as their mechanical properties. The aim of this study is to analyse work on the addition of nano-materials incorporated into mortar, in order to investigate their behaviour in terms of fresh and hardened state properties. Therefore, through this study, it is possible to conclude that depending on the type of nano material, it can generate significant gains in mortar strength. The results show that the addition of carbon nanotubes significantly increases tensile strength.

Keywords: mortars; nanomaterial; influence.



INTRODUÇÃO

É entendido que a nanotecnologia é considerada uma inovação, no entanto ainda pouco trabalhada no Brasil. Essa nova ciência torna possível a revolução científica, pois proporciona o desenvolvimento de produtos (Lamb *et al.*, 2012). Dessa forma, na construção civil não é diferente, o nano material vem ganhando espaço e gerando oportunidades de ganhos nas edificações.

O prefixo nano é usado na ciência significa um bilionésimo. Sendo assim, tem-se que um nanômetro (símbolo nm) é um bilionésimo de metro. Por exemplo, um átomo tem dimensão de aproximadamente dois décimos de um nanômetro e o diâmetro de um fio de cabelo humano cerca de 30.000 nanômetros. Dessa maneira, atualmente a ciência já torna possível analisar fenômenos na escala de um bilionésimo do tamanho do átomo. A aplicação do nanociência à tecnologia é chamada de nanotecnologia (Boletim da UFMG, 2005).

Desde que essa nanotecnologia foi difundida, muitos projetos de engenharia tem utilizado o nano material a fim de melhorar a qualidade de materiais. Com isso, a necessidade de estudos experimentais para validar a influência dos novos materiais, como nanotubos de carbono, nano sílica e nano titânio, incorporados a argamassas se torna necessário.

Portanto, o estudo de argamassas com adição de nanomateriais, ainda é pouco explorado. Diante disso, o objetivo deste trabalho é apresentar um estado da arte da análise do comportamento das argamassas no estado fresco e no estado endurecido, após a adição de diferentes tipos de nanomateriais (nanotubos de carbono, nano sílica e nano titânio), através da abordagem da pesquisa qualitativa, por meio de dissertações e artigos, a fim de realizar um estudo teórico bibliográfico.

ESTADO DA ARTE

Consta-se a apresentação de trabalhos desenvolvidos, com a finalidade de compreender a influência de nanotecnologia associadas a argamassas. Diante disso, o trabalho experimental de Melo *et al.* (2011) analisou o comportamento das argamassas com a adição com adição de nanotubos de Carbono (NTC), a pesquisa de Rao *et al.* (2015) estudou argamassas com adição de nano sílica em estado coloidal e nano titânio em estado amorfo, e o por fim, o trabalho de Folster *et al.* (2015) visou compreender os efeitos da adição de nanotitânia à argamassa.

Melo *et al.* (2011)

Apresentaram o comportamento do cimento Portland CP V-ARI com adição de nanotubos de Carbono (NTC) e aditivo à base de melamina-formaldeído. Os nanotubos de carbono continham teores de 0,30% e 0,50% em relação ao peso do cimento. Foram fabricados 27 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5 x 10 cm, com três misturas sendo uma argamassa de referência, sem incorporação de NTC, e as outras duas com a presença de NTC. Nomenclatura das amostras: CRM: cimento + areias + água + aditivo; CN30M: cimento + areias + água + aditivo + 0,30% NTC e CN50M: cimento + areias + água + aditivo + 0,50% NTC (quadro 1).

Quadro 1 - Quantidade de materiais usados por mistura.

Material cimento	Quantidade (g)		
	CRM	CN30M	CN50M
cimento	2808	2808	2808
areia grossa	2106	2106	2106
areia média grossa 2	2106	2106	2106
areia média fina	2106	2106	2106
areia fina	2106	2106	2106
Água	1350	1350	1350
aditivo ADIMENT MC	42,12	42,12	42,12 4
nanotubo	-	8,42	14,04

Fonte: Melo et al. 2011.

Após a moldagem e o tempo de cura para idade de 3, 7 e 28 dias, foram realizados os ensaios da resistência à compressão e da resistência à tração por meio da compressão diametral.

Os resultados do ensaio a resistência a compressão não proporcionaram aumento significativo na resistência à compressão. O melhor resultado foi para a amostra CN30M, aos 7 dias com ganho menor que 5% (quadro 2). No entanto, os resultados para o ensaio de tração (quadro 3) apontam que os espécimes com 0,30% de nanotubos apresentaram ganhos superiores e significativos em relação às amostras com 0,50% de NTC. O maior ganho foi na idade de 3 dias com ganho de 35%. Aos 28 dias o ganho foi de 21%. Nota-se que em ambas o ensaio a resistência obteve melhor desempenho para amostras com teor de 0,30% de nanotubos.

Quadro 2 - Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Compressão Idade	Parâmetros	CRM	CN30M	CN50M
3 dias	Resistência média (MPa)	38,34	33,70	37,58
	Desvio padrão	3,31	2,85	2,09
	Coefic. de variação (%)	8,62	8,46	5,56
	% ganho/redução	-	-12,11	-2,00
7 dias	Resistência média (MPa)	38,81	40,69	37,79
	Desvio padrão	2,88	2,17	0,84
	Coefic. de variação (%)	7,41	5,33	2,23
	% ganho/redução	-	4,85	-2,62
28 dias	Resistência média (MPa)	43,31	44,60	44,32
	Desvio padrão	4,28	3,53	3,23
	Coefic. de variação (%)	9,88	7,92	7,29
	% ganho/redução	-	2,97	2,31

Fonte: Melo et al. 2011.

Quadro 3 - Resultados do ensaio de resistência à tração.

Idade	Parâmetros	CRM	CN30M	CN50M
3 dias	Resistência média (MPa)	2,42	3,26	2,51
	% ganho/redução	-	34,91	4,03
7 dias	Resistência média (MPa)	2,77	3,36	2,66
	% ganho/redução	-	21,16	-4,08
28 dias	Resistência média (MPa)	3,00	3,62	3,00
	% ganho/redução	-	20,78	0,00

Fonte: Melo *et al.* 2011.

Rao *et al.* (2015)

Apresenta o trabalho utilizando nano sílica em estado coloidal e nano titânio em estado amorfo em dois tipos de argamassas compactáveis (mistura ligante: areia de 1:1 e 1:2). As argamassas obtêm igual razão de W/C e 30% de substituição de cimento por cinzas volantes (CV) em percentagem de cimento de 0,75, 1,50 e 3,00 %, com objetivo de analisar o comportamento das misturas no estado fresco e no estado endurecido. As quantidades de amassadura podem ser visualizadas na quadro 4. Desse modo, realizados ensaios de compressão e de flexão de acordo com os procedimentos descritos na NP EN 1015-11: 1999, aos 7, 28 e 91 dias de idade, em provetes três prismáticos de 160 x 40 x40 mm.

Quadro 4 - Quantidades de amassadura.

Mistura	Cimento (kg/m ³)	CV (kg/m ³)	Areia 0/1 (kg/m ³)	Areia 0/4 (kg/m ³)	Água (l/m ³)	W/C	SP (% massa de cimento)
1:1	665	286	485	485	286	0,43	0,75
1:2	490	210	695	695	211	0,43	1,50

Fonte: Rao *et al.* 2015.

Diante desse contexto, foi realizado o ensaio de espalhamento no mini-cone a fim de obter a área de espalhamento relativa (G_m) das argamassas e através do método proposto por Okamura *et al.* (2000) foi calculado o seu diâmetro médio de espalhamento (D_m). Ademais, foi realizado o ensaio de escoamento no mini-funil-V e por meio dele constatou-se o tempo (t) em segundos do escoamento da argamassa, e utilizado o método realizado por Okamura *et al.* (2000) foi calculado a velocidade relativa de escoamento (R_m). Além disso foram realizados os ensaios de compressão e de flexão e absorção de água por imersão.

Os resultados acerca da argamassa no estado fresco, o espalhamento e o escoamento apontam que as misturas 1:1 com o aumento tanto da nano-sílica como do nano-titânio há uma diminuição do espalhamento, mas para as misturas 1:2 a diminuição é insignificante (quadro 5).

Quadro 5 - Resultados no estado fresco.

Mistura	Espalhamento		Escoamento		
	D _m (mm)	G _m	t (s)	R _m (s ⁻¹)	
1:1	310	8,6	7,8	1,3	
NT1A (0,05%NT)	330	9,9	7,4	1,4	
NT1B (0,75%NT)	275	6,6	7,9	1,3	
NT1C (1,00%NT)	260	5,8	9,9	1	
NS1P (0,75%NS)	284	7,1	7,6	1,3	
NS1Q (1,50%NS)	282,5	7	9	1,1	
NS1R (3,00%NS)	265	6	9,7	1	
1:2	280	6,8	12,5	0,8	
NT2A (0,05%NT)	290	7,4	12	0,8	
NT2B (0,75%NT)	297,5	7,9	11,2	0,9	
NT2C (1,00%NT)	292,5	7,6	12,7	0,8	
NS2P (0,75%NS)	297,5	7,9	12,6	0,8	
NS2Q (1,50%NS)	292,5	7,6	12,8	0,8	
NS2R (3,00%NS)	285	7,1	13	0,8	

Fonte: Rao et al. 2015.

Em relação aos resultados dos ensaios de compressão uniaxial, flexão e porosidade, ou seja, resultados da argamassa no estado endurecido, podem ser observados na quadro 6. Percebe-se que para as misturas 1:1 e 1:2, os valores encontrados da resistência a compressão diminui com o aumento da adição nano material utilizado na mistura, no entanto os valores encontrados comparando com o tipo de adição de nano material é praticamente insignificante. Para a resistência à flexão, nota-se que ela se eleva com a adição do nano partículas principalmente nas de 0,75% de titânio e 1% de Sílica. Com relação à porosidade os valores evidenciam que com a adição de 1% de nano titânio e 0,75% de nano sílica ocorre uma diminuição da absorção de água quando comparado com a mistura 1:1 e quando comparado com a mistura 1:2 ocorre aumento.

Quadro 6 - Resultados no estado endurecido.

Mistura	Resistência à compressão (Mpa)			Resistência à flexão (MPa)			Porosidade (%)
	7 dias	28 dias	91 dias	7 dias	28 dias	91 dias	28 dias
1:1	75,5	91,4	106,3	11,1	11,8	13,7	6,2
NT1A (0,05%NT)	54,5	83,1	108,1	8,2	13,1	14,9	6,4
NT1B (0,75%NT)	75,3	79,1	93	13	14	13,1	6,4
NT1C (1,00%NT)	66,9	84,2	88,1	6,9	12,9	13,4	5,8
NS1P (0,75%NS)	77,2	88,4	96,7	13,8	13,4	14,8	5,8
NS1Q (1,50%NS)	70	84,2	94,2	12,8	12	8,4	7,6
NS1R (3,00%NS)	71,6	68,3	94,7	11,8	12,5	13,7	7,1
1:2	74,2	94,9	101,6	8,8	13,5	12,9	4,1
NT2A (0,05%NT)	73,4	88,6	104,1	12,4	13,6	11,8	5,9
NT2B (0,75%NT)	62,3	87,8	92,7	10,2	12,1	9,9	5,5
NT2C (1,00%NT)	62,2	76,6	98,8	10,7	14,2	10,5	6,5
NS2P (0,75%NS)	70,3	83,3	98,4	11	11,5	13,8	7
NS2Q (1,50%NS)	73,6	86,4	92	13,5	12	14,5	7,5
NS2R (3,00%NS)	71,9	86,3	98,9	13	12,2	14,2	6,1

Fonte: Rao et al. 2015.

Folster et al. (2015)

O presente trabalho observou o comportamento da adição de nano - dióxido de titânio (TiO₂) em uma argamassa comercial material, onde a proporção da mistura foi de 80 litros de cal hidratada por metro cúbico de areia fina, e o cimento utilizado para a moldagem dos corpos de prova foi o Portland Votorantim CP-II Z32 da Votorantim Cimentos. Foram adicionadas as misturas dosagens 0, 0,5, 1,0, 1,5 % (em massa). Foram realizados ensaios do estado endurecido até 28 dias de cura da argamassa e ensaio no estado fresco.

Em relação à trabalhabilidade da argamassa a formulação de referência seguiu-se baseada na formulação com traço de 1/5 de argamassa em relação ao cimento e as demais formulações foram definidas com base na trabalhabilidade da formulação de referência (quadro 7).

Os resultados apontam que com a inclusão de nano-TiO₂ ocorreu perda significativa da trabalhabilidade do material, mas recuperadas com adição de H₂O nas misturas foi adotado um valor de abertura de 250 ± 5 mm para todas as formulações. Os resultados da relação a/c da variação da quantidade de nanoTiO₂ nas formulações podem ser observados através da quadro 8.

Quadro 7 - Formulações das argamassas para uma mesma trabalhabilidade.

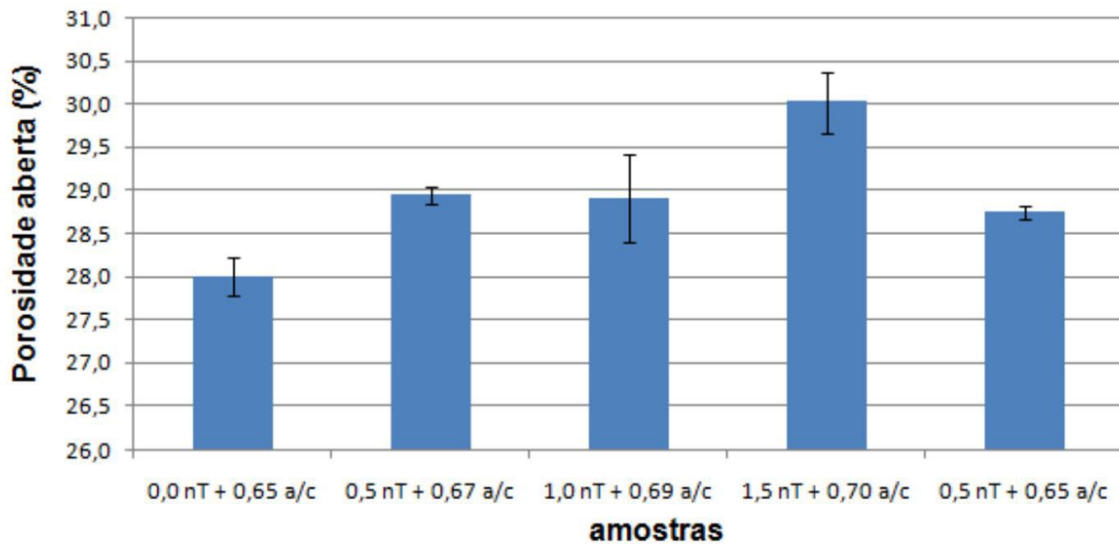
Amostras	% nT	% água	argamas-sa (g)	Cimen-to (g)	TiO ₂ (g)	H ₂ O (g)	total sólidos (g)	Espalhamento (mm)			
								medição 1	medição 2	medição 3	média
1	0	9,73	1400	280	0	181	1680	250	250	248	249,3
2	0,5	10,02	1400	280	8,4	187	1680	250	255	250	251,7
3	1	10,26	1400	280	16,8	192	1680	255	257	254	255,3
4	1,5	10,4	1400	280	25,2	195	1680	255	255	250	253,3
5	0,5	9,73	1400	280	8,4	181	1680	249	250	250	249,7

Fonte: Folster et al. 2015.

Quadro 8 - Relação a/c das formulações.

Amostras	CN30M	a/c
1	0	0,65
2	0,5	0,67
3	1	0,69
4	1,5	0,70
5	0,5	0,65

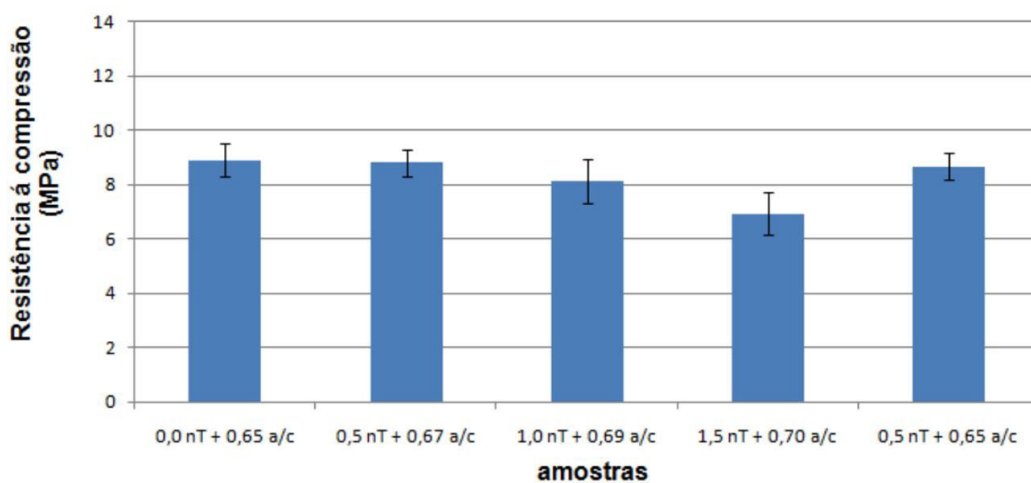
Fonte: Folster et al. 2015.

Gráfico 1 - Resultados da porosidade aberta das argamassas aos 28 dias.

Fonte: Folster *et al.* 2015.

Os resultados da porosidade aberta das argamassas com 28 dias de cura (gráfico 1) constam que a elevação da porção de nano-TiO₂ na amostra ocasiona o aumento da porosidade aberta. Isso se torna evidente, quando é comparado o a amostra 0,0nT + 0,65a/c com as amostras 0,5nT + 0,65a/c, pois observar-se que o responsável pela elevação da porosidade nas argamassas trata-se do nano-TiO₂, devido nas amostras 0,5nT + 0,65a/c e 0,5nT + 0,67a/c conservarem sem alterações, levando o desvio padrão em consideração.

As resistências à compressão das argamassas foram moldadas 3 espécimes para cada formulação com dimensões de 4 x 4 x 16 cm após 28 dias de cura. Foi constatado que o aumento de nano-TiO₂ e H₂O nas amostras e implica na redução da resistência à compressão, visualizado quando se compara com a amostra 1,5nT + 0,70a/c e justificado pelo aumento da porosidade nas amostras (gráfico 2).

Gráfico 2 - Resultados da resistência à compressão das argamassas com 28 dias de cura.

Fonte: Folster *et al.* 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das pesquisas analisadas no presente estudo, foi possível observar a influência das nanotecnologias aplicadas em argamassas. Em resumo, as seguintes conclusões podem ser pontuadas:

- Argamassas contendo nanotubos de carbono não proporcionaram aumento significativo à resistência de compressão, no entanto com 0,30% de nanotubos de carbonos resultaram melhores resultados à compressão do que amostras com adição de 0,50% nanotubos;
- Argamassas com 0,30% de nanotubos de carbono, ocasionou em ganho de até 21% na idade de 28 dias em relação à resistência à tração;
- Para argamassas com adição de nano sílica e nano titânio, observou-se que não houve alterações significativas às propriedades no estado fresco;
- No estado endurecido da argamassa, a resistência a compressão diminui com a adição de nano sílica e nano titânio;
- A resistência à flexão eleva-se com a adição de nano partículas de 0,75% de nano titânio e 1% de nano sílica;
- A porosidade aberta pode aumentar ou diminuir com a adição de 1% de nano titânio e 0,75% de nano sílica, a depender do traço da mistura da argamassa;
- A aplicação de nano titânio reduz a trabalhabilidade das misturas, mas esse impacto pode ser compensado com dosagens adicionais de água;
- Portanto, fica evidente que a adição de nanomateriais afetam o desempenho de argamassas, e a depender do tipo de nano material adicionado a argamassa pode acarretar em ganhos ou perdas do seu desempenho mecânico.

REFERÊNCIAS

BOLETIM DA UFMG. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/boletim/bol1490/segunda.shtml>>.

DAI, Liming; MAU, Albert WH. **Controlled synthesis and modification of carbon nanotubes and C60: carbon nanostructures for advanced polymeric composite materials**. *Advanced Materials*, v. 13, n. 12-13, p. 899-913, 2001.

FOLSTER, Alex Francisco *et al.* **Efeitos da Adição de Nanotitânia em uma Argamassa de Revestimento**. 2015.

LAMB, R. G. *et al.* **Nanotecnologia aplicada ao concreto**. *Revista de Ciências Exatas e da Terra UNIGRAN*, v1, n. 1, 2012.

MELO, Valquíria S. *et al.* **Desempenho de argamassas de cimento Portland contendo nanotubos de carbono e aditivo de melamina**. *Construindo*, 2011.

OKAMURA, Hajime; OZAWA, K.; OUCHI, Masahiro. **Self-compacting concrete**. *Structural concrete*, v. 1, n. 1, p. 3-17, 2000.

RAO, S. V.; BRITO, J.; SILVA, P. R. **Comportamento mecânico e durabilidade de argamassas auto-compactáveis produzidas em misturas ternárias de nano sílica (sio₂) e nano titânio (tio₂).** S.D.

Desenvolvimento de um Método de Cálculo do Momento Resistente Último de Vigas Protendidas

Development of a Calculation Method for the Ultimate Resistant Moment of Prestressed Beams

Lucas Manenti Serafim
Márcio Vito

RESUMO

É discorrido neste trabalho o desenvolvimento de uma metodologia de cálculo do momento resistente último de seções transversais de vigas de concreto protendido, em conformidade com as diretrizes apresentadas pela NBR 6118:2023. Com auxílio de planilha eletrônica, o procedimento foi validado mediante comparação dos resultados obtidos por meio deste com os encontrados via cálculo iterativo. As conclusões evidenciam o método citado como alternativa viável para determinar em uma única etapa a profundidade da linha neutra em seções de vigas de concreto protendido, podendo ser utilizado em cálculos manuais e automatizados.

Palavras-chave: concreto armado; concreto protendido; momento resistente último; vigas; flexão.

ABSTRACT

This paper discusses the development of a calculation methodology for the ultimate resisting moment of cross-sections of prestressed concrete beams, in accordance with the guidelines presented by NBR 6118:2023. With the aid of a spreadsheet, the procedure was validated by comparing the results obtained through this method with those found via iterative calculation. The conclusions highlight the cited method as a viable alternative for determining the depth of the neutral axis in prestressed concrete beam sections in a single step, which can be used in both manual and automated calculations.

Keywords: reinforced concrete; prestressed concrete; ultimate resisting moment; beams; bending.



INTRODUÇÃO

No âmbito da engenharia civil, o concreto protendido emerge como uma tecnologia de engenharia que revoluciona a concepção e execução de estruturas, apresentando um avanço significativo na capacidade de suporte e durabilidade. Tem encontrado aplicação em uma variedade de projetos, desde pontes e viadutos até edifícios de múltiplos pavimentos. Sua versatilidade e eficácia destacam-se como contribuições significativas para a sustentabilidade e economia de recursos, uma vez que possibilita a otimização de materiais, a redução do consumo de energia e a maximização da vida útil das estruturas.

Para o cálculo do momento resistente último de vigas protendidas com armadura passiva complementar, devem ser obedecidas as diretrizes de cálculo descritas na NBR 6118:2023:

A metodologia utilizada para verificação da capacidade resistente das vigas protendidas no estado limite último de flexão é o modelo tradicional que calcula o momento resistente último da seção baseado nas hipóteses das seções planas, aderência perfeita entre aço e concreto, domínios de deformação definidos pela norma NBR 6118:2014 diagrama retangular de tensões no concreto, diagrama de tensões elasto-plástico perfeito para aços da armadura passiva e diagrama bi-linear de tensões para aços da armadura ativa (Moura, Real, Loriggio, 2018).

No modelo apresentado por Hanai (2005), Faleiros Junior (2010), Trevizoli (2015), Bastos (2021) e outros autores, validado por Moura, Real, Loriggio (2018), são calculados a profundidade da linha neutra (x) e o momento resistido pela seção (M_{rd}) com auxílio de duas equações. O processo é iterativo, sendo aplicado até que a diferença entre os valores x e M_{rd} obtidos nas duas últimas aplicações seja avaliada como insignificante.

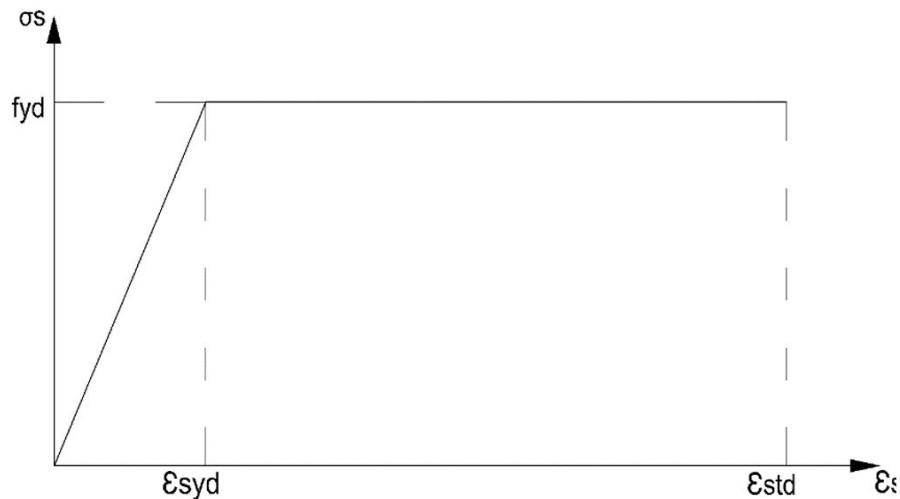
Com base nos preceitos apresentados, é almejado método de cálculo que siga as hipóteses presentes na NBR 6118:2023, resultando em uma equação que permita solução exata com única aplicação. Esta deverá solucionar a incógnita x (profundidade da linha neutra da seção) em vigas de seção retangular e T, com armadura ativa, além de armadura passiva tracionada e comprimida.

Através de testes realizados com auxílio de planilha eletrônica no Microsoft Excel, o método pretende alcançar a eficácia avaliada através de comparações com resultados obtidos em exemplos de outros autores.

MATERIAIS E MÉTODOS

As figuras e equações seguintes exemplificam os preceitos expostos pela NBR 6118:2023 e pelos autores citados, servindo como base para a dedução do procedimento de cálculo proposto.

As relações entre tensão e deformação nos aços ativos e passivos consideradas pela norma citada são mostradas nas figuras 1 e 2.

Figura 1 - Gráfico tensão-deformação do aço da armadura passiva.

Fonte: Adaptado de NBR 6118, 2023.

Figura 2 - Gráfico tensão-deformação do aço da armadura ativa.

Fonte: Adaptado de NBR 6118, 2023.

A partir dos dados da figura 2, obtêm-se o módulo de elasticidade pós-escoamento, e a tensão de cálculo no aço ativo, indicados nas equações 1 e 2, com o alongamento inicial representado na equação 3.

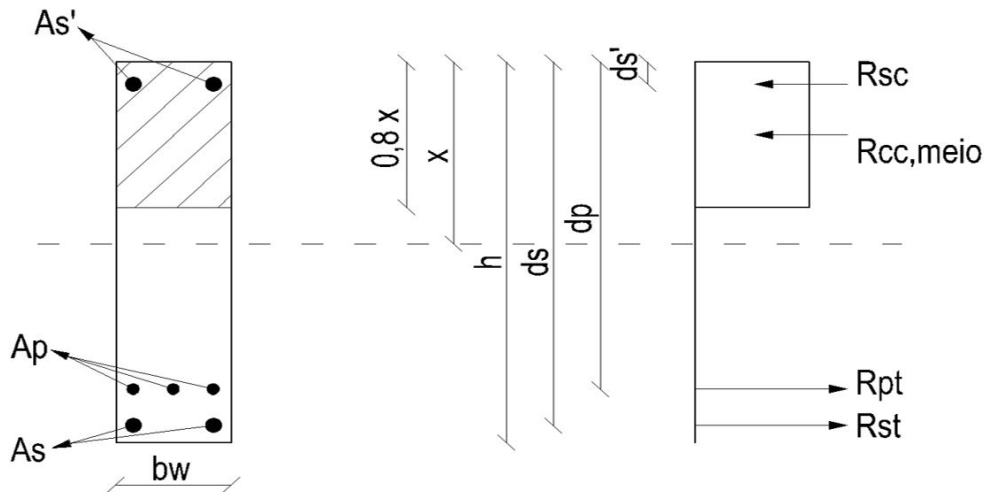
$$E_{pyd} = \frac{f_{ptd} - f_{pyd}}{\epsilon_{ptd} - \epsilon_{pyd}} \quad (1)$$

$$\sigma_{pd} = f_{pyd} + E_{pyd} * \left[\epsilon_{pi} - \epsilon_{pyd} + \epsilon_{cu} * \frac{(dp - x)}{x} \right] \quad (2)$$

$$\epsilon_{pi} = \frac{1}{E_c} * \left(\frac{Pd}{Ac} + \frac{Pd * ep^2}{Ic} \right) + \frac{Pd}{E_p * A_p} \quad (3)$$

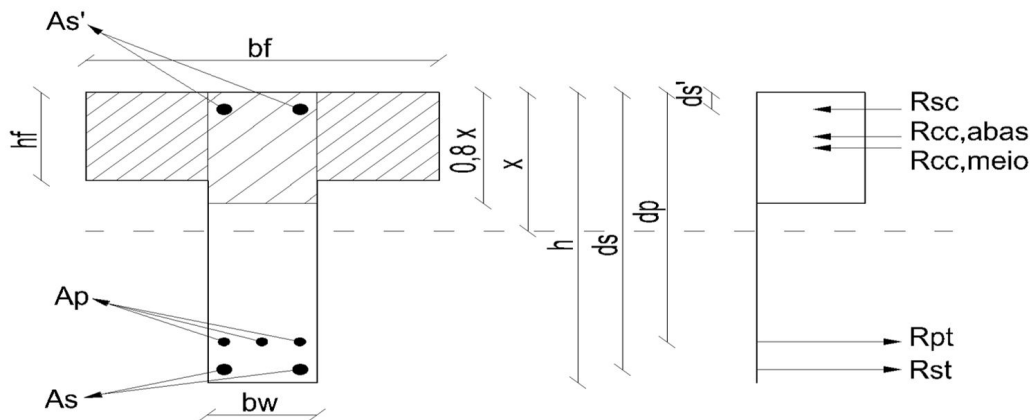
As figuras 3 e 4 elucidam as forças atuantes nas seções retangulares e T de concreto, seguidas de suas respectivas equações explicativas, destas deduzidas (equações 4, 5, 6, 7 e 8).

Figura 3 - Seção retangular de concreto com armadura ativa e passiva.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 - Seção T de concreto com armadura ativa e passiva.



Fonte: Autoria própria.

$$R_{cc, abas} = \alpha_c * \eta_c * f_{cd} * (bf - bw) * hf \quad (*1) \quad (*2) \quad (4)$$

$$R_{cc, meio} = \alpha_c * \eta_c * f_{cd} * bw * \lambda * x \quad (*1) \quad (*2) \quad (5)$$

$$R_{sc} = A_{s'} * f_{yd} \quad (6)$$

$$R_{st} = A_s * f_{yd} \quad (7)$$

$$R_{pt} = A_p * \sigma_{pd} \quad (*3) \quad (8)$$

(*1) Conforme item 17.2.2 da NBR 6118:2023: para concretos de $f_{ck} \leq 50$ MPa, $\alpha_c = 0,85$ e $\lambda = 0,8$; para concretos de $f_{ck} > 50$ MPa, $\alpha_c = 0,85 * [1,0 - (f_{ck} - 50)/200]$ e $\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50)/400$.

(*2) Conforme item 8.2.10.1 da NBR 6118:2023: para concretos de $f_{ck} \leq 40$ MPa, $\eta_c = 1,0$; para concretos de $f_{ck} > 40$ MPa, $\eta_c = \left(\frac{40}{f_{ck}}\right)^{1/3}$.

(*3) Conforme demonstrado na eq.2.

Para equilíbrio de forças, aplica-se a equação 9:

$$R_{cc, meio} + R_{cc, abas} + R_{sc} = R_{st} + R_{pt} \quad (9)$$

O momento resistente da seção é assim calculado, para seções retangulares e seções T respectivamente, conforme equações 10 e 11:

$$M_{rd} = f_{yd} * A_s * (d_s - 0,5 * \lambda * x) + f_{yd} * A_s' * (0,5 * \lambda * x - d') + \sigma_{pd} * A_p * (d_p - 0,5 * \lambda * x) \quad (10)$$

$$\begin{aligned} M_{rd} &= \alpha_c * \eta_c * f_{cd} * (b_f - b_w) * h_f * (0,5 * \lambda * x - 0,5 * h_f) + f_{yd} * A_s \\ &* (d_s - 0,5 * \lambda * x) + f_{yd} * A_s' * (0,5 * \lambda * x - d') + \sigma_{pd} * A_p \\ &* (d_p - 0,5 * \lambda * x) \end{aligned} \quad (11)$$

Onde:

b_w : largura da alma de uma viga

b_f : largura colaborante da mesa de uma viga

d_s : altura útil da armadura passiva de tração

d_p : altura útil da armadura ativa

d_s' : altura útil da armadura passiva de compressão

e_p : excentricidade do cabo resultante em relação ao baricentro da seção do concreto

A_c : área da seção de concreto

A_s : área da armadura longitudinal passiva de tração

A_p : área da armadura ativa

A_s' : área da armadura longitudinal passiva de compressão

I_c : momento de inércia da seção de concreto

h : altura total de uma viga

h_f : altura da mesa de uma viga

x : profundidade da linha neutra

f_{ptd} : resistência de cálculo à tração do aço de armadura ativa

f_{pyd} : resistência de cálculo ao escoamento do aço de armadura ativa

ϵ_{ptd} : deformação específica de ruptura da armadura ativa

ϵ_{pyd} : deformação específica de escoamento da armadura ativa

f_{yd} : resistência de cálculo ao escoamento do aço de armadura passiva

f_{cd} : resistência de cálculo à compressão do concreto

σ_{pd} : tensão no aço de armadura ativa, dependendo do alongamento desta

M_{rd} : momento fletor resistente de cálculo

P_d : força de protensão efetiva de cálculo, após perdas

R_{cc} : Força resultante de compressão no concreto

$R_{cc,abas}$: Força resultante de compressão no concreto das abas da mesa da seção

$R_{cc,meio}$: Força resultante de compressão no concreto da alma de seção

R_{st} : Força resultante de tração da armadura passiva

R_{sc} : Força resultante de compressão da armadura passiva

R_{pt} : força resultante e tração da armadura ativa

E_p : módulo de elasticidade do aço de armadura ativa

E_{pyd} : módulo de elasticidade pós-escoamento do aço de armadura ativa

E_s : módulo de elasticidade do aço de armadura passiva

E_c : módulo de elasticidade do concreto

ϵ_{pi} : pré-alongamento inicial de armadura ativa

ϵ_{cu} : deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura

α_c : parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão

λ : relação entre a profundidade y do diagrama retangular de compressão equivalente e a profundidade efetiva x da linha neutra

η_c : coeficiente apresentado em 8.2.10.1 da NBR 6118:2023

DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO DE CÁLCULO

Seguindo as hipóteses de cálculo normatizadas, a partir das equações 5, 6, 7, 8 e 9, deduz-se a igualdade abaixo, para seções retangulares, conforme equação 12.

$$\begin{aligned} & \alpha_c * \eta_c * f_{cd} * b_w * \lambda * x + A_{s'} * f_{yd} \\ & = A_s * f_{yd} + A_p * \left\{ f_{pyd} + E_{pyd} * \left[\epsilon_{pi} - \epsilon_{pyd} + \epsilon_{cu} * \frac{(d_p - x)}{x} \right] \right\} \end{aligned} \quad (12)$$

Com a equação deduzida acima, é aplicada a fórmula de Bhaskara abaixo exibida, com os termos descritos pelas equações 13, 14, 15 e 16.

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (13)$$

$$A = \frac{\alpha_c * \eta_c * f_{cd} * b_w * \lambda}{A_p} \quad (14)$$

$$B = \frac{f_{yd} * (A_{s'} - A_s)}{A_p} - f_{pyd} - E_{pyd} * (\varepsilon_{pi} - \varepsilon_{pyd} - \varepsilon_{cu}) \quad (15)$$

$$C = -E_{pyd} * \varepsilon_{cu} * dp \quad (16)$$

Fazendo-se uso das equações 5 a 9, de similar modo à dedução da equação 12, conclui-se que, a igualdade de forças em uma seção T é regida pela equação 17.

$$\begin{aligned} & ac * \eta_c * f_{cd} * bw * \lambda * x + ac * \eta_c * f_{cd} * (bf - bw) * hf + A_{s'} * f_{yd} \\ & = A_s * f_{yd} + A_p * \left\{ f_{pyd} + E_{pyd} * \left[\varepsilon_{pi} - \varepsilon_{pyd} + \varepsilon_{cu} * \frac{(dp - x)}{x} \right] \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

Com a equação deduzida acima, é aplicada a fórmula de Bhaskara (equação 13), com os termos descritos pelas equações 18, 19 e 20.

$$A = \frac{ac * \eta_c * f_{cd} * bw * \lambda}{A_p} \quad (18)$$

$$B = \frac{ac * \eta_c * f_{cd} * (bf - bw) * hf}{A_p} + \frac{f_{yd} * (A_{s'} - A_s)}{A_p} - f_{pyd} - E_{pyd} * (\varepsilon_{pi} - \varepsilon_{pyd} - \varepsilon_{cu}) \quad (19)$$

$$C = -E_{pyd} * \varepsilon_{cu} * dp \quad (20)$$

Após obtenção do valor x , em seção retangular ou T, deverá ser feita análise de ductilidade em conformidade com os preceitos da NBR 6118:2023, conforme evidenciado:

- Se a relação x/d_s indicar domínio 2: limitar a deformação das armaduras passivas a 1%, recalculando a tensão no aço protendido (Figura 17.1 da norma citada).
- A razão x/d_s deverá ser limitada conforme item 14.6.4.3 da norma citada, sendo igual ou menor a 0,45 para concretos de $f_{ck} \leq 50$ MPa e 0,35 para $f_{ck} > 50$ MPa.
- Se a posição de x em relação a $d_{s'}$ indicar que a armadura passiva comprimida ($A_{s'}$) não atingiu o escoamento, conforme indicado na Figura 17.1 da norma citada, as equações 12 e 17 deverão ser modificadas conforme segue.

Não serão apresentadas aqui as soluções dos dois primeiros tópicos acima citados. Para a situação de não escoamento da armadura passiva comprimida ($A_{s'}$), utilizar a tensão proporcional à deformação desta, variável dependente do afastamento à linha neutra ($x - d_{s'}$). Tal proporcionalidade é exibida na equação 21, de onde pode-se obter a tensão de cálculo na armadura passiva comprimida em regime elástico, conforme equação 22.

$$\frac{\varepsilon_s}{x - d_{s'}} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \quad (21)$$

$$\sigma_s = \frac{\varepsilon_{cu} * (x - d_{s'})}{x} * E_s \quad (22)$$

Dessa forma, modificando a parcela R_{sc} na equação 09, é deduzido um novo conjunto de termos da fórmula de Bhaskara (equação 13), especialmente para a situação de não-escoamento da armadura comprimida. Para seção retangular os termos são expostos nas equações 23, 24 e 25.

$$A = \frac{\alpha c * \eta c * fcd * bw * \lambda}{Ap} \quad (23)$$

$$B = -\frac{fyd * As}{Ap} - fpyd - Epyd * (\varepsilon pi - \varepsilon pyd - \varepsilon cu) + \frac{Es * As' * \varepsilon cu}{Ap} \quad (24)$$

$$C = -Epyd * \varepsilon cu * dp - \frac{Es * As' * \varepsilon cu * ds'}{Ap} \quad (25)$$

Para seção T, os termos da fórmula de Bhaskara são expostos nas equações 26, 27 e 28.

$$A = \frac{\alpha c * \eta c * fcd * bw * \lambda}{Ap} \quad (26)$$

$$B = \frac{\alpha c * \eta c * fcd * (bf - bw) * hf}{Ap} - \frac{fyd * As}{Ap} - fpyd - Epyd * (\varepsilon pi - \varepsilon pyd - \varepsilon cu) + \frac{Es * As' * \varepsilon cu}{Ap} \quad (27)$$

$$C = -Epyd * \varepsilon cu * dp - \frac{Es * As' * \varepsilon cu * ds'}{Ap} \quad (28)$$

É prudente frisar que o método de cálculo apresentado se limita a determinar a capacidade resistente (*Mrd*) de uma viga com seção de concreto e armaduras ativa e passiva já apresentadas. Para o detalhamento final de uma seção, devem ser observados itens da NBR 6118:2023 referentes à armadura mínima (item 17.3.5.2.1), cobrimento mínimo das armaduras (item 7.4.7), dentre outros que se fazem necessários.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o intuito de validar as fórmulas apresentadas, foram realizados testes com auxílio de planilha automatizada no software Microsoft Excel. Nestes, os valores obtidos por Bastos (2021) foram comparados com os resultados calculados através do método aqui proposto, conforme demonstrado nas tabelas 1 e 2. Por conta da recente atualização na NBR 6118:2023, especificamente no item 8.2.10.1, os testes foram feitos usando os preceitos da norma antiga, desconsiderando assim o coeficiente ηc .

Tabela 1 - Comparação de resultados com Bastos, 2021, p. 222.

Resultados	Bastos	Presente artigo	Diferença %
σ_p (MPa)	1522,20	1527,341	0,34%
x (cm)	23,01	23,055	0,20%
<i>Mrd</i> (kNm)	1467,92	1470,607	0,18%

Fonte: autoria própria.

Tabela 2 - Comparação de resultados com Bastos, 2021, p. 237.

Resultados	Bastos	Presente artigo	Diferença %
σ_p (MPa)	1520,30	1525,303	0,33%
x (cm)	19,36	19,361	0,01%
<i>Mrd</i> (kNm)	993,80	995,704	0,19%

Fonte: autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de cálculo desenvolvido leva em consideração todas as hipóteses apresentadas na NBR 6118:2023 para cálculo da capacidade resistente última de vigas protendidas, da mesma forma que o método iterativo já utilizado por outros autores. A diferença entre tais procedimentos se dá na necessidade de aplicação da formulação uma única vez para o método aqui discorrido. Assim sendo, este se apresenta como opção para obter resultado preciso sem fazer uso de iterações.

A comparação com resultados obtidos por outros autores obteve êxito, com erros ínfimos, possivelmente devidos à inexatidão dos resultados dos demais autores, posto que o método iterativo adotado por estes permite margem de erro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Protendido**. Bauru, SP: UNESP - Campus de Bauru, abril de 2021. 264 p.

CARVALHO, R. C. **Estruturas em concreto protendido: Pré-tração, Pós-tração, cálculo e detalhamento**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, agosto de 2017.

CHOLFE, L.; BONILHA, L. A. S. **Concreto Protendido: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

FALEIROS JUNIOR, J. H. **Procedimentos de cálculo, verificação e detalhamento de armaduras longitudinais na seção transversal em elementos protendidos**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2010. 193 p.

HANAI, J.B. **Fundamentos do concreto protendido**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, E-Book, 2005. Disponível em (11/01/2024): https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2255776/mod_resource/content/1/Fundamentos%20do%20Concreto%20Protendido%20-%20J%20B%20Hanai.pdf

INFORSATO, T. B. **Considerações sobre o projeto, cálculo e detalhamento de vigas pré-fabricadas protendidas com aderência inicial em pavimentos de edificações**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2009. 259 p.

MOURA, M. W.; REAL, M. V.; LORIGGIO, D. D. **Momento último de vigas de concreto protendido: validação e cálculo do erro do modelo**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 307-330, abr. 2018.

TREVISOLI, G. M. **Programa livre para análise da armadura longitudinal e da transversal de vigas pré-tracionadas para diferentes seções**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2015. 275 p.

Acréscimo na Força de Protensão por Alongamento Elástico em Verificações de Serviço de Vigas Protendidas

Increase in Prestressing Force Due to Elastic Elongation in Serviceability Checks of Prestressed Beams

Lucas Manenti Serafim
Márcio Vito

RESUMO

É desenvolvida nesse estudo uma proposta de contribuição ao dimensionamento de vigas de concreto protendido com aderência inicial. A alteração se dá na força efetiva das cordoalhas por conta da inserção de parcela referente ao alongamento elástico provocado pela aplicação dos esforços de flexão em condições de serviço. Embora a lógica empregada seja similar à utilizada no cálculo da resistência no estado-limite último, não foi encontrado na bibliografia exemplo de aplicação desta no dimensionamento ao estado-limite de serviço. Em estudo de caso, a opção pelo procedimento aqui defendido resultou em acréscimo na força de protensão final em 1,84% nas verificações do estado-limite de serviço.

Palavras-chave: concreto protendido; perdas de protensão; encurtamento elástico; vigas; flexão.

ABSTRACT

This study develops a proposal to contribute to the design of prestressed concrete beams with initial bond. The modification occurs in the effective force of the strands due to the insertion of a portion related to the elastic elongation caused by the application of bending stresses under service conditions. Although the logic employed is similar to that used in calculating strength at the ultimate limit state, no example of its application in the design at the serviceability limit state was found in the literature. In a case study, opting for the procedure advocated here resulted in an increase in the final prestressing force by 1.84% in the serviceability limit state verifications.

Keywords: prestressed concrete; prestress losses; elastic shortening; beams; bending.



INTRODUÇÃO

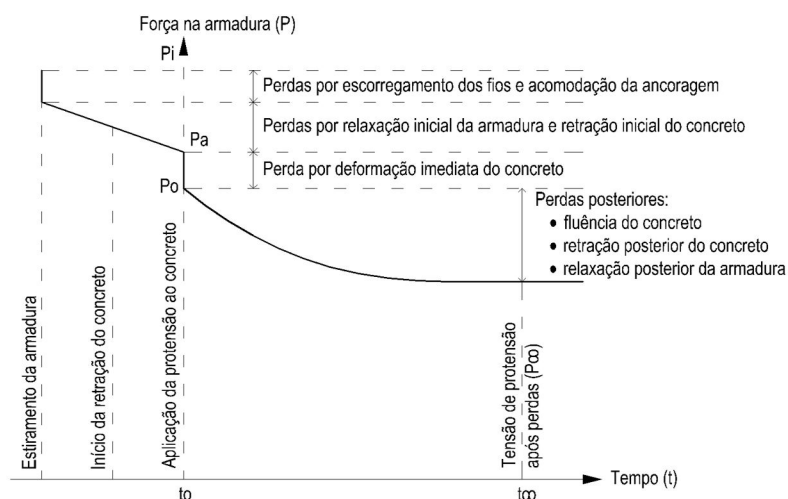
Em um contexto de inovação na indústria da construção civil, o uso de protensão em elementos pré-moldados se apresenta como alternativa economicamente viável em diversos empreendimentos.

Elementos de concreto protendido são, segundo a NBR 6118:2023, aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último. O método da protensão com aderência inicial, ou pretensão, é muito utilizado na produção de elementos estruturais pré-moldados, porque o ambiente de fábrica possibilita a industrialização e a produção de grandes quantidades de peças, com maior controle de qualidade de todo o processo de produção (Bastos, 2021, p. 19).

A verificação ao estado-limite de serviço (ELS) é uma etapa essencial no dimensionamento de uma viga protendida com aderência inicial. Diferentemente de estruturas em concreto armado, o procedimento comum é projetar a peça para atender as exigências do (ELS), e então verificar a resistência da peça perante aos esforços solicitantes do Estado-Limite Último (ELU) com a devida margem de segurança. (Bastos, 2021, p. 104). O procedimento é também apresentado em Hanai (2005), Inforsato (2009) e Trevizoli (2015). Conforme visto em Bastos (2021), as condições dos ELS para estruturas protendidas são mais críticas que no ELU, tornando comum o atendimento, em elementos projetados pelos ELS. Para tal, utiliza-se como guia a tabela 13.4 da NBR 6118:2023.

Bastos (2021) considera a força efetiva nas cordoalhas utilizada no cálculo como P_{∞} , remanescente após serem descontadas todas as perdas de protensão calculadas pelo projetista, ilustradas na figura 1. É configurado, dessa forma, o caso mais desfavorável ao longo da vida útil do elemento, onde a combinação de esforços oriundos das cargas de serviço com uma reduzida força de protensão resultará em tensões mais elevadas nas seções transversais. Estas deverão ser restritas às tensões máximas permitidas para atendimento aos estados-limite de serviço demonstrados na Tabela 13.4 da NBR 6118:2023.

Figura 1 - Perdas de protensão no Pré-tração.

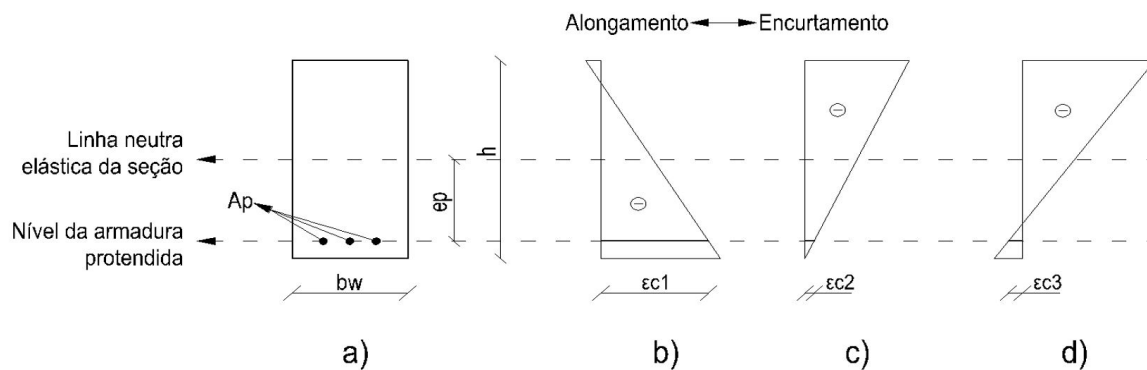


Fonte: Adaptado de Hanai (2005)

Dentre as perdas de protensão, uma destas ocorre por conta do encurtamento elástico do concreto no instante de soltura da armadura tensionada. Esta transfere tensão de compressão ao concreto, provocando diminuição em seu comprimento total. Para haver instalação da força de protensão na seção de concreto, é necessário que haja deformação por encurtamento, configurando esta perda como inerente ao processo de execução (Hanai, 2005, p.40).

Uma variável não considerada no procedimento de cálculo apresentado pelos autores citados, no entanto, é o acréscimo na força de protensão gerado pelo alongamento ao qual a seção será submetida com a aplicação das cargas de serviço. O mecanismo de atuação deste é similar ao de perda por encurtamento elástico. Conforme demonstrado na figura 2, a seção de concreto (a) sofre encurtamento elástico ϵ_{c1} no nível da armadura pela ação da protensão (b). As cargas advindas das combinações de serviço acarretarão o atingimento do ELS-D (c) e o ELS-F (d). No instante de aplicação da flexão devida ao momento fletor positivo, o encurtamento é reduzido para ϵ_{c2} (c) ou revertido em um possível alongamento ϵ_{c3} (d).

Figura 2 - Variação de deformações no nível da armadura.



Fonte: Autoria própria.

O fundamento é similar ao observado no procedimento de verificação ao estado-limite último, onde:

A deformação na armadura de protensão, em qualquer estágio do carregamento, é igual ao pré-alongamento somado à mudança de deformação no concreto ao nível da armadura de protensão, provocada pelo carregamento externo aplicado na peça (Bastos, 2021, p. 215).

Tal consideração é também adotada por Cholfe e Boninha (2018), Trevizoli (2015), Faleiros Junior (2012), Inforsato (2009) e Hanai (2005).

Haja vista desse efeito não considerado por demais obras, o presente trabalho possui como objetivo uma modificação no procedimento de cálculo de elementos estruturais de concreto protendido, através da consideração do ganho de força causado pelo alongamento elástico da armadura protendida em condições de serviço, estimando a tensão nesta atuante com maior proximidade ao comportamento real. O procedimento proposto deve ser baseado no apresentado nas demais publicações e seguir as diretrizes normativas vigentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta de intervenção no modelo de cálculo da força de protensão a ser tratada é feita, primeiramente, com revisão de bibliografia existente e normativa vigente. É realizada análise crítica e adaptação de equação responsável por estimar a perda de protensão por encurtamento elástico do concreto, buscando melhor compreensão do fenômeno e suas causas.

A partir desta, com uso de lógica similar ao processo da perda, é equacionado o acréscimo de tensão causado pelo alongamento elástico, apresentando metodologia e equação que represente a força efetiva na armadura protendida a ser usada no dimensionamento de elementos protendidos. Com auxílio de planilha eletrônica, é demonstrado em estudo de caso o efeito de tal consideração.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O fenômeno de perda de protensão por encurtamento elástico é responsável por variar a magnitude da força de protensão de P_a para P_o , conforme anteriormente ilustrado na figura 1. As equações 1 e 2 demonstram o cálculo desse efeito, por duas abordagens distintas.

$$\sigma_{po} = \sigma_{pa} + \frac{Ep}{E_{ci,j}} * \left[-\sigma_{pa} * Ap * \left(\frac{1}{Ac} + \frac{ep^2}{Ic} \right) + \frac{M_{g1} * ep}{Ic} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_{po} = \frac{\sigma_{pa} + \frac{Ep}{E_{ci,j}} * \frac{M_{g1} * ep}{Ic}}{1 + \frac{Ep}{E_{ci,j}} * Ap * \left(\frac{1}{Ac} + \frac{ep^2}{Ic} \right)} \quad (2)$$

Onde:

σ_{po} : tensão na armadura ativa pós perda por encurtamento elástico

σ_{pa} : tensão na armadura ativa antes da perda por encurtamento elástico

Ep : módulo de elasticidade do aço de armadura ativa

$E_{ci,j}$: módulo de elasticidade do concreto na data da aplicação de protensão

Ap : área da armadura ativa

Ac : área da seção de concreto

M_{g1} : momento fletor máximo relativo ao peso próprio do elemento

ep : excentricidade do cabo resultante em relação ao centro da seção de concreto

Ic : momento de inércia da seção de concreto

A equação 1 integra o método apresentado por Bastos (2021). Nesta, é usada a força de protensão anterior à perda como causa desta. A equação 2 é uma adaptação da anterior, tomando-se como causadora da perda a força existente imediatamente após sua atuação (P_o). Bastos (2021, p.185 *apud* Nilson, 2016) e demais autores que adotam tal

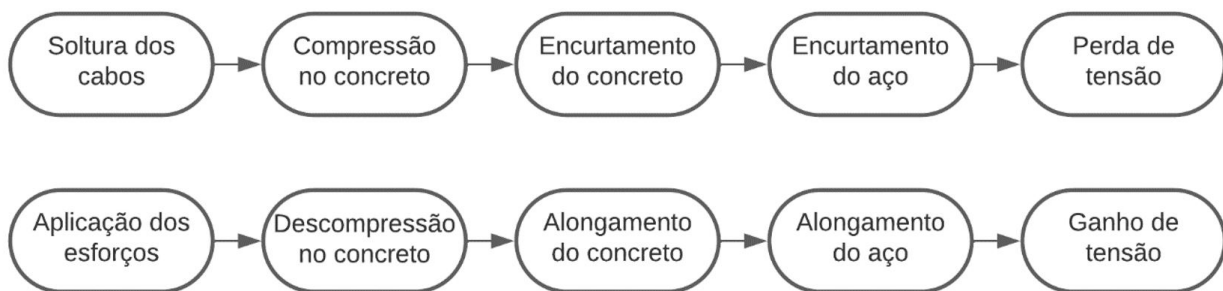
consideração. Julga-se, para este estudo, como alternativa mais próxima à realidade, visto que se considerada uma força P_o de magnitude constante atuante no encurtamento, têm-se a seção em equilíbrio de deformações.

O encurtamento elástico $\epsilon c1$ (figura 2b) é deduzido da equação 2 e demonstrado na equação 3.

$$\begin{aligned} \Delta \epsilon_{po} &= \frac{1}{E_{ci,j}} * \left[-\sigma_{po} * Ap * \left(\frac{1}{Ac} + \frac{ep^2}{Ic} \right) + \frac{M_{g1} * ep}{Ic} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Através de análise da perda de protensão por encurtamento, chega-se no mapa de ideias da figura 3, onde a linha superior exhibe o processo de perda por encurtamento elástico, enquanto na linha inferior são apresentadas as consequências da aplicação dos esforços de serviço. Observa-se que os efeitos resultantes da aplicação dos esforços de serviço têm sentido contrário aos oriundos da soltura dos cabos. Seguindo tal raciocínio e obedecendo aos princípios apresentados na seção 17.2.2 da NBR 6118:2023, conclui-se que ocorrerá um ganho na força de protensão final da armadura ativa.

Figura 3 - Ganho de protensão com aplicação de esforços de serviço.



Fonte: Autoria Própria.

Através de análise das equações 2 e 3, é possível elaborar uma solução que descreva o ganho de protensão por alongamento elástico em serviço ($\epsilon c2$ ou $\epsilon c3$ na figura 2) através da modificação que permita reversão de parte da referida perda.

Aplicados os preceitos normativos de compatibilidade de deformação entre materiais e relação entre tensão e deformação, deduz-se a equação 4.

$$\Delta \sigma_{p,at} = \frac{\frac{E_p}{E_{ci}} * \left[\frac{(M_{g2} + M_q) * ep}{Ic} + \frac{(P_{g2} + P_q)}{Ac} \right]}{1 + \frac{E_p}{E_{ci}} * Ap * \left(\frac{1}{Ac} + \frac{ep^2}{Ic} \right)} \quad (4)$$

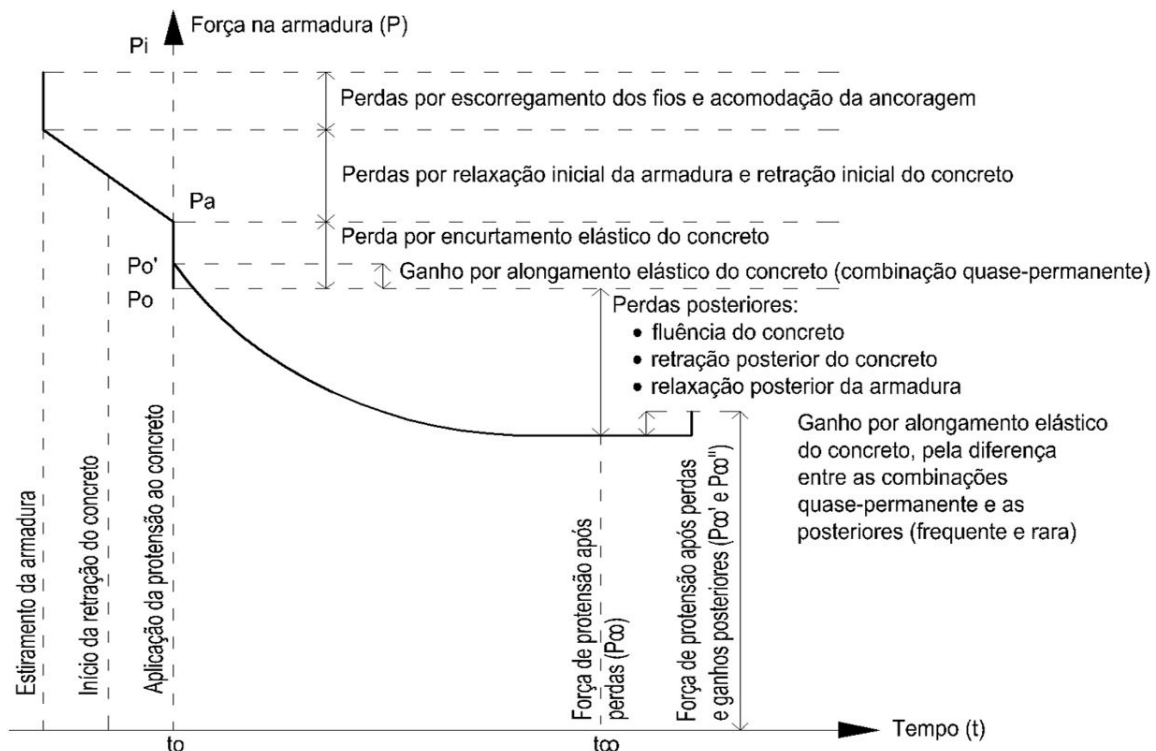
A equação 4, responsável por descrever o ganho na tensão efetiva da armadura protendida, representa efeito consequente da aplicação de cargas de serviço em um elemento. Nesta, é demonstrada a influência de fatores como a razão entre módulos de elasticidade dos materiais e magnitude de tensões advindas de cargas externas em determinada seção.

Sobre estas propriedades, é importante frisar que o item 8.2.8 da NBR 6118:2023 descreve módulo de elasticidade do concreto crescente apenas até o 28º dia. Com as cargas responsáveis pelo ganho de protensão aplicadas ao fim da vida útil do elemento, este dado estaria contra a segurança. Cabe ao projetista uma avaliação criteriosa do caso.

É prudente separar o ganho de protensão calculado na equação 4 em três etapas ocorridas em instantes distintos é motivada pelo procedimento de cálculo das perdas progressivas, diretamente influenciado pelas tensões decorrentes da aplicação da combinação quase-permanente de esforços. Assim, o acréscimo ocorrido pela aplicação das demais combinações só é contabilizado ao fim da vida útil do elemento.

Considerados os esforços oriundos da combinação quase-permanente como causadores das perdas progressivas e o intervalo entre a aplicação destes e a soltura das cordoalhas como desprezível, temos as etapas do procedimento proposto ilustradas na figura 4 e descritas.

Figura 4 - Perdas e ganhos de protensão no pré-tração, procedimento aqui defendido.



Fonte: Autoria própria.

- Soltura das cordoalhas comprime o concreto, resultando em perda da força de protensão por encurtamento elástico no instante t_0 .
- Aplicação dos esforços da combinação quase-permanente, fazendo com que P_o atinja o valor $P_{o'}$. Valores obtidos pela equação 5.
- Perdas progressivas ocorrendo após os processos construtivos, ao longo da vida útil da estrutura, causadas pelo carregamento constante quase-permanente. Valores obtidos pela equação 6.
- Aplicação das cargas das combinações frequente e rara, ao fim da vida útil do elemento, causando ganho decorrente da diferença entre esforços de tais combinações com os da combinação quase-permanente. Valores obtidos pelas equações 7 e 8.

$$\sigma'_{po} = \sigma_{po} + \Delta\sigma_{p,al1} \quad (5)$$

$$\sigma_{p\infty} = \sigma'_{po} * (1 - \%pp) \quad (6)$$

$$\sigma'_{p\infty} = \sigma_{p\infty} + \Delta\sigma_{p,al2} \quad (7)$$

$$\sigma''_{p\infty} = \sigma'_{p\infty} + \Delta\sigma_{p,al3} \quad (8)$$

Onde:

σ_{po} : tensão na armadura ativa após perda por deformação imediata do concreto

σ'_{po} : tensão na armadura ativa após ganho por alongamento elástico do concreto sob combinação quase-permanente de esforços.

$\sigma_{p\infty}$: tensão na armadura ativa após perdas progressivas (relaxação do aço, fluência e retração do concreto) sob combinação quase-permanente de esforços.

$\sigma'_{p\infty}$: tensão na armadura ativa após ganho por alongamento elástico do concreto sob combinação frequente de esforços.

$\sigma''_{p\infty}$: tensão na armadura ativa após ganho por alongamento elástico do concreto sob combinação rara de esforços.

$\%pp$: valor calculado das perdas progressivas, em relação a σ'_{po} .

$\Delta\sigma_{p,al1}$, $\Delta\sigma_{p,al2}$ e $\Delta\sigma_{p,al3}$ esclarecidos através das equações 9, 10 e 11.

$$\Delta\sigma_{p,al1} = \frac{\frac{E_p}{E_{ci}} * \left(\frac{(M_{QP} - M_{g1}) * ep}{Ic} + \frac{N_{QP} - N_{g1}}{Ac} \right)}{1 + \frac{E_p}{E_{ci}} * Ap * \left(\frac{1}{Ac} + \frac{ep^2}{Ic} \right)} \quad (9)$$

$$\Delta\sigma_{p,al2} = \frac{\frac{E_p}{E_{ci}} * \left[\frac{(M_{FR} - M_{QP}) * ep}{Ic} + \frac{(N_{FR} - N_{QP})}{Ac} \right]}{1 + \frac{E_p}{E_{ci}} * Ap * \left(\frac{1}{Ac} + \frac{ep^2}{Ic} \right)} \quad (10)$$

$$\Delta\sigma_{p,al3} = \frac{\frac{E_p}{E_{ci}} * \left[\frac{(M_{RA} - M_{FR}) * ep}{Ic} + \frac{(N_{RA} - N_{FR})}{Ac} \right]}{1 + \frac{E_p}{E_{ci}} * Ap * \left(\frac{1}{Ac} + \frac{ep^2}{Ic} \right)} \quad (11)$$

Nas verificações ilustradas, os ganhos na força de protensão descritos nas equações 5, 7 e 8 são calculados através da aplicação dos esforços de momento e carga axial oriundos das combinações de serviço. O alongamento causado pelo momento devido ao peso próprio ($Mg1$) já é descontado da perda da protensão por alongamento elástico, demonstrada na equação 2.

Para obtenção do valor da parcela inicial do ganho de protensão por alongamento elástico, na combinação quase-permanente, utiliza-se a equação 9. No cálculo de parcela posterior do ganho de protensão por alongamento elástico nas combinações frequente e rara, aplicam-se as equações 10 e 11, respectivamente.

ESTUDO DE CASO

Objetivando demonstrar o efeito teórico do ganho de protensão por alongamento elástico do concreto sob cargas de serviço, foi aplicado o procedimento em exemplo hipotético, adaptado de Bastos (2021, p. 188). Para tal, foi considerada combinação de momentos fletores de forma que as tensões nos bordos se aproximem de valor máximo dentro dos estabelecidos nos Estados-Limite de Serviço de descompressão e formação de fissuras, para protensão completa (nível 3, vide Tabela 13.4 da NBR 6118:2023). As perdas progressivas foram estimadas em 20% da tensão restante após perdas iniciais (σ_{pa}).

As comparações se darão entre 2 modelos de cálculo para as tensões pós perdas. O primeiro conforme a sequência de perdas proposta na figura 1. O segundo, por sua vez, leva em conta variações positivas de tensão mostradas na figura 4, calculadas pelas equações 9, 10 e 11. A seção e seus respectivos dados de cálculo são identificados na figura 5.

Figura 5 - Estudo de caso: seção de viga pré-tensionada.

Seção retangular	40 x 80 cm	σ_{pa} (Mpa)	1425,00
Ac (cm ²)	3200	Mg1 (kNm)	225,00
Ic (cm ⁴)	1706667	Mg2 (kNm)	73,00
Ap (cm ²)	10,00	Mq1 (kNm)	220,00
ep (cm)	30,00	ELS-D frequente (kPa)	0,00
Ep (Mpa)	196000	ELS-F rara (kPa)	2,46
Eci,j (Mpa)	30672		
Eci,28 (Mpa)	35418		

Fonte: Autoria própria.

Aplicados os procedimentos responsáveis pelo cálculo do alongamento, obtiveram-se as tensões de serviço mostradas, juntamente com as perdas finais, na figura 6. Nesta, é visto que o ganho de protensão obtido neste estudo representou diferença de 1,84% nas perdas totais.

Figura 6 - Tensões de serviço nas diferentes etapas.

Modelo	Pa	Po	Po'	P σ '	P σ ''	Perdas finais
Modelo 1	1425,00	1373,80	1373,80	1099,04	1099,04	-22,87%
Modelo 2	1425,00	1376,41	1391,37	1117,19	1125,37	-21,03%

Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi explanado e defendido o fenômeno teórico do ganho de protensão por alongamento elástico, reverso a uma das perdas de protensão ocorrentes. Por meio de análise crítica da bibliografia, obteve-se equacionamento para aprimoramento do processo de cálculo de elementos protendidos. A adoção desse efeito possibilitou ganho na tensão de serviço em cordoalhas protendidas, demonstrado em estudo de caso, em 1,84%.

Para comprovação do efeito estudado, devem ser realizados experimentos reais em ambiente laboratorial, mensurando com exatidão os resultados práticos e comparando-os com os obtidos através de teoria. Algumas especificidades não ponderadas podem ser futuramente incluídas em experimentos teóricos, tais como módulo de elasticidade do concreto crescente com o tempo e cálculo de seções com cordoalhas no bordo superior. O assunto merece ser melhor debatido, visando aprimoramento do processo de cálculo aqui defendido.

Procedimentos abrangendo ciências exatas são passíveis de interpretação humana. De modo igual, a matemática originou-se na observação desses fenômenos e transcrição em algoritmos lógicos. Através de um olhar crítico aplicado a equações complexas, é possível compreender o real sentido pelo qual estas são concebidas. Por consequência, surgem novas interpretações de fenômenos físicos na engenharia e, conseqüentemente, novas equações e procedimentos de cálculo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9062: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Protendido**. Bauru, SP: UNESP - Campus de Bauru, abril de 2021. 264 p.
- CARVALHO, R. C. **Estruturas em concreto protendido: Pré-tração, Pós-tração, cálculo e detalhamento**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, agosto de 2017.
- CHOLFE, L.; BONILHA, L. A. S. **Concreto Protendido: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- FALEIROS JUNIOR, J. H. **Procedimentos de cálculo, verificação e detalhamento de armaduras longitudinais na seção transversal em elementos protendidos**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2010. 193 p.
- HANAI, J.B. **Fundamentos do concreto protendido**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, E-Book, 2005. Disponível em (11/01/2024): https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2255776/mod_resource/content/1/Fundamentos%20do%20Concreto%20Protendido%20-%20J%20B%20Hanai.pdf
- INFORSATO, T. B. **Considerações sobre o projeto, cálculo e detalhamento de vigas pré-fabricadas protendidas com aderência inicial em pavimentos de edificações**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2009. 259 p.
- NILSON, A.H. ; DARWIN, D. ; DOLAN, C.W. **Design of Concrete Structures**. New York. Ed. McGraw-Hill, 4ª. ed., 2016, 786 p.
- TREVISOLI, G. M. **Programa livre para análise da armadura longitudinal e da transversal de vigas pré-tracionadas para diferentes seções**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2015. 275 p.

Bloco de Solo-cimento de Vedação com Reforço de Fibra de Coco

Soil-Cement Block for Sealing with Coconut Fiber Reinforcement

Luciane Marques Daronch

Graduanda em Engenharia Civil, na Faculdade Educacional de Medianeira – UDC Medianeira

RESUMO

O crescimento constante da engenharia tem impulsionado a busca por inovações tecnológicas que contribuam para o desenvolvimento sustentável e econômico, especialmente no setor da construção civil. Entre essas inovações, destaca-se a reutilização de materiais descartados na natureza, sejam eles biodegradáveis ou não, visando aprimorar as propriedades mecânicas de componentes utilizados em obras. Nesse contexto, surgem métodos construtivos inovadores, como o bloco de solo-cimento. O solo, por ser um material abundante, possui grande potencial de aplicação na construção civil. Quando combinado de forma homogênea com cimento, dá origem ao bloco de solo-cimento, amplamente empregado como elemento de fechamento em alvenarias. Além disso, o uso de fibras naturais como reforçadores vem ganhando destaque, com um exemplo notável sendo a fibra de coco. Esse material, frequentemente descartado no meio ambiente, pode ser aproveitado para aumentar a resistência e a durabilidade de blocos de solo-cimento, promovendo práticas mais sustentáveis na engenharia. Este trabalho teve como objetivo investigar o impacto da incorporação de fibra de coco na mistura de solo-cimento, com foco em suas propriedades mecânicas e durabilidade. A metodologia adotada incluiu uma revisão bibliográfica sobre estabilização de solos com fibras naturais, coleta e preparação de amostras de solo e fibras de coco, ensaios laboratoriais para caracterização e análise das propriedades mecânicas, além de uma avaliação do desempenho dos blocos de solo-cimento com adição de fibra de coco. Os resultados obtidos indicaram que blocos contendo 1% de fibra de coco apresentaram desempenho superior em termos de resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias de cura, em comparação com blocos de solo-cimento convencionais. Observou-se, ainda, que a resistência dos blocos se estabilizou após 14 dias de cura. Esses achados reforçam o potencial da fibra de coco como aliada na promoção de sustentabilidade e inovação na construção civil.

Palavras-chave: desenvolvimento; fibra; sustentável; mecânicas; ensaios.



ABSTRACT

The constant growth of engineering has driven the search for technological innovations that contribute to sustainable and economic development, especially in the construction sector. Among these innovations, the reuse of materials discarded in nature, whether biodegradable or not, stands out as a means to enhance the mechanical properties of components used in construction. In this context, innovative construction methods have emerged, such as soil-cement blocks. Soil, being an abundant material, holds great potential for application in construction. When combined homogeneously with cement, it forms soil-cement blocks, which are widely used as masonry closure elements. Furthermore, the use of natural fibers as reinforcements has gained prominence, with coconut fiber being a notable example. This material, often discarded into the environment, can be utilized to increase the strength and durability of soil-cement blocks, promoting more sustainable practices in engineering. This study aimed to investigate the impact of incorporating coconut fiber into the soil-cement mixture, focusing on its mechanical properties and durability. The methodology included a literature review on soil stabilization with natural fibers, collection and preparation of soil and coconut fiber samples, laboratory tests for characterization and mechanical property analysis, and an evaluation of the performance of soil-cement blocks reinforced with coconut fiber. The results indicated that blocks containing 1% coconut fiber demonstrated superior performance in terms of compressive strength at 7, 14, and 28 days of curing compared to conventional soil-cement blocks. Additionally, it was observed that the blocks' strength stabilized after 14 days of curing. These findings underscore the potential of coconut fiber as an ally in promoting sustainability and innovation in construction.

Keywords: development; fiber; sustainable; mechanical; testing.

INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento do consumismo, a sociedade passou a se preocupar mais com os problemas relacionados ao meio ambiente. Como resultado de tal preocupação, muitos consumidores passaram a analisar a origem, o processo de produção e o impacto causado pelos produtos adquiridos, levando a uma mudança de atitude (Afonso, 2010).

Assim, os consumidores têm-se tornado mais seletivos, exigindo produtos e serviços que causem menor impacto ambiental e social. Esse grupo mais seletivo é denominado de consumidor sustentável, o qual, em favor do meio ambiente, está disposto a mudar os hábitos de consumo, adquirindo apenas produtos ambientalmente corretos (Ministério do Meio Ambiente, 2019).

Com isso surge o processo de reutilização de produtos que anteriormente seriam descartados na natureza aguardando o seu processo de degradação como é o caso da fibra do coco.

Na construção civil a fibra do coco pode ser reutilizada por possuir características físico-químicas que auxiliam na fabricação de blocos de solo-cimento promovendo ecoeficiência e alinhando-se à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/10. Onde Busca-se uma gestão ambiental adequada, contemplando os pilares da sustentabilidade: ambiental, através da destinação apropriada do resíduo para prolongar

a vida útil dos aterros sanitários e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE); econômico, ao reduzir o custo de fabricação do material através do uso de eco materiais na construção civil; e social, ao gerar empregos necessários para a fabricação dos blocos.

Segundo Cordeiro e Machado (2017), o bloco de solo-cimento, também chamado de bloco ecológico, emerge como uma opção construtiva excepcional devido às suas consideráveis vantagens ambientais.

Portanto no presente trabalho buscou – se utilizar a fibra do coco como um reforçador de bloco de solo-cimento vazado sem função estrutural, verificando se esses blocos atendem as características quanto a absorção de água e compressão.

Problema de Pesquisa

A fibra de coco pode ser adicionada a mistura de bloco de solo-cimento como um reforçador?

Hipóteses

- A adição de fibra de coco como reforçador de bloco de solo-cimento é uma alternativa para destinação desse resíduo;
- Os blocos de solo-cimento com fibra de coco atendem as condições necessárias de absorção de água;
- Os blocos de solo-cimento com fibra de coco atendem as condições necessárias de compressão;

Justificativa

Os blocos de solo-cimento recicláveis têm um impacto ambiental reduzido em comparação com os materiais tradicionais de construção, uma vez que utilizam materiais reciclados ou resíduos industriais em sua composição. Isso contribui para a redução da extração de recursos naturais e para a minimização dos resíduos sólidos.

Trabalhar com blocos de solo-cimento recicláveis pode envolver a pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas de produção, formulações de materiais e métodos de reciclagem. Isso oferece oportunidades para explorar e contribuir para avanços na área da construção sustentável e tecnologias verdes.

A utilização de blocos de solo-cimento recicláveis pode proporcionar benefícios econômicos, como redução de custos de materiais e possíveis incentivos fiscais ou subsídios para práticas sustentáveis na construção civil, além da geração de emprego para fabricação desses blocos.

A adição de fibra de coco a mistura de cimento e solo para fabricação de blocos de solo-cimento pode resultar em ganho de resistência a compressão na peça e aos índices de absorção de água, gerando assim um ganho importante para esse tipo de bloco.

Objetivos

Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho de blocos de solo-cimento vazado sem função estrutural com adição de fibra de coco, quanto a compressão e absorção de água.

Objetivos Específicos

- Caracterizar o solo que será utilizado na fabricação de blocos de solo-cimento;
- Avaliar a Fibra de coco como reforçador de bloco de solo-cimento;
- Analisar se os blocos de solo-cimento atendem os requisitos da NBR 10834;

REVISÃO DE LITERATURA

Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos são materiais descartados ou resultantes de atividades humanas, podendo permanecer no estado sólido, semissólido ou serem transformados em líquidos e descartados em corpos d'água. Além disso, podem ser sujeitos a técnicas de reciclagem e reaproveitamento (Lima, 2020). Dentro dessa categoria, incluem-se os resíduos provenientes da agricultura, como os gerados pela cocoicultura. Segundo Neto (2010), o coco corresponde a aproximadamente 70% dos resíduos encontrados nas praias do Brasil.

Do ponto de vista ambiental, é necessário encontrar uma maneira mais adequada de lidar com esse fruto além de simplesmente depositá-lo em aterros sanitários. Isso demanda estudos que embasem sua utilização como matéria-prima para aplicações que sejam social e ambientalmente responsáveis, promovendo o reuso, a reciclagem e prolongando a vida útil dos aterros sanitários. Com base nesses fatores uma das soluções encontrada foi a produção de blocos de solo-cimento com adição de fibra de coco.

Segundo Cordeiro e Machado (2017), o bloco de solo-cimento, também chamado de bloco ecológico, é destacado como uma excelente alternativa para construção devido às suas significativas vantagens ambientais.

As fibras vegetais do coco têm potencial para serem utilizadas como reforço em compósitos, pois sua inclusão ajuda a reduzir a fissuração na matriz. Isso se deve ao fato de que as fissuras ficam interconectadas, resultando em um aumento da tenacidade, da resistência à tração e ao impacto (Lima,2020).

Solo

Conforme destacado por Bonifácio (2021), o solo é um material que apresenta variações significativas, sendo caracterizado pela sua natureza variável, heterogênea e anisotrópica, sujeito aos efeitos das intempéries e dos processos de decomposição.

No ramo da Engenharia, solo é o termo dado a todo material da crosta terrestre proveniente da decomposição das rochas, constituído por atributos que podem ser de maioria minerais e/ou orgânicos, dependendo da composição química e mineralógica da rocha de origem, das características do relevo, clima e do tempo de exposição às intempéries. A classificação dos solos, por meio de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas são analisadas de acordo com os fundamentos da Ciência dos Materiais, tanto no campo da Geologia, da Mecânica dos Solos e Fundações, como da Construção civil (Neves, Faria, Rotondaro, Cevallos, Hoffmann, 2009).

O solo representa a maior parte da mistura empregada na fabricação de materiais de solo-cimento. Em linhas gerais, praticamente qualquer tipo de solo pode ser empregado, desde que não contenha predominantemente matéria orgânica. No entanto, é crucial selecionar o solo de forma a minimizar a quantidade de cimento necessária para estabilização, o que contribui para a viabilidade do custo final do produto, como indicado (ABCP, 2018).

Formação do Solo

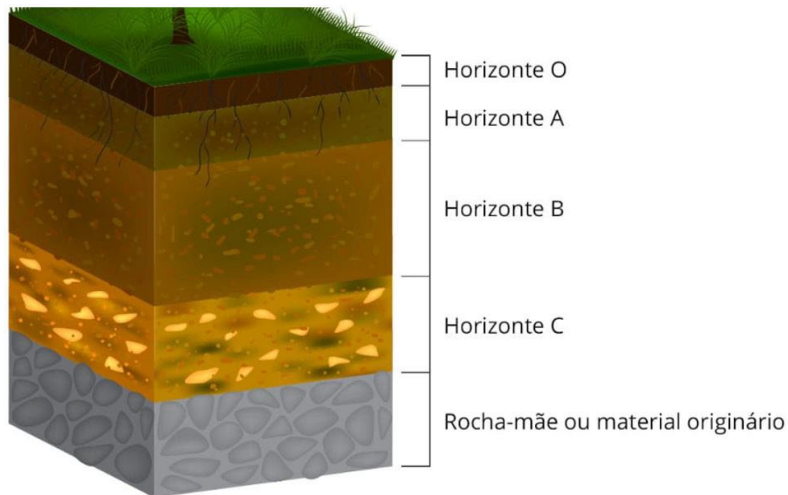
A formação do solo é um processo complexo que ocorre ao longo de milhares ou até milhões de anos, envolvendo interações entre diversos fatores físicos, químicos, biológicos e climáticos.

O processo de formação do solo é evolutivo, começando com a etapa inicial de intemperização, decomposição e recomposição das rochas. Em seguida, entra-se na segunda etapa, que consiste na formação propriamente dita do solo (Vieira, 1988).

A formação dos tipos de solo é influenciada por cinco fatores principais: clima, organismos, material de origem, relevo e idade da superfície do terreno (Lepsch, 2010). Segundo o mesmo autor, com a ação desses fatores, pouco a pouco surgem uma série de camadas, que chamamos de horizontes e são divididos em cinco (figura 1):

- Horizonte O: orgânico e pouco decomposto, constituído principalmente de folhas e galhos;
- Horizonte A: camada mineral mais próxima da superfície, constituída pelo acúmulo de matéria orgânica;
- Horizonte B: considerado o horizonte onde se acumula materiais translocados dos horizontes superiores;
- Horizonte C: este corresponde à rocha pouco alterada.

Figura 1 - Estrutura dos solos.



Fonte: Florestas, 2024.

Segundo sua formação e origem, os solos podem ser categorizados em dois grupos distintos: solos transportados, nos quais o material resultante da decomposição é levado para longe da rocha original por algum agente externo; e solos residuais, onde o material resultante da decomposição permanece no local da rocha original (DNIT, 2006).

Fibra do Coco

A fibra de coco é um material lignocelulósico extraído do mesocarpo fibroso do coco, o fruto da palmeira *Cocos nucifera*, amplamente cultivada em regiões tropicais. No Brasil, o consumo de água de coco verde tem crescido, especialmente durante o verão, ao longo de todo o litoral. Esse aumento no consumo resulta em uma considerável produção de resíduos sólidos, principalmente constituídos pelas cascas fibrosas.

As fibras vegetais apresentam potencial para uso como elemento de reforço em compósitos, uma vez que sua adição reduz a fissuração na matriz, tendo em vista que as fissuras são interligadas e, como resultado, ocorre um aumento na tenacidade e na resistência à tração e ao impacto. Além disso, pelo fato do Brasil ser um país agroindustrial, a ideia da inserção de resíduos vegetais em matrizes frágeis parte da quantidade de resíduo disponível e da obtenção de produtos de baixo custo, alto desempenho e elevada durabilidade (Vilela, 2019).

Os resíduos sólidos provenientes do consumo do coco in natura, cujas cascas são ricas em fibras formam amontoados em locais inadequados, degradando a paisagem, produzindo mau cheiro, e colocando em risco o meio ambiente e a saúde pública (Paz et al., 2018).

Além disso, é relevante destacar que o coco é um material de decomposição lenta, podendo levar mais de 8 anos para se degradar. Por isso, torna-se essencial reaproveitar a casca do coco verde. Além do valor das propriedades de sua fibra, há também benefícios econômicos e ambientais, considerando que esses resíduos seriam descartados como inutilizáveis (Veloso et al., 2013).

Solo com Fibra

A literatura chama de fibra solo a composição formada pela inclusão aleatória de fibras naturais ou sintéticas curtas no solo e mostra que os solos com esse tipo de reforço apresentam alterações em alguns parâmetros técnicos, tornando-os adequados para uso em situações que, a priori, não estariam tecnicamente próprios para uso (Cabala, 2007).

Segundo Santos (2022) Um dos fatores que influencia na proporção ideal do teor de fibra é o tipo do solo que está em análise e teor ideal de fibra para melhoria do solo pode variar devido a alguns parâmetros como: o tipo de fibra a ser utilizada, tipo de solo e região de estudo, comprimento da fibra, adição de resíduos/aditivos, a carga aplicada durante o ensaio e a quantidade de água para saturar o solo.

A inclusão de fibras no solo aumentou os valores de CBR, principalmente na porcentagem de 0,6% de teor de fibra, resultando no aumento de 177% do valor de CBR em comparação ao solo não reforçado, acima de 0,6%, a taxa de aumento foi pequena (Abo El-Naga; Elsiragy; Ragad, 2020).

Segundo Raju, Sruthi e Sravanthi (2018), a adição de fibra de coco aumenta a resistência ao cisalhamento o seu teor não ultrapasse o valor 0,75%; acima deste, poderá haver uma queda na resistência. Os autores também destacam que a força de cisalhamento do solo reforçado com 0,75% de fibra e 20 mm de comprimento é aproximadamente o dobro da força de cisalhamento do solo não reforçado.

Bloco de Solo-Cimento

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), bloco de solo-cimento é o material de mistura homogênea, resultante da compactação, curada de solo, cimento e água em proporções adequadas, podendo ser acrescentado um quarto elemento, o resíduo. A depender da proporcionalidade de cada componente, o produto resultante deste processo é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

Segundo a NBR 10834, os blocos de solo-cimento é um componente da alvenaria, que é obtido através da mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e algum outro componente que permita atender as exigências desta norma.

O bloco de solo-cimento é produzido através, de solo misturado a cimento e água em quantidades apropriadas, sendo essa mistura prensada gerando assim um bloco de solo-cimento prensado. Esses blocos podem ser produzidos dentro do canteiro de obras o que economiza em menor tempo de fabricação, transporte e diminuição da espera do produto dentro do canteiro de obras (Souza, 2006).

No que diz respeito às vantagens do bloco solo-cimento, conforme destacado por Motta *et al.* (2014), estas começam no processo de fabricação, em que a matéria-prima (solo) está amplamente disponível em todo o planeta, e o processo pode ser realizado manualmente, sem a necessidade de queima do tijolo. Isso resulta na redução da emissão de gases poluentes no meio ambiente.

No entanto, para que este produto alcance uma qualidade comparável ao tradicional, conforme destacado por Pinto (2015), é crucial conduzir um estudo rigoroso e implementar um processo de classificação do solo. Isso visa descrever suas propriedades de forma precisa, garantindo que ele possua características adequadas que resultem em uma qualidade superior do bloco de solo-cimento comparado ao bloco convencional. Além disso, é fundamental dedicar atenção aos parâmetros de cura, densidade, tempo de compactação e proporções corretas de solo e cimento durante o processo de produção. Isso assegurará que o tijolo atinja a resistência necessária para sua aplicação (Neves, 2022).

Ainda de acordo com a NBR 10833, os blocos de solo-cimento devem seguir medidas específicas para que se enquadrem como blocos e possuam as características mínimas de resistência a compressão e parede mínima de 25mm.

Tabela 1 - Dimensões dos blocos.

Tipos	Comprimento	Largura	Altura
Tipo A	200	100	50
Tipo B	240	120	70

Fonte: ABNT, 2012.

No que se refere a absorção de água e a resistência a compressão a NBR 10834 cita:

A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 10836 deve apresentar a média dos valores de resistência a compressão igual ou maior que 2,0 MPa (20 kgf/cm²), e nenhum dos valores individuais devem ser inferiores a 1,7 MPa (17 kgf/cm²), com idade mínima de 7 dias. A amostra ensaiada de acordo com a ABNT NBR 10836 deve apresentar a média dos valores dos valores de absorção de água menor ou igual a 20%, e os valores individuais iguais ou menores que 22%, com idade mínima de 7 dias (ABNT, 2012, p. 7).

Com relação às propriedades mecânicas, nota-se que os tijolos de solo-cimento com fibras, quando produzidos conforme as normas vigentes, demonstram desempenho igual ou superior aos tijolos tradicionais. É possível observar que tanto Abdullah (2011) quanto Raj (2017) concordam que a adição de fibras de coco nos tijolos de solo-cimento contribui para o aumento da resistência à compressão.

Nogueira *et al.* (2016) confirma que o uso de tijolos ecológicos com adição de fibras de coco proporciona economia na construção, além de destacar seu excelente desempenho em termos de conforto térmico e acústico.

MATERIAL E MÉTODOS

Para fabricação do bloco de solocimento é necessário obter através da natureza, amostras de solo que serão submetidas a análises laboratoriais, como granulometrias, limite de liquidez, limite de plasticidade que serão realizados dentro do laboratório da UDC – Campus medianeira e Foz do Iguaçu. Já as amostras de fibra de coco serão compradas prontas ou se necessário preparadas e caracterizadas dentro de laboratório. Seguindo a NBR 8492/2012 da ABNT serão analisados os requisitos legais de absorção de água e compreensão simples da peça, para que assim seja analisado seu possível uso para vedação de edificações.

Coleta e Preparação dos Materiais

Serão apresentados os passos para coleta e caracterização do solo e fibra de coco com os ensaios de preliminares, seguindo as NBR específicas para cada etapa dos mesmos.

Solo

O Solo utilizado para realização deste estudo, trata – se de um solo residual, de acordo com Caputo (2015), os solos residuais são aqueles que, ao passarem pelo processo de decomposição, permanecem no local de sua rocha mãe. Em outras palavras, quando sofrem decomposição, não são removidos do lugar de onde se originam. Esses solos também são conhecidos como solos de alteração.

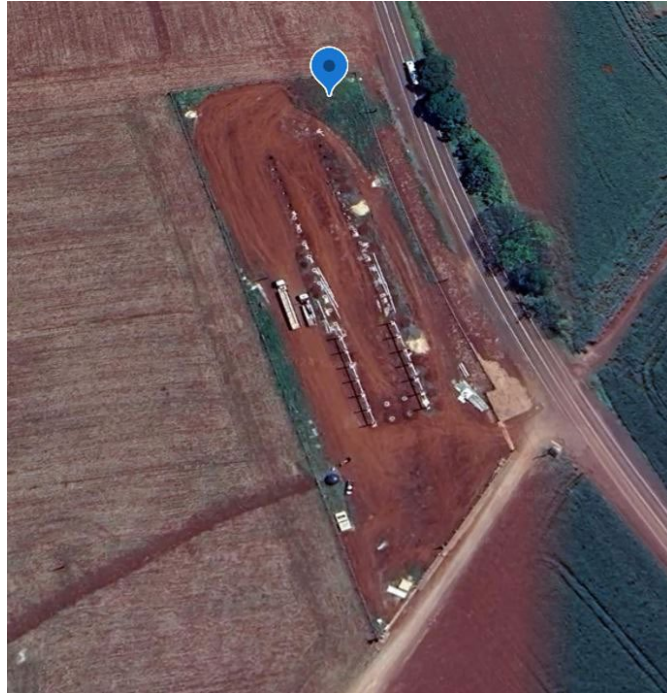
Foram coletadas amostras deformadas de solo para ensaio em laboratório, seguindo as diretrizes estabelecidas pela NBR 9604 (ABNT, 2024).

Figura 2 - Coleta do solo.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O local de retirada da amostra se localiza em uma área onde antes se concentrava uma área de cultivo da agricultura, localizada na PR 495, KM 27,4, Medianeira Paraná, conforme figura 3.

Figura 3 - Local de coleta solo.

Fonte: Google, 2024.

Para a realização dos ensaios preliminares as amostras foram preparadas com secagem prévia em temperatura ambiente conforme preconiza a NBR 6457 (ABNT, 1986) e os mesmos foram realizados seguindo os critérios da ABNT, conforme quadro a seguir.

Quadro 1 - Normas utilizadas.

ENSAIO REALIZADO	NBR UTILIZADA
Umidade Hidroscópica	6457/86
Análise Granulométrica	7181/84
Determinação de Limite de Liquidez	6458/16
Determinação de Limite de Plasticidade	7180/16
Massa Específica dos grãos	6508/84
Teor de Matéria Orgânica	13600/22
Compactação do Solo	7182/16

Fonte: Autoria própria, 2024.

Caracterização do Solo

Os resultados obtidos para a caracterização do solo, foram realizados no laboratório de solos, conforme a tabela 2, os valores de LP são de 58%, LL é igual a 26%, pode – se concluir que trata -se de um solo plástico, que pode ser trabalhado e possui seu IP= 32%, podendo ainda assim afirmar que trata – se de um solo fino.

Tabela 2: Resultado de IP

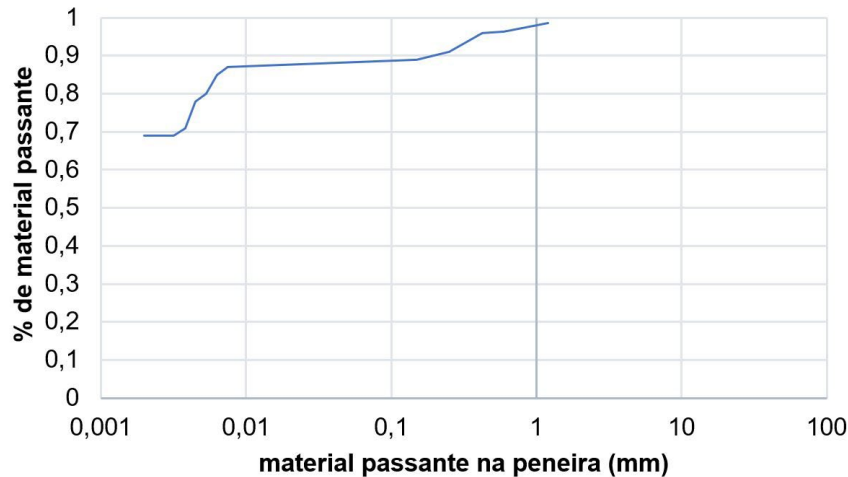
SOLO RESIDUAL BASÁLTICO	LL (%)	LP (%)	IP (%)
	58	27	31

Fonte: Autoria própria, 2024.

Análise Granulométrica

Com base nos ensaios de peneiramento e sedimentação realizados, foram identificados os diâmetros dos grãos da amostra de solo coletada, obtendo os valores granulométricos de amostras apresentados no gráfico a seguir.

Gráfico 1 - Curva granulométrica.



Fonte: Autoria própria, 2024.

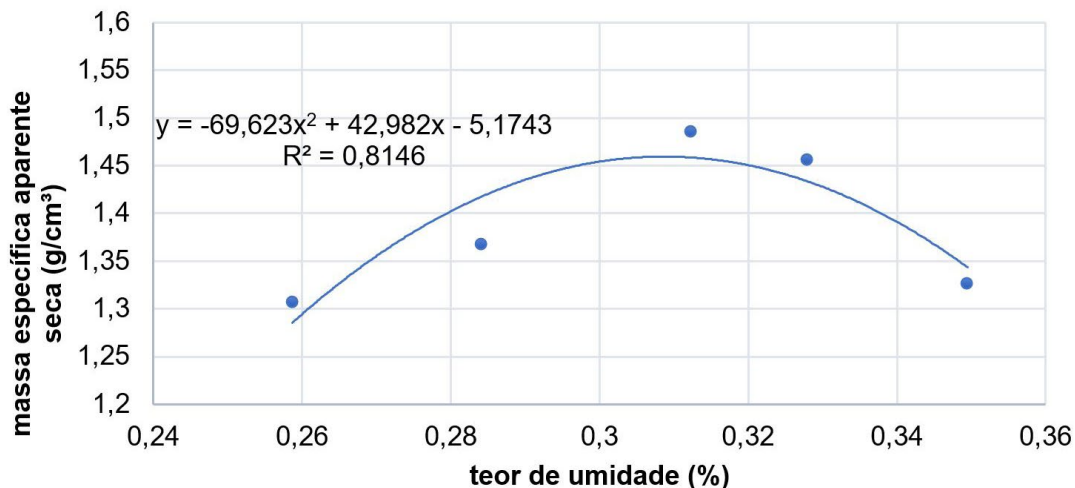
Teor de Matéria Orgânica

Para a determinação do teor de matéria orgânica presente no solo coletado, foram separadas duas amostras de solo, pesados e colocados em cadinhos e colocados em mufla a 110°C e após 24h apresentaram teor de 15% para a amostra de número 01 e 14% para a amostra de número 02, o que demonstra que o solo possui um teor de matéria orgânica baixo.

Ensaio de Compactação

Para o ensaio de compactação que é um método de estabilização do solo onde aplicasse energia mecânica, que tem como objetivo o aumento da massa específica aparente seca da amostra e redução do seu número de vazios. Observando o gráfico 2, pode – se concluir que o teor de umidade ótima do solo natural foi de 34,40%.

Gráfico 2 - Curva de compactação.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Classificação do Solo

Para a classificação final do solo foram aplicadas as características de base do método de Sucs conforme apresentado pela figura a seguir.

Com base nos ensaios realizados foram analisados os dados obtidos e realizada a comparação com a tabela de sucs, onde o solo estudado foi classificado como:

- Solo fino, do tipo C (Argila) e de simbologia H com alta compressibilidade, ou seja um solo CH.

Fibra do Coco

Para a incorporação da fibra de coco ao solo e ao cimento será utilizada fibra de coco que podem ser encontradas em floriculturas da região. Tais fibras foram compradas de maneira ensacadas e por peso.

Tal fibra não será caracterizada e por se tratar de uma fibra comprada seca, não será necessário a realização de secagem para a incorporação da mesma a mistura de solo e de solo-cimento. Os testes realizados para moldagem do bloco de solo-cimento serão feitos na porcentagem de fibra de 0,75%, 1% e 1,25%.

Metodologia

Diante dos resultados encontrados e as porcentagens de fibra a ser adicionada em cada mistura de solocimento, os blocos começaram a serem moldados com variações de dias em 28 dias, 14 dias e 7 dias e com porcentagens de fibra de 0,75%, 1% e 1,25%. Ao iniciar a moldagem dos blocos no tamanho 20x10x5cm foi observado que haveria a necessidade da utilização de 800 g de solo natural, sendo assim nessa quantidade foram adicionados cimento em 9%, água na porcentagem 29% e fibra nas porcentagens variantes do ensaio, onde foram moldados 7 blocos para cada teor de fibra.

Tabela 3 - Traços das amostras.

	Solo	Fibra de coco	Cimento - 9%	Água	Teor ótimo
28 dias	800 g	0,50%	72g	232g	
14 dias	800 g	0,75%	72g	232g	29%
7 dias	800 g	1,00%	72g	232g	

Fonte: Aatoria própria, 2024.

A moldagem dos blocos se iniciou em 28 dias em que foram moldados 7 blocos para cada teor, todo material foi homogeneizado e logo após levado à prensa manual de blocos e após moldado colocado em sacos plásticos e identificados de acordo com a sua porcentagem de fibra e dia.

Figura 4 - Preparação das amostras.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 5 - Mistura das amostras.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Figura 6 - Bloco de solo natural com fibra.



Fonte: Autoria própria, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da análise do solo, obteve – se que o solo que será incorporado as fibras trata - se de um solo fino do tipo C, ou seja, argiloso com alta compressibilidade.

Com base nesses resultados foram moldados os blocos de solo-cimento e solo de fibra natural.

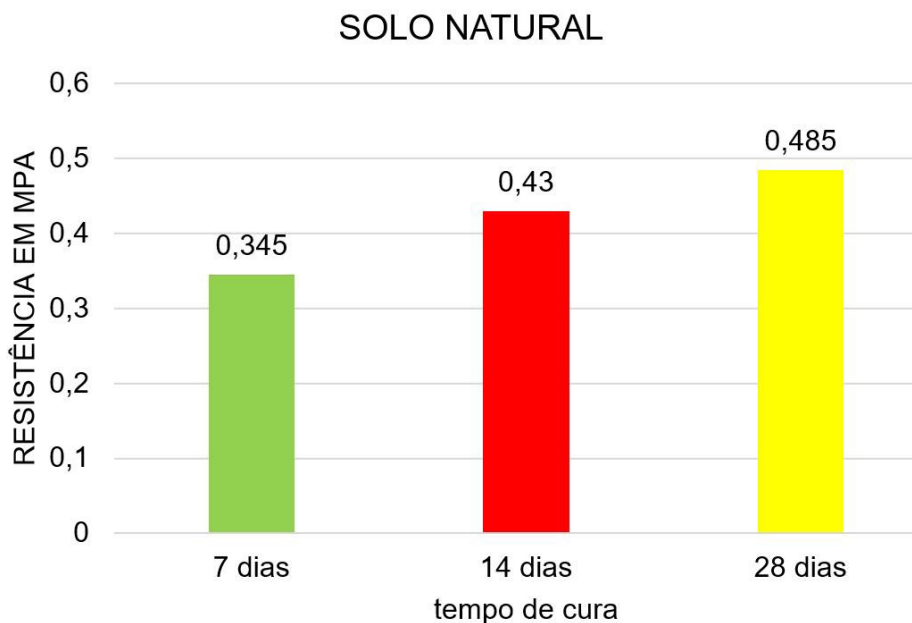
De acordo com Lima (2013), os valores de resistência à compressão ainda são influenciados por fatores de natureza aleatória que fazem parte de pesquisas com procedimentos experimentais, como a falta de homogeneidade das misturas e diferentes graus de compactação, entre outros.

Solo Natural

Para realização dos ensaios de compressão simples e absorção de água com o solo natural, com apenas dois componentes fibra de coco e solo, não obtiveram resultados satisfatórios. Os blocos em sua totalizada não permaneceram em forma de bloco após a sua secagem não sendo possível assim realizar o capeamento dos mesmo e possível rompimento para ensaio de compressão. Esse fator sugere que possa haver possíveis falhas nos procedimentos como o tipo de solo, teor de umidade ótimo e formato do bloco. Recomenda-se a realização de novos ensaios com modificações para verificar a viabilidade dos resultados.

De acordo com os ensaios elaborados em 3 amostras de bloco com solo-cimento sem adição de fibra, obteve – se a relação de valores com mínimo de 0,345 Mpa e máximo de 0,485 Mpa, conforme demonstra gráfico e tabela abaixo.

Gráfico 3: Resistência a compressão solo natural.



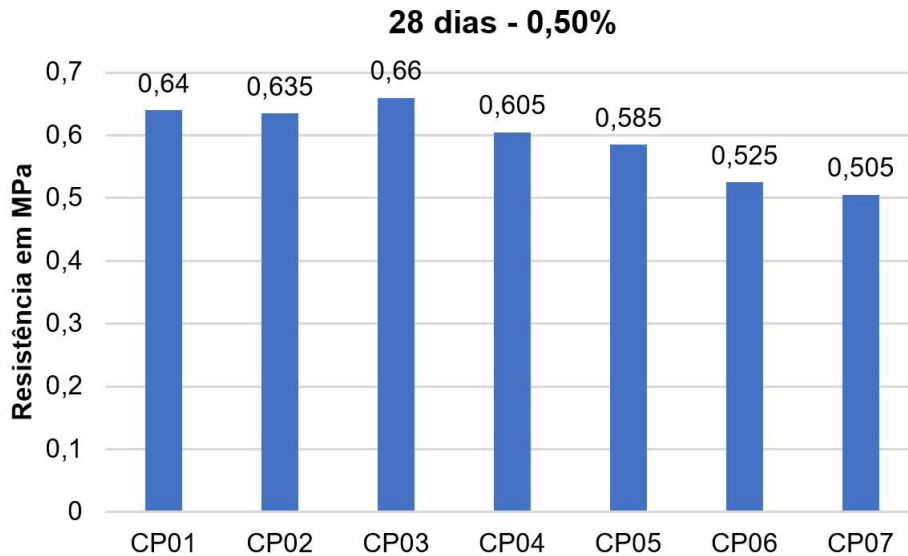
Fonte: Autoria própria, 2024.

Solo com Fibra e Coco

Para os blocos de solo-cimento e fibra foram preparadas 7 blocos nas dimensões de 20x10x5cm para cada porcentagem de fibra totalizando 21 blocos para cada tempo de cura analisado. As amostras foram preparadas com 800g de solo, 9% de cimento e 29% de água destilada, onde variação era na porcentagem de fibra de coco adicionada.

Para os resultados dos blocos de solocimento moldados aos 28 dias e com porcentagem de fibra de 0,50%, observa-se no gráfico 4 que, em relação à resistência à compressão simples, os blocos tiveram resistência compressão até 0,64 Mpa.

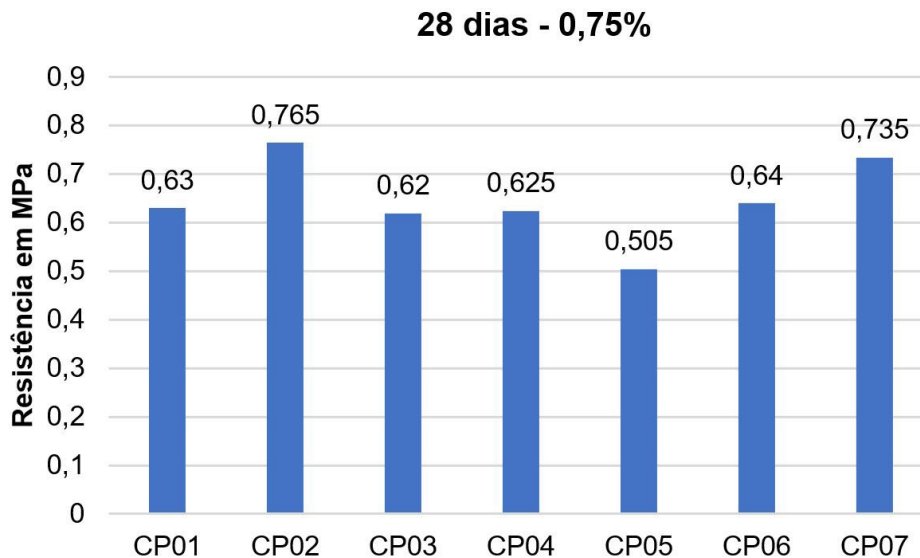
Gráfico 4 - Resistência compressão 28 dias 0,50% fibra de coco.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para a porcentagem de 0,75 % aos 28 dias de cura, observou – se um aumento na resistência a compressão quando aumentado o teor de fibra ao traço, variando entre 0,505 e 0,765 Mpa, conforme apresentado no gráfico 5.

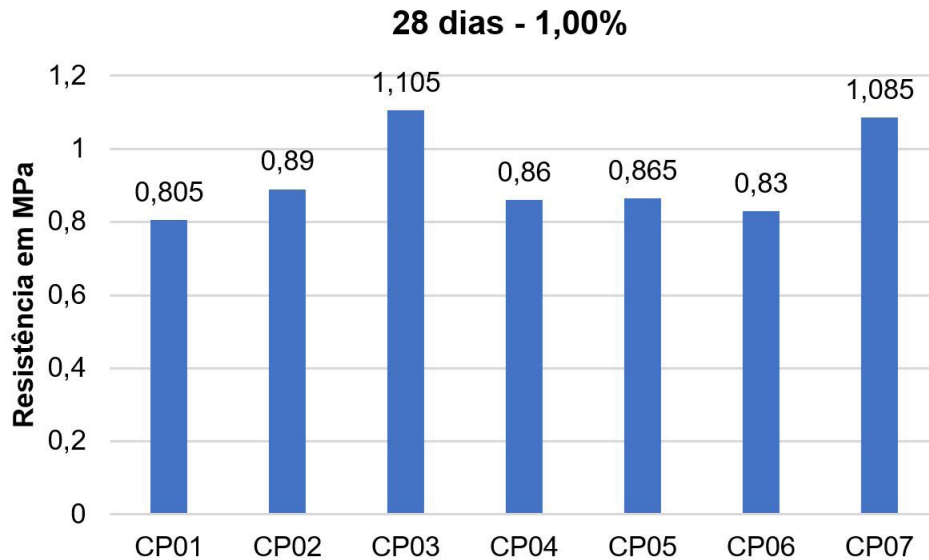
Gráfico 5 - Resistência compressão 28 dias 0,75% fibra de coco.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Como pode – se observar no gráfico 6 no traço onde foi utilizado a porcentagem de 1% de fibra de coco, observou – se um aumento significativo dos valores de resistência a compressão chegando a 1,105 MPa.

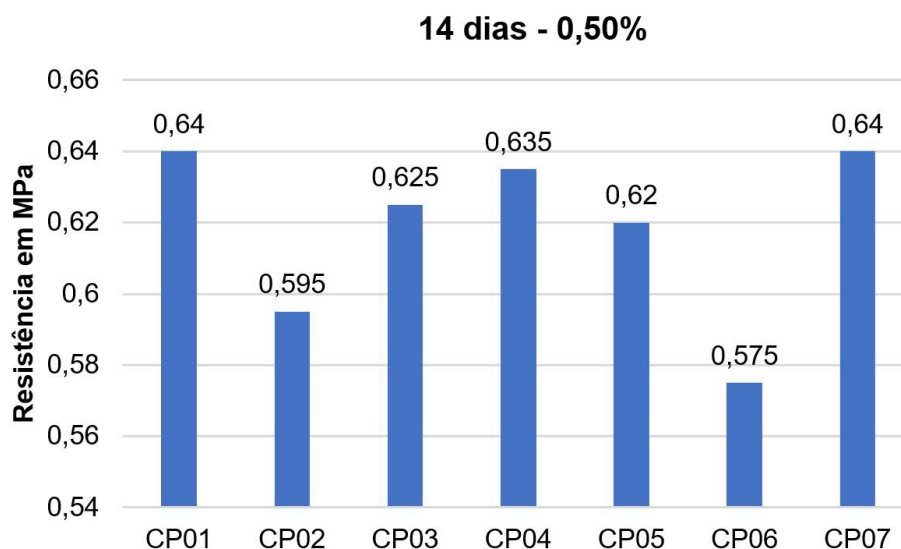
Gráfico 6 - Resistência compressão 28 dias 1,00 % fibra de coco.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para os blocos moldados com 14 dias de cura e teor de fibra de 0,50%, foram observadas variações na resistência à compressão. Contudo, os valores registrados mantiveram-se próximos aos obtidos nos blocos com 28 dias de cura, apresentando uma resistência comparável entre os dois períodos de análise, conforme gráfico 7.

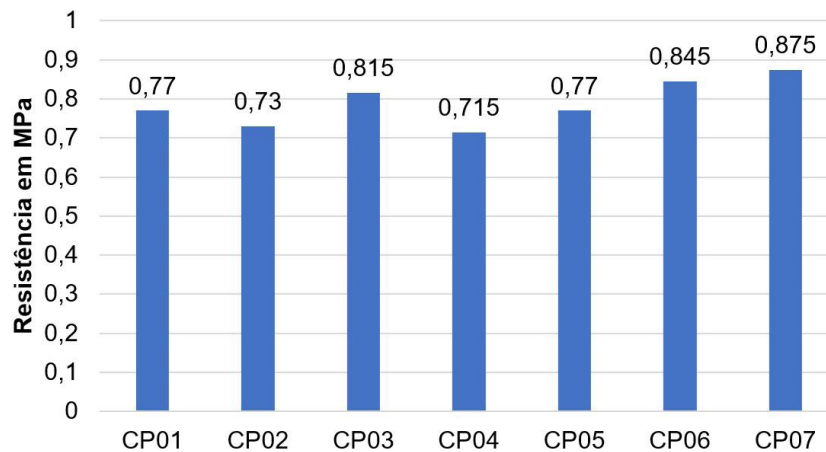
Gráfico 7 - Resistência compressão 14 dias 0,50 % fibra de coco.



FONTE: Autoria própria, 2024.

Com 0,75% de porcentagem de fibra a 14 dias houve um aumento significativo com relação ao teor de fibra de 0,50% como pode ser observado no gráfico abaixo.

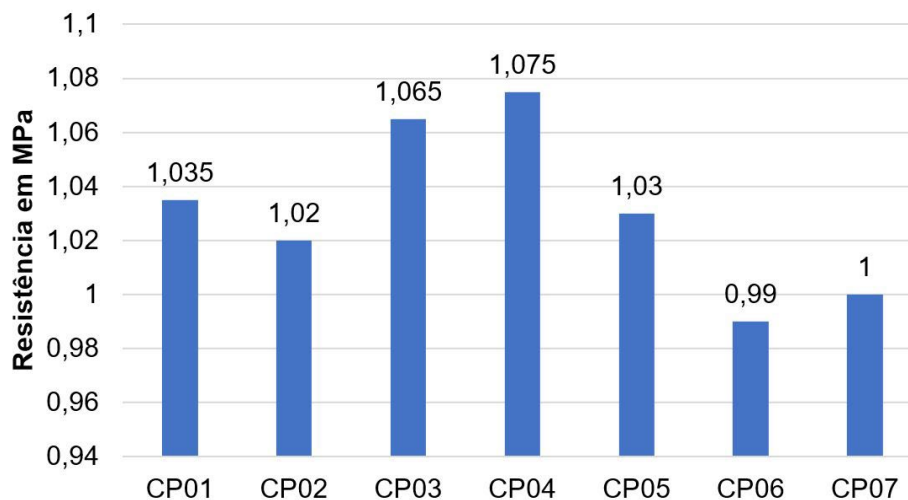
**Gráfico 8 - Resistência compressão 14 dias 0,75% fibra de coco.
14 dias - 0,75%**



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para 1,00% de fibra igualmente para o tempo de cura de 28 dias em 14 dias também se observou um aumento na resistência dos blocos de solo-cimento, conforme demonstra gráfico 9.

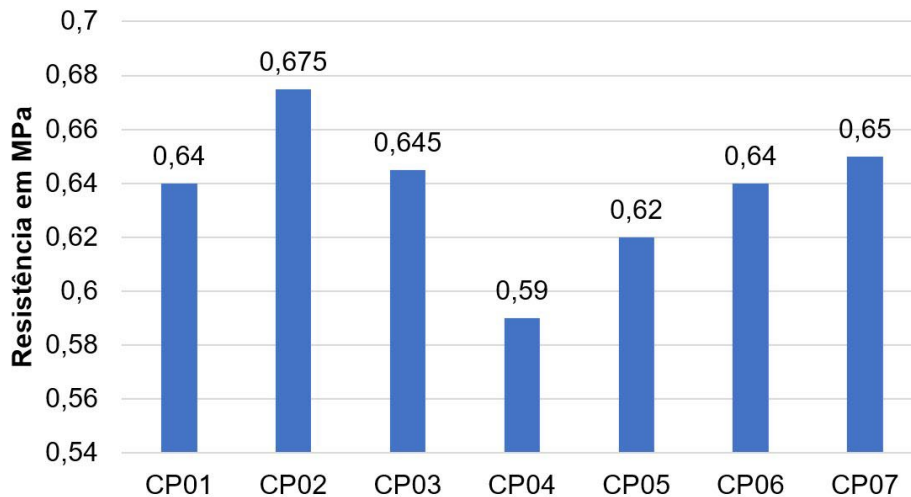
**Gráfico 9 - Resistência compressão 14 dias 1,00 % fibra de coco.
14 dias - 1,00%**



Fonte: Autoria própria, 2024.

Os resultados obtidos para 7 dias em relação ao tempo de cura de 14 dias, não tiveram mudança significativa demonstrando que houve uma estabilização em relação ao tempo de cura e a porcentagem de cura, nas resistências obtidas, conforme demonstra gráfico 10.

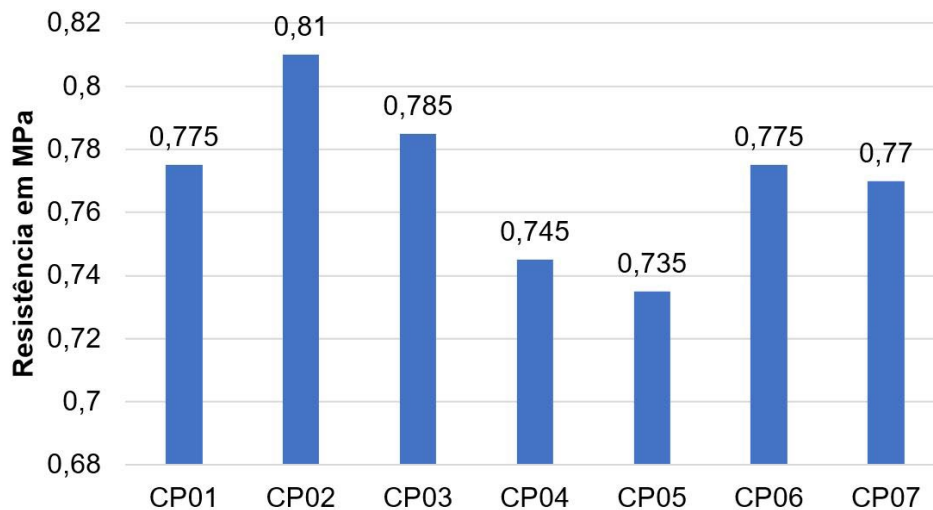
**Gráfico 10 - Resistência compressão 7 dias 0,50% fibra de coco.
7 dias - 0,50%**



Fonte: Autoria própria, 2024.

Para os demais teores de fibra de coco incorporados à mistura de solo-cimento, não foram observadas alterações significativas na resistência à compressão. Para o teor de 0,75%, os valores de resistência variaram entre 0,745 MPa e 0,81 MPa.

**Gráfico 11 - Resistência compressão 7 dias 0,75% fibra de coco.
7 dias - 0,75%**

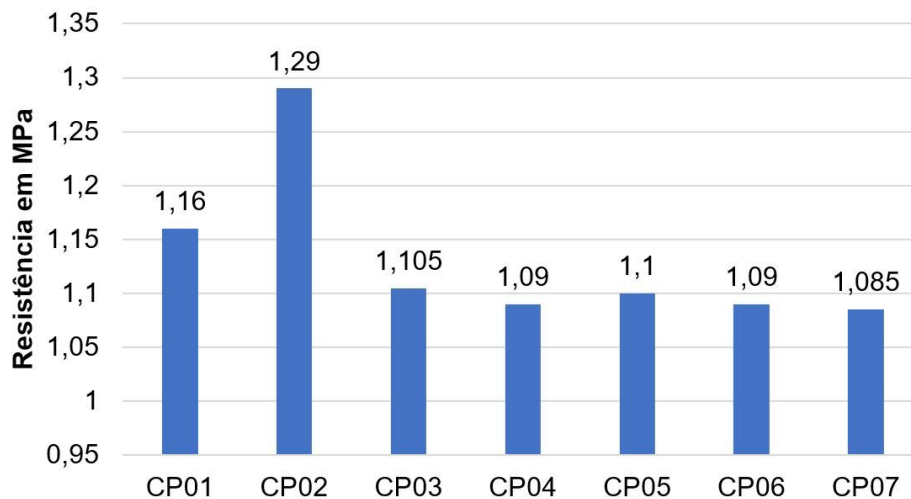


Fonte: Autoria própria, 2024.

Ainda no tempo de 7 dias de cura com 1,00% de fibra a variação da resistência ficou entre 1,09 e 1,29 mpa.

De acordo com Nascimento 2011, é de se esperar que quando adicionada a fibra de coco a mistura de solocimento os resultados de resistência a compressão simples ultrapassagem o valor de 1,75 MPa, conforme apresentado no gráfico 12.

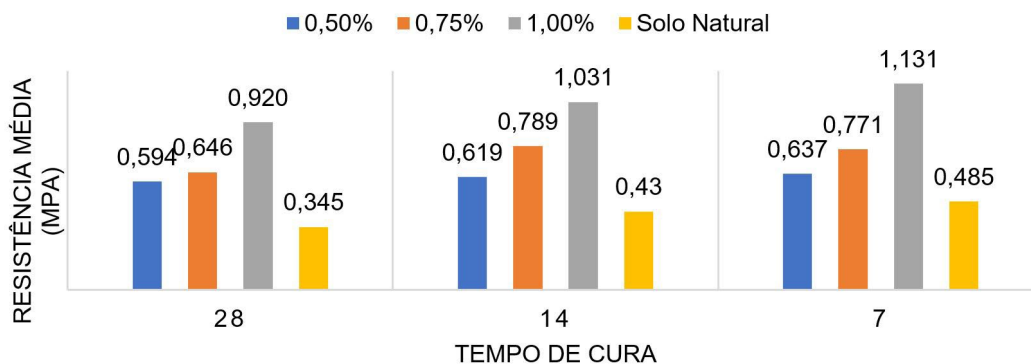
Gráfico 12 - Resistência compressão 7 dias 1,00 % fibra de coco.
7 dias - 1,00%



Fonte: Autoria própria, 2024.

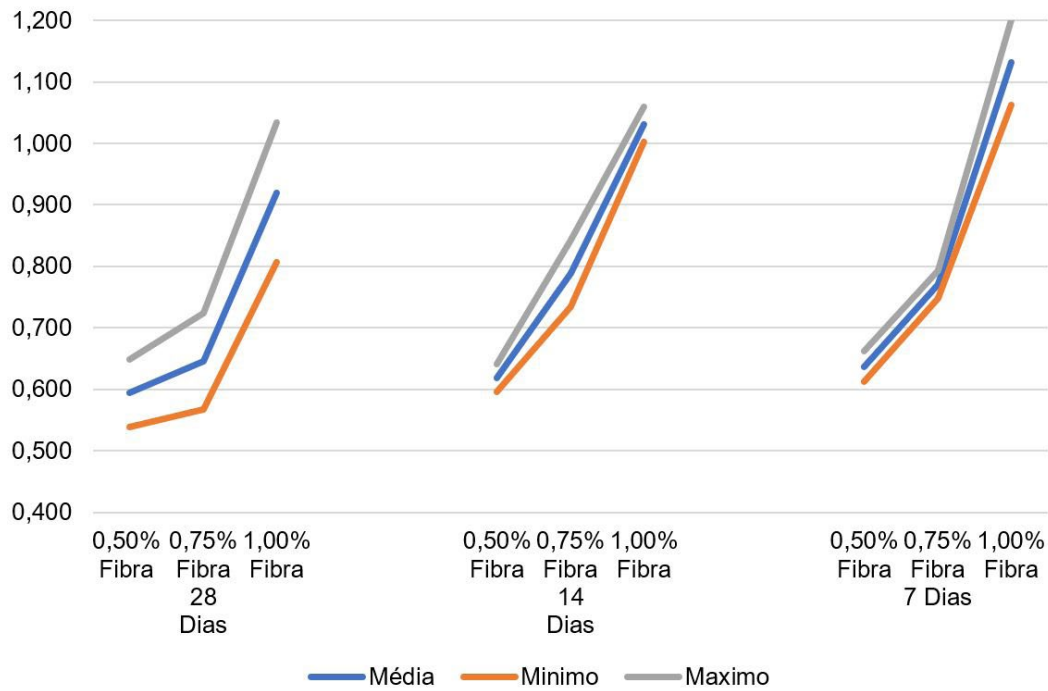
Ainda foi possível observar que o tempo de cura dos blocos não influenciou em sua resistência o que demonstra o gráfico abaixo, verificando – se que a resistência a compressão simples média se estabiliza em 14 dias de cura.

Gráfico 13 - Resistência média dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Contudo pode – se observar no gráfico 14, que a porcentagem de fibra de 0,50% para 28 dias em relação aos demais porcentagens, teve uma diferença significativa no momento na análise estática sendo descartada para fins de comparação estática.

Gráfico 14 - Limites estatísticos para solo.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Ensaio de Absorção de Água

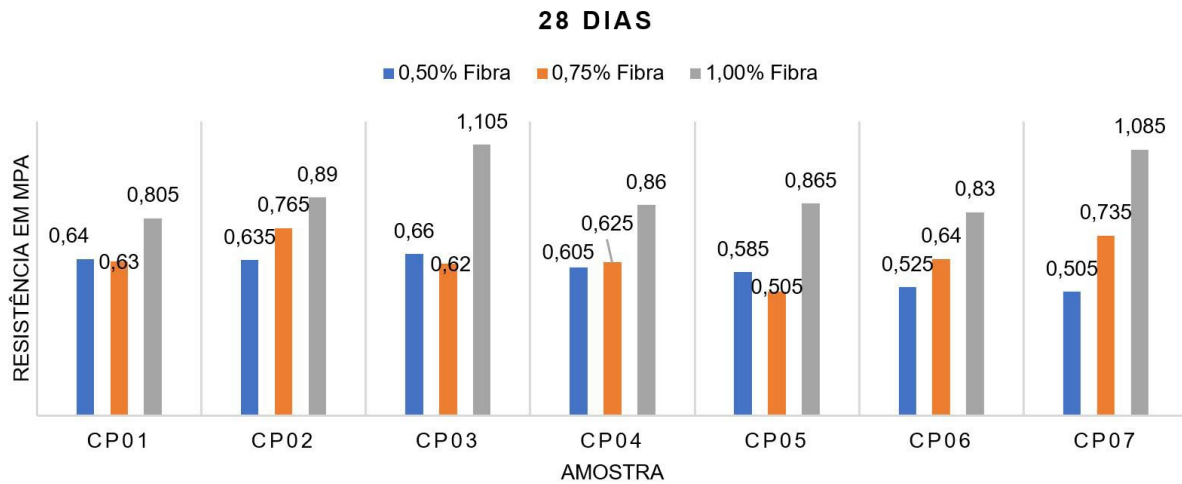
Em todos os blocos ensaiados não foi possível analisar a resistência a absorção de água devido a desintegração do bloco quando exposto a água, isso indica alguns fatores que podem ter ocorrido como o baixo teor de cimento, o tempo de cura, compactação ineficiente etc. Com isso não foi possível colocar o bloco submerso em água conforme preconiza os métodos desse ensaio segundo NBR 10836.

Ainda de acordo com a NBR 10836, o bloco de solocimento deve obter uma absorção de água maior ou igual a 20% com idade mínima de 7 dias de cura, sendo que no caso dos blocos de solocimento moldados não foi possível realizar o ensaio e conseqüentemente avaliar a absorção de água dos blocos moldados.

Análise dos Resultados

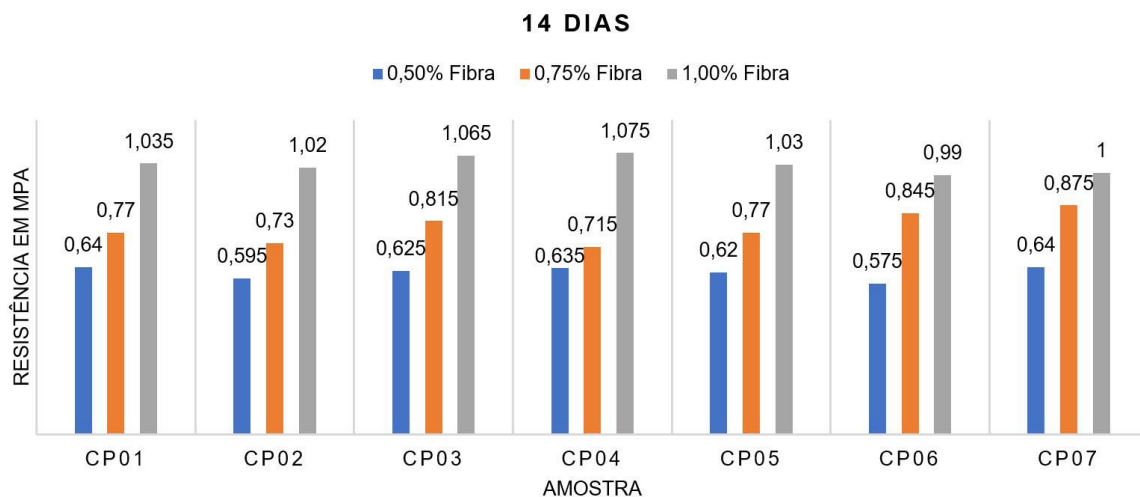
Na análise comparativa da resistência à compressão simples entre os blocos de solocimento moldados e curados por 14 dias em comparação com aqueles curados por 28 dias, observa-se que a diferença nos valores de resistência é pouco expressiva. Os resultados indicam que, embora o período de cura mais prolongado geralmente seja esperado para proporcionar um ganho significativo de resistência, essa tendência não foi marcante para os blocos avaliados.

No entanto, conforme apresenta gráfico 15 foi identificado um comportamento consistente, em que os blocos com maior teor de fibra apresentaram resistência à compressão superior. Em contraste, os blocos com teor de fibra de 0,50% e 0,75% demonstraram uma resistência média variando entre 0,505 MPa e 0,635 MPa, não atingindo, portanto, o valor mínimo estabelecido pela norma.

Gráfico 15 - Comparação de resistência a compressão com 28 dias.

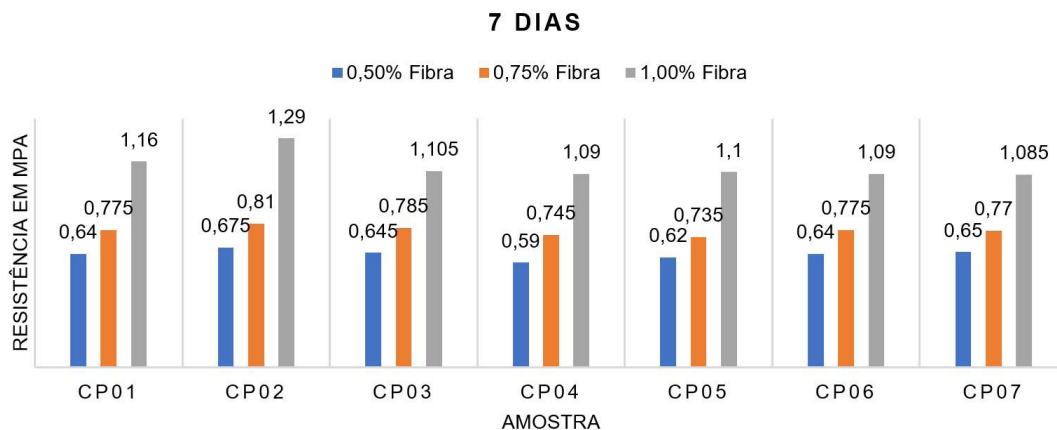
Fonte: Autoria própria, 2024.

Na análise comparativa dos moldados em 14 dias não observa – se uma grande diferença entre os blocos de solocimento com relação a compressão com os blocos de 28 dias, onde os blocos de porcentagem de 1% de fibra de coco resistiram a força de compressão simples com entre 0,99 e 1,075 Mpa, conforme apresenta gráfico 16.

Gráfico 16 - Comparação de resistência a compressão com 14 dias.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para os blocos de 7 dias conforme gráfico 17, observou – se que os mesmos possuíam equivalentemente os parâmetros aproximados do que os blocos de 14 dias, no que se refere a resistência a compressão, onde bloco com menor porcentagem de fibra apresentou valores entre 0,59 e 0,675 Mpa.

Gráfico 17 - Comparação de resistência a compressão com 7 dias.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Particularmente, os blocos com adição de 1% de fibra de coco apresentaram resistência à compressão simples variando entre 0,99 MPa e 1,075 MPa, tanto no período de 14 dias quanto em 28 dias. Esse comportamento sugere que a incorporação de fibras pode ter um efeito estabilizador na matriz de solocimento, permitindo que uma resistência adequada seja atingida mesmo em tempos de cura reduzidos.

No entanto, é importante ressaltar que, embora os blocos tenham mostrado desempenho similar em ambos os períodos de cura, os valores obtidos ainda precisam ser avaliados à luz das especificações normativas aplicáveis. A ligeira melhoria de resistência observada entre os 14 e 28 dias pode indicar um processo de hidratação não totalmente otimizado ou uma possível saturação do efeito de cura para os teores de fibra analisados.

Dessa forma, os resultados destacam a necessidade de estudos adicionais para investigar a influência de diferentes tempos de cura e teores de fibra, visando otimizar a formulação dos blocos para alcançar resistências superiores e conformidade com os requisitos técnicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar o efeito da incorporação de fibras de coco em diferentes proporções na resistência à compressão simples de blocos de solocimento, moldados e curados por períodos de 14 e 28 dias. Os resultados indicaram que a adição de fibras vegetais, especialmente de coco, pode influenciar positivamente o desempenho mecânico dos blocos de solocimento, embora essa influência varie em função do teor de fibras e do tempo de cura aplicados.

De maneira geral, os blocos contendo 1% de fibra de coco apresentaram um desempenho superior em termos de resistência à compressão, tanto aos 7, 14 quanto aos 28 dias de cura. Esses achados sugerem que a inclusão de fibras contribui para o aumento da resistência do bloco com relação ao bloco de solo natural e cimento, entretanto, a diferença entre as resistências obtidas nos dois períodos de cura foi pouco expressiva, indicando que a resistência dos blocos se estabilizou após 14 dias de cura.

Apesar da melhoria observada com a adição de fibras, os blocos testados não atingiram os requisitos mínimos de resistência à compressão estabelecidos pelas normas técnicas para uso em aplicações de vedação não estrutural. Este fato sugere que, embora o uso de fibras vegetais seja uma abordagem promissora para aprimorar determinadas propriedades mecânicas dos blocos de solocimento, são necessários ajustes na formulação, como a otimização do traço das amostras e melhoria do processo de prensagem do bloco.

Contudo os resultados obtidos nesta pesquisa contribuem para uma melhor compreensão do potencial das fibras naturais como agentes de reforço em materiais de construção sustentáveis, destacando a viabilidade do uso de resíduos agroindustriais na melhoria das propriedades de matrizes cimentícias. Como recomendações para estudos futuros, sugere-se explorar a utilização de outros tipos de fibras vegetais, além de investigar diferentes aditivos e técnicas de compactação, com o intuito de aumentar a resistência e a durabilidade dos blocos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland: Revisado por Arnaldo Forti Battagin e atendendo à nova norma de cimento ABNT NBR 16.697**. 10a ed. São Paulo - SP: ABCP, 2018, 40p.

ABO EL-NAGA, I.; ELSIRAGY, M. N.; RAGAB, M.. **Utilization of synthetic reinforcement for enhancement of oil-contaminated subgrade soil in highway pavement**. *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 5, no. 38, p. 1–10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00289-9>.

AFONSO, Rita de Cássia M. **Diretrizes para a Prática em Responsabilidade Socioambiental**. Rio de Janeiro: SERPRORJ, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **9604: Solo — Abertura de poço ou trincheira de inspeção, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento**. Rio de Janeiro: Abnt, 2024.

AMBIENTE, Ministério do Meio. **Informações Ambientais ODS/MMA**. 2018. Disponível <<http://www.mma.gov.br/informacoes-ambientais/informacoes-ambientais-ods-mma>>. Acesso em: 26 maio 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492: TIJOLO DE SOLO - CIMENTO - ANÁLISE DIMENSIONAL, DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA - METODO DE ENSAIO**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2013. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com a utilização da prensa manual ou hidráulica**. Rio de Janeiro, 2012.

ABDULLAH, Alida; JAMALUDIN, Shamsul Baharin; NOOR, Mazlee Mohd; HUSSIN, Kamarudin. **Composite Cement Reinforced Coconut Fiber: Physical and Mechanical Properties and Fracture Behavior**. 2011. School of Materials Engineering, Universiti Malaysia Perlis. Disponível na internet via: <https://www.researchgate.net/publication/250310862_Composite_Cement_Reinforced_Coconut_Fiber_Physical_and_Mechanical_Properties_and_Fracture_Behavior>. Acessado em 20 de maio de 2024.

BONIFÁCIO, Guilherme Alves. **Propriedades geotécnicas de um solo residual de basalto na região de Guarapuava-PR**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES - DNIT. **Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais**. 2013.

CABALA, G. V. E. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ESTRUTURAS DE SOLO-CIMENTO REFORÇADO COM FIBRAS DE COCO E HASTES DE BAMBU**. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/18332/1/GuilhermoVC.pdf>>. Acesso em: 20 maio. 2024.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC—Livros Técnicos e Científicos Editoria SA, 1988.

CASTRO, Vinicius Gomes de. Cimento Portland. **Compósitos Madeira-Cimento: um produto sustentável para o Futuro**, Mossoró, v. 1, n. 1, p. 13-21, jan. 2021. EdUFERSA. <http://dx.doi.org/10.7476/9786587108612.0002>.

CORDEIRO, Cristine Ribeiro ; MACHADO Vanessa Caires; *et al.* **SUSTENTABILIDADE NA FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO: ESTUDO COMPARATIVO COM BLOCOS CONVENCIONAIS**. 2017. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/140/3/tcc_Cristine%20Cordeiro_Vanessa%20Machado.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006. 278 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7941980/mod_resource/content/1/Manual%20de%20Pavimenta%C3%A7%C3%A3o%20-%20DNIT%20%282006%29.pdf. Acesso em: 21 abr. 2024.

FLORESTAS. **Como se estudam e classificam os horizontes ou camadas do solo?** 2024. Disponível em: <https://florestas.pt/saiba-mais/como-se-estudam-e-classificam-os-horizontes-ou-camadas-do-solo/>. Acesso em: 18 maio 2024.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. 1.ed. São Paulo: PINI, 2008. 179 p.

ISHIZAKI, Marina H., **Caracterização Mecânica e Morfológica de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Coco Verde: Influência do Teor de Fibra e das Condições de Mistura**. Disponível em: <https://www.scielo.br/jj/po/a/TctNmXY7Y64S3f3jHQMnKwf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 maio 2024.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

Lima, R. C. O. (2010). **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo - cimento incorporados com resíduo de granito**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil. https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFCG_7479e2d2fa878d8be79185877ebde2 e.

LIMA, Uedja Tatyane Guimarães Medeiros. **USO DA FIBRA DO RESÍDUO DE COCO VERDE NA PRODUÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS**. 2020. 87 f. Tese (Mestrado) - Curso de Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2020.

MOTTA, J. C. S. S. *et al.* **Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Revista e-xacta, Belo Horizonte, v.7, n.1, p. 13-26, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1038/665>> Acesso em: 01 maio 2024.

NASCIMENTO, Claudio Mario. **Estudo da Fibra de coco como reforço em tijolo de solocimento**. 2011. 87 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15675/1/ClaudioMN_DISSERT.pdf. Acesso em: 15 nov. 2024.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 5ed. São Paulo: Bookman, 2016. 841.p.

NEVES, I. C.; COTA, K. G.; CABRAL, S. C. .; OLIVEIRA, I. A. K. M. de. Feasibility analysis of insertion of Coconut Fiber in Soil-Cement . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e22311225549, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i2.25549. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25549>. Acesso em: 2 de maio de 2024.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acesso em: 2 de maio de 2024.

NETO, F. *et al.* **Possíveis formas de aproveitamento dos resíduos oriundos do coco (Cocos nucifera L.)**. Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2, 2010, Bento Gonçalves. Anais. Rio Grande do sul, 2010.

NOGUEIRA, Francisca Rosiane; FARIAS, Moisés Rocha; PINHEIRO, Antonio Auriseu Nogueira. **Técnica adobe e adição da fibra de coco como alternativa de construção sustentável**. In: 7º CONGRESSO FLUMINENSE DE INICIAÇÃO

CIENTÍFICA E TECNOLOGIA, Campos dos Goytacazes, 7, Campos dos Goytacazes, 2016. Disponível em: < <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/confict/article/view/9168/6789>>. Acesso em: 8 de maio de 2024.

PAZ, E. C. S.; OLIVEIRA, R. L. A.; PEDROZA, M. M.; PAZ, R. R. S.; SILVA, E. M.; SANTOS, M. L. G. **Estudo dos produtos da pirólise e potencial energético da fibra de coco da baía**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 2018

Pinto, L. M. (2015). **Estudo de tijolos de solo-cimento com adição de resíduo de construção civil**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

SANTOS, I. S. *et al.* Reforço de solo erodível com utilização de fibras: Uma revisão sistemática da literatura. **Conjecturas**, v. 22, n. 6, p. 288–304, 1 jun. 2022.

Souza, M. I. B. de. (2006). **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

Veloso, Y. M. S. da, Souza, I. E. S., Santos, J. V. dos, & Leite, M. S. (2013). **Reutilização da fibra da casca do coco verde para a produção de matéria prima industrial**. Revista O caderno de graduação das ciências exatas e tecnológicas – CGCET, 1 (17), 91-98.

VENNAMANENI, Sruthi; AKETI, Nookapati Raju; PAISA, Sravanthi. Reduction in Pavement Thickness by Using Geogrid. **International Journal Of Engineering & Technology**, Telangana, v. 3, n. 7, p. 17-20, 20 jul. 2018.

VIEIRA, L. S. **Manual Da Ciência Do Solo: COM ÊNFASE AOS SOLOS TROPICAIS**. 2. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1988. 464 p.

VILELA, Alan Pereira. **Tijolo Solo - Cimento Reforçado com Partículas Vegetais e Resíduos de Mineração**. 2019. 94 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Biomateriais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/39015/2/TESE_Tijolo%20solo-cimento%20refor%C3%A7ado%20com%20part%C3%ADculas%20vegetais%20e%20res%C3%ADduo%20de%20minera%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 20 abr. 2024.

VOTORANTIN CIMENTOS. 2017. Disponível em: <https://www.votorantincimentos.com.br/produtos/cimentos/>. Acesso em: 2 de maio de 2024.

Análise da Performance Mecânica do Concreto Convencional e com Adições de Fibra de Pet sob a Influência de Variações Térmicas: Estudo sobre Condições Extremas de Temperatura

Analysis of the Mechanical Performance of Conventional Concrete and Concrete with PET Fiber Additions under the Influence of Thermal Variations: A Study on Extreme Temperature Conditions

Jean Emerson Thoele Schuster
Eduardo Damin

Faculdade Educacional de Medianeira

RESUMO

O concreto é amplamente utilizado na construção civil devido à sua alta resistência e durabilidade. Contudo, quando submetido a altas temperaturas, como em incêndios, sofre alterações significativas, incluindo fissuras, spalling e perda de resistência mecânica. A adição de fibras, especialmente de PET reciclado, tem se mostrado uma solução eficaz para mitigar esses danos. Durante o aquecimento, as fibras de PET derretem, criando microcanais que facilitam a dissipação do vapor interno, reduzindo a pressão e prevenindo falhas estruturais. Este trabalho analisou concretos com diferentes teores de fibras de PET submetidos a temperaturas de até 1000°C, observando que a presença de fibras melhorou a resistência residual à tração e compressão, além de minimizar o spalling. Estudos apontaram que o concreto com fibras apresenta melhor desempenho tér-



mico e maior durabilidade, crucial para a segurança estrutural. Além disso, a incorporação de fibras de PET contribui para a sustentabilidade ao reciclar resíduos plásticos e reduzir a pegada ambiental. A pesquisa reforça a importância de soluções inovadoras na engenharia civil para criar estruturas mais resilientes e ecologicamente responsáveis, promovendo a longevidade e a integridade das edificações.

Palavras-chave: concreto; temperatura; fibras de PET; incêndios.

ABSTRACT

Concrete is widely used in civil construction due to its high strength and durability. However, when exposed to high temperatures, such as in fires, it undergoes significant changes, including cracks, spalling, and loss of mechanical strength. The addition of fibers, especially recycled PET fibers, has proven to be an effective solution to mitigate these damages. During heating, PET fibers melt, creating microchannels that facilitate the dissipation of internal vapor pressure, reducing stress and preventing structural failures. This study analyzed concrete with different PET fiber contents subjected to temperatures up to 1000°C, noting that the presence of fibers improved residual tensile and compressive strength and minimized spalling. Studies showed that fiber-reinforced concrete has better thermal performance and increased durability, essential for structural safety. Furthermore, incorporating PET fibers promotes sustainability by recycling plastic waste and reducing the environmental footprint. The research emphasizes the importance of innovative solutions in civil engineering to create more resilient and environmentally responsible structures, promoting the longevity and integrity of buildings.

Keywords: concrete; temperature; PET fibers; fires.

INTRODUÇÃO

O concreto é amplamente utilizado na construção civil por sua durabilidade e resistência, mas sua microestrutura pode sofrer degradações que afetam as propriedades mecânicas e a elasticidade ao longo do tempo, especialmente quando submetido a altas temperaturas (Mehta e Monteiro, 2001). Durante incêndios, o concreto pode apresentar deslocamento (spalling), reduzindo sua resistência estrutural (Medeiros, 2022).

O uso de fibras como reforço no concreto remonta à antiguidade e, atualmente, fibras metálicas e poliméricas são utilizadas para melhorar a resistência à tração, controlar fissuras e reduzir o deslocamento em altas temperaturas (Zanotelli *et al.*, 2013). A estabilidade térmica do concreto depende de fatores como a microestrutura da pasta de cimento e as propriedades dos agregados, que podem sofrer fraturas e derretimento em temperaturas acima de 1000 °C (Fernandes *et al.*, 2018).

Pesquisas recentes analisam o comportamento do concreto em incêndios, avaliando a influência das fibras na resistência mecânica e nas mudanças microestruturais, com o objetivo de aumentar a segurança e a durabilidade das estruturas em condições extremas (Silva; Pereira; Nascimento, 2020).

REFERENCIAL TEÓRICO

Propriedades Mecânicas e Vantagens em Altas Temperaturas

Meneses (2011) afirma que as fibras de PET, ao derreterem em temperaturas elevadas, criam canais capilares no concreto, facilitando a liberação de vapor e reduzindo a pressão interna, minimizando o risco de fissuras e spalling. Antes de atingir o ponto de fusão, essas fibras também reforçam a resistência à tração e flexão do concreto, contribuindo para maior tenacidade e durabilidade em situações de incêndio. Sousa *et al.* (2020) complementam, destacando que a inclusão dessas fibras melhora a resistência ao impacto, essencial em condições térmicas extremas.

Trabalhabilidade e Coesão

Severo e Silva (2023) observaram que a substituição parcial de agregado miúdo por PET não causou alterações significativas nas propriedades mecânicas, mas aumentou a trabalhabilidade e a coesão do concreto. Além disso, os concretos com fibras demonstraram maior ductilidade e melhor comportamento pós-fissuramento, garantindo maior resistência à carga após a falha inicial.

Resistência à Compressão

De acordo com Dias *et al.* (2009), o concreto mantém suas propriedades mecânicas até 400°C, mas apresenta uma redução de até 92% na resistência a 800°C. Araujo (2020) verificou que concretos de escória ativada apresentam maior resistência residual em temperaturas acima de 600°C, com menor variação de resistência em relação aos concretos de cimento Portland, devido à menor influência da relação água/ligante.

Impacto do Resfriamento

Dias *et al.* (2009) concluíram que o modo de resfriamento, seja natural ou abrupto, tem impacto marginal na resistência remanescente do concreto, com diferenças estatisticamente insignificantes entre os métodos.

Spalling

Dias *et al.* (2009) apontam que as fibras de polipropileno previnem o spalling em temperaturas até 600°C, mas em 800°C esse fenômeno foi observado, embora com menor intensidade. Araujo (2020) relatou que concretos de escória ativada não apresentaram spalling, mas exibiram alterações na coloração e microfissuras superficiais, indicando bom desempenho térmico.

Coloração do Concreto

Segundo Araujo (2020), concretos de escória ativada adquirem coloração rosada na superfície em altas temperaturas, enquanto o interior mantém tonalidade esverdeada. Concretos de cimento Portland, por sua vez, apresentaram microfissuras radiais em 600°C, demonstrando comportamento térmico distinto.

Resfriamento do Concreto

Leal (2023) destacou que concretos resfriados lentamente após aquecimento apresentam propriedades mais consistentes, enquanto Kirchhof (2010) alertou que o rápido aumento de temperatura pode induzir fissuras, fraturas e spalling explosivo.

Influência dos Agregados

Fernandes *et al.* (2017) enfatizaram que o tipo de agregado afeta a estabilidade térmica e a resistência residual do concreto. Agregados silicosos sofrem expansão volumétrica a 573°C, enquanto agregados carbonáticos tornam-se instáveis acima de 700°C. Já os agregados basálticos apresentam maior estabilidade, mas derretem a partir de 1000°C.

MATERIAL

Descrição dos Materiais Utilizados: O estudo tem como foco a análise das resistências do concreto com fibras de PET após exposição a altas temperaturas.

- **Traço do concreto:** 1:2,30:2,70 – 0,47, conforme Leite (2018).

Cimento: CP II-Z.

- **Agregado miúdo:** Areia do Rio Paraná, com diâmetro máximo de 4,8 mm.
- **Agregado graúdo:** Brita 0, diâmetro máximo de 12 mm, origem em rocha basáltica de Matelândia-PR.
- **Água:** Fornecida pela rede Sanepar.
- **Fibras de PET:** Obtidas de garrafas plásticas de polietileno tereftalato.

Composições dos Corpos de Prova

- Concreto convencional (testemunha).
- Concreto com 5% de fibras de PET, conforme Costa (2019) e Leite (2018).

Métodos

Preparação dos Materiais

- **Peneiramento:** Separação dos agregados em frações específicas.
- **Preparação das fibras:** As fibras são obtidas de cerdas de vassouras de PET

Dosagem e Mistura do Concreto

- Umedecimento da betoneira.
- Adição de 50% da água, brita, cimento e areia, na sequência.
- Inclusão das fibras de PET após a homogeneização dos outros materiais.

Ensaio e Amostra: Conforme tabelas 1 e 2, serão produzidos 5 corpos de prova para cada variação de temperatura e tipo de ensaio.

Tabela 1 - Número de Corpos de Prova (Tração).

Ensaio à Tração	Sem Queimar	500°C	750°C	1000°C	Total
Sem Adição	5	5	5	5	20
Com Adição	5	5	5	5	20
Total	10	10	10	10	40

Fonte: Adaptado de Meneses, 2011.

Tabela 2 - Número de Corpos de Prova (Compressão).

Ensaio à Compressão	Sem Queimar	500°C	750°C	1000°C	Total
Sem Adição	5	5	5	5	20
Com Adição	5	5	5	5	20
Total	10	10	10	10	40

Fonte: Adaptado de Meneses, 2011.

Ensaio de Consistência: O abatimento será realizado conforme a NBR NM 67, com resultados esperados entre 100 e 120 mm (Meneses, 2011).

Cura dos Corpos de Prova

- **Cura úmida:** 24 horas com o molde.
- **Cura submersa:** 28 dias após desmoldagem (Leite, 2018).

Exposição a Altas Temperaturas

- Aquecimento na mufla até 500°C, 750°C e 1000°C, mantendo os corpos de prova por 30 minutos.
- Resfriamento natural até atingir a temperatura ambiente.

Ensaio Realizados

- **Resistência à Compressão:** Conforme NBR 5739.
- **Tração por Compressão Diametral:** Seguindo a NBR 7222.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise proposta visa comparar o desempenho do concreto convencional e do concreto reforçado com fibras de Polietileno Tereftalato, utilizando resultados obtidos após o aquecimento dos corpos de prova a diferentes temperaturas. Os dados coletados poderão ser aplicados no desenvolvimento de materiais mais resistentes a altas temperaturas, com potencial uso em estruturas sujeitas a incêndios e condições térmicas extremas. Os resultados estão organizados de acordo com a presença ou ausência de fibras e as temperaturas aplicadas, permitindo identificar o impacto direto das fibras na resistência mecânica e no comportamento térmico do material.

Resistência à Tração

Nos resultados apresentados, observa-se que a resistência à tração diminui significativamente com o aumento da temperatura, em conformidade com Souza e Moreno Junior (2010), que evidenciaram uma redução de até 70% na resistência a 600°C devido à desidratação do gel e ao aumento da microfissuração.

A resistência à tração por compressão diametral apresentou redução acentuada, especialmente em altas temperaturas. Para o concreto convencional, a resistência inicial de 1,63 MPa reduziu-se para 0,41 MPa a 1000°C, evidenciando a perda de capacidade mecânica em função da degradação térmica. Já no concreto reforçado com fibras de PET, observou-se uma redução de 1,49 MPa para 0,39 MPa na mesma faixa de temperatura, demonstrando desempenho levemente superior em comparação ao concreto sem fibras. Esses resultados corroboram Dias (2023), que constatou que a adição de fibras contribui para melhorar a resistência residual do concreto devido à formação de microcanais internos que auxiliam na dissipação de vapor e mitigam tensões internas causadas pela pressão térmica.

Os achados de Souza *et al.* (2012) também confirmam reduções de até 73% na resistência residual de concretos submetidos a altas temperaturas. Eles destacam que concretos de alta resistência apresentam maior suscetibilidade à degradação térmica devido à baixa porosidade, intensificando o fenômeno do *spalling*. A adição de fibras se mostra uma estratégia eficaz para mitigar tais impactos negativos.

Resistência à Compressão

Os resultados para resistência à compressão mostraram quedas acentuadas acima de 500°C, comportamento alinhado ao estudo de Souza e Moreno Junior (2010), que reportaram redução de 24% na resistência a 300°C em concretos resfriados lentamente.

Mehta e Monteiro (2014) afirmam que a perda de resistência mecânica em concretos submetidos a altas temperaturas ocorre principalmente após 300°C, devido à desidratação e microfissuração na matriz cimentícia. Esse padrão é consistente com as reduções observadas na resistência tanto à tração quanto à compressão.

A pesquisa de Meneses (2011) revelou que a adição de fibras de PET ajuda a reduzir o risco de colapso devido à formação de canais que dissipam a pressão de vapor, mitigando danos estruturais.

Spalling

O fenômeno do *spalling*, caracterizado pelo lascamento e fragmentação do concreto devido à rápida expansão térmica e à pressão de vapor, foi observado nos corpos de prova de concreto convencional submetidos a altas temperaturas. Esse comportamento compromete a integridade estrutural do material e aumenta os riscos de colapso.

Nos concretos reforçados com fibras de PET, o fenômeno não foi registrado, corroborando estudos como o de Meneses (2011), que destacam que as fibras criam canais internos que facilitam a dissipação do vapor, reduzindo a pressão interna e prevenindo

o *spalling*. Durante os ensaios, corpos de prova de concreto convencional apresentaram explosões em altas temperaturas, enquanto os reforçados com fibras de PET não registraram tal comportamento.

Segundo Marczuk (2021), a presença de fibras facilita a liberação de vapor, reduzindo a pressão interna em condições de altas temperaturas. Isso preserva a integridade estrutural e minimiza danos associados a esforços térmicos extremos.

Fragmentação do Corpo de Prova

A adição de fibras de PET demonstrou benefícios na redução da fragmentação dos corpos de prova durante ensaios de compressão e tração. As fibras atuam como reforço interno, aumentando a coesão da matriz cimentícia e limitando a propagação de fissuras.

Estudos indicam que o uso de fibras melhora a resistência à tração e à compressão do concreto, além de aumentar sua tenacidade, contribuindo para a manutenção da integridade durante os ensaios (Marczuk, 2021).

No estudo de Meneses (2010), os corpos de prova sem fibras apresentaram significativa fragmentação sob altas temperaturas, enquanto os reforçados com PET demonstraram maior integridade estrutural. Pinto, Silva e Panizzon (2021) também observaram redução de danos com a adição de 0,5% de fibras, reforçando o potencial do PET para melhorar o desempenho térmico do concreto.

Dessa forma, a adição de fibras de PET ao concreto se mostra uma estratégia eficaz para mitigar fragmentações e melhorar o desempenho sob condições extremas.

REFERÊNCIAS

FIGUEIREDO, A. D.; COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **O fenômeno do lascamento (spalling) nas estruturas de concreto armado submetidas a incêndio – uma revisão crítica**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carla-Costa/publication/340681367_O_fenomeno_do_lascamento_spalling_nas_estruturas_de_concreto_armado_submetidas_a_incendio_-_uma_revisao_critica/links/5e98bb8b299bf13079a1bf40/O-fenomeno-do-lascamento-spalling-nas-estruturas-de-concreto-armado-submetidas-a-incendio-uma-revisao-critica.pdf. Acesso em: 18 nov. 2024.

DIAS, A. R. DE O. *et al.* **Comportamento do concreto submetido a elevadas temperaturas**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/bjQ4HkHBWbMjYtDsYkfwXn/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 5 mar. 2024.

DIAS, D. M. **Concreto reforçado com fibras poliméricas submetido a temperaturas elevadas**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/23fff04d-e451-4a3c-b2bd-4beabe27e7cc/content>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FERNANDES, B. *et al.* **Microstructure of concrete subjected to elevated temperatures: physico-chemical changes and analysis techniques**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/Fn8Q7Vqx6rDYRNJMPNTwMwk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 jun. 2024.

FERNANDES, R. M.; SOUSA, R. M.; GOMES, M. C. **Comportamento do concreto submetido a altas temperaturas: avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais**. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 11, n. 2, p. 358-375, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/Fn8Q7Vqx6rDYRNJMPNTwMwk/?format=pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

- KIRCHHOF, L. D. **Estudo teórico-experimental da influência do teor de umidade no fenômeno de spalling explosivo em concretos expostos a elevadas temperaturas.** 2010. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/32002>>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- LEAL, C. E. F. **Alvenaria Estrutural com Blocos de Concreto: Propriedades Mecânicas Residuais de Argamassas, Grautes e Prismas Submetidos a Altas Temperaturas.** Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18898>>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- LEITE, A. **Avaliação do uso da Macrofibra Polimérica na Composição de Concreto para Fins Estruturais.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-23042018-094235/publico/ME2018_AlexMacedoLeite.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- MARCZUK, R. S. **Influência de fibras de PET reciclado no desempenho de concretos submetidos a altas temperaturas.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), Volta Redonda, 2021. Disponível em: https://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/romulo-marczuk.pdf. Acesso em: 24 nov. 2024.
- MEDEIROS, W. A. **Comportamento de Blocos Estruturais de Concreto com Diferentes Agregados sob Altas Temperaturas.** Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/17022/Tese_MedeirosWA.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- MENESES, I. A. **Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Ilzenete Andrade Meneses Avaliação de Concreto com Adição de Fibras de Pet Submetido a Altas Temperaturas.** Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/14837/1/IlzeneteAM_DISSERT.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials.** 4. ed. **New York: McGraw-Hill Education,** 2001. Disponível em: https://www.academia.edu/97072207/Concrete_Microstructure_Properties_and_Materials. Acesso em: 18 nov. 2024.
- PINTO, Bruna Aline de Farias; SILVA, Rogério Teixeira da; PANIZZON, Diego Leonardo. **Concreto de alta resistência com adição de fibras de PET submetido a altas temperaturas.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 17688-17700, fev. 2021. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/39836/pdf>. Acesso em: 24 nov. 2024.
- SEVERO, A. C.; SILVA, L. P. **Análise das Propriedades Físicas do Concreto não Estrutural em Misturas Utilizando Resíduos de Vidro e Pet Analyse of the Physical Properties of Non-Structural Concrete in Mixes Utilizing Glass and Pet Waste.** Disponível em: <<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/6933/1/TCC2%20Anna%20e%20Lethicia.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- SOUSA, J. M. S. R. DE *et al.* **Engenharia no Século XXI Volume 18: Concreto reforçado com fibras alternativas: Análise das resistências a flexão e compressão.** Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net>. Acesso em: 30 jun. 2024.
- SOUZA, A. A. A.; MORENO JUNIOR, A. L. **Efeito de altas temperaturas na resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação do concreto.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, Campinas, v. 3, n. 4, p. 432-448, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/riem/a/htN94MsbYhd7T3mq9JB8PCn/>. Acesso em: 19 nov. 2024.
- SOUZA, L. A. de A.; SILVA FILHO, L. C. P. da; SILVA, W. G. da; PEREIRA, F. F. de A. **Resistência e spalling do concreto sob condições de altas temperaturas.** IBRACON, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283795882_Resistencia_e_spalling_do_concreto_sob_condicoes_de_altas_temperaturas. Acesso em: 20 nov. 2024.

Processamento de Material Cerâmico Extraído do Interior de Pernambuco

Processing of Ceramic Material Extracted from the Interior of Pernambuco

Lucas Tomaz Vila Nova
Luan Vinícius Neves de Souza
Niraldo Mateus Medeiros Melo
Adilson José Felipe Neres Filho
Ricardo Barbosa de Lucena Junior
Arthur Nascimento de Melo
Maria Clara Carvalho Gusmão
Ana Beatriz da Silva Santos
Joyce Maria Batista Barbosa de Arruda
Brenda Natália Vieira Marcolino

RESUMO

Os materiais cerâmicos possuem um papel importante em diversos setores industriais, desde a construção civil até a indústria automotiva. Neste estudo, foi feita uma análise aprofundada do processamento cerâmico de uma matéria-prima denominada Jussarite. A pesquisa envolveu a avaliação da amostra em diferentes estágios, tanto antes como após o processo de queima. Foram consideradas etapas como trituração, prensagem e queima, incluindo a análise das dimensões das amostras, como espessuras e diâmetros. Os resultados revelaram uma redução notável nas dimensões após a queima, resultante do fenômeno conhecido como retração linear, característico dos materiais cerâmicos. Além disso, diversos cálculos foram realizados para determinar a absorção de água, densidade aparente e porosidade aparente, destacando variações nas propriedades entre as diferentes amostras. A compreensão dessas alterações físicas ao longo do processo de queima enriquece a compreensão dos materiais cerâmicos, tendo implicações significativas para sua aplicação diversificada em múltiplas indústrias.

Palavras-chave: jussarite, retração linear; materiais cerâmicos.



ABSTRACT

Ceramic materials play an important role in several industrial sectors, from civil construction to the automotive industry. In this study, an in-depth analysis of the ceramic processing of a raw material called Jussarite was carried out. The research involved evaluating the sample at different stages, both before and after the firing process. Steps such as crushing, pressing and burning were considered, including the analysis of sample dimensions, such as thickness and diameter. The results revealed a remarkable reduction in dimensions after firing, resulting from the phenomenon known as linear shrinkage, characteristic of ceramic materials. In addition, several calculations were performed to determine water absorption, apparent density and apparent porosity, highlighting variations in properties between different samples. Understanding these physical changes throughout the firing process enriches the understanding of ceramic materials, having significant implications for their diversified application in multiple industries.

Keywords: jussarite, linear retraction; ceramic materials.

INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos são intensivamente utilizados em diversos âmbitos como na indústria de construção civil, automobilística, eletrônica, aeroespacial e aeronáutica desde aplicações mais simples, como tijolos, telhas, componentes estruturais, pisos e blocos de vedação até as mais complexas como componentes elétricos de computadores, peças de motor e em fornos. No Brasil, o faturamento anual na construção civil é de aproximadamente 18 bilhões de reais por ano, representando 4,8%¹ com produção dividida em 5437 empresas espalhadas pelo território nacional, gerando 1,2 milhões de empregos diretos e indiretos^{1,2}. No ano de 2021 foi possível contabilizar entre materiais não-refratários fabricados para uso estrutural na construção civil mais de 8.15 milhões de unidades produzidas³, evidenciado o grande impacto que a indústria tem no cenário nacional.

As aplicações da cerâmica são muitas. Normalmente, para uma determinada aplicação, uma propriedade pode ser de particular importância, mas, na verdade, todas as propriedades relevantes precisam ser consideradas⁴. E para garantir que as propriedades idealizadas estejam de acordo com o produto final, é preciso que o material cerâmico passe por um rígido controle de processo, o qual será avaliado os parâmetros de processamento como a composição química, forma de homogeneizar o material e métodos de conformação do material, secagem e sinterização.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar o método de processamento de cerâmica Jussarite e o seu impacto na qualidade do produto final obtido.

METODOLOGIA

A matéria-prima denominada de Jussarite foi extraída de uma jazida localizada no interior de Pernambuco. A amostra inicialmente foi beneficiada por trituração utilizando um almofariz de porcelana e peneira para análise granulométrica Bertel com abertura de 45 µm (ISO 3310/1). Em seguida, a argila foi prensada em um molde de aço sem lubrificação em

uma prensa Bovenau com intensidade aplicada de 2 toneladas por 1 minuto. As pastilhas obtidas foram enumeradas (PU1, PU2, PU3, PU4, PU5) e tiveram suas espessuras e diâmetros mensurados. Por fim, foram levadas para a etapa de queima em um forno tipo mufla até 1000°C por 1 hora a uma velocidade de 10°C/min e feitas as medições de absorção de água (AA), densidade aparente (DA) e porosidade aparente (PA), através do método de Arquimedes.

Os valores de AA, PA e DA foram calculados com base nas equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$AA = (Mu - Ms / Mu) \times 100 \quad (1)$$

$$DA = Ms / (Mu - Mi) \quad (2)$$

$$PA = (Mu - Ms / Mu - Mi) < 100 \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Medidas Iniciais das Amostras

Após a medição das espessuras e diâmetros das amostras antes delas passarem pelo processo de queima, obtivemos os seguintes valores:

Tabela 1 - Espessuras e diâmetros das amostras pré-queima.

Amostra	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5
<i>Espessura (mm)</i>	2,28	1,83	2,14	1,87	2,11
<i>Diâmetro (mm)</i>	12,78	12,32	12,26	12,30	12,31

Fonte: autoria própria.

As medidas apresentaram valores com uma certa variação devido ao não controle ideal na preparação das amostras, como por exemplo a massa de pó colocada dentro do molde para fazer a sua compactação, que foi colocada de maneira imprecisa em todas as amostras.

Medidas das Amostras Pós-Queima

Foram submetidas a queima 4 amostras, com exceção da amostra PU2, que foi deixada de fora para uso de comparação, como podemos observar nas figuras 1 e 2:

Figura 1 - Amostras pós queima vistas de cima.

Fonte: autoria própria.

Figura 2 - Amostras pós-queima.

Fonte: autoria própria.

Os valores das medidas das amostras após a queima são as seguintes:

Tabela 2 - Espessuras e diâmetros das amostras pós-queima.

Amostra	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5
Espessura (mm)	1,94	-	1,90	1,87	1,70
Diâmetro (mm)	11,14	-	11,56	11,12	11,13

Fonte: autoria própria.

Observa-se com os dados obtidos que em todos os casos, as dimensões do material foram reduzidas. Isso ocorre devido ao fenômeno de retração linear, uma característica intrínseca dos materiais cerâmicos, onde, devido ao aquecimento em altas temperaturas do material, vão ocorrer mudanças na estrutura molecular e na microestrutura do material. As partículas do material se unem e se rearranjam para formar a estrutura mais densa e coesa possível, o que vai levar a uma redução do volume do material, levando, assim, a uma diminuição nas dimensões finais do material, como a espessura e o diâmetro⁵.

Análise dos Dados Calculados

Através dos resultados de absorção de água obtidos nas quatro amostras, obteve-se uma média de 1,43%, que é um valor que indica baixa absorção de água das amostras⁷.

Primeiramente, tem-se que a etapa da sinterização a 1000° C por 1 hora foi de extrema importância para a determinação da densidade das amostras. O tamanho das amostras, juntamente com a temperatura e o tempo em que foram colocadas, fez com que obtivéssemos estruturas densas e com baixa porosidade. Isso influenciou positivamente a resistência do material à penetração de água, o que resultou na baixa absorção observada. Além disso, a etapa de prensagem feita por prensagem uniaxial também teve impacto direto na porosidade das amostras, reduzindo o tamanho e a quantidade de vazios entre as partículas, limitando a absorção de água do material⁸.

Ainda durante a etapa de compactação, não tivemos a utilização de aditivos ou lubrificantes, o que fez o atrito entre as partículas do material e a parede do molde ser aumentado, dificultando a fluidez das partículas do pó cerâmico durante a prensagem. Essa falta de lubrificação pode levar a uma maior resistência durante a compactação, pois cria um aumento de fricção interna do material durante o processo, o que pode ter resultado em uma maior densidade das amostras e, conseqüentemente menor porosidade, trincas e variações na textura superficial. Mesmo sem a lubrificação, o processo de sinterização realizado da forma adotada contribui significativamente para a densificação das amostras, resultando, conseqüentemente, na redução do número de vazios. Além disso, a granulometria favorável das partículas também contribui para o aumento da densidade aparente¹⁰.

Além de utilizarmos um pó relativamente fino, o que facilita ainda mais a compactação, já que partículas menores tendem a se fundir mais facilmente durante a sinterização, devido à sua maior área superficial. Isso promove a formação de ligações entre as partículas, contribuindo para a densificação da cerâmica e, conseqüentemente, para uma menor absorção de água.

Vale a pena ressaltar que o baixo valor de absorção de água é uma característica positiva para muitos tipos de materiais cerâmicos, principalmente aquelas que precisam ser resistentes à umidade ou que serão usadas em ambientes com exposição à água. ⁹ Além de que, Cerâmicas com baixa absorção de água tendem a ser menos suscetíveis a danos causados pela expansão e contração por mudanças de temperatura.

Com os dados obtidos, foi possível calcular o valor médio de densidade aparente em cerca de 2,47%, confirmando que as amostras têm, de maneira geral, uma estrutura relativamente densa. Geralmente, materiais de alta densidade tendem a ser mais resistentes e duráveis, já os materiais de baixa densidade podem ser mais frágeis, impactando na capacidade do material de suportar cargas. Foi obtido uma média de 3,6% de porosidade aparente nas amostras, o que implica em uma quantidade moderada de vazios em relação ao volume total como pode ser observado nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Valores das massas secas, úmidas e imersas em água das amostras.

Amostra	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5
Massa seca (g)	0,426	-	0,347	0,382	0,364
Massa úmida (g)	0,432	-	0,353	0,387	0,369
Massa imersa em água (g)	0,271	-	0,226	0,240	0,179

Fonte: autoria própria.

Utilizando as equações (1), (2) e (3), e os valores obtidos na tabela 3, foram feitos os cálculos para a absorção de água, densidade aparente e porosidade aparente das amostras, chegando aos seguintes valores, expressos na tabela 4:

Tabela 4 - Valores de AA, DA e PA das amostras.

Amostra	PU1	PU2	PU3	PU4	PU5
Absorção de água (%)	1,38	-	1,7	1,29	1,35
Densidade aparente (g/cm ³)	2,64	-	2,73	2,6	1,91
Porosidade aparente (%)	3,7	-	4,72	3,4	2,6

Fonte: autoria própria.

Essa porosidade complementa a narrativa da interdependência dessas 3 características, e implica que apesar da densidade aparente relativamente alta, devido a compactação uniaxial e a sinterização numa elevada temperatura por 1 hora, ainda há espaços vazios presentes. A formação de porosidade é um fenômeno intrinsecamente ligado aos processos de compactação e sinterização. A presença de espaços vazios pode ser atribuída a diversos fatores, como a heterogeneidade na distribuição das partículas, o tamanho das partículas e a retração volumétrica durante a sinterização¹¹.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desse ensaio permite inferir que a densidade aparente mesmo relativamente alta, está frequentemente associada a uma menor porosidade e absorção de água como foi constatado, resultando em cerâmicas com maior durabilidade e menos permeáveis.

REFERÊNCIAS

1. CENÁRIO ATUAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA NO BRASIL. Natrebe. 2020. Disponível em: <https://natreb.com/cenario-atual-da-industria-ceramista-no-brasil/#:~:text=A%20ind%C3%BAstria%20ceramista%20no%20Brasil%20possui%20um%20faturamento,o%20Brasil%20possui%20aproximadamente%206.903%20f%C3%A1bricas%20de%20cer%C3%A2mica>. Acesso em: 30 ago. 2023.
2. DADOS DO SETOR. Anicer. 2021. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>. Acesso em: 30 ago. 2023
3. TABELA DE PRODUTO: TABELA 7752. IBGE. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7752#/n1/all/v/214/p/last%201/c1264/51583,54758,54763,54764,54765/v,p+c1264,t/resultado>. Acesso em 30 ago. 2023.
4. RAHAMAN, M. N. Ceramic Processing and Sintering. 1 ed. Florida: Taylor & Francis Group, 2003. 2 p.

5. PINTO, M. F.; SOUSA, S. J. G.; HOLANDA, J. N. F. Influência do ciclo de queima sobre as propriedades tecnológicas de uma massa cerâmica para revestimento poroso. 2004. Universidade Estadual do Norte Fluminense.
6. CROZETTA, J. R. *et al.* Influência da granulometria na plasticidade e retração de secagem das argilas. *Cerâmica Industrial*, v. 21, n. 1, p. 21-29, 2016.
7. GOMES, Lucas Montenegro; MANTOVANI, Rodolpho. Verificação da influência da absorção de água de revestimentos cerâmicos quanto à resistência de aderência à tração. 2021. Curitiba.
8. MACEDO, R. S. *et al.* Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, v. 54, p. 411-417, 2008.
9. MACEDO, Roberto Salvador *et al.* Influência de aditivos na produção de blocos cerâmicos. *Cerâmica*, v. 54, p. 373-381, 2008.
10. BRITO, I. P. *et al.* Avaliação de novos depósitos de argilas do Estado da Paraíba visando sua aplicação como matérias-primas cerâmicas. *Cerâmica*, v. 61, p. 391-398, 2015.
11. DUTRA, R. P. S.; PONTES, L. R. Obtenção e análise de cerâmicas porosas com a incorporação de produtos orgânicos ao corpo cerâmico. *Cerâmica*, v. 48, p. 223-230, 2002.

O Potencial das Energias Renováveis para a Sustentabilidade no Setor Elétrico

The Potential of Renewable Energy for Sustainability in the Electric Sector

Rafael Aparecido da Silva Campos
João Vitor de Lima
Junior Bispo do Nascimento

RESUMO

As energias renováveis estão no centro das estratégias de transição energética global, fornecendo alternativas sustentáveis para a geração de eletricidade e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Este explora as principais fontes de energia renovável – solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e geotérmica – com foco na eficiência e nos avanços tecnológicos em Engenharia Elétrica para otimização e integração dessas fontes no sistema de geração, transmissão e distribuição de energia. Também são discutidos os desafios técnicos, econômicos e ambientais associados a essas tecnologias.

Palavras-chave: energias renováveis; engenharia elétrica; sustentabilidade; transição energética; tecnologias de energia.

ABSTRACT

Renewable energy sources are at the heart of global energy transition strategies, providing sustainable alternatives for electricity generation and reducing dependence on fossil fuels. This article explores the main renewable energy sources – solar, wind, hydroelectric, biomass, and geothermal – with a focus on efficiency and technological advancements in Electrical Engineering to optimize and integrate these sources into power generation, transmission, and distribution systems. The technical, economic, and environmental challenges associated with these technologies are also discussed.

Keywords: renewable energy; electrical engineering; sustainability; energy transition; energy technologies.



INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por energia e a necessidade urgente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa colocam as energias renováveis no centro das discussões sobre sustentabilidade e inovação no setor elétrico. Nos últimos anos, o setor energético tem enfrentado a pressão para migrar de um modelo tradicional, majoritariamente dependente de combustíveis fósseis, para um sistema diversificado, no qual as fontes renováveis desempenham papel de destaque. Este processo de transição energética visa mitigar os impactos ambientais, e, melhorar a segurança e a independência energética dos países (Silva, 2020, p. 45).

A Engenharia Elétrica desempenha um papel fundamental nesse cenário, pois é responsável por desenvolver e otimizar tecnologias que viabilizem a integração de fontes como solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e geotérmica ao sistema de geração, transmissão e distribuição de energia. Neste sentido, a expansão das energias renováveis requer soluções inovadoras para lidar com a intermitência de algumas dessas fontes, a fim de garantir um fornecimento estável e confiável. Isso exige avanços em tecnologias de armazenamento de energia, sistemas de controle inteligente e redes elétricas mais resilientes e adaptáveis (Mendes, 2019, p. 210).

No tocante aos aspectos metodológicos, a pesquisa classifica-se como exploratória, com o objetivo de investigar as energias renováveis no setor elétrico brasileiro, identificando fontes, benefícios e desafios. Metodologicamente, é uma pesquisa bibliográfica e documental, fundamentada na análise de livros, artigos científicos, relatórios institucionais e documentos legislativos. Adota-se uma abordagem qualitativa, buscando uma compreensão crítica e reflexiva do tema, sem a aplicação de métodos estatísticos ou coleta de dados primários, mas com base em fontes secundárias que possibilitam a discussão das implicações e viabilidades do uso de energias renováveis no Brasil.

Diante desse contexto, este artigo busca explorar o potencial das principais fontes de energia renovável para a sustentabilidade no setor elétrico, considerando suas vantagens e limitações tecnológicas, bem como os desafios econômicos e ambientais. A introdução de fontes renováveis, além de reduzir a pegada de carbono do setor, também é vista como uma oportunidade de inovação e desenvolvimento econômico. Ao investigar os avanços e as estratégias adotadas pela Engenharia Elétrica para ampliar o uso dessas fontes, pretende-se oferecer uma visão abrangente sobre como as energias renováveis podem transformar o setor e contribuir para uma matriz energética mais sustentável.

DESENVOLVIMENTO

O setor elétrico global encontra-se em um momento de transformação, impulsionado pela necessidade de mitigar os impactos ambientais gerados pela queima de combustíveis fósseis e pela busca por uma matriz energética mais diversificada e sustentável. A dependência do petróleo, carvão e gás natural ao longo dos séculos XX e XXI contribuiu para o aquecimento global, a poluição atmosférica e a degradação dos ecossistemas. Neste contexto, as energias renováveis emergem como alternativas viáveis e essenciais para reduzir a pegada de carbono e enfrentar as mudanças climáticas (Silva, 2020, p. 88).

Atualmente, as fontes de energia renovável, como a solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e geotérmica, estão ganhando espaço em muitas partes do mundo. Isso ocorre graças ao aumento da consciência ambiental, ao avanço das tecnologias de geração e ao incentivo de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade:

Sustentável é a sociedade ou o planeta que produz o suficiente para si e para os seres dos ecossistemas onde ela se situa; que toma da natureza somente o que ela pode repor; que mostra um sentido de solidariedade generacional, ao preservar para as sociedades futuras os recursos naturais de que elas precisarão. Na prática, a sociedade deve mostrar-se capaz de assumir novos hábitos e de projetar um tipo de desenvolvimento que cultive o cuidado com os equilíbrios ecológicos e funcione dentro dos limites impostos pela natureza. Não significa voltar ao passado, mas oferecer um novo enfoque para o futuro comum. Não se trata simplesmente de não consumir, mas de consumir com responsabilidade (Boff, 1999, p. 137).

Conforme pontua Souza e Almeida (2021, p. 45), muitos países têm adotado programas de incentivo para fomentar a instalação de usinas solares e eólicas, além de subsídios para a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias que possam ampliar a eficiência dessas fontes.

No Brasil, a matriz energética já conta com uma participação de fontes renováveis, com destaque para a energia hidrelétrica, que representa uma grande parte da geração nacional. O país, contudo, enfrenta desafios ao depender tanto da energia hídrica, principalmente em períodos de estiagem prolongada, o que tem motivado a ampliação das fontes solar e eólica para diversificar o mix energético e reduzir a vulnerabilidade do sistema (Pereira; Mendes, 2021, p. 123).

A energia solar fotovoltaica e a energia eólica, em particular, têm experimentado uma expansão notável nos últimos anos. Segundo Oliveira e Souza (2021, p. 34), a queda dos custos de instalação de painéis solares e aerogeradores, aliada à melhoria na eficiência dos equipamentos, tem tornado essas fontes mais competitivas no mercado, atraindo investimentos privados e ampliando a acessibilidade para consumidores residenciais e industriais. Deste modo, a localização geográfica do Brasil favorece a instalação de projetos solares no Nordeste e de parques eólicos em regiões de forte incidência de ventos, como o litoral nordestino, contribuindo para o crescimento dessas fontes no país.

Essa transformação do setor elétrico tem sido apoiada por políticas e incentivos governamentais em diversos países, que visam facilitar o financiamento de novos projetos, criar regulamentações favoráveis e até oferecer incentivos fiscais. De acordo com Martins e Silva (2023, p. 87), o incentivo governamental é importante para acelerar a transição energética, uma vez que as energias renováveis ainda enfrentam desafios financeiros e de infraestrutura, especialmente em regiões menos desenvolvidas. No Brasil, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) foi um marco na promoção das energias renováveis, impulsionando projetos eólicos e de biomassa e ampliando a participação dessas fontes na matriz energética nacional:

Embora o progresso seja notável, o setor elétrico ainda enfrenta desafios substanciais para integrar de forma eficiente essas fontes no sistema de energia. A intermitência da energia solar e eólica, por exemplo, exige sistemas avançados de armazenamento e redes inteligentes para garantir a confiabilidade no fornecimento. Os avanços tecnológicos em baterias de lítio e outras formas de armazenamento têm sido fundamentais para possibilitar a utilização das energias renováveis em larga escala, mas ainda representam uma parte considerável dos custos de operação e manutenção desses sistemas (Santos *et al.*, 2021, p. 76).

É importante mencionar que o setor elétrico ainda opera essencialmente na lógica do sistema hidrotérmico apesar da diversificação recente da matriz elétrica. Ou seja, com usinas hidrelétricas funcionando em tempo integral e, quando necessário em “horário de pico” ou em momentos de escassez hídrica, sendo complementadas por termelétricas.

O panorama das energias renováveis no setor elétrico é promissor e caminha na direção de uma matriz energética mais limpa e sustentável. A expansão dessas fontes no Brasil e no mundo reflete um compromisso crescente com a sustentabilidade e com a inovação tecnológica, mas depende do contínuo suporte de políticas públicas e do avanço das tecnologias de armazenamento e distribuição. À medida que as tecnologias se aprimoram e os custos de implantação reduzem, espera-se que as energias renováveis se tornem cada vez mais presentes na matriz energética, contribuindo para um futuro com menores impactos ambientais e maior segurança energética.

As energias renováveis, obtidas a partir de fontes naturais que se regeneram, vêm ganhando destaque por seu papel fundamental na construção de um sistema energético sustentável e de baixo impacto ambiental. Entre as principais fontes renováveis, destacam-se a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e geotérmica, cada uma com características específicas que permitem sua aplicação em diferentes contextos e escalas. Segundo Pereira (2021, p. 58), a crescente adoção dessas fontes contribui para a redução da emissão de gases de efeito estufa, promovendo a independência energética e o desenvolvimento econômico.

A energia solar é uma das fontes renováveis mais promissoras, especialmente em países tropicais, como o Brasil, que recebem alta incidência solar ao longo do ano. Essa energia é gerada por meio de painéis fotovoltaicos ou sistemas de aquecimento solar, que convertem a radiação em eletricidade ou calor. Conforme explica Souza (2020, p. 75), a vantagem da energia solar reside na abundância e acessibilidade da luz solar, além de ser uma fonte silenciosa e modular, ou seja, adaptável para pequenos sistemas residenciais e grandes plantas industriais. O uso da energia solar também contribui para a criação de empregos em áreas como a instalação e a manutenção dos sistemas, favorecendo a economia local.

A energia eólica, por sua vez, é gerada pela força dos ventos, capturada por aerogeradores que transformam a energia cinética em eletricidade. Esta fonte tem apresentado uma taxa de crescimento expressiva em várias regiões do mundo, incluindo o Nordeste brasileiro, onde os ventos constantes e fortes oferecem condições ideais para a geração de energia. Oliveira e Souza (2021, p. 42) ressaltam que a energia eólica é uma das fontes renováveis com menor impacto ambiental, pois não emite poluentes e utiliza uma área relativamente reduzida em comparação com outras fontes. Assim, sua instalação em regiões costeiras ou áreas rurais permite uma sinergia com outras atividades econômicas, como a agricultura, ao utilizar o espaço de maneira compartilhada:

Diante do cenário mundial de mudanças climáticas, a importância das energias renováveis cresce cada vez mais, nos espaços de planejamentos governamentais sobre suas matrizes energéticas. No Brasil o potencial eólico tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com energia eólica. Convém lembrar que a região Nordeste foi uma das pioneiras na instalação de energia eólica para aproveitamento na geração de energia elétrica. As instalações já em operação mostram uma importante iniciativa tanto das

concessionárias brasileiras responsáveis pelos projetos experimentais como das empresas autoprodutoras de energia que, dentro do novo cenário do setor elétrico, investem no desenvolvimento do aproveitamento eólico para geração de energia. Para o campo de desenvolvimento da energia eólica no Brasil, as figuras do autoprodutor e do produtor independente são fundamentais na expansão desse setor, e na promoção de uma matriz energética sustentável (Alves, 2010, p. 165).

A energia hidrelétrica, historicamente a principal fonte renovável do Brasil, é gerada pelo movimento da água em barragens ou em sistemas de correnteza, convertendo a força das águas em eletricidade. Segundo Santos (2022, p. 104), a principal vantagem da hidreletricidade é a sua capacidade de gerar grandes quantidades de energia de forma contínua, sendo uma fonte confiável e já bem estabelecida em muitos países. No entanto, sua implementação pode envolver impactos ambientais, como a alteração de ecossistemas fluviais e o deslocamento de comunidades locais. Ainda assim, com a implementação de usinas de pequeno porte e tecnologias de menor impacto, é possível minimizar esses efeitos e otimizar o uso dessa fonte.

A biomassa é outra fonte renovável relevante, derivada de materiais orgânicos como resíduos agrícolas, madeira, resíduos sólidos urbanos e outras matérias orgânicas. Quando convertida em energia térmica ou elétrica, a biomassa oferece uma forma de reaproveitamento de resíduos, contribuindo para a redução de lixo e para a geração de uma energia mais limpa. Segundo Carvalho (2021, p. 90), a biomassa tem um papel estratégico no setor rural, onde os resíduos agrícolas podem ser utilizados para gerar energia em propriedades e comunidades, reduzindo custos e promovendo o uso racional dos recursos.

Por fim, a energia geotérmica, gerada pelo calor proveniente do interior da Terra, é uma fonte pouco explorada no Brasil, mas com grande potencial em regiões de atividade vulcânica ou de intensa atividade geotérmica. Esse tipo de energia é altamente eficiente e é utilizada para aquecimento ou geração de eletricidade, especialmente em países como a Islândia, que aproveitam essas condições naturais. Lima (2020, p. 66) observa que, embora os investimentos iniciais para a exploração da energia geotérmica sejam elevados, ela representa uma das fontes mais estáveis e contínuas de energia, com baixa emissão de poluentes e um impacto ambiental reduzido.

Cada uma dessas fontes renováveis possui particularidades e vantagens específicas, mas todas convergem para a necessidade de um modelo energético mais sustentável e resiliente. O uso diversificado dessas fontes é essencial para a construção de um sistema energético capaz de atender à demanda crescente sem comprometer os recursos naturais e o equilíbrio ecológico. A adoção de múltiplas fontes de energias renováveis também favorece a descentralização da geração de energia, aumentando a segurança e a autonomia energética das regiões e dos países. Dessa forma, as energias renováveis surgem como uma solução ambiental, mas como um pilar de desenvolvimento econômico e social, promovendo uma transição energética que beneficia as gerações presentes e futuras (Martins; Ribeiro, 2022, p. 119).

Apesar das vantagens ambientais, econômicas e sociais das fontes de energias renováveis, sua implementação ainda enfrenta uma série de desafios técnicos, econômicos e regulatórios que dificultam a expansão dessas fontes no setor elétrico. Tais dificuldades são agravadas em países em desenvolvimento, onde a infraestrutura elétrica e os recursos para investimentos são limitados. Conforme destaca Fernandes (2021, p. 87), um dos

maiores obstáculos é a intermitência de fontes como a energia solar e a eólica, que dependem de condições climáticas e variam conforme o horário e as estações do ano, criando a necessidade de tecnologias de armazenamento ou complementação por outras fontes.

A questão do armazenamento de energia é um desafio central. Tecnologias como baterias de grande capacidade, fundamentais para garantir o fornecimento contínuo de energia em períodos de baixa produção, ainda são caras e possuem limitações de durabilidade e impacto ambiental em sua produção e descarte. Souza e Almeida (2020, p. 58) apontam que a falta de armazenamento eficiente encarece a integração de energias renováveis à rede elétrica, pois exige sistemas de apoio ou plantas complementares para cobrir as variações na geração. Dessa forma, o desenvolvimento de tecnologias mais acessíveis e sustentáveis para armazenamento é essencial para uma transição energética mais eficaz.

Outro desafio importante está relacionado aos custos iniciais elevados para a instalação de sistemas de geração de energias renováveis, principalmente em projetos de grande porte. Embora esses investimentos possam ser recuperados a médio e longo prazo devido aos baixos custos operacionais das fontes renováveis, o financiamento inicial é uma barreira, especialmente para pequenos empreendedores e comunidades menos favorecidas. Segundo Castro e Lima (2022, p. 49), políticas públicas que incentivem linhas de crédito e subsídios específicos para esses projetos são relevantes para ampliar o acesso às energias renováveis e democratizar o uso dessas tecnologias.

A expansão da infraestrutura necessária para integrar fontes renováveis ao sistema elétrico também apresenta desafios. A conexão de parques eólicos e solares a redes de transmissão, especialmente em regiões remotas ou rurais, demanda investimentos em infraestrutura que, muitas vezes, não são prioritários nos orçamentos públicos. Oliveira (2021, p. 112) menciona que a falta de integração entre a geração renovável e a rede de distribuição limita o alcance dessas fontes e gera sobrecarga em determinadas áreas, exigindo uma expansão coordenada e uma modernização da infraestrutura existente para garantir a eficiência e a estabilidade do sistema.

Além dos obstáculos econômicos e técnicos, a implementação das energias renováveis também enfrenta desafios regulatórios. Em muitos países, incluindo o Brasil, a legislação e as políticas energéticas ainda estão sendo adaptadas para incorporar e regular o uso de energias renováveis, e a burocracia em torno de licenciamento ambiental e concessões pode atrasar a execução de novos projetos. Conforme observa Pereira (2020, p. 95), a criação de um marco regulatório mais flexível e específico para as energias renováveis é essencial para facilitar o desenvolvimento de novos empreendimentos e incentivar investimentos privados nesse setor.

Por fim, há também o desafio social e cultural na transição para as energias renováveis. Muitas comunidades ainda têm resistência à instalação de novos empreendimentos, seja por desconhecimento das vantagens dessas tecnologias ou pelo receio de impactos locais, como a presença de turbinas eólicas próximas a áreas residenciais. A educação e a conscientização da população sobre os benefícios das energias renováveis são aspectos fundamentais para reduzir a resistência e promover uma aceitação mais ampla. Para

Martins e Araújo (2021, p. 123), o engajamento das comunidades locais e a transparência nos processos de licenciamento e operação podem ajudar a construir um entendimento positivo sobre esses projetos e fortalecer o apoio social à transição energética.

Portanto, embora as energias renováveis apresentem um caminho promissor para um sistema energético mais sustentável e resiliente, sua implementação exige um conjunto de esforços conjuntos entre governo, empresas e sociedade civil. A superação desses desafios é para que os benefícios dessas fontes possam ser plenamente aproveitados, promovendo uma transição energética justa e acessível para todos.

A transição para fontes de energia renováveis é uma das maiores e mais urgentes transformações que os sistemas energéticos globais enfrentam. Embora a implementação dessas tecnologias apresente desafios em termos de custos, infraestrutura e regulação, os benefícios de longo prazo superam amplamente os obstáculos. A sustentabilidade ambiental, a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diversificação da matriz energética e o potencial para a criação de novos postos de trabalho são apenas alguns dos muitos benefícios que as energias renováveis podem proporcionar para o futuro do setor elétrico.

Conforme apontado por Souza e Almeida (2021, p. 134), a integração de energias renováveis em larga escala requer um esforço coordenado entre diferentes níveis de governo e setores privados, de modo a criar um ambiente favorável ao desenvolvimento dessas fontes. Deste modo, é fundamental que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento se intensifiquem, especialmente no que diz respeito à criação de tecnologias mais eficientes e acessíveis para o armazenamento de energia e à construção de uma infraestrutura elétrica mais resiliente e interconectada.

A adoção de políticas públicas que incentivem o uso de energias renováveis, como a criação de incentivos fiscais, subsídios e financiamentos mais acessíveis, é essencial para reduzir os custos iniciais e facilitar a implementação desses sistemas. Outrossim, a cooperação internacional é essencial para o compartilhamento de conhecimento, melhores práticas e inovação tecnológica, o que acelera a transição energética global e permite que mais países, especialmente aqueles em desenvolvimento, possam se beneficiar das energias renováveis.

No cenário futuro, as fontes de energia renováveis devem se tornar ainda mais predominantes, com a geração distribuída e as redes inteligentes sendo cada vez mais integradas aos sistemas elétricos. O que permitirá uma maior democratização do acesso à energia e a possibilidade de os consumidores gerenciarem seu próprio consumo e produção de energia, contribuindo para uma maior autonomia energética.

Em termos sociais, a conscientização da população sobre a importância das energias renováveis e os benefícios de sua adoção devem ser ampliadas. A educação e a informação serão chave para reduzir a resistência local a novos empreendimentos e para promover um envolvimento positivo das comunidades. Para que a transição energética seja bem-sucedida, é imprescindível que a sociedade esteja bem-informada e engajada em uma mudança cultural em direção a um modelo energético mais sustentável e eficiente.

Portanto, as energias renováveis representam uma oportunidade crucial para a construção de um futuro mais sustentável, mas para que seu potencial seja totalmente realizado, é necessário superar os desafios técnicos, econômicos e sociais que ainda limitam sua expansão. A ação conjunta entre governos, empresas, pesquisadores e a sociedade será determinante para garantir que as energias renováveis desempenhem um papel central no fornecimento de energia global nas próximas décadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição energética global para fontes renováveis é um processo inevitável e fundamental para garantir um futuro mais sustentável para as gerações vindouras. Como discutido ao longo deste estudo, as energias renováveis desempenham um papel central na redução das emissões de gases de efeito estufa, mitigando os impactos das mudanças climáticas e promovendo a sustentabilidade ambiental. As principais fontes renováveis, como a solar, eólica, hídrica e biomassa, apresentam vantagens inquestionáveis, especialmente no que tange à diversificação da matriz energética e à diminuição da dependência de fontes fósseis, cujos impactos ambientais são cada vez mais insustentáveis.

Apesar dos avanços, a adoção de energias renováveis ainda enfrenta desafios consideráveis, como a necessidade de investimentos em infraestrutura, o custo inicial de instalação e as limitações tecnológicas, principalmente no que se refere ao armazenamento de energia e à capacidade de integração dessas fontes intermitentes à rede elétrica. No entanto, como indicam diversas pesquisas, a tendência é que esses obstáculos sejam superados com o avanço da inovação tecnológica, políticas públicas eficazes e a crescente conscientização global sobre a urgência de se adotar modelos energéticos mais limpos e eficientes.

Outrossim, é imperativo que a adoção das energias renováveis seja acompanhada por um forte apoio governamental e por parcerias público-privadas. A criação de incentivos fiscais, subsídios e o financiamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento são essenciais para tornar essas tecnologias mais acessíveis, especialmente nos mercados emergentes e em países em desenvolvimento, onde o acesso a energias renováveis ainda é limitado.

Neste contexto, a colaboração internacional também será basilar. O intercâmbio de conhecimentos, tecnologias e boas práticas pode acelerar a adoção de energias renováveis em diversas regiões do mundo, levando a uma evolução mais rápida e eficiente da infraestrutura energética global. O papel da educação e da conscientização pública também não é subestimado, já que a aceitação social e o engajamento da população são fundamentais para garantir o sucesso das iniciativas de transição energética.

A implementação das energias renováveis é uma necessidade global, para garantir a segurança energética, para cumprir as metas climáticas e preservar os recursos naturais. Com um esforço contínuo e uma abordagem integrada entre diferentes stakeholders, o futuro energético do mundo será mais limpo, sustentável e eficiente.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. P. **O papel das fontes renováveis na mitigação das mudanças climáticas**. Belo Horizonte: Editora Sustentável, 2010.
- BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: o que é - o que não é**. Petrópolis: Vozes, 1999.
- BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Política Nacional sobre Mudança do Clima. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. 2009.
- CARVALHO, T. R. **Avanços tecnológicos no setor de energia solar**. São Paulo: Editora TechSolar, 2021.
- CASTRO, F. L.; LIMA, H. R. **Energia renovável: desafios e perspectivas**. Fortaleza: Editora Verdes Ventos, 2022.
- FERNANDES, L. S. **A viabilidade econômica da energia eólica no Brasil**. Curitiba: Editora Eólica, 2021.
- FERRAZ, D. L.; SILVA, E. P. **Energias renováveis e os desafios da sustentabilidade**. São Paulo: Editora Energia, 2022.
- LIMA, M. S. **Fontes renováveis no contexto brasileiro: uma análise crítica**. Salvador: Editora Bahia Energia, 2020.
- MARTINS, P. R.; ARAÚJO, F. M. **Perspectivas da energia renovável no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Sustentável, 2021.
- MARTINS, R. T.; SILVA, E. L. **Impacto ambiental das usinas hidrelétricas**. Porto Alegre: Editora Água Viva, 2023.
- MARTINS, S. P.; RIBEIRO, G. M. **Biomassa e desenvolvimento sustentável**. Recife: Editora BioEnergia, 2022.
- MENDES, L. R. **Transição energética: desafios e oportunidades**. Brasília: Editora Sustenta, 2019.
- OLIVEIRA, P. R.; SOUZA, M. J. **A transição energética para fontes renováveis no Brasil: o papel do setor elétrico**. Rio de Janeiro: Editora Energia Sustentável, 2021.
- PEREIRA, T. L.; MENDES, L. R. **Soluções energéticas para um futuro sustentável**. Florianópolis: Editora Sustenta, 2021.
- PEREIRA, V. R. **Energia solar fotovoltaica: desafios no Brasil**. Campinas: Editora Luz Solar, 2021.
- REN21 (RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY). **Renewables 2023 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2023. Disponível em: <https://www.ren21.net>. Acesso em: 08 nov. 2024.
- SANTOS, A. F. **Energia limpa: uma necessidade global**. Natal: Editora Sustentável, 2022.
- SILVA, J. T. **Tecnologias renováveis e o futuro da matriz energética**. 3. ed. Brasília: Editora Tech, 2020.
- SOUZA, F. M.; OLIVEIRA, R. T. **Geração distribuída e o impacto no setor elétrico brasileiro**. Belo Horizonte: Editora Minas Energia, 2021.
- VIEIRA, R. C. **Sistemas fotovoltaicos e a evolução tecnológica no Brasil**. Porto Alegre: Editora Solar, 2019.
- WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Trilemma Index 2023**. London: World Energy Council, 2023. Disponível em: <https://www.worldenergy.org>. Acesso em: 08 nov. 2024.

Novas Tecnologias em Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

New Technologies in Transmission and Distribution of Electricity

Lucas Ramos da Silva

Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara – UNIARA, Araraquara-SP

Ronaldo Gomes Figueira

Orientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara – UNIARA, Araraquara-SP

Fabiana Florian

Coorientador. Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara – UNIARA, Araraquara-SP

RESUMO

O presente trabalho tratar das novas tecnologias em transmissão e distribuição de energia elétrica. Apresentando como objetivo principal o de explorar as novas modelagens tecnológicas aplicadas à transmissão e distribuição da energia elétrica, analisando, principalmente os seus benefícios. Salienta-se que a metodologia adotada para a confecção deste estudo baseia na revisão bibliográfica. Com o intuito de sanar tais problemas, tornando possível a transmissão e distribuição da energia de maneira contínua e de qualidade, especialistas ligados ao sistema eletrônico têm desenvolvido mecanismos capazes de suprir tais necessidades por meio da empregabilidade de novos modelos tecnológicos. Chegando a conclusão que as novas tecnologias passaram a redesenhar o setor de transmissão e distribuição de energia, possibilitando que os obstáculos presentes passem a serem superados e, bem como, para a preparação dos desafios futuros que surgirão. Deixando, com sua plena instituição, o setor elétrico preparado para o oferecer um fornecimento de energia eficiente, confiável e seguro.

Palavras-chave: setor elétrico; tecnologia; transmissão e distribuição.

ABSTRACT

The present work is dealing with new technologies in the transmission and distribution of electricity. Presenting as its main objective to explore the new technological modeling applied to the transmission and distribution of



electricity, analyzing, especially its benefits. It is noteworthy that the methodology adopted for the preparation of this study based on the bibliographic review. In order to remedy such problems, making it possible to transmit and distribute energy continuously and of quality, experts linked to the electronic system have developed mechanisms capable of meeting such needs through the employability of new technological models. Completion that new technologies have now redesigned the energy transmission and distribution sector, allowing the obstacles present to be overcome and, as well as to prepare the future challenges that will emerge. Leaving, with its full institution, the electricity sector prepared to offer it an efficient, reliable and safe power supply.

Keywords: electric sector; technology; transmission and distribution.

INTRODUÇÃO

A energia elétrica acabou se transformando como um recurso de suma relevância para a sociedade, tornando-se, sem dúvida alguma, um meio de subsistência de toda a estrutura organizacional da população. Fazendo com que passasse a ser empregada tanto nas atividades cotidianas das residências como dentro dos mais variados setores econômicos do país, se caracterizando, conseqüentemente, como um elemento de múltiplas aplicações para todo o sistema social.

Assim, diante tal conjuntura, os sistemas de produção de energia elétrica passaram a ser mais requeridas de maneira a garantir o seu serviço sem que houvesse qualquer tipo de interrupção, o que não vem acontecendo. Fazendo com que a transmissão da energia elétrica passe a sofrer disfunções que acaba acarretando o seu extravio da sua condição requerida.

Desta forma, com o intuito de sanar tais problemas, tornando possível a transmissão e distribuição da energia de maneira contínua e de qualidade, especialistas ligados ao sistema eletrônico têm desenvolvido mecanismos capazes de suprir tais necessidades por meio da empregabilidade de novos modelos tecnológicos.

Partindo deste contexto, o tema a ser tratado vem a ser a aplicabilidade das novas tecnologias em transmissão e distribuição de energia elétrica. Apresentando como base de apoio para as pesquisas realizadas o seguinte questionamento: Quais os principais modelos tecnológicos destinados a suprir as demandas energéticas do sistema de transmissão e distribuição?

Diante disso, o objetivo central deste trabalho será o de explorar as novas modelagens tecnológicas aplicadas à transmissão e distribuição da energia elétrica, analisando, principalmente os seus benefícios.

Justificando-se a escolha do referido tema pela necessidade de se modernizar os sistemas elétricos, como forma de dirimir e minimizar os problemas que tanto vem assolando o processo de transmissão e distribuição energética de todo o país. Garantindo, desta forma, que o fornecimento elétrico passe a se dar de maneira segura e qualificada, atendendo os anseios da população de acordo como deve ser.

Salienta-se que a metodologia empregada como forma de atingir o objetivo principal deste estudo está baseada na revisão bibliográfica em razão de possuir a capacidade de proporcionar, de uma forma mais qualificada, a compreensão das pesquisas existentes e, bem como, de obter conclusões mais nítidas do tema proposto. Foram utilizados também os métodos qualitativos e descritivos na abordagem do tema em si.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Breve Contextualização Histórica da Energia Elétrica

A história da energia elétrica é marcada por uma evolução transformadora da sociedade moderna, com impactos econômicos, sociais e tecnológicos. Contendo como base para o seu desenvolvimento a contribuição de cientistas, inventores e engenheiros ao longo dos séculos.

Nessa senda, Goldemberg e Lucon (2011) transcrevem que no início, as primeiras observações sobre a eletricidade vieram a ocorrer na Grécia Antiga, quando Tales de Mileto, cerca de 600 a.C., notou que, ao esfregar âmbar com lã, este atraía pequenos objetos. Esse fenômeno, hoje conhecido como eletricidade estática, foi uma das primeiras formas de interação humana com a eletricidade. Contudo, a compreensão científica do fenômeno ainda era rudimentar, permanecendo assim por muitos séculos.

A transição para uma abordagem mais científica da eletricidade veio a se dar, de acordo com Amaral (2010) apenas no século XVII, com os trabalhos de pesquisadores como William Gilbert, com a introdução do termo “eletricidade” e com a diferenciação do magnetismo da eletricidade estática. Já no século XVIII, Benjamin Franklin, em seu famoso experimento com a pipa, demonstrou que os raios eram uma forma de eletricidade, tornando tal descoberta um marco importante para a compreensão do comportamento elétrico.

Amaral (2010) acrescenta que o século XIX veio a marcar o avanço na aplicação prática da eletricidade. Tanto é que Alessandro Volta, em 1800, inventou a pilha elétrica, criando a primeira fonte contínua de eletricidade, tornando esse dispositivo essencial para estudos posteriores, como o trabalho de Michael Faraday, que descobriu a indução eletromagnética em 1831, demonstrando que era possível gerar eletricidade através do movimento. A descoberta de Faraday tornou-se o princípio básico por trás dos geradores e transformadores elétricos.

Outro avanço significativo veio, segundo Goldemberg e Lucon (2011), com a criação da lâmpada incandescente por Thomas Edison, em 1879, que popularizou o uso da eletricidade para iluminação. Paralelamente, Nikola Tesla desenvolveu o sistema de corrente alternada (CA), que competiu com o sistema de corrente contínua (CC) de Edison. A “Guerra das Correntes”, como ficou conhecida essa disputa, foi decisiva para a adoção da corrente alternada, devido à sua maior eficiência para o transporte de eletricidade em longas distâncias.

Amaral (2010) menciona que, com o avanço das tecnologias de geração e transmissão de eletricidade, começaram a surgir as primeiras usinas elétricas, como

a central de Pearl Street, de Edison, em Nova York, inaugurada em 1882. Ao longo do século XX, o desenvolvimento de diferentes formas de geração elétrica, como hidrelétricas, termelétricas e, mais tarde, energia nuclear e renovável, veio a permitir que a eletricidade se tornasse um elemento indispensável na vida moderna.

Hoje, a energia elétrica tornou-se um elemento de suma importância para o funcionamento da infraestrutura social, impactando setores como indústria, transporte e comunicação. Passando a sua história a refletir a capacidade humana de inovar e adaptar-se às necessidades de uma sociedade em constante transformação.

A Relevância de se Ter uma Energia Elétrica de Boa Qualidade

A qualidade de energia elétrica pode ser entendida, segundo Leão, Sampaio e Antunes (2014), como todo o processo empregado para a distribuição dos sinais elétricos de tensão e das correntes direcionados a vir permitir que as aparelhagens funcionem de maneira qualificada, sem causar danos nos seus desempenhos e muito menos a redução da sua vida útil. Fazendo com que assim seja adotado e estipulado um padrão de qualidade levando-se em conta as ondas alternadas senoidais, cuja a sua representação passa a se dar por meio de frequências fixas e de amplitudes seguindo o requerido exigido, seja ela de alta, média ou baixa tensão. Conservando, dentro de cada um destes sistemas, os seus valores de tensões de acordo com os limites instituídos, como forma de dar continuidade e padronização a corrente elétrica distribuída.

Sendo assim e após está abordagem sobre a qualidade da energia elétrica, torna-se necessário ressaltar que nos últimos anos tem-se percebido os olhares da sociedade se voltando para os atuais sistemas de energia disponibilizados, principalmente em se tratando da sua qualidade em razão da elevada taxa de crescimento populacional e dos avanços industriais, passando a ser requerido e consumido maiores quantidades de energia para o funcionamento dos equipamentos, seja residencial como também nos setores empresariais. Nesse sentido, Kagan, Robba e Schimidt (2009) transcreve que os problemas decorrentes das instabilidades da energia elétrica acabam resultando em danos para com a parte consumidora, em especial os caracterizados como residenciais.

Desta forma Castro *et al.* (2017) explana que a qualidade da energia elétrica passou a representar como peça de fundamental importância na atual realidade vivenciada pela parte consumista em virtude, dos mais variados setores, carecerem veemente que a energia seja distribuída com eficácia e dentro dos padrões exigidos e estabelecidos, impossibilitando, conseqüentemente, a provocação de danos. Lembrando que os prejuízos originados não estão tão somente ligados a fatores econômicos, mas sobretudo, a situações de riscos que a má qualidade da energia pode vir a provocar diante aos consumidores.

Com isso, destaca-se os pensamentos e ensinamentos de Rocha (2016) que transcreve que a responsabilidade pelo estabelecimento dos indicadores direcionados para a instituição dos critérios capazes de indicar se realmente o sistema elétrico encontra-se em pleno funcionamento de acordo com o requerido é de competência das agências reguladoras, tornando-as incumbidas de desenvolverem ações suficientes no combate de prováveis distúrbios pela qual o sistema pode vir a acarretar e que, conseqüentemente, acabe influenciando na sua eficácia e qualidade. Entretanto, salienta-se do papel em que

a sociedade em si vem também a desempenhar no que tange ao fornecimento de uma energia de qualidade, principalmente em se tratando da prática de condutas que leve ao melhoramento da distribuição.

Ficando evidenciado, diante todo o contexto exposto, a relevância de ser ter uma energia com qualidade, pois a sociedade está inserida em sistema onde a cada dia que se passa novos modelos tecnológicos vão sendo colocados à disposição de maneira a contribuir para uma melhor qualidade de vida e, bem como, para o desenvolvimento dos setores econômicos e sociais.

Problemas Decorrentes do Sistema Elétrico

Os sistemas elétricos são essenciais para a operação das sociedades modernas, alimentando tudo, desde residências até indústrias e serviços críticos. No entanto, diversos problemas podem surgir nos sistemas elétricos, comprometendo sua eficiência, segurança e confiabilidade.

Esses problemas podem ser causados por fatores técnicos, ambientais e humanos. Se destacando, dentre eles, de acordo com Rocha (2016, p. 25) o afundamento instantâneo da tensão, que segundo o autor, é um fenômeno ocasionado pela “falta no sistema elétrico da concessionária, partida de grandes motores ou a corrente de ligação (*inrush*) de transformadores”. Estando a sua causa, dentre as mencionadas acima, pela ocorrência de curtos-circuitos nas redes de distribuição elétrica, fazendo com que a tensão do barramento pela qual a transmissão está submetida ao curto seja afundada em razão da elevação do grau da corrente de curto.

Logo em seguida encontra-se as interrupções que, segundo Rocha (2016) trata de uma ação cuja a tensão pode atingir zero ou menor que $0,1 pu$ sendo ela ocasionada pelas variações climáticas, por problemas nos equipamentos de distribuição, por operações de religação, dentre outras causas. Ou seja, as interrupções elétricas podem ser entendidas, de uma forma em geral, como uma descontinuação total da transmissão de energia, resultando em verdadeiros apagões do sistema.

Contendo ainda, no grupo de problemas provenientes do sistema elétrico, as variações de frequência que, seguindo os pensamentos do autor supracitado acima, vem a referir-se “a falta monofásica (curto-circuito fase terra) no sistema elétrico da concessionária” (Rocha, 2016, p. 21). Sendo que a fase pela qual vem a entrar em curto passa a apresentar a sua carga de tensão minimizada, contrariamente no que ocorre com as suas demais fases que tendem a apresentar uma elevação da tensão.

Menciona-se ainda o desequilíbrio de tensão que, segundo Silva (2023), passa a ocorrer quando as tensões nas três fases de um sistema trifásico não são iguais em magnitude ou não estão perfeitamente defasadas em 120 graus uma da outra. Em um sistema ideal, as tensões de fase deveriam ser iguais e separadas por ângulos de fase de 120 graus. Provocando grandes consequências, dentre elas, o aquecimento excessivo de motores elétricos em virtude da sua sensibilidade ao desequilíbrio de tensão. Assim, pequenas ocorrências como estas, podem causar correntes desequilibradas que levam ao aquecimento excessivo do motor, reduzindo sua vida útil e aumentando o risco de falhas.

Nota-se, com isso que, apesar dos grandes benefícios proporcionados pela energia elétrica a mesma traz consigo disfunções que podem levar ao surgimento de acidentes, principalmente quando não observado os critérios dispostos nos projetos e pela não utilização de materiais adequados e destinados a proporcionar uma maior proteção para com as pessoas em seus lares no manuseio de equipamentos elétricos ou com suas instalações. Sendo assim, compreender os riscos que vem a envolver a energia elétrica constitui-se de uma ação de fundamental importância, pois a partir de então será possível perceber a sua existência e sobretudo os perigos que a rodeia quando não cumpridos as recomendações e cuidados a serem tomados.

Eficiência Energética e a Sua Necessidade

O crescimento aquisitivo da sociedade, tanto economicamente como socialmente, fez com que resultados passassem a gerados de modo negativo principalmente no que tange ao sistema ambiental, provocando o seu desequilíbrio em virtude de atividades desenvolvidas pelos seres humanos de maneira descontrolada e impensada. Sendo assim e levando-se em conta está terrível realidade atualmente vivenciada por toda a população tem-se início a uma nova modelagem preservativa do meio ambiente, ou seja, do Desenvolvimento Sustentável buscando ela a propositura de ações que sejam capazes de propiciarem o equilíbrio entre os avanços econômicos e sociais com a preservação ambiental.

Diante disso destaca-se os pensamentos de Fernandes (2000) que leciona que o desenvolvimento sustentável tem a sua incorporação dentro do meio social no ano de 1987 passando a ser compreendida como:

Aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades, como também é uma forma de otimizar o uso racional dos recursos naturais e a garantia de conservação e do bem-estar para as gerações futuras (Fernandes, 2000, p. 03).

Ficando cristalizado que o desenvolvimento sustentável vem a se caracterizar como um instrumento destinado a combater, de forma plena, a destruição da natureza, sempre levando em conta as gerações futuras. Com isso e indo de encontro com essa narrativa Buarque (1996) transcreve que o fenômeno do desenvolvimento sustentável passa a ser compreendido como um mecanismo de operação voltado a transformar os pensamentos sociais e, ao mesmo tempo, de contribuir para o crescimento da população, conciliando os fatores econômicos com a preservação do meio ambiente com o intuito de disponibilizar para a sociedade uma maior qualidade de vida e o seu bem-estar.

Nessa senda e levando como mecanismo sustentável tem-se a eficiência energética, tornando como uma prioridade global devido à crescente demanda por energia e aos impactos ambientais decorrentes da sua produção e consumo. Sem falar que, de acordo com Bertolo (2018), o setor energético é um dos principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, contribuindo significativamente para o aquecimento global. Além disso, a dependência de fontes de energia não renováveis, como petróleo e carvão, acaba por gerar preocupações quanto à segurança energética e à sustentabilidade dos recursos naturais.

Com isso, o referido autor supracitado acima salienta que a eficiência energética passa a ser caracterizada por um conceito que tem ganhado significativa relevância nas últimas décadas, vindo isso a se dar como resposta às crescentes preocupações ambientais, econômicas e sociais. Referindo-se ela ao uso racional e otimizado da energia para realizar uma determinada atividade, reduzindo o consumo sem comprometer a qualidade dos serviços prestados. Evidenciando que a implementação de práticas de eficiência energética torna-se vital para a sustentabilidade ambiental, a redução dos custos energéticos e a mitigação das mudanças climáticas.

Partindo deste contexto, Bonin (2021) vem a destacar que os benefícios da eficiência energética passam a serem múltiplos, abrangendo diversos setores da sociedade. Isso se dando por que, em termos ambientais, a redução do consumo de energia acaba por resultar em menores emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e a mitigação das mudanças climáticas. Economicamente, a eficiência energética pode levar a uma significativa redução de custos para consumidores e empresas, aumentando a competitividade e estimulando a inovação tecnológica. Já levando em conta questões sociais, a eficiência energética pode melhorar a qualidade de vida para com a população ao proporcionar ambientes mais confortáveis e saudáveis, por meio da redução da vulnerabilidade das pessoas mais pobres aos altos custos de energia. Em termos de segurança energética, a redução da demanda por energia diminui a dependência de importações de combustíveis fósseis e melhora a resiliência dos sistemas energéticos frente a flutuações de preços e crises de abastecimento.

Diante disso acrescenta-se que diversas práticas e tecnologias podem ser implementadas para promover a eficiência energética. Tanto é que, nas residências, medidas simples como a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED, a utilização de eletrodomésticos com selo de eficiência energética acaba por gerar significativas economias de energia.

Entretanto, vale destacar que, segundo Bertolo (2018), apesar dos avanços na promoção da eficiência energética, diversos desafios ainda precisam ser superados, onde que, a falta de conscientização e informação sobre os benefícios e as oportunidades de eficiência energética passa a ser uma barreira significativa. Isso em razão, na grande maioria dos casos, dos consumidores e empresas não possuírem conhecimentos das opções disponíveis ou NEURKKFW dos benefícios econômicos e ambientais propiciados pela eficiência energética.

Figura 1 - Múltiplos benefícios da eficiência energética.



Fonte: IAE, 2014.

Inovações Tecnológicas e a Industrialização 4.0

As inovações tecnológicas têm transformado a forma como a sociedade tem atuado dentro do meio social, trazendo mudanças significativas em praticamente todos os setores econômicos do país. Fazendo com que a indústria 4.0, passe a representar uma transformação profunda na maneira como os produtos são fabricados e serviços são entregues, por meio dos avanços tecnológicos de natureza emergente como no caso da IoT, big data, robótica e pela computação em nuvem. Diante disso, destaca-se que o conceito da Indústria 4.0 foi inicialmente desenvolvido, segundo Gomes (2022), na Alemanha, em 2011, e rapidamente se disseminou globalmente, devido às suas promessas de aumento de competitividade e inovação, fazendo com que empresas que adotem essas tecnologias consigam otimizar suas cadeias de produção, prevendo manutenções, redução de custos operacionais e melhoraria da qualidade dos produtos e serviços oferecidos.

No Brasil a adoção dessa nova era industrial, todavia, de acordo com Alcântara (2020), vem a enfrentar desafios únicos, mas apresentando também grandes oportunidades de modernização do parque industrial, favorecendo para o aumento da competitividade global.

Vale salientar, diante disso, que o Brasil vem a possuir, segundo Gomes (2022), uma base industrial diversificada, com destaque para os setores automotivos, de alimentos e bebidas, sem falar no petroquímico e, bem como, da mineração. Entretanto, a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no país ainda está em estágio inicial, especialmente quando comparada a países desenvolvidos tanto é que uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) em 2020 mostrou que apenas 21% das indústrias brasileiras utilizavam alguma tecnologia avançada, como automação ou IoT, o que indica um longo caminho a ser percorrido.

Gomes (2022) relata ainda que apesar dos desafios, o Brasil tem avançado em algumas frentes na promoção da Indústria 4.0, sendo impulsionada por ações governamentais como a que veio a ocorrer no ano de 2019 onde foi lançado a Estratégia Brasileira para a Transformação Digital, contendo a inclusão da Indústria 4.0 como um dos principais pilares com o intuito de fomentar a digitalização da economia por meio de políticas de incentivo à inovação, capacitação de mão de obra e para o desenvolvimento de infraestrutura.

Além disso, de acordo com o autor supracitado acima, diversas iniciativas setoriais passaram a ser implementadas como forma de acelerar a adoção de tecnologias avançadas. Um claro exemplo é o projeto Rumo à Indústria 4.0, da Confederação Nacional da Indústria - CNI, que visa capacitar empresas e gestores para a implementação de tecnologias como automação, inteligência artificial e big data. Parques tecnológicos e hubs de inovação, como o Parque Tecnológico de São José dos Campos e o Porto Digital em Recife, também desempenham um papel crucial na difusão de tecnologias de ponta e na criação de um ecossistema favorável à inovação.

Mediante a isso torna-se necessário destacar que a Quarta Revolução Industrial é marcada pela integração de tecnologias avançadas, se destacando, dentre tais, a Internet das Coisas – IoT, a big data, a robótica avançada e a computação em nuvem onde que, juntas, propiciam a criação de um sistema produtivo mais inteligente, conectados e altamente eficiente.

Nessa senda, Alcântara (2020) transcreve que a IoT é uma das principais tecnologias da Indústria 4.0, referindo-se ela à interconexão de dispositivos físicos, como máquinas e sensores, que coletam e trocam dados em tempo real. Possibilitando a fabricação de maneira inteligente, fazendo com que os equipamentos se comuniquem entre si e com sistemas de gestão, otimizando processos, monitorando a performance e prevenindo falhas através da manutenção preditiva.

Já em se tratando da big data Alcântara (2020) relata tratar-se do envolvimento de coleta, armazenamento e análise de grandes quantidades de dados gerados pelas operações industriais. Permitindo a ocorrência de *insights* valiosos sobre a eficiência dos processos, demonstrando tendências de mercado e, sobretudo, comportamento dos consumidores. Favorecendo que empresas tomem decisões mais informadas e estratégicas, ajustando a produção conforme a demanda.

No que tange a robótica, Franco *et al.*, (2020) esclarece que está tecnologia tem se tornado cada vez mais inteligente e colaborativa, sendo elas capazes de realizarem tarefas complexas com alta precisão e velocidade, além de trabalharem de forma segura ao lado dos seres humanos em ambientes compartilhados. Melhorando, indiscutivelmente, a eficiência produtiva, propiciando a redução de custos e a minimização de erros, sendo especialmente útil em linhas de produção e montagem. E por fim, mas não sendo a última, encontra-se a computação em nuvem, se destacando por fornecer, segundo Gomes (2022), a infraestrutura necessária de armazenamento e processamento de grandes volumes de dados de forma acessível e escalável. Vindo a permitir, conseqüentemente, que empresas utilizem recursos computacionais sob demanda, facilitando a implementação de sistemas de gestão e a análise de dados em tempo real.

Evidenciando que essas tecnologias, quando combinadas, passam a criarem um ambiente industrial mais conectado, eficiente e capaz de se adaptar rapidamente às mudanças do mercado, caracterizando a essência da Indústria 4.0. Destacando, desta forma, que esta industrialização apresenta grandes oportunidades para o Brasil, especialmente para o aumento da produtividade e para a melhoria da competitividade das empresas no mercado global. Ajudando, como bem transcrito, a reduzir custos operacionais, sem falar na melhoria da qualidade dos produtos e no aumento da eficiência dos processos produtivos.

Deixando claro, segundo Franco *et al.* (2020), que a adoção de tecnologias emergentes pode não apenas modernizar a indústria nacional, mas também abrir novas fronteiras de desenvolvimento econômico e social. Demonstrando que o Brasil possui pleno potencial de se destacar na Quarta Revolução Industrial, possibilitando a construção de um futuro mais inovador e competitivo. E isso sendo cabível também no sistema elétrico brasileiro como forma de dinamizar toda a sua estrutura e distribuição.

Figura 2 - Evolução da indústria manufatureira.



Fonte: PricewaterhouseCoopers(PwC).

Automação do Sistema de Transmissão e Distribuição da Energia Elétrica

Objetivando aumentar a eficiência, a confiabilidade e a segurança do setor elétrico, a automação dos sistemas de transmissão e distribuição da energia elétrica passou a constituir-se uma alta tendência dentro do setor elétrico. Fazendo com que esses sistemas, tradicionalmente operados de forma manual ou com supervisão limitada, estejam passando por uma profunda transformação com a introdução de novas tecnologias, como redes inteligentes - *smart grids*, sensores avançados e sistemas de controle automatizados.

Nessa senda, Santos (2022) destaca que a automação do sistema de transmissão de energia elétrica passa a envolver a implementação de tecnologias direcionadas a permitir o monitoramento, o controle e gerenciamento do fluxo energético em tempo real. Tanto é que, a automação das subestações vem a permitir o controle automático de equipamentos como transformadores, disjuntores e seccionadores, melhorando não só a eficiência do sistema, como também vindo a aumentar a segurança, em razão de reduzir a necessidade de intervenção manual em situações de risco. Além disso, a automação possibilita a otimização da operação das linhas de transmissão, ajustando automaticamente a carga e, com isso, minimizando as perdas de energia durante o transporte a longas distâncias.

No âmbito da distribuição de energia, a automação está diretamente ligada, segundo Santos (2022), à implementação das *smart grids*. Sistema esse que passa a utilizar de uma série de sensores, medidores inteligentes e sistemas de comunicação avançados para monitorar o consumo e o fluxo de energia de forma mais detalhada, permitindo, a sua automação, que a rede se adapte às variações da demanda, melhorando a eficiência e a qualidade do fornecimento.

Santos (2022) acrescenta que um dos principais benefícios da automação na distribuição é a rápida detecção e correção de falhas, restaurando o fornecimento de energia em tempo hábil para o restante da rede. Provocando a redução, conseqüentemente, do tempo de inatividade e os custos associados a reparos. Cristalizando a ideia que a automação dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica representa um passo crucial na modernização do setor, oferecendo maior eficiência operacional, resiliência a falhas e capacidade de adaptação a novas fontes de energia.

DESENVOLVIMENTO

O surgimento computacional foi, sem dúvida nenhuma, um grande marco para o desenvolvimento tecnológico proporcionando uma maior eficácia nos trabalhos realizados pelos homens, automatizando todos os sistemas operacionais em todos os setores profissionais. Não sendo diferente dentro do sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica.

Assim, para que se compreenda essa magnitude em que os sistemas tecnológicos passaram a ter, vale destacar que, de acordo com Mendonça, Souza e Finocchio (2019), a função da transmissão é a de realizar a condução da energia elétrica da usina produtora até os centros distribuidores responsáveis de fornecerem a sua distribuição para com os clientes. Realizadas e efetivadas pelas linhas transmissoras por meio das torres condutoras. Já em se tratando da distribuição, vem a ser o processo pela qual a energia passa a ser entregue ao cliente final.

Mediante a este contexto exposto, Castro e Maestrini (2022) transcrevem que a empregabilidade de novos modelos tecnológicos no sistema de transmissão e distribuição da energia elétrica tornou-se algo de suma relevância para a modernização destes sistemas no país, principalmente em razão da precariedade pela qual se encontram este setor, deixando de atender as suas funções básicas em praticamente todo o território brasileiro.

Diante disso, Castro e Maestrini (2022) acrescentam que dentre as inovações tecnológicas dispostas no sistema elétrico, as redes inteligentes, conhecidas como *smart grids*, representa um dos mais importantes modelos de transmissão e distribuição de energia elétrica. Passando ela a se caracterizar como uma rede elétrica digitalizada que utiliza tecnologias de comunicação e controle para gerenciar a geração, distribuição e consumo de eletricidade de maneira mais eficiente. Tomando como principal característica a sua capacidade de operar em tempo real, permitindo que ajustes automáticos passem a serem realizados de acordo com a oferta e demanda da eletricidade, melhorando, conseqüentemente, a sua eficiência e, ao mesmo tempo, propiciando a redução de perdas provocados pelo sistema.

Gallotti (2021) relata que um dos principais pontos das *smart grids* é o uso de medidores inteligentes de maneira a propiciar o fornecimento de dados em tempo real sobre o consumo de energia tanto para os consumidores quanto para as empresas de energia. Possibilitando, desta forma, a implementação de sistema de gerenciamento de demanda, fazendo com que os usuários possam ajustarem o seu consumo com base nas suas tarifas cobradas, economizando energia em momentos de menor demanda. Além disso, as *smart grids* facilitam a integração de fontes de energia renovável intermitente, como solar e eólica, melhorando a estabilidade da rede ao equilibrar flutuações na geração dessas fontes.

Outro aspecto importante e bem evidenciado por Gallotti (2021) trata-se da capacidade desenvolvida pela *smart grid* de detecção e resposta a possíveis falhas no sistema elétrico. Isso em razão da aplicação de sensores pela rede permitirem a identificação de problemas rapidamente, reduzindo o tempo de inatividade e os custos de manutenção.

Sendo assim, Ribeiro (2011,p.03) transcreve que a *smart grid*:

[...] seria responsável por significativos ganhos de eficiência energética, por permitir automação e operação remota do sistema, por melhorar a fiscalização e monitoramento das condições de rede e qualidade de energia, por incrementar a capacidade de tomada de decisões nas diferentes fases do setor, por viabilizar tecnicamente ao consumo programado, inteligente, de energia, dentre outros.

Evidenciando, desta forma, a magnitude pela qual a *smart grid* vem a representar dentro do sistema elétrico, propiciando inúmeras vantagens, dentre tais, a melhora na transmissão e distribuição da energia elétrica.

Vale ressaltar que a implantação da *smart grid* em território brasileiro, de acordo com Castro e Maestrini (2022), segue uma perspectiva promissora, impulsionada pela crescente demanda por eletricidade e pela necessidade de modernização do sistema elétrico, passando a oferecer soluções como medida de equilibrar a oferta e a demanda em tempo real.

Outro mecanismo tecnológico de destaque dentro do sistema de transmissão e distribuição da energia elétrica, de acordo com Silva (2022), é os dispositivos utilizados para o seu armazenamento. Permitindo, com a crescente integração de fontes de energias renováveis, que o excesso de energia gerada em momentos de baixa demanda seja armazenado e utilizado posteriormente, quando a demanda aumentar. Se destacando, dentre tais, as baterias de íon-lítio, especialmente em função de sua alta densidade energética e ciclos de vida longa, passando a serem amplamente utilizadas em sistemas de armazenamento em grande escala, inclusive em redes de distribuição.

Podendo ainda acrescentar, segundo o autor supracitado acima, que a empregabilidade desta tecnologia passa a ter plena capacidade de aumentar a produtividade do sistema elétrico, permitindo que a rede responda rapidamente a picos de demanda ou quedas na geração. Além disso, o armazenamento descentralizado, com a adoção de baterias em residências e pequenas indústrias, facilita a criação de micro-redes (microgrids), que podem operar de forma independente em casos de falhas na rede principal.

Ficando cristalizado, diante todo este contexto, que a nova modelagem tecnológica disposta dentro do cenário da transmissão e distribuição da energia elétrica é algo essencial, principalmente em razão de passar a lidar com os desafios do aumento da demanda por eletricidade e da integração de fontes renováveis.

RESULTADOS

As pesquisas bibliográficas realizadas para a confecção deste estudo, seja por meio da utilização de livros físicos como também por intermédio de trabalhos acadêmicos disponibilizados dentro dos mais variados sistemas digitais e sites, como no caso do Google Acadêmico, possibilitou compreender a relevância que pela qual a empregabilidade das novas tecnologias vem a representar dentro do sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica, principalmente em razão dos sistemas tradicionais, em grande parte instalados a décadas, não acompanharem o ritmo das inovações tecnológicas, resultando em ineficiência e perdas de energia.

Com isso, as redes inteligentes, conhecidas como *smart grid*, veio a mostrar-se como uma solução promissora na otimização da transmissão e a distribuição da energia elétrica, propiciando o monitoramento em tempo real do sistema, através da empregabilidade de sensores avançados e de dispositivos de comunicação na coleta de dados. Revelando-se ainda com grande potencial para a redução das perdas técnicas, que ao longo dos anos vem impactando negativamente a eficiência energética.

Além disso, os medidores utilizados possibilitam a gestão mais eficaz da demanda, permitindo que os consumidores ajustem seu consumo de energia de acordo com preços dinâmicos, promovendo economia e maior sustentabilidade no uso de eletricidade.

A introdução de tecnologias de armazenamento de energia foi outro ponto crucial e bem evidenciado neste trabalho, demonstrando que os sistemas de armazenamento por bateria, em especial os de íon-lítio, veio a mostrar como um meio tecnológico altamente viável para a estabilização da rede elétrica, principalmente em regiões com alta empregabilidade e densidade de fontes renováveis. Vindo as baterias a oferecerem flexibilidade necessária para armazenarem o excesso de energia gerada em horários de baixa demanda, garantindo que ela possa ser utilizada em momentos de pico.

Indicando, os resultados obtidos, que as novas tecnologias em transmissão e distribuição do sistema elétrico têm grande potencial de transformar o setor energético do país, aumentando a eficiência, a resiliência e a sustentabilidade do sistema. Clarificando que as redes inteligentes, os medidores e sistemas de armazenamento de energia estão impulsionando a modernização das infraestruturas elétricas, preparando-as para os desafios do futuro.

Contudo, vale destacar que a adoção dessas inovações ainda enfrenta barreiras, como altos custos de implementação e a necessidade de maior desenvolvimento tecnológico. Mesmo assim, os benefícios a longo prazo superam os obstáculos, posicionando essas tecnologias como elementos essenciais para a transição energética.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado sobre os novos modelos tecnológicos a serem aplicados dentro do sistema de transmissão e distribuição da energia elétrica demonstrou que o setor está passando por uma profunda transformação, sendo tal fato impulsionado, principalmente, pela necessidade de uma maior eficiência do sistema, como forma de propiciar a redução das perdas.

Desta maneira, os sistemas *smart grids*, os medidores inteligentes e, bem como, os armazenadores de energia, tecnologias estas estudadas e referenciadas neste trabalho, vieram a se mostrarem de suma relevância dentro deste contexto de modernização do sistema de transmissão e distribuição elétrica no país. Passando a apresentarem, cada um, as suas particularidades e eficiências.

Chegando assim a conclusão que as novas tecnologias passaram a redesenhar o setor de transmissão e distribuição de energia, possibilitando que os obstáculos presentes passem a serem superados e, bem como, para a preparação dos desafios futuros que surgirão. Deixando, com sua plena instituição, o setor elétrico preparado para o oferecer um fornecimento de energia eficiente, confiável e seguro.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, Matheus Costa. **Análise do desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil em relação às principais potências industriais**. 2020. Gestão da produção em foco. V. 41.

AMARAL, Danilo. **História da Mecânica – O motor a vapor**. UFPB, 2010. CGEE – Centro de Gestão e Estudos Energéticos. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/12676650/prof-dr-danilo-amaral-departamento-de-eng-mecanica-demec>. Acesso em: 09 de out. de 2024.

BERTOLO, Luis Carlos de. **A busca pela eficiência energética na indústria**. 2018. Monografia (Graduação). Centro Universitário UNIFACVEST. Lages, 2018. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/870fe-bortolo,-l.-c.-a- busca-pela-eficiencia-energetica-na-industria.-tcc,-2018..pdf>. Acesso em: 15 de out. de 2024.

BONIN, Edson. **Eficiência energética e qualidade de energia na indústria**. 2021. Monografia (Graduação). Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2021. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/a99c9806-7555-41f7-80a8-4b9cc5dcda9d>. Acesso em: 12 de out. de 2024.

BUARQUE, S. **Desenvolvimento sustentável**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1996.

CASTRO, Nivalde José de *et al.* **Qualidade do fornecimento de energia elétrica: aspectos regulatórios e perspectivas**. Rio de Janeiro: Publit, 2017.

CASTRO, Nivalde de; MAESTRINI, Marcelo. **Desafios tecnológicos nas redes de distribuição de energia elétrica**. 2022. GESEL. Disponível em: https://gesel.ie.ufrj.br/wp-content/uploads/2023/10/Castro_2023_10_03.pdf. Acesso em: 05 de out. de 2024.

FERNANDES, J.W.N. **A gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável sob a ótica da contabilidade ambiental**. XVI Congresso Brasileiro de Contabilidade. Goiânia. 2000.

FRANCO, Denise; QUEIROZ, Geandra Alves; MOTA, Renata de Oliveira; MEDEIROS, Nayara Cardoso de; FILHO, Moacir Godinho. **Aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na Engenharia de Produção**: uma revisão sistemática da literatura. XL Encontro Nacional de Engenharia de Produção “Contribuições da Engenharia de Produção para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis”. 2020. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WPG_342_1751_40182.pdf. Acesso em: 12 de out. de 2024.

GALLOTTI, Verônica Dias Moreira. Redes de energia elétrica inteligentes (Smart Grids). **Research, Society and Development**. 10 (9). 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/home/Downloads/18322-Article-223022-1-10-20210719.pdf>. Acesso em: 09 de out. de 2024.

GOLDEMBERT, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3º. ed. rev. e amp. Editora da Universidade de São Paulo. 2011.

GOMES, Beatriz Ferreira. **Desafios da indústria 4.0**: Uma análise entre os planejamentos da Alemanha, China, Estados Unidos e Brasil. 2022. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2022. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5188/1/MONOGRRAFIA_DesafiosInd%C3%BAstria4.0.pdf. Acesso em: 04 de out. de 2024.

KAGAN, Nelson; ROBBA, Ernesto João; SCHIMIDT, Hernán Prieto. **Estimação de indicadores de qualidade da energia elétrica**. São Paulo: Blucher, 2009.

LEÃO, Ruth Patôra Saraiva; SAMPAIO, Raimundo Luiz Marcelo; ANTUNES, Fernando Luiz Marcelo. **Harmônicos em sistemas elétricos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

MENDONÇA, Márcio; SOUZA, Lucas Botoni de; FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira; *et al.* Diagnóstico e atenuação de riscos de instalações elétricas em moradias de baixa renda. **Brazilian Journal of Development**. 5 (12). 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/5228>. Acesso em: 12 de out. de 2024.

RIBEIRO, C. L. **Aspectos institucionais para o Smart Grid no Brasil**: Riscos, oportunidades e desafios regulatórios. Núcleo de direito setorial e regulatório. Brasília: UnB, 2011.

ROCHA, Joaquim Eloir. **Qualidade da energia elétrica**. 2016. Monografia (Especialização). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016. Disponível em: <https://docero.com.br/doc/x1v1cxn>. Acesso em: 02 de out. de 2024.

SANTOS, José Márcio dos. **Automação em sistemas elétricos**. 2022. Monografia (Graduação). Pitágoras Faculdade. Governador Valadares, 2022. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/65527/1/JOS%C3%89%20M%C3%81RCIO%20DOS%20SANTOS.pdf>. Acesso em: 08 de out. de 2024.

SILVA, Adenilson Mendes. **Análise e proposta para tratamento de problema de oscilação de nível de tensão em redes de distribuição de energia elétrica**. 2023. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/52777/1/TCC%20-%20Adenilson%20Mendes%20-%20Final_Fim.pdf. Acesso em: 15 de out. de 2024.

SILVA, Rogério Diogne de Souza e. **Novas tecnologias e infraestrutura do setor elétrico brasileiro** – armazenamento de energia em baterias. 2022. IPEA. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11111/1/td_2746.pdf. Acesso em: 10 de out. de 2024.

Transformando Dados em Visualizações Dinâmicas: Explorando os Conceitos de Geovisualização na Elaboração de Mapas Web com Dados do OpenStreetMap

Transforming Data into Dynamic Visualizations: Exploring Geovisualization Concepts in Creating Web Maps with OpenStreetMap Data

Jose Antonio Dias Cacciatore

RESUMO

A geovisualização é uma abordagem tecnológica poderosa de análise visual de dados espaciais, com a crescente riqueza de informações geoespaciais, surge a necessidade de desenvolvimento de métodos eficazes para a sua correta representação visual. Os sistemas baseados no paradigma da web 2.0 voltados à disseminação de Informações Geográficas Voluntárias (IGV), possuem na geovisualização um dos seus pilares centrais, o que possibilitou o desenvolvimento das plataformas de mapeamento colaborativo, que possuem como principal expoente o *OpenStreetMap* (OSM). Embora a natureza dos dados voluntários apresente uma heterogeneidade na sua qualidade, estudos mostram que os mesmos podem ser utilizados no mapeamento de recursos recreacionais em reservas florestais, na identificação de praças nas cidades e na gestão de territórios, já por sua vez, no Brasil pesquisas buscam integrar IGV com mapeamento de referências urbano, no entanto esta integração não é simples pois os dados oriundos do OSM podem conter informações redundantes e ou ausentes. para solucionar esse problema o presente estudo propõe a combinação de conceitos de tratamento de dados e da geovisualização, usando as bibliotecas de código aberto da linguagem *Python Pandas, Numpy, Osmnx, Matplotlib e Folium*, para com isso combinar os dados do OSM com dados externos e a partir deles produzir mapas web dinâmicos e interativos de maneira eficiente, contribuindo para a interseção entre tecnologia, cartografia e plataformas de mapeamento colaborativo.

Palavras-chave: *OpenStreetMap*; geovisualização; informação geográfica voluntária; mapas web interativos; *python*.

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 14

DOI: 10.47573/aya.5379.2.400.9



ABSTRACT

Geovisualization is a powerful technological approach to the visual analysis of spatial data. With the growing wealth of geospatial information, there is a need to develop effective methods for its correct visual representation. Systems based on the web 2.0 paradigm aimed at the dissemination of Voluntary Geographic Information (IGV) have geovisualization as one of their central pillars, which has enabled the development of collaborative mapping platforms, whose main exponent is OpenStreetMap (OSM). Although the nature of voluntary data presents a heterogeneous quality, studies show that they can be used in mapping recreational resources in forest reserves, identifying squares in cities and managing territories, in turn, in Brazil research seek to integrate IGV with urban reference mapping, however this integration is not simple as data from OSM may contain redundant and/or missing information. To solve this problem, this study proposes the combination of data processing and geovisualization concepts, using the open source libraries of the python language Pandas, Numpy, Osmnx, Matplotlib and Folium, to combine OSM data with external data and from them produce dynamic and interactive web maps efficiently, contributing to the intersection between technology, cartography and collaborative mapping platforms.

Keywords: OpenStreetMap: geovisualization; volunteered geographic information; interactive web maps; python.

INTRODUÇÃO

A geovisualização é uma abordagem tecnológica poderosa que combina os princípios da visualização científica de dados com informações geográficas. Conforme MacEachren (1992) e MacEachren e Kraak (2001), ela transforma mapas em ferramentas eficazes para análise espacial. Já por sua vez a International Cartographic Association, 2024 (ICA) define a geovisualização como a representação dinâmica de dados tridimensionais e quadridimensionais, utilizando métodos interativos e integrados com geodatabases, e aplicável a diversas plataformas e escalas.

A representação visual de dados, especialmente no campo geográfico, sofreu uma revolução com o avanço da tecnologia. A geovisualização, que integra cartografia, visualização científica e computação, permite transformar dados complexos em representações visuais intuitivas, tanto em meios analógicos quanto digitais. Essa evolução possibilita uma compreensão mais profunda dos problemas que envolvem distribuição espacial (MacEachren e Kraak, 2001).

Diante deste contexto a geovisualização dinâmica se inicia na década de 1960, com o desenvolvimento dos primeiros Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O trabalho seminal de Tomlinson (1962) nesse campo estabeleceu as bases para a manipulação e análise interativa de dados geográficos em ambientes digitais. Esses sistemas inovadores transformaram a forma como os usuários interagem com informações espaciais, possibilitando a criação de visualizações complexas e a realização de análises espaciais avançadas.

Diante disso, a capacidade dos SIGs de manipular dados de forma dinâmica revolucionou a geovisualização, transcendendo a mera função de comunicação dos mapas

tradicionais. Ao permitir análises espaciais mais profundas, os SIGs se tornaram ferramentas essenciais em um contexto onde a Web 2.0 valoriza a interação e a participação ativa dos usuários. Essa integração entre SIGs e plataformas web ampliou significativamente as possibilidades de representação visual de dados geográficos (MacEachren, 1992; Newman *et al.*, 2016).

Essa característica possibilitou o desenvolvimento de sistemas que permitissem a disseminação de informações geográficas voluntárias, iniciando o mapeamento colaborativo (Elwood *et al.*, 2012). Um exemplo marcante é o *OpenStreetMap* (OSM), desenvolvido por Steve Coast em 2004, que surgiu em resposta à dificuldade de obtenção de dados espaciais junto ao *Ordnance Survey* (OS), o órgão de mapeamento oficial do governo britânico. Desde então, o OSM consolidou-se como uma das principais plataformas de disseminação de conteúdo geográfico na web no início do século XXI (Rouse *et al.*, 2007; Perkins, 2011; Chilton, 2011; Neis e Zipf, 2012).

Desde então o OSM tornou-se um recurso inestimável para a obtenção de dados espaciais, impulsionando a evolução da visualização cartográfica digital. Graças à sua vasta base de usuários voluntários (Neis e Zipf, 2012; Neis *et al.*, 2013), o OSM possibilita a publicação de informações geográficas variadas sobre locais específicos, embora a heterogeneidade desses dados represente um desafio, como inconsistências na nomenclatura e diferentes níveis de detalhamento (Coleman *et al.*, 2009).

Neste contexto, lidar com a heterogeneidade dos dados oriundo da Informação Geográfica Voluntária (IGV) é um desafio, quando queremos utilizá-los em projetos cartográficos. Essa diversidade é resultado de múltiplos fatores, como diferentes sensores, resoluções e condições de aquisição. No caso dos dados do *OpenStreetMap* (OSM), a heterogeneidade é ainda mais acentuada, uma vez que a plataforma permite a contribuição de diversos usuários, com diferentes níveis de conhecimento e detalhamento.

Essa diversidade nos dados do OSM impede seu uso direto na produção de mapas precisos, demandando um pré-processamento rigoroso. É necessário filtrar as informações, excluindo geometrias incorretas e removendo duplicatas para garantir a qualidade cartográfica.

Uma abordagem promissora para lidar com essa heterogeneidade é a combinação de dados do OSM com informações geográficas oficiais. Upton e Dunham (2015) demonstraram a eficácia dessa técnica ao mapear recursos recreacionais em reservas florestais na Irlanda. Essa metodologia pode ser adaptada para diversas aplicações, como a identificação de praças urbanas e a gestão territorial, conforme sugerido por Ramahtizadeh *et al.* (2016).

No Brasil, pesquisas como as de Touya *et al.* (2017), Sieber e Johnson (2013) e Bearden (2007) exploram a potencialidade da Informação Geográfica Voluntária (IGV) para enriquecer o mapeamento de referência urbano. Ao integrar dados coletados por moradores com informações oficiais, esses estudos demonstram a possibilidade de criar mapas mais atualizados e detalhados, capazes de atender às demandas do planejamento urbano.

Sieber e Johnson (2013), por exemplo, mostraram que a participação de moradores pode fornecer informações valiosas sobre a dinâmica espacial urbana, como a localização de equipamentos públicos, a percepção de segurança e a qualidade de vida. Touya *et*

al. (2017) desenvolveram uma metodologia para integrar dados de GPS coletados por voluntários com imagens de satélite, permitindo a atualização de mapas de uso do solo em áreas urbanas.

A utilização de IGV no mapeamento de referência urbano apresenta diversas vantagens, como a atualização contínua dos dados, a identificação de informações não captadas por fontes oficiais e o fortalecimento do vínculo entre a comunidade e o poder público. No entanto, é preciso superar desafios como a garantia da qualidade dos dados, a padronização das informações e a criação de ferramentas colaborativas acessíveis.

Um dos aspectos cruciais a ser considerado ao utilizar dados do *OpenStreetMap* (OSM) é sua estrutura de armazenamento. Diferentemente do formato *Shapefile*, que utiliza uma coleção de arquivos para representar entidades geográficas de forma não-topológica, o OSM adota uma estrutura de dados topológica, onde as relações entre os elementos são explicitamente definidas. Essa característica, aliada à flexibilidade na criação de tags personalizadas, torna o OSM uma fonte de dados rica e dinâmica, ideal para a criação de web maps interativos.

A proposta de combinar dados abertos do OSM com informações do IBGE e dados coletados por usuários apresenta um grande potencial para enriquecer a análise espacial. Ao integrar essas diferentes fontes de dados, é possível criar mapas mais completos e personalizados, permitindo a realização de análises mais complexas, como a avaliação da acessibilidade a serviços públicos, a identificação de áreas de risco e a análise de padrões espaciais.

No entanto, a integração de dados de diferentes fontes e formatos apresenta desafios, como a necessidade de padronizar os dados, resolver inconsistências e criar um esquema de dados comum. Ferramentas e tecnologias como QGIS, *PostGIS* e *GeoPandas* podem auxiliar na resolução desses desafios, facilitando a integração e a análise dos dados geográficos.

A linguagem de programação *Python* (Shen, 2014; McKinney, 2010), com seu rico ecossistema de bibliotecas de código aberto, oferece um ambiente ideal para o desenvolvimento de aplicações geográficas. Neste projeto, utilizaremos o *Python* e as seguintes bibliotecas: *Pandas* para a manipulação e limpeza dos dados do OSM (McKinney, 2010), *Matplotlib* (Hunter, 2007) para a criação de visualizações gráficas exploratórias e *Folium* para a geração de mapas interativos (Jaya et al., 2023; Raman, 2015).

O *Pandas*, com sua estrutura de *DataFrame*, permite uma eficiente manipulação dos dados do OSM, facilitando a filtragem, a limpeza e a agregação de informações. O *Matplotlib* oferece uma ampla gama de visualizações, desde gráficos simples até mapas básicos, auxiliando na compreensão dos padrões espaciais dos dados. Por sua vez, o *Folium*, construído sobre o *Leaflet.js*, permite a criação de mapas interativos de forma simples e intuitiva, permitindo ao usuário explorar os dados de forma dinâmica.

O fluxo de trabalho proposto envolve as seguintes etapas: 1) obtenção dos dados do OSM através da *Overpass API*; 2) carregamento dos dados em um *DataFrame* do *Pandas*; 3) limpeza e filtragem dos dados, removendo inconsistências e selecionando as informações relevantes; 4) análise exploratória dos dados utilizando o *Matplotlib*; 5) criação do mapa interativo com o *Folium*, customizando a aparência e as funcionalidades do mapa.

É importante ressaltar que a integração de dados do OSM com outras fontes, como o IBGE, pode exigir a padronização dos dados e a criação de um esquema de dados comum. Além disso, a otimização do desempenho é fundamental para lidar com grandes volumes de dados, especialmente ao criar mapas interativos.

A versatilidade do *Python*, combinada com a riqueza de dados do *OpenStreetMap* e outras fontes, permite a criação de mapas web interativos que integram dados diversos, desde formatos tradicionais como *Shapefile* e CSV até informações coletadas por usuários. Esse ambiente de trabalho, que une bibliotecas de código aberto e dados de diversas fontes, contribui para o desenvolvimento contínuo na interseção entre tecnologia, cartografia e plataformas de mapeamento colaborativo. A natureza colaborativa da comunidade *Python* e a disponibilidade de código aberto garantem que essa abordagem continue a evoluir, abrindo novas possibilidades para a pesquisa e o desenvolvimento de aplicações geográficas que impactam diversas áreas do conhecimento (Van Rossum e Drake, 2009).

A Linguagem de Programação *Python*

A linguagem de programação *Python* foi criada por Guido van Rossum e lançada em 1991. Desde então, *Python* evoluiu significativamente e se tornou uma das linguagens mais populares e versáteis do mundo, sendo amplamente utilizada em diversas áreas, desde o desenvolvimento web até a ciência de dados e aprendizado de máquina.

O *Python* foi projetado com um enfoque em legibilidade e simplicidade, características que a tornam ideal para iniciantes e profissionais. O design da linguagem é orientado a permitir a integração de diferentes tecnologias e sistemas, facilitando o desenvolvimento de software complexo com um código claro e conciso (Sanner e Sanner, 1999).

Nos primeiros anos de sua existência, *Python* ganhou uma base sólida de usuários e desenvolvedores, que contribuíram para a criação de uma vasta gama de bibliotecas e *frameworks*. Um exemplo notável é o *pandas*, uma biblioteca desenvolvida por Wes McKinney em 2010, que introduziu estruturas de dados e ferramentas para manipulação e análise de dados, trazendo eficiência ao trabalho com grandes volumes de dados (McKinney, 2010).

Com o crescimento do campo da ciência de dados e da análise estatística, *Python* continuou a expandir suas capacidades. Bibliotecas como *Scikit-learn*, descrita por Pedregosa *et al.* (2012), oferecem uma vasta gama de algoritmos de aprendizado de máquina, acessíveis mesmo para aqueles sem uma formação especializada. A *Statsmodels*, por outro lado, focada em análise estatística e econometria, surgiu para preencher lacunas na análise estatística com *Python* (Seabold e Perktold, 2010).

A linguagem também se destacou em áreas mais avançadas, como a programação probabilística. A biblioteca *PyMC3*, mencionada por Salvatier *et al.* (2016), permite a modelagem probabilística complexa e inferência Bayesiana, demonstrando a flexibilidade e a capacidade de *Python* para enfrentar problemas avançados em estatística e ciência de dados.

Além disso, *Python* tem sido fundamental na integração de ferramentas e sistemas, como evidenciado pelo “*Semi-Automatic Classification Plugin*” para QGIS, que facilita o download e processamento de imagens de sensoriamento remoto (Congedo, 2021). Este

exemplo ilustra como *Python* pode ser usado para estender e melhorar o desempenho de software existente.

No campo da computação científica, *Python* tem sido amplamente adotado por suas capacidades de “*steering*” em códigos científicos e de engenharia. Oliphant (2007) ressalta como *Python* serve como uma linguagem de alto nível adequada para o código científico e de engenharia, mostrando que sua flexibilidade é um dos principais atrativos para cientistas e engenheiros.

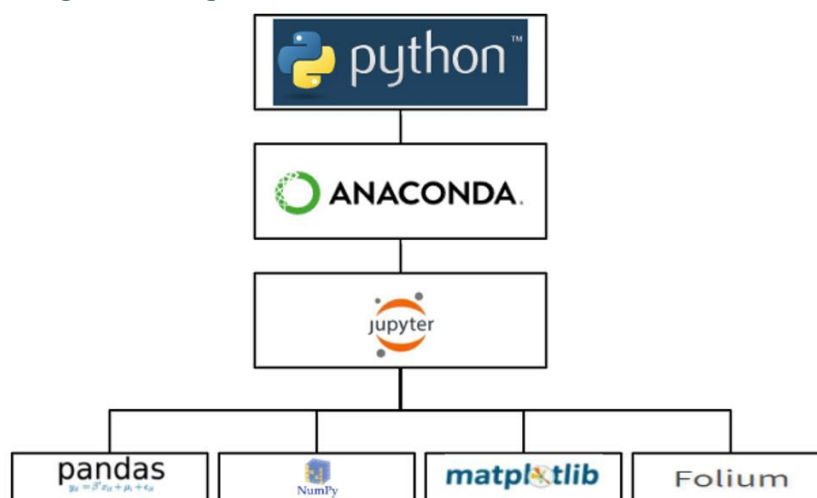
Python continua a ser uma ferramenta essencial devido à sua versatilidade e à constante evolução de suas bibliotecas e *frameworks*. A combinação de simplicidade, poder e uma comunidade ativa contribui para o crescimento contínuo da linguagem, solidificando sua posição como uma das principais escolhas para desenvolvimento de software, ciência de dados e além (Meurer *et al.*, 2017; Vallat, 2018).

Preparação do Ambiente de Trabalho

A metodologia começa com a preparação do ambiente *Python*, fundamental para gerenciar eficientemente as bibliotecas e códigos disponibilizados aos usuários. A escolha do *Python* deve-se à sua simplicidade e versatilidade, amplamente reconhecidas e suportadas por uma documentação oficial abrangente (*Python Software Foundation*, 2024). O gerenciamento das bibliotecas será realizado por meio da plataforma de código aberto Anaconda, que proporciona um ambiente robusto para a instalação e manutenção dos pacotes necessários (Anaconda, 2020).

Em seguida, será instalada a ferramenta *Jupyter Notebook*, que permite a escrita de códigos de forma interativa, facilitando seu compartilhamento com a comunidade de desenvolvedores *Python* (Lopes *et al.*, 2019); (Shen, 2014); (Pimentel *et al.*, 2021). Após isso, serão instaladas as bibliotecas *Matplotlib* (Hunter, 2007), *Pandas* (McKinney, 2010), *NumPy* (Harris *et al.*, 2020) e *Folium*, conforme ilustrado no diagrama do ambiente de trabalho mostrado na figura 01.

Figura 1 - Diagrama de ferramentas do ambiente de trabalho.



Fonte: autoria própria.

Muitas das bibliotecas que serão utilizadas neste projeto já fazem parte da instalação padrão do Anaconda. Isso pode acarretar conflitos de versões entre elas. Para evitar tais

conflitos, será criado um ambiente virtual isolado, onde as bibliotecas serão instaladas em suas versões mais recentes ou estáveis de forma independente. Para inicializar o ambiente virtual isolado, deve-se digitar o código descrito abaixo no Anaconda Prompt:

```
>>>conda create – nome amb python= versão
```

O código acima criará um ambiente virtual isolado com a versão mais estável do *Python*, nomeado como 'amb'. O usuário pode atribuir outro nome conforme sua preferência. Para ativar o ambiente virtual, deve-se digitar o seguinte código:

```
>>>conda active amb
```

Com a ativação do novo ambiente de trabalho, deve-se realizar a instalação das bibliotecas de forma independente. O pacote *ipykernel* será responsável por garantir que as bibliotecas sejam acessadas pelo *Jupyter Notebook*, permitindo o desenvolvimento das análises de forma interativa, clara e em tempo real:

```
>>>pip install ipykernel
```

```
>>>python -m ipykernel install --user name amb -- display-name "amb"
```

Por meio das linhas de código acima, é realizada a integração do *Jupyter Notebook* com o ambiente virtual de trabalho 'amb', que aparecerá como um ambiente virtual disponível, possibilitando a criação de um novo notebook de trabalho. Posteriormente, pode-se realizar a instalação das bibliotecas de trabalho: *NumPy*, *Matplotlib*, *Pandas* e *Folium*:

```
>>>conda install -n amb numpy
```

```
>>>conda install -n amb matplotlib
```

```
>>>conda install -n amb pandas
```

```
>>>conda install -n amb folium
```

Após a conclusão da instalação, as bibliotecas serão importadas para o *Jupyter Notebook*. Isso permitirá que os usuários acessem todas as funcionalidades oferecidas por cada biblioteca diretamente no ambiente de desenvolvimento. A importação das bibliotecas é um passo crucial, pois garante que as ferramentas necessárias para análise de dados, visualização e manipulação estejam prontamente disponíveis para uso. *NumPy* será utilizada para operações matemáticas e manipulação de arrays, *Matplotlib* para a criação de gráficos, *Pandas* para manipulação de dados tabulares, e *Folium* para visualização de dados geoespaciais. Abaixo estão os comandos para importar essas bibliotecas:

```
>>> import pandas as pd
```

```
>>> import numpy as np
```

```
>>> import matplotlib.pyplot as plt
```

```
>>> import folium
```

Essa configuração do ambiente de trabalho também pode ser realizada no *Google Colab*, dispensando a instalação do *Jupyter Notebook*. Para replicar esse ambiente no *Google Colab*, basta executar os comandos necessários diretamente na plataforma.


```
>>> !pip install numpy
>>> !pip install matplotlib
>>> !pip install pandas
>>> !pip install folium

>>> import pandas as pd
>>> import numpy as np
>>> import matplotlib.pyplot as plt
>>> import folium
```

As Bibliotecas Pandas, Matplotlib e Folium

A utilização das bibliotecas *Pandas*, *Matplotlib* e *Folium* tem revolucionado a visualização científica de dados, promovendo avanços significativos na análise e representação gráfica de informações complexas. Essas ferramentas, cada uma com suas especialidades, contribuem de maneira distinta para a criação e aprimoramento de projetos de mapas web e visualizações interativas.

Pandas é uma biblioteca fundamental para a análise e manipulação de dados em *Python*. Com suas estruturas de dados intuitivas, como o *DataFrame*, *Pandas* facilita a limpeza, transformação e análise de grandes volumes de dados, oferecendo suporte a operações complexas de manipulação de dados e análise estatística (McKinney, 2011).

Estudos têm demonstrado que *Pandas* não apenas acelera o processo de análise de dados, mas também melhora a acessibilidade a técnicas avançadas de mineração de dados e aprendizado de máquina (Saha *et al.*, 2022; Menailov *et al.*, 2019). A flexibilidade da biblioteca permite a integração com outras ferramentas de visualização e análise, proporcionando uma base robusta para projetos científicos e técnicos (Vagizov *et al.*, 2021).

O *Matplotlib* é uma biblioteca amplamente utilizada para a criação de gráficos estáticos, animados e interativos em *Python*. Com sua capacidade de gerar visualizações detalhadas e altamente customizáveis, *Matplotlib* se destaca na representação gráfica de dados, facilitando a comunicação de *insights* complexos (Raman, 2015).

A integração de *Matplotlib* com *Pandas* permite a visualização direta de *DataFrames*, otimizando o fluxo de trabalho para análise exploratória e criação de gráficos (Stychev e Krasnopevtseva, 2021). A biblioteca oferece uma vasta gama de tipos de gráficos e opções de personalização, desde gráficos de linha e barras até visualizações mais avançadas, como *heatmaps* e gráficos de dispersão, tornando-a uma ferramenta essencial para pesquisadores e cientistas de dados (Lemenkova, 2020).

Folium é uma biblioteca para a criação de mapas interativos em *Python*, baseada na biblioteca *JavaScript Leaflet*. Ela permite a criação de mapas web interativos, com suporte para camadas, marcadores e outras funcionalidades geoespaciais (Filipe *et al.*, 2017).

A combinação de *Folium* com *Pandas* e *Matplotlib* possibilita a integração de dados geoespaciais com visualizações interativas, facilitando a exploração e análise de informações geográficas (Jaya *et al.*, 2023). A biblioteca é particularmente útil para projetos que requerem a exibição de dados em um contexto espacial, oferecendo uma interface intuitiva para a criação de mapas personalizados e interativos.

A combinação dessas três bibliotecas – *Pandas* para manipulação de dados, *Matplotlib* para visualizações gráficas e *Folium* para mapas interativos – proporciona uma abordagem abrangente e poderosa para a análise e apresentação de dados. A integração dessas ferramentas permite a criação de projetos de visualização de dados mais complexos e informativos, beneficiando a pesquisa científica e a comunicação de resultados (Baziotis *et al.*, 2023; Reiss *et al.*, 2021).

Essas bibliotecas não apenas melhoram a visualização científica, mas também ampliam as possibilidades de análise e comunicação de dados em diversos campos, desde a análise estatística até a visualização de dados geoespaciais. A colaboração entre *Pandas*, *Matplotlib* e *Folium* exemplifica o potencial das ferramentas de *Python* para transformar a forma como entendemos e representamos dados complexos.

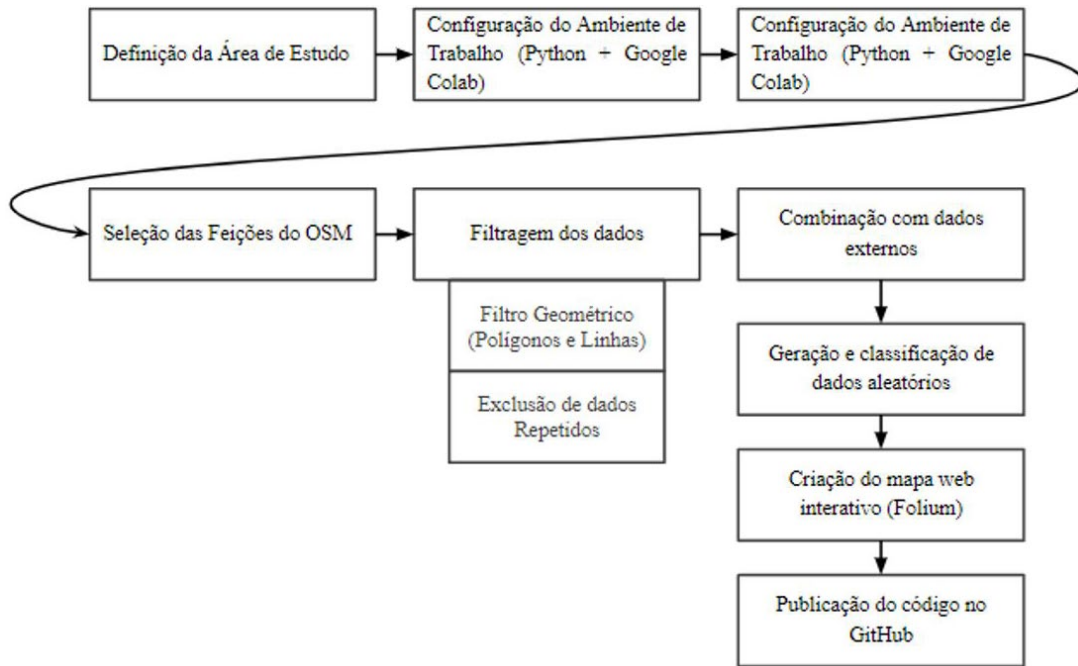
MATERIAIS E MÉTODOS

Esta metodologia inicia conforme o fluxo abaixo, com a **Definição da Área de Estudo**, onde é estabelecido o território específico para a análise. Segue para a **Configuração do Ambiente de Trabalho**, utilizando ferramentas como *Python* e Google Colab para preparar o ambiente de desenvolvimento.

A **Seleção das Feições do OSM** envolve a extração de dados relevantes do *OpenStreetMap*. Em seguida, realiza-se a **Filtragem dos Dados**, dividida em dois processos: **Filtro Geométrico**, que seleciona dados baseados em suas formas (polígonos e linhas), e **Exclusão de Dados Repetidos**, que elimina entradas redundantes. Os dados filtrados são então **Combinados com Dados Externos** para enriquecer a análise.

A etapa seguinte é a **Geração e Classificação de Dados Aleatórios**, onde dados novos são criados e categorizados para testes e validações. Com os dados preparados, procede-se para a **Criação do Mapa Web Interativo** utilizando a biblioteca *Folium*, possibilitando uma visualização interativa. Por fim, o **Código é Publicado no GitHub**, permitindo acesso e compartilhamento dos métodos e resultados obtidos.

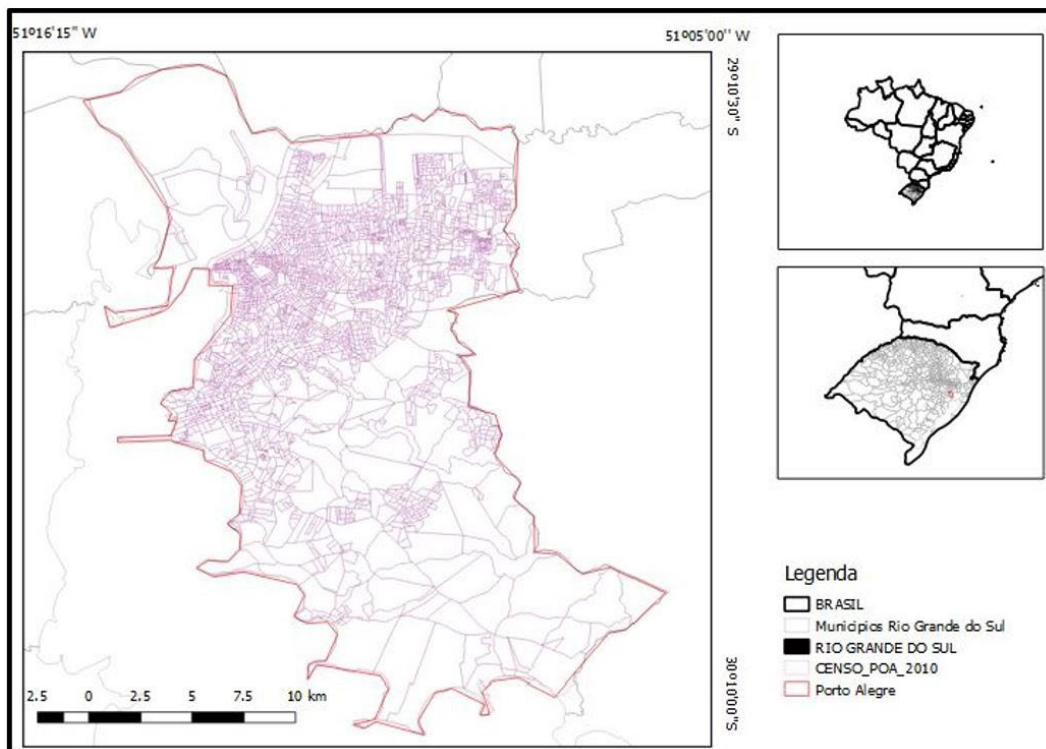
Figura 2 - Fluxograma metodológico.



Fonte: autoria própria.

A área de estudo deste estudo é o município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, que, segundo o censo de 2022, possui uma população de 1.332.845 habitantes, figura 3. O município tem 680 praças e 9 parques distribuídos por seus 57 bairros, conforme informações fornecidas pela prefeitura municipal. Esses dados permitem comparar as informações oficiais com aquelas obtidas diretamente do *OpenStreetMap* (OSM).

Figura 3 - Área de estudo.

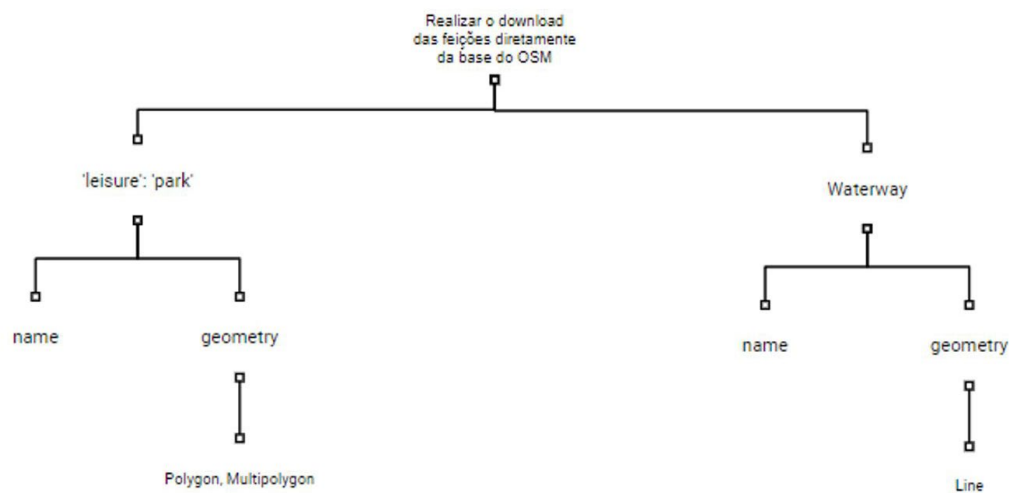


Fonte: autoria própria.

Para realizar o download e a filtragem dos dados do OSM, utiliza-se uma linguagem de programação. Optou-se pelo *Python* devido à sua versatilidade e à capacidade de executar códigos na nuvem, utilizando a plataforma Google Colab (GC). Para trabalhar com *Python* no GC, é necessário ter uma conta do Gmail, que permite escrever e compilar códigos de forma interativa, facilitando o compartilhamento com a comunidade de desenvolvedores (Shen, 2014; Pimentel *et al.*, 2021).

Após definir a área de estudo e o ambiente de trabalho, as feições a serem extraídas da base do OSM devem ser selecionadas. Serão utilizadas duas feições principais: a camada de parques e praças, representada por polígonos, e a hidrografia, representada por linhas, conforme ilustrado na figura 4. A escolha dessas feições é justificada por dois motivos: primeiro, a facilidade de identificação nas imagens de satélite e mapas de referência; segundo, a geometria dessas feições tende a apresentar menos erros e uma maior repetição de informações. Esses fatores tornam necessário um processo de filtragem para garantir a qualidade dos dados para a utilização final.

Figura 4 - Representação da geometria de cada feição no OSM.



Fonte: autoria própria.

Para contornar o problema da geometria incorreta dos dados, é utilizado um filtro presente na biblioteca geopandas Kelsey Jordahl, Joris Van den Bossche, Martin Fleischmann, Jacob Wasserman, James McBride, Jeffrey Gerard, François Leblanc (2020) que permite escolher a geometria correta para os dados, na camada parques e praças é o polígono e na hidrografia a linha, ou seja tudo que não possuir estas características nas duas feições não será utilizado barrado pelo filtro conforme o trecho do código abaixo exemplifica a aplicação do filtro geométrico para a feição praças e parques:

Figura 5 - Análise gráfica dos dados sem filtro.

```

1) dados_novos = pd.read_csv('/content/df_geoutf.csv')

2) dados_novos['geometry'] = dados_novos['geometry'].apply(lambda x: loads(x))

3) gdf = gpd.GeoDataFrame(dados_novos, geometry='geometry')

4) gdf_sem_pontos = gdf[gdf['geometry'].geom_type.isin(['Polygon', 'MultiPolygon', 'LineString', 'MultiLineString'])]
  
```

Fonte: Autoria própria.

Onde, na linha 1, o código lê um arquivo CSV chamado `'df_geoutf.csv'`, na 2 a coluna `'geometry'` do DataFrame `'dados_novos'` é modificada, sendo realizada uma transformação no tipo de dado `geometry` para `string`, pôr fim a função `loads` é aplicada a cada elemento da coluna, convertendo essas strings em objetos `Shapely`, na 3 o DataFrame modificado `'dados_novos'` é convertido em um GeoDataFrame chamado `'gdf'`, com a coluna `'geometry'` armazenando objetos geométricos `Shapely`, por fim na linha 4, um novo GeoDataFrame chamado `'gdf_sem_pontos'` é criado, nele é uma versão filtrada do original (`'gdf'`), contendo apenas as linhas cuja geometria não é do tipo ponto. Isso é feito através do uso da função `isin` que verifica se o tipo de geometria pertence a uma lista específica contendo `'Polygon'`, `'MultiPolygon'`, `'LineString'`, `'MultiLineString'`. Este tipo de filtro é útil quando trabalha-se com dados que possuem uma heterogeneidade na sua representação geométrica e deseja-se utilizá-los em projetos cartográficos.

Uma forma de inspecionar se o filtro da geometria foi bem executado, é realizar uma inspeção gráfica da camada. Para isso pode-se utilizar a biblioteca `Matplotlib` onde é produzido uma representação simplificada da feição em questão no artigo a hidrografia não apresentou inconsistência na geometria, já por sua vez as praças e parques apresentaram representações em pontos que podem ser vistos na figura 5 em azul, após a aplicação do filtro este ponto é removido figura 6.

Já por sua vez, a exclusão dos dados repetidos se dá por meio da contagem de frequência do nome, conforme o código abaixo exemplifica:

Figura 6 - Análise gráfica dos dados com filtro.

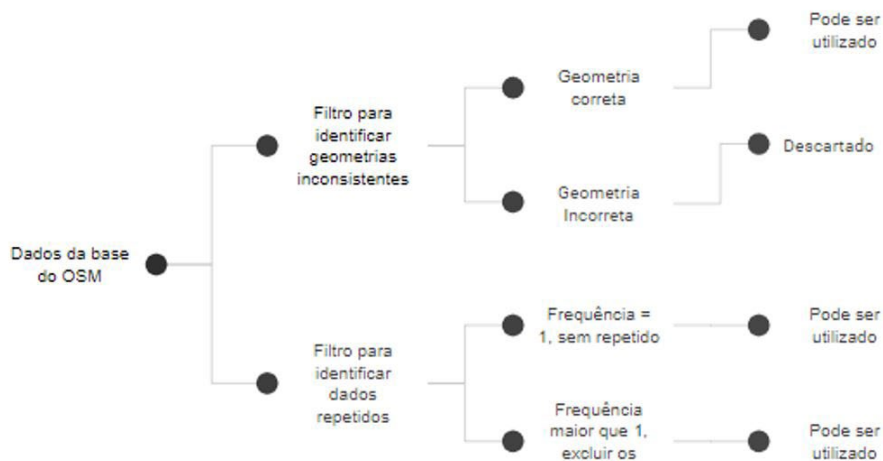
```
1) frequencia_nome = gdf_sem_pontos['name'].value_counts()
2) print(frequencia_nome)
```

Fonte: A autoria própria.

Na linha 1 a coluna `'name'` do `DataFrame` `'gdf_sem_pontos'` é selecionada, e a função `value_counts()` é aplicada a essa coluna, essa função contabiliza a frequência de cada valor único na coluna `'name'` e retorna uma série com os valores únicos como índices e as contagens associadas como valores, na linha 2 a função `Print` mostra os dados na tela para o usuário.

A figura 7 demonstra a ordem para realizar os filtros, a primeira é a geometria e a segunda é a exclusão de feições repetidas, após a realização destas etapas, conclui-se a limpeza dos dados obtidos da base do OSM.

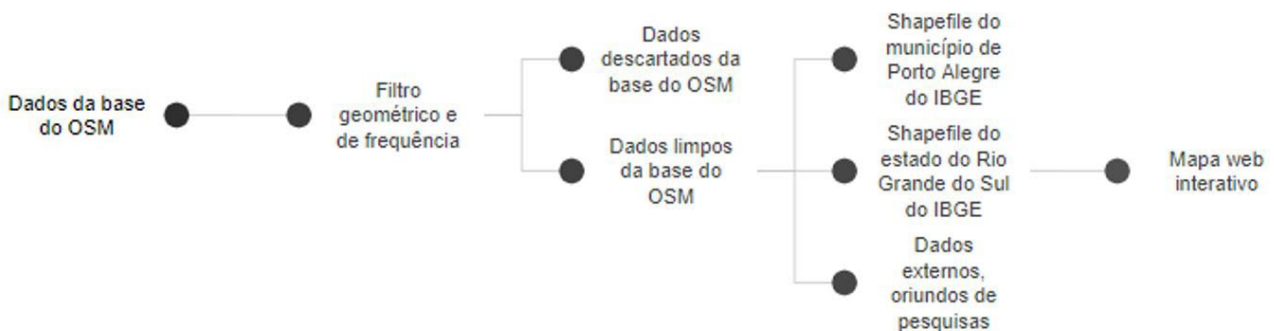
Figura 7 - Representação dos filtros.



Fonte: autoria própria.

Com as duas classes limpas pode-se combiná-las com dados novos, oriundos de fontes oficiais ou de pesquisas, neste artigo na elaboração do mapa web interativo, foi utilizado um arquivo *Shapefile* do município de Porto Alegre e do estado do Rio Grande do Sul obtidos junto ao IBGE com os dados do OSM, além disso para demonstrar a potencialidade do código será gerado aleatoriamente valores de 0 até 10, utilizando a biblioteca *numpy* Harris, C.R., Millman, K.J., van der Walt, S.J. *et al.* (2020), que serão classificados em três classes, bom, médio e ruim adicionando duas novas colunas com informações aos dados que serão utilizados, uma numérica denominada valores e outra categórica chamada de classificação, nas camadas de praças e parque e na da hidrografia do OSM, diretamente no ambiente de trabalho conforme a figura 8 indica. Nas praças e parques, esta classificação pode indicar dados de satisfação dos usuários, ou a classificação de algum índice de qualidade do ar, quantidade de assaltos entre outros obtidos por pesquisas externas. Já por sua vez, na hidrografia, pode-se classificar se a área é suscetível a inundação ou não, ou até mesmo se o corpo hídrico apresenta índices de poluição ou não.

Figura 8 - Representação das informações no mapa.



Fonte: autoria própria.

Neste estudo, a união dos dados das três fontes e o projeto do mapa web, serão realizados utilizando a biblioteca *folium*, pois a mesma se mostra robusta para este tema. Primeiramente, devem ser importados para o mapa as duas camadas obtidas do site do IBGE, o contorno municipal e o estadual em formato *shapefile*, como os dados do OSM e da fonte externa já foram unidos antes da sua importação para o mapa, será realizada uma

classificação dos mesmos de acordo com a sua categoria, onde será atribuído a cor verde para o bom, amarela no médio e vermelho no ruim, no entanto podem ser geradas mais classes e classificação de cores.

Por fim será gerado um popup, que consiste numa camada de interação do usuário com o mapa, onde passando o cursor do mouse em cima da feição irá aparecer o nome que consta na coluna nome da feição, bem como o que consta na coluna valores e classificação. Após estas etapas de customização destes parâmetros, pode-se gerar o mapa web propriamente dito, no entanto é importante destacar que os códigos produzidos para este artigo estão disponíveis para download no repositório github que pode ser acessado no link a seguir <https://github.com/josecacciatore89/ArtigoSAPIGEO>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As técnicas de exploração e comunicação de informações espaciais da geovisualização foram fundamentais na elaboração do projeto do mapa web interativo. Essas técnicas permitiram que o mapa não fosse apenas uma ferramenta de comunicação, mas também um instrumento de análise espacial (MacEachren, 1992).

Apesar da heterogeneidade na qualidade dos dados voluntários do *OpenStreetMap* (OSM), estudos indicam que esses dados são úteis em várias aplicações (Touya *et al.*, 2017; Sieber e Johnson, 2013; Camboim e Sluter, 2009; Bearden, 2007; Estes e Mooneyhan, 1994). No entanto, a presença de informações redundantes e possíveis inconsistências na geometria dos dados pode ser um desafio.

Para a identificação dessas inconsistências, é importante realizar análises gráficas e, se necessário, aplicar filtros geométricos. Por exemplo, foi observado que a feição “praças e parques” estava registrada como pontos, mas deveria estar em formato de polígono para o mapa web. Portanto, é crucial verificar a geometria correta antes de aplicar qualquer filtro. Em contraste, os dados de hidrografia estavam corretos, todos no formato linear adequado. Para remover nomes repetidos, foi utilizado um filtro de frequência, mantendo apenas uma instância de cada dado (McKinney, 2010).

A metodologia proposta, que incluem filtros geométricos e de frequência, facilita a integração dos dados geográficos oficiais, como os do IBGE, com os dados do OSM (Touya *et al.*, 2017; Sieber e Johnson, 2013; Bearden, 2007). Isso melhora a atualização do mapeamento urbano de referência e ajuda as prefeituras a entender melhor as dinâmicas de uso e ocupação do solo, já que os dados são produzidos por moradores locais (Sieber e Johnson, 2013).

Além disso, a metodologia aborda a combinação dos dados filtrados do OSM com os gerados pelo usuário. Para este estudo, foram gerados números aleatórios de 0 a 10 para ambas as feições, com o objetivo de mostrar que é possível integrar dados externos ao projeto do mapa web. O leitor pode expandir essas informações para seu próprio estudo de caso, substituindo “Porto Alegre” pelo nome da cidade de interesse no código.

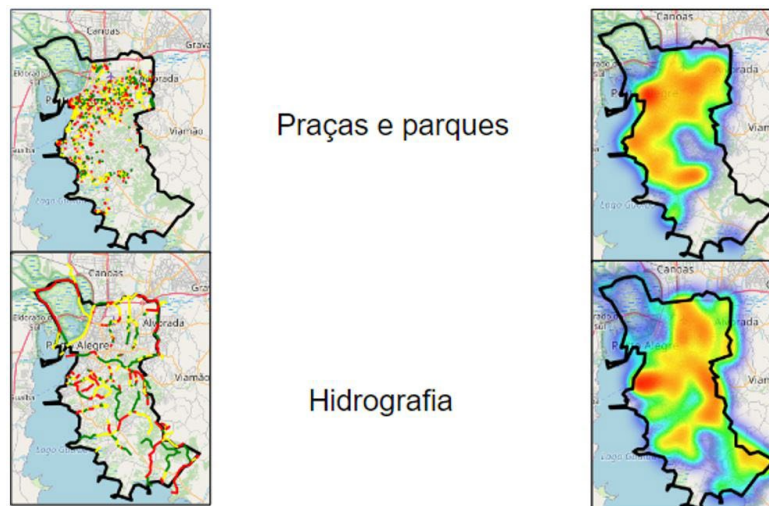
O formato dos dados também é um ponto importante. Os dados do OSM são armazenados em formato GDF, que é tabular e possui atributos e geometria em colunas

distintas. Esses dados podem ser convertidos para formato .csv, facilitando o armazenamento e reduzindo a latência em sistemas web. Em contraste, os dados do IBGE são fornecidos no formato Shapefile, amplamente utilizado em análise geoespacial (Monteiro *et al.*, 2004; Domingues *et al.*, 2020; Lawhead, 2015), mas apresentam limitações em ambientes de desenvolvimento web devido às dificuldades de armazenamento.

O estudo focou na cidade de Porto Alegre, utilizando dados do OSM em conjunto com informações oficiais para comparação. A camada “praças e parques” apresentou uma correspondência de 99,13%, com 683 das 689 praças do município identificadas no OSM com geometria correta e informações detalhadas. No caso da hidrografia, embora o corpo hídrico fosse identificado, muitos não tinham nome informado, o que levou à decisão de não comparar esses dados com os da prefeitura.

Por fim, os dados gerados foram salvos em formato .csv, permitindo sua abertura no software QGIS e facilitando a utilização em ambientes de trabalho estabelecidos, além de online. O mapa final, já classificado, está ilustrado na figura 9.

Figura 9 - Mapa web Final Já categorizado.



Fonte: autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, buscamos expandir o conhecimento sobre geovisualização, destacando sua importância na análise visual intuitiva e eficaz de dados geográficos. A abordagem tecnológica da geovisualização permite que os mapas sejam utilizados não apenas como ferramentas de comunicação, mas também como instrumentos de análise espacial.

No contexto atual, onde há uma abundância de dados geoespaciais, a demanda por métodos eficazes de representação visual tem crescido consideravelmente. A aplicação dos conceitos de visualização de dados, oriundos da geovisualização, é essencial nos ambientes da web 2.0. Isso impulsionou o desenvolvimento de sistemas participativos como o *OpenStreetMap* (OSM), que permite a colaboração pública na criação de informações geográficas.

O OSM, com sua vasta base de usuários voluntários, fornece dados geográficos colaborativos e permite a visualização de fenômenos espaciais variados. Embora os dados do OSM apresentem alta heterogeneidade na qualidade, devido ao conhecimento variado dos usuários sobre cartografia, estudos mostram sua utilidade em diversas áreas. O OSM é valioso no planejamento urbano e na atualização de mapeamentos urbanos de referência, ajudando a desenvolver mapas atualizados sem custos para instituições públicas.

Para integrar os dados do OSM com informações produzidas por pesquisas e órgãos oficiais de mapeamento, este estudo apresentou uma metodologia que combina coleta e tratamento estatístico com conceitos de geovisualização. Utilizando bibliotecas de código aberto em *Python*, como *Pandas*, *Matplotlib* e *Folium*, a metodologia permite a criação rápida e ágil de mapas web dinâmicos.

A área de estudo selecionada foi o município de Porto Alegre. Dados de praças e hidrografia foram obtidos do OSM e comparados com informações oficiais da prefeitura. O processo envolveu limpeza, filtragem e classificação dos dados, culminando na criação de um mapa web interativo.

A geração do mapa web interativo demonstra a potencialidade da combinação de dados geoespaciais de diferentes fontes. Ele oferece uma visão rica e contextualizada da região estudada, permitindo representar informações diversas, desde a satisfação dos usuários em praças até a qualidade da água em corpos hídricos.

Em conclusão, a integração de dados do OSM com outras fontes, aliada às técnicas de geovisualização, proporciona uma abordagem robusta para análise espacial e criação de mapas web interativos. Essa metodologia contribui para o avanço na interseção entre tecnologia, cartografia e plataformas globais de colaboração voluntária, promovendo uma compreensão mais ampla e acessível do ambiente geográfico.

REFERÊNCIAS

BEARDEN, D. M. **Environmental Protection: Defense-Related Programs**. 2007.

BOEING, G. **OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks**. *Journal of Open Source Software*, v. 2, n. 10, p. 122, 2017. <https://doi.org/10.21105/joss.00122>

CAMBOIM, S. P.; SLUTER, C. R. **A utilização de informações geográficas voluntárias nos mapeamentos oficiais: o exemplo do OpenStreetMap e do IBGE**. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 61, n. 4, p. 287-297, 2009.

CHILTON, S. Crowdsourcing is radically changing the geodata landscape: Case study of *OpenStreetMap*. In: DE MERS, E. (Ed.). *GIS for the Urban Environment*. Esri Press, 2011. p. 297-312.

COLEMAN, D. J.; GEORGIADOU, Y.; LABONTE, J. **Volunteered Geographic Information: The Nature and Motivation of Producers**. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, v. 4, p. 332-358, 2009.

CONGEDO, L. **Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS**. *Journal of Open Source Software*, v. 6, n. 64, p. 3172, 2021. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

- ELWOOD, S.; GOODCHILD, M. F.; SUI, D. Z. **Researching Volunteered Geographic Information: Spatial Data, Geographic Research, and New Social Practice**. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 102, n. 3, p. 571-590, 2012.
- ESTES, J. E.; MOONEYHAN, W. **Of maps and myths**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 60, n. 5, p. 517-524, 1994.
- FILIPE, J. *et al.* **Python-Visualization/Folium: V0.4.0**. 2017. <https://doi.org/10.5281/zenodo.884459>
- HARRIS, C. R. *et al.* **Array programming with NumPy**. *Nature*, v. 585, n. 7825, p. 357-362, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- HEYDT, M. **Mastering pandas for finance: Master pandas, an open source Python data analysis library, for financial data analysis***. 2015.
- HUNTER, J. D. **Matplotlib: A 2D Graphics Environment**. *Computing in Science & Engineering*, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.
- JAYA, I. *et al.* **Data Visualization Of House Of Worship Distribution In The IKN Nusantara Region Using Python**. *Jurnal Ilmiah Merpati (Menara Penelitian Akademika Teknologi Informasi)*, 2023. <https://doi.org/10.24843/jim.2023.v11.i01.p01>
- KELESY, A. *et al.* **Geopandas: Python tools for geographic data**. 2020. <https://geopandas.org/>
- LEMENKOVA, P. **Python Libraries Matplotlib, Seaborn and Pandas for Visualization Geospatial Datasets Generated by QGIS**. 2020.
- LIU, Y.; XUE, J.; ZHU, S. **Knowledge Map Analysis of School-Enterprise Cooperation Education in Electronics and Communications Based on Python**. In: *2021 2nd International Conference on Information Science and Education (ICISE-IE)*. 2021. p. 1-5. <https://doi.org/10.1109/icise-ie53922.2021.00275>
- MAC EACHREN, A. M. **Visualizing Uncertain Information**. *Cartographic Perspectives*, v. 13, p. 10-19, 1992.
- MAC EACHREN, A. M.; KRAAK, M. J. **Research challenges in geovisualization**. *Cartography and Geographic Information Science*, v. 28, n. 1, p. 3-12, 2001.
- MCKINNEY, W. **Data Structures for Statistical Computing in Python**. In: VAN DER WALT, S.; MILLMAN, K. J. (Eds.). *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*. Volume 445, 2010. p. 51-56.
- MCKINNEY, W. **Pandas: a Foundational Python Library for Data Analysis and Statistics**. 2011.
- MEURER, A. *et al.* **SymPy: Symbolic Computing in Python**. *PeerJ*, 2017. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.103>
- NEIS, P.; ZIPF, A. **Analyzing the Contributor Activity of a Volunteered Geographic Information Project—The Case of OpenStreetMap**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 1, n. 2, p. 146-165, 2012.
- NEIS, P.; ZIELSTRA, D.; ZIPF, A. **Comparison of Volunteered Geographic Information Data Contributions and Community Development for Selected World Regions**. *Future Internet*, v. 5, n. 2, p. 282-300, 2013.
- NEWMAN, G. *et al.* **The future of citizen science: emerging technologies and shifting paradigms**. *Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 14, n. 6, p. 298-304, 2016.

- OLIPHANT, T. E. **Python for Scientific Computing**. *Computing in Science & Engineering (Print)*, 2007. <https://doi.org/10.1109/mcse.2007.58>
- PEDREGOSA, F. *et al.* **Scikit-learn: Machine Learning in Python**. *arXiv: Learning*. 2012. <https://doi.org/10.5555/1953048.2078195>
- PERKINS, C. **Volunteered geographic information**. In: KEMP, K. (Ed.). *Encyclopedia of Geographic Information Science*. Sage, 2011. p. 464-466.
- RAMAN, K. **Geospatial Data Analysis with Python**. Packt Publishing Ltd, 2015.
- RAMAN, K. **Mastering Python Data Visualization**. 2015.
- ROUSE, J.; BERGERON, S.; HARRIS, T. M. **Participating in the geospatial web: Collaborative mapping, social networks and participatory GIS**. In: SCHARL, A.; TOCHTERMANN, K. (Eds.). *The Geospatial Web*. Springer, 2007. p. 153-158.
- SABA, S. K. *et al.* **An Empirical Studies on How the Developers Discussed about Pandas Topics**. *Cornell University - arXiv*. 2022. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2210.03519>
- SALVATI, J.; WIECKI, T. V.; FONNESBECK, C. J. **Probabilistic Programming in Python using PyMC3**. *PeerJ*, 2016. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.55>
- SANNER, M. F. **Python: a programming language for software integration and development**. *Journal of Molecular Graphics & Modelling*, 1999. <https://doi.org/10.1063/1.1269302>
- SEABOLD, S.; PERKTOLD, J. **Statsmodels: Econometric and Statistical Modeling with Python**. *SciPy*. 2010. <https://doi.org/10.25080/majora-92bf1922-011>
- SHEN, H. **Collaborative coding and code sharing: An overview of Google Colab**. *Journal of Computer Programming*, v. 5, n. 2, p. 115-128, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cjcp.2014.05.001>
- TEMPLIZ, H. **Recording Performances of Some File Types for Pandas Data**. *European Journal of Science and Technology*. 2022. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1103499>
- TOUYA, G.; OLTEANU-RAIMOND, A. M.; MUSTIÈRE, S. **How to keep maps synchronized with the database: A mechanism to propagate updates in map design**. In: PETERSON, M. P. (Ed.). *Advances in Cartography and GIScience*. Springer, 2017. p. 3-18.
- UPTON, C.; DUNHAM, W. **Using crowdsourcing to advance global geospatial data**. In: SUI, D. Z.; GOODCHILD, M. F.; ELWOOD, S. (Eds.). *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*. Springer, 2013. p. 221-237.
- VAN DER WALT, S. *et al.* **scikit-image: Image processing in Python**. *PeerJ*, 2014. <https://doi.org/10.7717/peerj.453>
- WILLIAMS, M. L. *et al.* **Python for Data Analysis**. *O'Reilly Media*. 2014.
- WILSON, R. *et al.* **Cartographic and Geographic Information Science: Tools for Data Analysis and Visualization**. *Springer*, 2018.
- ZHANG, W. *et al.* **A geospatial data model for interactive and customizable mapping**. *Geoinformatica*, v. 26, n. 1, p. 119-142, 2022.
- ZHU, H. *et al.* **Web Mapping and Spatial Analysis with Python**. *Journal of Spatial Science*, 2023. <https://doi.org/10.1080/14498596.2023.2213372>.

Aplicação da Tecnologia da Informação em uma Transportadora de Cargas

Application of Information Technology in a Cargo Transportation Company

Lucas Rodrigues
Gilmerson Inacio Gonçalves

RESUMO

A concorrência no mercado do setor logístico do Brasil faz com que as empresas busquem estar sempre cada vez mais competitivas. Para que isso ocorra é necessário que as empresas busquem investimentos e melhorias contínuas nos processos operacionais para que o trabalho seja cada vez mais produtivo e mais lucrativo, sendo assim, a tecnologia é uma ferramenta aliada para que se modernizem e se mantenham atualizadas. O estudo proposto tem como objetivo mostrar a melhoria no processo logístico de uma transportadora de cargas fracionadas através de um software implantado, mostrando seu funcionamento e seus resultados. Este trabalho mostra os processos realizados pela empresa, bem como seus problemas e através das ferramentas de qualidade utilizadas, identifica as causas e informa a solução, sendo demonstrada através de imagens e fluxogramas. O método de pesquisa partiu de um estudo de caso verificando os processos rotineiros da empresa, suas dificuldades e os resultados obtidos através do estudo mostraram que é possível eliminar e promover melhorias, através da tecnologia.

Palavras-chave: logística; qualidade; processos.

ABSTRACT

Competition in the Brazilian logistics market forces companies to seek to be increasingly competitive. For this to happen, companies must seek continuous investment and improvements in their operational processes so that their work becomes increasingly productive and profitable. Therefore, technology is an allied tool for them to modernize and stay up to date. The proposed study aims to show the improvement in the logistics process of a freight forwarder through the implementation of software, showing its



operation and results. This work shows the processes carried out by the company, as well as its problems and, through the quality tools used, identifies the causes and provides solutions, demonstrated through images and flowcharts. The research method was based on a case study verifying the company's routine processes, its difficulties and the results obtained through the study showed that it is possible to eliminate and promote improvements through technology.

Keywords: logistics; quality; processes.

INTRODUÇÃO

As empresas que buscam se manter no mercado devem procurar atualizações a respeito das exigências e tecnologias dos negócios, que frequentemente requerem inovações.

A integração das atividades logísticas é um dos principais fatores para empresas que buscam progredir, para tal, as tecnologias e sistemas de informação têm um papel central neste processo, já que fornecem a infraestrutura e os aplicativos que permitem a troca de informação necessária para a integração.

A tecnologia da informação (TI) tem sido considerada uma das maiores ferramentas responsáveis pelo sucesso das empresas, seja para a sobrevivência, ou para a obtenção de maior competitividade na indústria.

Nesse sentido, este estudo teve por objetivo, identificar as principais causas que dificultam a obtenção de informações rápidas e precisas nos processos e assim, analisar os benefícios advindos das implantações de um aplicativo que gerencie a operação de coleta e entrega de mercadorias de uma transportadora de carga fracionada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Logística

Sendo usado desde o início da civilização, a logística recebeu diversas denominações ao longo dos anos: distribuição física, distribuição, engenharia de distribuição, logística empresarial, entre outras. Por logística entende-se que é um conjunto de métodos meios que precisam ser destinados para entregar os produtos certos, no local certo, no tempo combinado.

Logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes (Ballou, 2001, p. 21).

A responsabilidade da logística está relacionada a disponibilizar produtos, matéria-prima, produtos acabados e estoques no local onde são requisitados com menor tempo e custo para que a operação seja realizada.

Segundo o Council of Logistics Management (1996), a logística pode ser definida como o processo de planejar, implementar e controlar o fluxo e o armazenamento de matérias-primas, estoques, produtos acabados e as informações correlatas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de obedecer às exigências dos clientes.

Em um conceito mais atual, logística um termo mais conhecido e surgido recentemente é a que representa a logística integrada é o gerenciamento da cadeia de suprimentos a qual se destina para integração de setores e funções. Com objetivo de diminuir o custo e tempo, a integração da cadeia de suprimentos tornou-se algo importante para as empresas investirem, propondo uma eficiência maior sempre acompanhado da evolução da tecnologia.

Tecnologia Aplicada à Logística

Com a constante evolução de processos e com a função diária da logística, as tecnologias surgem com a função de minimizar erros e aperfeiçoar processos dentro da cadeia de suprimentos. Através disso, muitas empresas buscam ferramentas que se encaixam em seu ramo logístico seja ele qual for.

A tecnologia da informação (TI), está em constante crescimento no mercado e nas empresas, a cada dia surge novas tecnologias, ferramentas, softwares meios de utilização que melhoram os processos que as empresas necessitam. No caso da logística, os processos integrados através do TI melhoram sua comunicação devido à integração que a tecnologia pode oferecer.

Para Dias (2017) um sistema de informação nos dias atuais é essencial para que a empresa aperfeiçoe e gerencie seus procedimentos. Como sempre há mudança no mercado, é natural que busquem tecnologias para se posicionarem com maior competitividade entre as empresas que estão em alta em seu ramo.

Permitir às empresas aperfeiçoar seus ciclos de fluxos de materiais, obtendo um gerenciamento de todos os processos necessários para a circulação de produtos; Aperfeiçoar a utilização dos recursos físicos, colocando tudo em seus lugares dentro da cadeia logística; Montar um banco de dados colocando à disposição ferramentas de suporte para alocar recursos e usá-los com mais eficiência; Fornecer informações para o controle de desempenho operacional e para os indicadores logísticos; e fornecer informações de suporte à decisão para que os gestores dirijam a cadeia de suprimentos global (Dias, 2017, p. 260).

Ferramentas de Qualidade

As ferramentas de qualidade são um conjunto de metodologias que podem ser utilizadas para identificar e resolver problemas, podendo ser aplicada a algum tipo de serviço ou até mesmo produto. Inventadas em meados da década de 50, as ferramentas de qualidade são meios capazes de identificar e reunir dados para identificar e compreender os problemas que devem ser resolvidos para buscar a otimização operacional. Godoy (2009) identifica: “como ferramentas da qualidade todos os processos empregados na obtenção de melhorias e resultados positivos, permitindo-se com isso uma melhor exploração de seus produtos no mercado competitivo”.

Em resumo, as ferramentas da qualidade são essenciais para melhorarem os processos e reduzirem os custos, aumentar a satisfação de clientes e fornecedores, além de identificar e resolver problemas de forma eficiente.

Para demonstrar alguns motivos do uso ferramentas da qualidade, Lucinda (2010) as coloca na seguinte ordem:

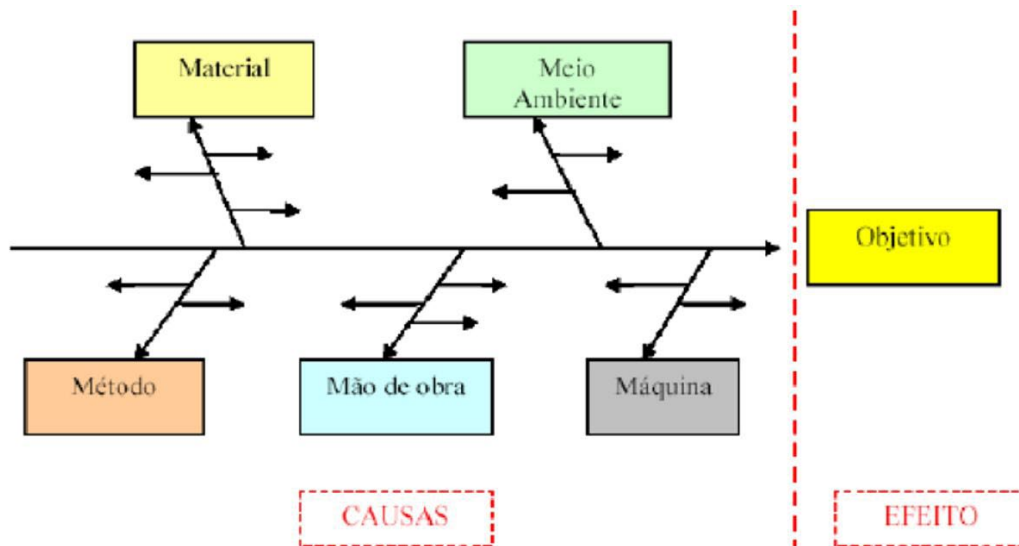
- Facilitar o entendimento do problema,
- Proporcionar um método eficaz de abordagem,
- Disciplinar o trabalho
- Aumentar a produtividade

Diagrama de Ishikawa

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa é uma ferramenta gráfica que ajuda a identificar e analisar as causas de um problema, ele é especialmente útil quando o problema pode ser complexo e ter varias causas adjacentes.

O diagrama de Ishikawa, de acordo com Werkema (1995), é uma ferramenta utilizada para expor a relação existente entre o resultado de uma processo, e as causas que tecnicamente possam afetar esse resultado. Segundo Moura (2003), é uma ferramenta útil para análise dos processos de forma a identificar as possíveis causas de um problema. A figura 1 demonstra como é realizado.

Figura 1 - Diagrama de causa e efeito.



Fonte: Ishikawa, 1993.

Fluxograma

O fluxograma é um diagrama que descreve os passos de um processo ou sistema. É composto por varias formas retângulo, ovais, diamantes, cada um com o significado de cada passo, assim como conectores que fluem para a sequência do processo que esta descrevendo.

“O fluxograma consiste na representação gráfica que, utilizando de diferentes formas geométricas representativas, apresenta a sequência de um trabalho de forma analítica” (Oliveira, 2013).

“Fluxogramas são úteis para escrever um programa ou algoritmo e explicá-lo aos outros ou colaborar com eles” (Lucidchart, s.d.).

5W2H

O 5W2H é uma ferramenta de gestão que foi desenvolvida para sanar problemas que ocorrem nos processos metodológicos das empresas. De acordo com Lucinda (2016), ela funciona como um checklist de atividades bem claras e definidas que devem ser realizadas em um projeto. Essa ferramenta tem a propriedade de resumir as atividades diárias e, por conseguinte auxilia no planejamento, distribuição de afazeres, definirem os itens que estarão contidos em um plano de ação, bem como registrar e estipular prazos para a sua concretização.

Para Bassan, (2018), a ferramenta 5W2H, é muito útil para as organizações em geral, pois elimina as dúvidas que possam surgir sobre a atividade que será realizada ou o processo que será feito.

Segundo Valle; Oliveira, (2013), o método 5W2H consiste basicamente em fazer perguntas, no sentido de se obter as informações primordiais que servirão de apoio ao planejamento de uma forma geral.

A figura 2 define os princípios desta ferramenta com os termos originais, sua tradução e seu significado.

Figura 2 - 5w2h.

	Termo Original	Traduzido	Ação
5W	What	O quê	O que vai ser realizado?
	When	Quando	Quando essa ação será realizada?
	Why	Por quê	Por quê isso será realizado?
	Where	Onde	Onde essa ação será desenvolvida?
	Who	Quem	Quem é o responsável por isso?
2H	How	Como	Como essa ação será feita?
	How Much	Quanto	Quanto custará para se fazer essa atividade?

Fonte: EPR Consultoria, 2021.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi utilizado como abordagem o método qualitativo, segundo Filippini (1997) tem principais características o destaque na visão do elemento que esta sendo estudado e a interpretação do ambiente em que a problemática ocorre.

Já como método, utilizou-se o estudo de caso, o qual Bryman (1989) realiza uma análise detalhada de um ou mais casos, com o uso de diversos instrumentos de coleta de dados e presença de relação entre pesquisador e objeto de pesquisa.

ESTUDO DE CASO

O estudo foi realizado em uma empresa de transporte, especialista no transporte de cargas, principalmente da indústria calçadista.

A transportadora tem sua matriz em Novo Hamburgo/RS e possui mais 13 filiais nos principais polos calçadistas do Sul e Sudeste brasileiro, contando com uma frota de aproximadamente 250 veículos entre pequenos, médios e grandes. Com foco em cargas fracionadas, a empresa também é habilitada para o transporte de produtos químicos considerados perigosos.

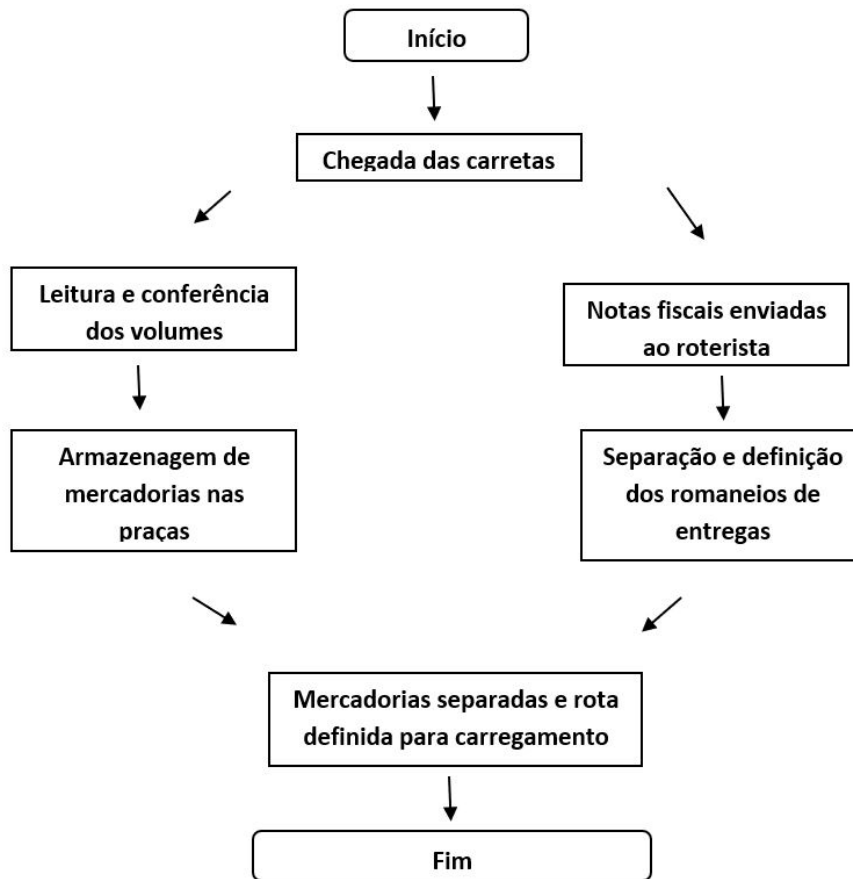
A filial, em que foi realizado o estudo, conta com uma frota de 9 veículos próprios e 1 veículo terceirizado. Em média, são realizadas 3,7 mil entregas mensais, com um fluxo de aproximadamente 1.241 toneladas para entregas na cidade de Jaú e outras cidades da região num raio de 100 km.

Fluxo Operacional da Filial

Na operação da filial estudada são recebidos diariamente veículos vindos de outras filiais com mercadorias que devem ser descarregadas separadas e entregues. Além disso, por se tratar de uma filial de transbordo, algumas mercadorias são transferidas diretamente ou descarregadas e posteriormente carregadas em outros veículos que seguem para outras filiais.

As quatro etapas de recebimento das mercadorias seguem a seguinte sequência e é ilustrada na figura 3.

1. Mercadoria é descarregada por um ajudante e levada até o conferente;
2. Conferente realiza a leitura dos volumes através do código de barras para verificar os dados do volume, quantidade, cidade e cliente;
3. Armazenagem das mercadorias em pallets em sua praça destino;
4. Roteirista separa as notas por cliente, região e volumes, definindo a rota e o veículo que será posteriormente carregado.

Figura 3 - Processo de descarregamento.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Após o recebimento, separação, é iniciado o processo de expedição das mercadorias. Essa etapa é realizada por ajudantes e motoristas em seus respectivos veículos, já definidos anteriormente. Este processo é constituído de cinco etapas principais.

1. Retirada e checagem de romaneio (documento que contém a lista de mercadorias que serão transportadas) com informação de veículo e conhecimentos de entregas;
2. Busca e conferência de produtos de acordo com as notas fiscais;
3. Carregamento de mercadorias nos veículos de entrega;
4. Realização de conferência e entrega junto ao cliente;
5. Recolhimento de assinatura de canhotos de recebimento.

Este processo é feito durante todo o percurso em cada entrega, sendo representado através do figura 4.

Figura 4 - Processo de carregamento.

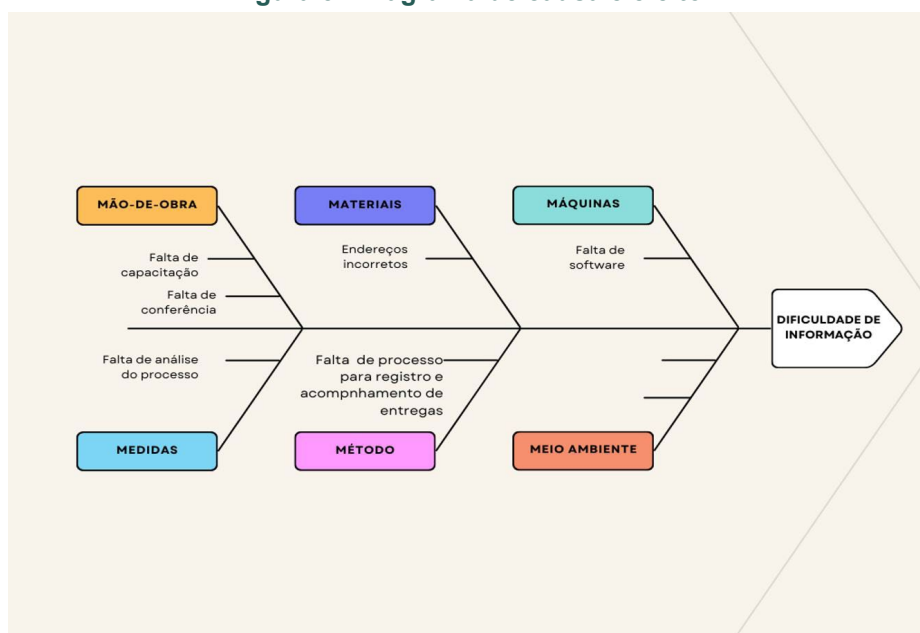


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Dificuldades Encontradas na Operação da Filial

Um grande problema encontrado foi a dificuldade de acesso a informações corretas na operação de entrega e coletas de mercadorias, pois, para se obter as informações sobre as coletas e entregas realizadas, era possível somente por meio de telefone ou mensagem de texto. Assim, para solucionar esse problema encontrado, foi utilizado o diagrama de Ishikawa, onde foram identificadas as principais causas geradoras da falta de informações rápidas e precisas. A figura 5 ilustra o diagrama com as principais causas identificadas.

Figura 5 - Diagrama de causa e efeito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Implantação do Software de Gerenciamento Logístico

Após a identificação das causas e efeitos, foi sugerida a implantação de um software de gerenciamento de coletas e entregas, o qual auxiliará os motoristas/ajudantes, além de fornecer informações das operações em tempo real. Para isto, foi empregada a ferramenta de qualidade 5W2H, com o objetivo de definir um plano para realizar a instalação desta tecnologia. Através da quadro1, verificamos os passos utilizados descritos no 5w2h.

Quadro 1 - Implantação 5w2h.

O que	Por que	Quem	Quando	Onde	Como	Quanto
Treinamento a equipe operacional para utilização do software	Capacitar os funcionários para utilizar a ferramenta	Equipe operacional de entrega	Durante a implantação do sistema	Na transportadora	Através de software e treinamento	Custo da aquisição do software

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Implantações de Melhorias para Comunicação

Para solução dos problemas detectados no capítulo 4.3, através do diagrama de Ishikawa, foi realizada a implantação de um software que buscou principalmente agilizar o registro de informações em tempo real de entregas e coletas, com suas respectivas ocorrências.

Entrega de Mercadorias

Após o roteirizador determinar a rota que o veículo seguirá, é realizado o romaneio de entrega na filial, que é o documento que acompanha os veículos com toda lista e informações de mercadorias que estão no veículo. Esta lista vai automaticamente para o aplicativo do motorista, assim ele pode finalizar suas entregas à medida que for realizando. A figura 6 ilustra romaneio de entrega já elaborado.

Figura 6 - Romaneio de entrega.

Empresa	Filial	Série	Conhec	Emissão	Tipo Frete	Volumes	Total	Destinatário	Cidade	UF	Status Carregamento
1002	25817	1	1986455	18/10/2024	Pago	6	149,96	PETERSON GONCALVE...	JAU	SP	Carregado
1002	25817	1	1986579	18/10/2024	Pago	8	183,90	GRAFICA SUPREMA EM...	JAU	SP	Carregado
1002	1021	8	235499	18/10/2024	A Pagar	1	93,09	INDUSTRIA DE CALCAD...	JAU	SP	Carregado
1002	14	2	358532	18/10/2024	A Pagar	1	30,00	INDUSTRIA DE CALCAD...	JAU	SP	Carregado
1002	14	2	358506	18/10/2024	A Pagar	4	95,00	HITS INDUSTRIA E COM...	JAU	SP	Carregado
1002	25817	1	1987220	18/10/2024	Pago	1	99,72	GUMERCINDO ALVES FI...	JAU	SP	Carregado
1002	25817	1	1987049	18/10/2024	A Pagar	1	55,15	INDUSTRIA DE CALCAD...	JAU	SP	Carregado
1002	25817	1	1987324	18/10/2024	Pago	1	34,49	PETERSON GONCALVE...	JAU	SP	Carregado
1002	14	2	358520	18/10/2024	A Pagar	1	62,73	HITS INDUSTRIA E COM...	JAU	SP	Carregado

Fonte: NGS Win, 2024.

Utilizando o software, conforme a figura 7 o motorista seleciona a entrega que está realizando e através de seu aparelho celular envia a imagem do recibo da entrega correspondente, já assinado pelo cliente.

Figura 7 - Conhecimentos disponíveis para entrega.

☰ Entregar

Usuário: LUCASR04

Agência: 28505

Data Emissão: 18/10/2024

Tipo: ENTREGA

Veículo: JCN7E86 ▾

Com CTE's entregues?

Chave CT-e:

Q BUSCAR

Conhecimentos disponíveis para entrega:

64240
 ALAI SERAFIM LIMA
 Endereço: RUA SANTA CATARINA, 1275
 Bairro: JD OLARIA POTUNDUVA
 Cidade: JAU - SP

1986638
 N C MUSSIO CALCADOS LTDA
 Endereço: AVENIDA JOSE EDUARDO DO AMA...
 Bairro: JARDIM ORLANDO CHESINI OMETTO
 Cidade: JAU - SP

Fonte: NGS Win, 2024.

A cada entrega realizada, é possível filtrar por veículo e acompanhar por tempo real, as finalizadas e as pendentes conforme mostra a figura 8.

Figura 8 - Status de entrega.

Manifesto	Placas Caval	Placas Carreta	Motorista	Nome Motorista	Série	Conhecimento	Volumes	Peso	Data da Entrega	Data Prevista
1036114	JCN7E86		43813859851	LUCAS RODRIGUES	1	1986477	5	39,383	18/10/2024	18/10/2024
1036114	JCN7E86		43813859851	LUCAS RODRIGUES	2	358531	1	1	18/10/2024	21/10/2024
1036114	JCN7E86		43813859851	LUCAS RODRIGUES	2	358501	1	1	18/10/2024	21/10/2024
1036114	JCN7E86		43813859851	LUCAS RODRIGUES	1	1986974	7	132,773	18/10/2024	21/10/2024
1036114	JCN7E86		43813859851	LUCAS RODRIGUES	1	1986984	1	2	18/10/2024	21/10/2024
1036114	JCN7E86		43813859851	LUCAS RODRIGUES	2	358403	10	150,5	18/10/2024	21/10/2024
1036114	JCN7E86		43813859851	LUCAS RODRIGUES	1	1987197	2	35,21	18/10/2024	21/10/2024

Fonte: NGS Win, 2024.

Coletas de Mercadorias

As coletas por sua vez, funcionam basicamente como descritas no capítulo anterior, que trata das entregas. Após o cliente solicitar uma coleta para transportadora, os dados dessa coleta são cadastrados no software sistema e posteriormente enviados para a placa do veículo determinado para realizar a tarefa. A figura 9 ilustra o cadastro da coleta com todas as informações necessárias.

Figura 9 - Cadastro de coleta.

Fonte: NGS Win, 2024.

Em seu dispositivo, o motorista recebe as notificações sobre as coletas e ao acessar cada uma, tem acesso a dados como - endereço, quantidade de volumes, tipo de mercadoria - e ainda tem as opções de finalizar, ou informar qualquer tipo de problema existente. A figura 10 ilustra a tela de coletas no aplicativo.

Figura 10 - Coletas disponíveis.

Fonte: NGS Win, 2024.

Por sua vez, através do sistema, o responsável pelo cadastramento e distribuição das coletas para os veículos, tem acesso as coletas realizadas ou não realizadas. A figura 11 apresenta a tela de acompanhamento das coletas.

Figura 11 - Acompanhamento de coletas.

Relação de Coletas já Impressas															
Filial	Número	Volumes	Peso	Placas Δ	Status	Descr Status	Mercadoria	TP	Tipo Frete	Visualizou coleta	Hr:Vis Col	Ini Coleta	Fim Coleta	Obs Coleta	Razão Social
28505	24200	22	2774	IHL9695	2	Realizada	MATERIA-PRIMA	1	Pago	GILBRAND004	15:42	16:55	16:55		FITTYCOR - INDUSTRIA E COMERCIO DE TINTAS ESPECIAIS LTDA
28505	24215			IHL9695	2	Realizada	MATERIA-PRIMA	1	Pago	GILBRAND004	16:56	16:56	16:56		TEXTIL EVEREST LTDA
28505	24221	45		IHL9695	2	Realizada	MATERIA-PRIMA	1	Pago	GILBRAND004	16:56	16:56	16:57		STALO BAURU MOBILIARIO ESCOLAR LTDA
28505	24225	10		ISE7823	2	Realizada	MATERIA-PRIMA	1	Pago	FRANCISCO04	17:17	17:17	17:17		LUIS FERNANDO MELETO EIRELI
28505	24226			ISE7823	2	Realizada	MATERIA-PRIMA	1	Pago	FRANCISCO04	16:52	16:52	16:52		COURO PELE ACABAMENTO DE COURO LTDA
28505	24224	17	540	ISE7823	2	Realizada	MATERIA-PRIMA	1	Pago	FRANCISCO04	17:04	17:04	17:09		EDWARD TAMANINI JUNIOR
28505	24227	1		ISJ3918	2	Realizada	MATERIA-PRIMA	2	A Pagar	IRAMAR04	16:40	16:40	16:40		COREPLAST EMBALAGENS LT

Fonte: NGS Win, 2024.

RESULTADOS

Para a solução dos problemas detectados no capítulo 4.3 ilustrado através do diagrama de Ishikawa, as soluções sobre as causas geradoras que dificultavam o acesso rápido a informações estão relacionadas:

- Falta de capacitação: Treinamento adequado para os funcionários sobre a tecnologia através do software no dispositivo;
- Falha na informação: Software para conferência imediata de mercadorias entregues e não entregues;
- Endereços incorretos: Envio automático de informações precisas para o aplicativo móvel;
- Falta de software: Implantação do aplicativo para celulares.
- Falta de análise de processo: Acompanhamento real através da ligação entre o aplicativo e o sistema.
- Falta de processo para registro e acompanhamento de entregas: Foto no ato da entrega do comprovante devidamente assinado pelo cliente.
- Falta de software: Implantação de aplicativo para celular.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi identificar e solucionar um problema existente em uma empresa de transporte de cargas, e, através do estudo, sugerir uma solução que pudesse eliminar a dificuldade da falta de informações.

Através da análise das causas e efeitos, foi detectado uma falha grande nos processos que era a falta informações e notou-se a necessidade da implantação de um software tecnológico para executar os trabalhos de forma otimizada e produtiva.

Feito a implantação, o trabalho evidenciou que o software fornece as funções e módulos necessários nos processos desde o acompanhamento inicial, até a finalização

de coletas e entregas. O software ainda traz melhoria dos processos, maior controle das operações, comunicação eficaz, centralização de informações, diminuição de trabalho manual, segurança e troca eletrônica de dados.

Portanto, a empresa que procura melhoria contínua e se manter atualizada no mercado, deve buscar sempre ferramentas tecnológicas que estão cada vez mais presentes, a fim de melhorar seus processos garantindo maior satisfação dos clientes e também dos funcionários que fazem parte da equipe.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, R. H. (2001). **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 4ª edição. Porto Allegre: Bookman
- BASSAN, Edilberto José. **Gestão da Qualidade: Ferramentas, Técnicas e Métodos** / Edilberto José Bassan. 1ª edição – Curitiba, Pr. 2018. 153p.
- BOWERSOX, Donald J. & CLOSS, David J. **Logistical Management: the integrated supply chain process**. McGraw-Hill, 1996
- Bryman (1989). BRYMAN, A. **Research methods and organization studies**. Londres: Unwin Hyman, 1989.
- Council of Supply Chain Management Professionals (1996), <http://www.cscmp.org>.
- DANIEL, E. A. ; MURBACK, F. G. R. **Levantamento bibliográfico do uso das ferramentas da qualidade**. Revista Gestão, 2014
- DIAS, Marco. **Introdução à logística, fundamentos, práticas e integração**. 1ª edição. Rio de Janeiro. Atlas; 2017. p.5
- EPR-CONSULTORIA. **5W2H conheça as 7 perguntas para encontrar as soluções 2021**. Disponível em: <https://eprconsultoria.com.br/5w2h/>. Acesso em: 15 de outubro de 2024.
- Filippini (1997). FILIPPINI, R. **Operations management research: some reflections on evolution, models and empirical studies in OM**. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 17, p. 655-70, 1997.
- GODOY, Adelice Leite de. **Ferramentas da Qualidade**. 2009. Disponível em: <https://www.cedet.com.br/index.php?/Tutoriais/Gestao-da-Qualidade/ferramentas-da-qualidade.html>: Acesso em: 15 de Outubro. 2024.
- ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total: à maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.
- LUCIDHART. **O que é fluxograma**. Disponível em: <https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-um-fluxograma>. Acesso em: 15 de outubro de 2024
- LUCINDA, Marco Antônio. **Análise e Melhoria de Processos - Uma Abordagem Prática para Micro e Pequenas Empresas**. Simplíssimo Livros Ltda, f. 66, 2016. p.106.
- LUCINDA, Marcos Antônio. **Qualidade: fundamentos e práticas para curso de graduação**. 3 ed. Rio de Janeiro: Brasport , 2010.
- MOURA, L.R. **Qualidade Simplesmente Total**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003
- NGS Win. **Apresentação do sistema**. 2024.

OLIVEIRA, R. P. D. **Sistemas, organização e métodos**. São Paulo: Atlas, 2013.

O que é um fluxograma? Disponível em: <<https://www.lucidchart.com/pages/pt/o-que-e-um-fluxograma>>. Acesso em: 15.10.2024

VALLE, R.; OLIVEIRA, S. B. **Análise e modelagem de processos de negócio: foco da notação BPMN** (Business Process Modeling Notation). São Paulo: Atlas, 2011

WERKEMA, M.C.C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

Qualidade e Inovação na Avicultura: Ferramentas e Estratégias de Gestão

Quality and Innovation in Poultry Farming: Management Tools and Strategies

Michael Douglas Mello de Castro

Acadêmico de Engenharia de produção da Faculdade ISEPE/RONDON

Bruna Pasqualotto

Professor Orientador da Faculdade ISEPE/RONDON

RESUMO

O estudo visa identificar novas tecnologias e práticas de gestão aplicadas ao agronegócio de pequenas propriedades avícolas, destacando a necessidade de adaptação dos produtores rurais às exigências do mercado. Através de uma revisão bibliográfica, o estudo explora métodos de qualidade como 5S, 5W1H, que visam otimizar a organização das propriedades, melhorando a eficiência operacional a baixo custo. A análise também aborda os benefícios sociais e econômicos gerados pela avicultura, como a geração de empregos e o fortalecimento de redes de fornecedores. O estudo conclui que a inovação tecnológica, associada à capacitação contínua dos produtores, é fundamental para a manutenção da competitividade global do setor, garantindo o crescimento sustentável e a contribuição positiva da avicultura para a economia brasileira.

Palavras-chave: produtores rurais; avicultura; eficiência operacional.

ABSTRACT

The study aims to identify new technologies and management practices applied to the agribusiness of small poultry farms, highlighting the need for rural producers to adapt to market demands. through a literature review, the study explores quality methods such as 5S and 5W1h, which aim to optimize farm organization, improving operational efficiency at low cost. The analysis also addresses the social and economic benefits generated by poultry farming, such as job creation and the strengthening of supplier networks. The study concludes that technological innovation, combined with the continuous training of producers, is essential for maintaining the



global competitiveness of the sector, ensuring sustainable growth and the positive contribution of poultry farming to the Brazilian economy.

Keywords: rural producers; poultry farming; operational efficiency.

INTRODUÇÃO

Nos últimos trinta anos, a avicultura brasileira tem exibido elevados índices de crescimento, atingindo mercados altamente exigentes. Isso colocou o Brasil em terceiro lugar na produção mundial de aves de corte e em primeiro lugar nas exportações. Atualmente, o frango exportado pelo Brasil alcança 142 países. Além disso, outras aves de corte ajudam a diversificar a pauta de produtos exportados do agronegócio (UBABEF, 2011).

O avanço do setor avícola brasileiro reflete não apenas economicamente, mas também socialmente. A indústria avícola emprega, direta e indiretamente, uma média de 4,5 milhões de pessoas. Produtores de frango estão estabilizando suas famílias, gerando empregos, renda e estimulando o mercado nas pequenas cidades (Turra, 2006).

Nos últimos anos, 31% da produção brasileira de carne de frango foi destinada à exportação e 69% ao consumo interno. De janeiro a maio de 2021, comparado ao mesmo período de 2020, a exportação de carne de frango aumentou 4,6% (ABPA, 2021).

No Brasil, o setor de avicultura, devido às exportações, tem liderado o mercado mundial desde 2004. Em 2010, na produção de carne de frango, o Brasil ocupava o terceiro lugar mundial como maior produtor de frango, totalizando 12,230 milhões de toneladas de carne, com um aumento de 11,38% em comparação a 2009, tornando o Brasil, naquela época, o terceiro maior produtor mundial, ainda atrás da China, que produziu 12,550 milhões de toneladas em 2010, e dos Estados Unidos, com 16,648 milhões de toneladas (UBABEF, 2011). Já em meados de 2020, esse cenário mudou, tornando o Brasil o segundo maior produtor de frango de corte, ficando atrás somente dos EUA. Em 2024, o Brasil ainda se encontra na segunda posição, sendo o estado do Paraná o maior exportador (UBABEF, 2024).

Ao comparar o mercado agroindustrial de frangos de corte com outros setores do agronegócio nacional, este se destaca como o mais favorável (Pereira *et al.*, 2006). O agronegócio representa US\$ 300 bilhões dos US\$ 850 bilhões do PIB brasileiro (35% do total), sendo os empreendimentos agropecuários responsáveis por US\$ 60 bilhões (7% do PIB), dos quais US\$ 6 bilhões são atribuídos à avicultura (Shorr, 2000).

É necessário que o produtor rural se reinvente, tornando-se empreendedor, inovador e flexível na administração de sua propriedade, tratando-a como uma empresa, cumprindo prazos e metas, e não mais apenas como uma atividade familiar. Esta revisão bibliográfica tem como objetivo identificar, na literatura, as novas tecnologias e técnicas de gestão na área do agronegócio de pequenas propriedades avícolas. Além disso, investiga as estratégias necessárias para os produtores rurais se adaptarem às demandas do mercado atual, promovendo a inovação, o empreendedorismo e a eficiência na gestão das propriedades agrícolas.

HISTÓRIA DO SETOR PRODUTIVO NA AVICULTURA

Segundo Giannoni e Giannoni (1983), após 1940, a avicultura nos moldes industriais recebeu maior incentivo dos governos devido à fome causada pela Segunda Guerra Mundial, com o auxílio do desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Isso corrobora o pensamento de Schumpeter (1943), que acredita que novas tecnologias são descobertas em tempos de crise.

Moreng e Avens (1990) também afirmam que o desenvolvimento da indústria avícola teve início nos anos 1940, devido ao envolvimento massivo dos países na Segunda Guerra Mundial. O autor observa que, nos Estados Unidos da América, esse crescimento ocorreu de forma independente de programas governamentais subsidiados, mantendo uma competição acirrada e resultando em produções eficientes em um mercado amplamente disputado. Como as medidas de racionamento não incluíam a produção de carne e ovos durante a guerra, essa produção cresceu de forma ascendente. Os avanços tecnológicos decorrentes de estudos e pesquisas científicas impulsionaram uma expansão industrial acelerada. As pesquisas aplicadas ao manejo de produção e tecnologias alternativas possibilitaram uma produção de carne suficiente para alimentar quase toda a população, independentemente do poder aquisitivo de cada pessoa.

As raças híbridas começaram a ser introduzidas no complexo avícola brasileiro na década de 1940, consolidando-se apenas no início da década de 1960, juntamente com os galpões de mil frangos, consequência do convênio estabelecido entre os Estados Unidos e o Ministério da Agricultura (Sorj *et al.*, 1982) e da instalação de filiais norte-americanas e canadenses no mercado brasileiro. Para a produção local de matrizes, as empresas importaram suas linhagens de avós, estimulando a distribuição no país, que na época estava restrita a algumas regiões e caracterizava-se como criação de “fundo de quintal” (Ortega, 1988). As empresas forneciam todo o pacote tecnológico que viabilizava e otimizava a avicultura.

A partir da década de 1960, a avicultura de corte ganhou força com a vinda de técnicos norte-americanos e a formação de uma equipe brasileira para o desenvolvimento do Escritório Técnico de Agricultura (ETA). Paralelamente, foi criada a ferramenta 4 S, que, quando aplicada à extensão rural, incentivou jovens a se interessarem pela avicultura. O estímulo definitivo ocorreu com a visita de avicultores e técnicos brasileiros às granjas e indústrias avícolas situadas nos Estados Unidos (Giannoni e Giannoni, 1983). No início dos anos 1970, verifica-se a consolidação de uma nova técnica, resultando em um processo contínuo e gradual de transformações que levariam a mudanças nas concepções até então vigentes sobre a avicultura. Portanto, a década de 1970 entrou para a história como a época da consolidação da avicultura industrial no Brasil, fornecendo desde então dados de desempenho.

Organização Produtiva

A cadeia produtiva da avicultura de corte é, sem dúvida, uma das mais bem coordenadas no Brasil, o que a torna altamente competitiva no cenário global. Estima-se que cerca de 75% da produção de frangos no país esteja sob a supervisão de grandes

empresas, tanto nacionais quanto internacionais (Carletti Filho, 2005). No entanto, para garantir a sustentabilidade dessa cadeia, é fundamental que os benefícios gerados sejam distribuídos de forma justa entre todos os participantes. Isso significa que todos os agentes econômicos devem ser adequadamente remunerados, não apenas para permanecerem na atividade, mas também para continuarem investindo na melhoria da competitividade da cadeia produtiva como um todo.

Produção Integrada na Agricultura

Segundo Belato (1985), a importância da integração dos camponeses ao capital internacional na agricultura resultou na introdução de uma grande quantidade de insumos e maquinários no país. Isso levou a uma mudança significativa na forma de se praticar a agricultura, com agricultores e empresários adotando novas práticas. Empresas multinacionais e entidades internacionais como Ford, Rockefeller, Heinz, Agnelli, entre outras, juntamente com o Banco Mundial, formaram uma aliança financeira, técnica e científica.

Essa aliança provocou uma transformação no setor agropecuário, influenciando a aproximação entre a agricultura e a indústria e promovendo o surgimento de sistemas de integração. A integração surgiu como uma forma de organização do trabalho, tornando-se uma parte significativa dos complexos agroindustriais (Belato, 1985).

Em nível mundial, vários elementos trabalham de forma integrada, como a produção de aves, ovos, suínos, bovinos e tabaco. Segundo Paulilo (1988), a produção integrada, integração agroindustrial ou integração produtiva pode ser definida como “uma forma de articulação vertical entre empresas agroindustriais e pequenos produtores agrícolas, onde o processo de produção é organizado industrialmente, ou o mais próximo possível desse modelo, com aplicação maciça de tecnologia e capital” (Paulilo, 1988).

Na visão de Paulilo (1988), produtores integrados são “aqueles que, recebendo insumos e orientação técnica de uma empresa agroindustrial, produzem matéria-prima exclusivamente para ela”. A organização entre o produtor integrado e a indústria é feita de maneira contratual, com a indústria fornecendo ao agricultor os insumos necessários e comprando exclusivamente dele a matéria-prima produzida. Ele ainda observa que o agricultor integrado “é submetido à homogeneização das condições técnicas, uma cláusula necessária para atingir o padrão de racionalidade e o nível de acumulação que as empresas se propõem”, tornando os agricultores assalariados. Filgueiras (2013) complementa essa reflexão ao considerar que a proposta original da integração é a contratação de pequenos produtores rurais para realizar etapas do processo produtivo, firmando um contrato de exclusividade no fornecimento da produção.

Conforme explicado anteriormente, com base na consideração de Paulilo (1988), a empresa integradora fornece a matéria-prima e dita os padrões da atividade, cabendo ao integrado cumprir o que foi estipulado em contrato. A integração consiste inicialmente na contratação de pequenos produtores rurais para realizar etapas do processo produtivo da empresa. O pequeno proprietário de terra, considerado integrado, firma um contrato de exclusividade de fornecimento do bem demandado pela tomadora de serviço (Filgueiras, 2013).

Filgueiras (2013) considera ainda que, desde a concepção do modelo, fica claro que o empreendimento no qual se insere a integração é da empresa tomadora de serviços, porque, mesmo que a terra seja propriedade do integrado, a demanda e o processo produtivo são da tomadora. O integrado é considerado uma peça fundamental para a empresa tomadora de serviço. Assim, o agricultor torna-se um contratado da empresa, precisando se adaptar às exigências da integradora e sendo responsável por implementar, na sua propriedade, as estruturas necessárias para produção e armazenamento. No caso de animais para crescimento, a integração é vista como um meio de exploração do produtor rural pela empresa, pois esta consegue reduzir os custos de produção ao mesmo tempo que aumenta sua produtividade, não sendo responsável por alguns custos pessoais. Tais artifícios são interessantes ao capital, pois reduzem os custos de contratação e uso da força de trabalho. Dessa maneira, além de ter seu direito expropriado, o trabalhador assume os riscos do negócio. Ao buscar pequenos proprietários, as empresas conseguem maior submissão do integrado em relação à contratante.

Produção Integrada Aplicada a Avicultura

Belusso (2010) apresenta uma definição semelhante à introduzida neste capítulo. Para o autor, a produção integrada na avicultura envolve a colaboração entre os proprietários, responsáveis pelo crescimento e engorda dos frangos, e as empresas integradoras, que organizam os contratos e industrializam a produção.

A integração avícola é entendida como o fornecimento de matrizes das aves, rações, assistência técnica e garantia da compra dos frangos pela empresa. Contudo, o produtor deve seguir as orientações técnicas, receber os insumos fornecidos pela integradora e produzir a quantidade de aves acordadas no contrato (Belusso, 2010).

De acordo com Belato (1985), a unidade de produção de frangos de corte é composta por um incubatório, fábrica de rações, abatedouro, serviço de assistência técnica ao produtor e equipe administrativa.

A integração na avicultura pode ocorrer de duas formas: integração horizontal e integração vertical. A integração horizontal acontece quando uma mesma empresa atua em mais de um estágio do processo produtivo, ou seja, produz os insumos, grãos, aves e realiza a industrialização da carne. Já a integração vertical ocorre quando mais de uma empresa participa do processo produtivo (Ziebert e Shikida, 2004).

Lázia (2015) explica que, no Brasil, o sistema funciona da seguinte maneira: a integradora fornece as condições necessárias para produção, acompanhamento e comercialização da produção do integrado. O proprietário é responsável por fornecer as instalações, equipamentos, aquecimento, água, cama e mão de obra. A intenção do proprietário é lucrar, dedicando-se exclusivamente a essa atividade após abdicar de outras culturas e formas de produção possíveis na propriedade.

Para explicar a organização do sistema de integração na avicultura, Lázia (2015) também afirma que “de acordo com o professor Tadeu Cotta (...) a avicultura de corte no Brasil adota três sistemas de produção, cada um com seu modo de criação. Tais sistemas são: sistema de integração, sistema cooperativo e sistema independente” (Lázia, 2015).

Segundo a autora mencionada, a integração na avicultura se consolidou graças a fatores como o clima favorável à criação, a expansão da cultura da soja e do milho, e a boa receptividade do consumidor ao produto. Outro fator que contribuiu foi a exportação de carne, fortalecendo o desempenho da avicultura de corte.

O sistema exige do produtor qualidade e bom desempenho das aves. Alguns fatores são determinantes, como o ganho médio diário (GMD), índice de conversão alimentar (ICA) e a viabilidade por meio da sanidade das aves, visando a diminuição da mortalidade das aves (Ribeiro, 2009).

Tipos e Tecnologias Empregadas em Aviários

No Brasil, existem principalmente quatro tipos de sistemas de criação de frangos de corte. O primeiro é o modelo convencional, onde se emprega basicamente a força humana, sem qualquer automatização. Segundo Abreu e Abreu (2011), nesse sistema não há controle artificial da temperatura (ventiladores e exaustores), sendo a ventilação apenas natural por meio da abertura das cortinas laterais.

No segundo modelo, diferente do anterior, são utilizados ventiladores no interior dos aviários. Esse sistema pode ser chamado de semi-climatizado ou aviários com pressão positiva. Contudo, mesmo com essa ventilação, a temperatura ainda não é ideal devido à baixa homogeneidade do ar.

O terceiro tipo são os aviários chamados climatizados, caracterizados pelo cortinado amarelo, onde não há controle da intensidade luminosa interna e externa. Esses galpões de confinamento possuem um sistema de ventilação por pressão negativa, tipo túnel, que, de acordo com Xin (2009), atinge maiores velocidades de ar e, conseqüentemente, uma maior capacidade de redução de temperatura, com um menor número de exaustores.

Por fim, o último modelo, conhecido como dark house, possui controle total da luminosidade. São semelhantes aos aviários climatizados, mas se diferenciam pelo cortinado preto do lado externo, que bloqueia completamente a passagem de luz. A luminosidade interna é ajustada por meio de dimmer e a estrutura de light trap, que impede a passagem de luz nas entradas e saídas de ar (Abreu; Abreu, 2011).

Aplicação de Métodos e Ferramentas de Qualidade

O conceito de qualidade torna-se cada vez mais abrangente e evidente nas organizações. Nos últimos anos nunca se ouviu falar tanto sobre qualidade, pois trata-se de algo essencial a ser considerado nos processos, serviços e produtos. A qualidade enquanto conceito evoluiu ao longo do tempo de forma a adequar-se ao mercado, considerando a evolução dos negócios e a intensificação da concorrência, obrigando assim as organizações a uma constante busca pela melhoria contínua dos seus produtos por meio do aprimoramento de seus processos (Luppi; Rocha, 1998).

Gestão da Qualidade

Após a Segunda Guerra Mundial, um programa de qualidade foi implementado no Japão, por volta de 1980, inspirado nas teorias de pesquisadores e consultores americanos

como Juran, Feigenbaum e Deming. Os japoneses adaptaram essas abordagens para grandes indústrias, promovendo uma participação mais ativa dos colaboradores no processo (Daft, 2005). Segundo Paladini (1994), a gestão da qualidade é um conjunto de ações organizadas para estabelecer e alcançar metas de qualidade, que depende do comprometimento de todos os setores em prol do bem comum. O autor ressalta que a qualidade se refere à adequação ao uso, permitindo uma nova organização do trabalho nas indústrias. Daft (2005) destaca a importância do envolvimento dos colaboradores, da cooperação entre todos e da superação das expectativas na gestão da qualidade, além de enfatizar que o programa deve explorar inovações no mercado, buscando eficiência e qualidade em pequenas mudanças em todos os setores da empresa. Ele aponta quatro elementos essenciais para a gestão da qualidade: o engajamento dos colaboradores, a participação de todos no controle da qualidade, a satisfação das necessidades e a superação das expectativas, considerando também as inovações de mercado, melhorias contínuas, qualidade e satisfação do cliente.

Ferramentas da Qualidade

Chamamos de ferramentas da qualidade as técnicas desenvolvidas com o objetivo de auxiliar na solução de problemas, resultando em uma melhoria contínua. Segundo Segat (2011), essas ferramentas têm como finalidade compreender as origens e causas dos problemas, visando a conclusões mais precisas, estimulando a criatividade das pessoas e otimizando o processo de tomada de decisões.

Paladini (1994) define sete ferramentas para o controle da qualidade, direcionadas para processos e produtos, conforme o quadro 1.

Quadro 1 - Ferramentas da qualidade.

Ferramentas da Qualidade	Descrição
Diagrama de causa-efeito	Mecanismo direcionado para análise dos processos produtivos.
Histogramas	São empregadas nas estruturas estatísticas para apresentar os dados.
Gráficos de controle	Proporcionam classificar entre superiores e inferiores, uma quantidade de população associadas às medidas estatísticas.
Folhas de checagem	Organizadas de acordo com as necessidades do usuário.
Gráficos de Pareto	Especificam-se as causas de um procedimento sendo classificadas por importância.
Fluxogramas	Reproduzem graficamente as etapas pelas quais passam os processos.
Diagrama de dispersão	Análise com duas variáveis feitas a partir de métodos gráficos.

Fonte: Paladini, 1994.

O quadro 1 apresenta as ferramentas de qualidade e seus respectivos propósitos e objetivos. A utilização destas ferramentas visa padronizar a empresa e as informações, sendo necessário ajustes para sua aplicação no cotidiano organizacional.

Segundo Segat (2011), o diagrama de causa e efeito tem como objetivo representar graficamente a relação entre o efeito observado e suas possíveis causas, analisando o processo de maneira sistêmica para identificar e compreender os problemas, reconsiderando-os e identificando a causa raiz. Relacionado ao diagrama de causa e efeito, o histograma também visa representar graficamente problemas ou processos que não estão em conformidade com o meio.

Conforme Paladini (1994), os gráficos de controle têm a função de monitorar o processo, indicando se está dentro dos limites estabelecidos, permitindo o controle da variabilidade do processo ou o grau de não conformidade.

O gráfico de Pareto é utilizado para segmentar e resolver problemas, conforme definido por Segat (2011).

Considerando Segat (2011), o fluxograma é um instrumento utilizado para planejar e compreender o processo, identificando suas etapas e as responsabilidades das atividades. É eficaz por abranger todo o processo, permitindo analisar suas causas.

O diagrama de dispersão, segundo Paladini (1994), complementa o diagrama de causa e efeito ao verificar a possível correlação entre as causas identificadas e a intensidade delas.

Programas da Qualidade

Os programas de qualidade têm como objetivo buscar a melhoria contínua. Taublib (1998) define qualidade como uma mudança na postura comportamental, resultando em menor custo e redução de desperdícios. Ao longo do tempo, surgiram diferentes sistemas que foram adaptados à realidade específica de cada situação, sempre com foco no controle abrangente da qualidade. No quadro 2, são apresentados os programas de qualidade conforme descritos por Kalkmann (2002):

Quadro 2 - Programas da qualidade.

Programas da qualidade	Significados
Just in Time	Fabricação da quantidade exata, menor tempo possível e no momento exato da necessidade.
Kaizen	Melhoras contínuas fundamentadas em educação e treinamento.
5W e 1H	Why (Por quê?); What (O que?); Who (Quem?); Where (Onde?); When (Quando?).
5s	Seiri (Senso de Utilização); Seiton (Senso de Ordenação); Seiso (Senso de Limpeza); Seiketsu (Senso de Saúde); Shitsuke (Senso de Autodisciplina).
Ciclo PDCA	Definir, Executar, Verificar e Atuar.

Fonte: Kalkmann, 2002.

O quadro 2 apresenta os programas de qualidade descritos por Kalkmann. O método conhecido como Just In Time é uma filosofia centrada na eliminação de desperdícios no processo de manufatura.

Conforme Alves (2011), neste conjunto observamos um novo conceito de processo produtivo, resultando em estoques reduzidos, custos menores e maior qualidade em comparação com sistemas convencionais. Além da eliminação de desperdícios, a filosofia visa operar com capacidade plena dos colaboradores, garantindo a produção de itens de qualidade dentro de prazos hábeis.

Para Araujo e Rentes (2011), Kaizen representa a melhoria contínua do fluxo de um processo, visando também aprimorar a qualidade do processo para minimizar desperdícios.

Segat (2011) explica que o 5W e 1H é uma adaptação de seis palavras originárias da língua inglesa que orientam ações a serem realizadas de maneira cuidadosa e direta. Este programa é executado por meio de uma lista de verificação que reduz a possibilidade de erros.

No quadro 2 foram listados alguns programas de qualidade passíveis de implantação, com foco específico nos programas 5S e 5W 1H neste estudo.

Cinco Sentos (5s)

O programa 5S teve sua origem nos Estados Unidos, porém foi desenvolvido nos anos 60 no Japão, conforme afirmado por Ribeiro (1994), que menciona que desde a infância os pais ensinavam aos filhos os princípios educacionais a serem seguidos ao longo da vida adulta.

No Brasil, esse programa começou a ser adotado a partir de 1990, especialmente por empresas focadas na qualificação de recursos humanos. Abrantes (2007) destaca que a implementação do programa não é uma solução temporária para todos os problemas, enfatizando a importância do investimento no desenvolvimento das pessoas. O autor também acredita que uma implementação eficaz do programa de qualidade pode resultar em diversos benefícios.

De maneira compreensível, o programa 5S apresenta uma complexidade em sua prática. Silva (2001) menciona que o principal objetivo deste programa de qualidade é melhorar o ambiente de trabalho tanto física quanto mentalmente, auxiliando as pessoas a mudar suas maneiras de pensar para melhorar seus comportamentos.

Ainda segundo o autor, o 5S às vezes é mal interpretado e visto apenas como um programa de organização e limpeza, conforme destacado por alguns autores ou consultores em cursos, mas o programa tem uma ampla aplicação que requer trabalho em equipe para alcançar seus objetivos.

Os cinco sentos visam melhorar as condições de trabalho, criando um ambiente de qualidade que transforma potenciais em realizações para a execução das atividades, incluindo a promoção da saúde física e mental dos colaboradores. Conforme Kalkmann (2002), este método foi desenvolvido para estabelecer e incentivar bons hábitos entre as pessoas, como higiene, bem-estar, trabalho em equipe, respeito ao próximo e combate ao desperdício. Para que esse processo ocorra de maneira positiva, é necessário o treinamento das pessoas envolvidas, além de educação e disciplina.

Ribeiro (1994) argumenta que o sucesso do programa está associado à disciplina e à mudança de hábitos. O autor também destaca diversos benefícios com a implementação do sistema, como a redução do desperdício, otimização do espaço, racionalização do tempo, diminuição do estresse, padronização, melhoria da qualidade, redução de acidentes e promoção da autodisciplina.

No Quadro 3 estão representados os 5 sentos apontados por Kalkmann (2002).

Quadro 3 - 5 Sentos.

Sensos	Significados
SEIRI	Utilização
SEITON	Organização
SEISO	Limpeza
SEIKETSU	Saúde
SHITSUKE	Autodisciplina

Fonte: Adaptado de Kalkmann, 2002.

O quadro 3 apresenta os cinco sentidos, os quais possibilitam às organizações manter as condições necessárias para a melhoria contínua.

Segundo Ribeiro (1994), SEIRI significa “utilização”, sendo utilizado para separar itens desnecessários e destinar adequadamente aqueles que não serão mais úteis. Já Silva (1996) destaca os principais benefícios da adoção deste sentido, como a liberação de espaço, reciclagem de recursos escassos, realocação de pessoas em outros setores, redução da burocracia e diminuição de custos. Com este sentido, as empresas conseguem reduzir o desperdício, permitindo um fácil manuseio e movimentação dos materiais.

SEITON, segundo Kalkmann (2002), significa “organização”, envolvendo a disposição adequada do ambiente de trabalho. Por outro lado, Ribeiro (1994) e Silva (1996) argumentam que este sentido agrupa itens de fácil acesso conforme sua frequência de uso, mantendo a organização e reduzindo o tempo necessário para localizar materiais. Hirano (1994) destaca que a organização é essencial para padronizar e identificar os itens nas empresas.

De acordo com Ribeiro (1994), SEISO refere-se à “limpeza”, visando à eliminação da sujeira pelos usuários do ambiente. Hirano (1994) enfatiza a importância de identificar os departamentos que mais acumulam sujeira e designar responsáveis para manter o local de trabalho impecável. Silva (1996) sugere que empresas incentivem a limpeza através de lembretes nos locais de trabalho, destacando os benefícios da higiene, como a prevenção de acidentes.

O sentido SEIKETSU significa “saúde”, sendo para Silva (1996) essencial para a excelência, conservando a higiene e saúde dos colaboradores, prevenindo acidentes e estresse. O autor alerta que os gestores devem garantir que os sentidos de utilização, organização e limpeza não se deteriorem, pois o SEIKETSU não traz benefícios imediatos como os três primeiros. Ele também enfatiza que os gestores devem manter condições físicas e mentais favoráveis à saúde para transformar energia física e mental em qualidade nos serviços.

SHITSUKE é definido como “autodisciplina”, onde todos devem agir por iniciativa própria, conforme Hirano (1994) destaca.

Kalkmann (2002) afirma que quando os colaboradores cumprem os quatro primeiros sentidos, estão prontos para cumprir o último. Silva (1996) complementa que uma pessoa autodisciplinada toma a iniciativa necessária.

Com a implementação de todos os sensores, Santos (2010) observa que as organizações estão preparadas para um futuro desejável, promovendo mudanças comportamentais e melhorando o relacionamento interpessoal, contribuindo para o desenvolvimento.

Para manter a qualidade ativa, Silva (1996) considera fundamental que a empresa pratique e promova o 5S para criar um ambiente de trabalho com qualidade de vida adequada.

Método 5w e 1H

O método 5W1H pode ser definido como um plano estruturado que visa identificar atividades e responsabilidades do operador designado para executá-las, por meio de um questionário, orientando assim as diversas ações que serão realizadas. Esta ferramenta deve ser configurada para proporcionar uma rápida identificação dos parâmetros essenciais para a implementação do projeto (Pontes *et al.*, 2005).

Com o intuito de organizar e agilizar o processo de resolução de problemas, utiliza-se uma tabela de ações, que consiste em um sistema de respostas a seis perguntas que oferecem coordenação para evitar falhas. Essas perguntas estão representadas pela sigla do método 5W1H, formada pelas iniciais em inglês: What, When, Who, Where, Why e How, conforme explicado por Campos (2004).

i. What (O quê?) – O que será realizado? este primeiro questionamento indica de que como será efetuado a atividade.

Detalhes para execução são necessários.

ii. WHEN (Quando?) – Quando será desempenhado? aqui é definido o tempo necessário para implementação. É de suma importância estabelecer prazos de início e fim.

iii. WHO (Quem?) – Quem irá executar? este passo identifica o encarregado da atividade.

iv. WHERE (Onde?) – Onde ocorrerá o trabalho?

v. WHY (Por quê?) - Este tópico tem como proposta explicar a razão ou motivação para operar o trabalho estruturado.

vi. HOW (Como?) – Esta etapa especifica como um todo o processo de realização da atividade, as particularidades devem do projeto devem ser expostas. A partir disso, é possível detectar adversidades e auxilia na ordenação do plano de ação.

O plano de ação 5W1H permite considerar todas as tarefas a serem executadas ou selecionadas de forma cuidadosa e objetiva, assegurando sua implementação de forma organizada” (Lenzi; Kiesel; Zucco, 2010, p.185).

Entretanto os colaboradores que acham possível implantar a ferramenta, após serem treinadas e desde que sejam definidas claramente suas etapas, assim qualquer pessoa será capaz de executar essa ferramenta, contribuindo para a redução das anomalias que acabam impactando o serviço conforme observado por Maiczuk e Andrade Júnior (2013).

A ferramenta da qualidade 5W1H pode ser aplicada por qualquer pessoa, porém há colaboradores que não conhecem esta ferramenta, o que acaba causando uma certa dúvida por parte destes que estão habituados a usar mais as BPF que já fazem parte do seu cotidiano, o autor ainda destaca que a ferramenta 5W1H aborda algumas ações e sugestões para os gestores, com o intuito de resolver ou ao menos minimizar os problemas encontrados, para beneficiar as atividades organizacionais (Fonseca, 2016).

METODOLOGIA

Esta pesquisa bibliográfica foi desenvolvida com base em material já elaborado, constituído a partir de livros, periódicos, documentos, textos, mapas, fotos, manuscritos e, até mesmo, material disponibilizado na internet (fontelles *et al.*, 2009). O estudo visa entender os aspectos e soluções positivas, sendo extremamente relevante para a produção familiar na criação de aves de corte de forma integrada. Foi realizado um levantamento bibliográfico, com análise de aproximadamente 30 fontes, entre trabalhos de conclusão de curso, textos de leis, documentos, identificados em plataformas digitais, como a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e a SciELO, com publicações datadas de 1988 a 2024 (Koche, 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo revisar a produção avícola e sugerir formas de melhorar a produção através da implementação de ferramentas de qualidade, destacando a importância dessas ferramentas no contexto da agricultura, especialmente para produtores familiares.

A produção integrada, que envolve a estreita colaboração entre pequenos produtores e grandes empresas, demonstrou ser um modelo eficaz para aumentar a eficiência, reduzir custos e garantir a qualidade ao longo da cadeia produtiva.

Ao longo das décadas, a avicultura brasileira evoluiu significativamente, passando de um modelo de criação artesanal para sistemas altamente tecnológicos e integrados. Essa transformação não apenas aumentou a produtividade e a competitividade no mercado global, mas também trouxe benefícios econômicos e sociais substanciais, incluindo a geração de empregos e a estabilização econômica das famílias rurais.

A avicultura de corte tem impacto significativo na economia local de várias maneiras:

- **Geração de empregos:** A avicultura cria uma variedade de postos de trabalho, desde a produção e manejo das aves até a distribuição e comercialização dos produtos, contribuindo para a redução do desemprego na região.
- **Renda para produtores:** O setor proporciona uma fonte de renda para pequenos e médios produtores, que dependem da avicultura como principal atividade econômica.

- Desenvolvimento de fornecedores locais: A cadeia produtiva estimula o desenvolvimento de fornecedores locais, como empresas de ração, equipamentos e serviços, fortalecendo a economia regional.
- Aumento da atividade comercial: O aumento da produção de carne de frango impulsiona o comércio local, beneficiando mercados, supermercados e restaurantes que vendem esses produtos.
- Efeito multiplicador: Os investimentos feitos na avicultura geram um efeito multiplicador na economia local, pois o dinheiro circula entre diferentes setores, beneficiando a comunidade como um todo.
- Inovação e tecnologia: O setor também pode incentivar a adoção de novas tecnologias e práticas sustentáveis, contribuindo para a modernização da agricultura local.
- Acesso a alimentos: A produção de carne de frango oferece uma fonte acessível e nutritiva de proteína para a população local, melhorando a segurança alimentar.

Portanto, a avicultura de corte não apenas contribui para a economia local, por meio da geração de empregos e renda, mas também promove o desenvolvimento de uma rede de fornecedores e serviços que beneficia a comunidade em geral.

Além disso, a implementação de ferramentas e métodos de gestão da qualidade, como os programas 5S, Kaizen e Just In Time, desempenhou um papel crucial na melhoria contínua dos processos produtivos. Essas ferramentas têm como principal finalidade promover uma melhor organização da propriedade a baixo custo, tratando-a como uma empresa.

Essas práticas otimizam a eficiência operacional e contribuem para a sustentabilidade ambiental e o bem-estar animal, que são aspectos essenciais para a manutenção da competitividade global do setor.

A integração e a adoção de práticas de gestão da qualidade são pilares fundamentais para o futuro da avicultura brasileira. Investimentos contínuos em inovação tecnológica, educação e capacitação dos produtores rurais são necessários para garantir que o setor avícola do Brasil continue a prosperar e a contribuir de forma positiva para a economia nacional e global.

REFERÊNCIAS

ABPA, Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual 2020-2021**. Disponível em: <https://abpa-br.org/mercados/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. **Ventilação na avicultura de corte**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, Concórdia, ISSN: 0101-6245. 50p. 2000. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58306/1/doc63.pdf>. Acesso em: 23 de jun. de 2024.

ABRANTES, J. **Programa 8S: Da alta administração à linha de produção: o que fazer para aumentar o lucro**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora Inter ciência, 2007.

- ALVES, J. M. **Instituto de Fomento e Coordenação Industrial - IFI: Sistema Just In Time reduz os custos do processo produtivo**. Disponível em: <http://www.ppcp.hpgvip.ig.com.br/justintime.pdf>. Acesso em: 15 de . 2024.
- BELATO, D. **Os Camponeses Integrados**. 1985. 477 f. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 1985.
- BELUSSO, D. **A integração de agricultores às cooperativas agrícolas abatedoras de frangos no oeste do Paraná**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências e Tecnologia Campus de Presidente Prudente. Presidente Prudente, 2010.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. 8ª Ed., INDG Tecnologia e Serviços Ltda. Belo Horizonte, 2004.
- CARLETTI FILHO, P. de T. **Divisão de custos e alimento estratégico de uma cadeia de suprimentos integrada verticalmente: o caso do frango brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. Piracicaba: USP, 2005.
- DAFT, R. L. **Administração**. 6. Ed. São Paulo: Thomson, 2005.
- FILGUEIRAS, V. A. **Novas/Velhas formas de organização e exploração do trabalho: produção “integrada” na agroindústria**. Instituto de economia da universidade estadual de Campinas, Brasil. novembro de 2013.
- FONSECA, M. H. da. **PROPOSAL FOR REDUCING STOCKS OF ANOMALIES THROUGH 5W1H ACTION PLAN**. 2016. 51 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.
- FONTELLES, M. J. *et al.* **Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para elaboração de um projeto de pesquisa**. Revista Paraense de Medicina [on line], v. 23, n. 2, s/p., 2009. Disponível em: <http://files.bvs.br/upload/S/0101-5907/2009/v23n3/a1967.pdf>. Acesso em: 16 set. 2024.
- GIANNONI, M. A. & GIANNONI, M. L. **Genética e Melhoramento de Rebanhos nos Trópicos**. São Paulo: Nobel, 1983.
- HIRANO, H. **5S na prática**. Tradução; prefácio à edição brasileira Ciro Yoshinaga. São Paulo: IMAM, 1994.
- IBGE/PNDA. **Perfil do produtor rural**. Disponível em: <http://datasebrae.com.br/perfil-do-produtor-rural>. Acesso em: 01 jun. 2024.
- KALKMANN, G. L. **Qualidade Necessária: para empresas de serviços contábeis**. Itajaí: Berger, 2002.
- KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.
- LÁZIA, B. **Produção de frangos de corte - sistema de integração, sistema cooperativo e sistema independente**. Disponível em: <http://www.cpt.com.br/noticias/producao-de-frangos-de-corte-sistema-de-integracaosistema-cooperativo-e-sistema-independente>. Acesso em: 22 de jun. 2024.
- LENZI, F. C.; KIESSEL, D. M.; ZUCCO, F. D. **Ação empreendedora: como desenvolver e administrar o seu negócio com excelência**. São Paulo: Gente, 2010.

- LUPPI, D. R. A. **SEBRAE. Praticando Qualidade**. 2ed. 1998.
- MAICZUK, J.; ANDRADE JÚNIOR, P. P. **Aplicação de ferramentas de melhoria de qualidade e produtividade nos processos produtivos: um estudo de caso**. *Qualitas Revista Eletrônica*, Paraíba, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2013.
- MORENG, R. E. e AVENS, J. S. **Ciência e Produção de Aves**. São Paulo: Roca, 1990.
- ORTEGA, A. C. **RAÇÕES: da Especialização a Integração Vertical**. (Dissertação de Mestrado), Campinas: IE/UNICAMP, 1988.
- PALADINI, E. P. **Qualidade Total na Prática: implantação e avaliação de sistemas de qualidade total**. Atlas, 1994.
- PEREIRA, C. M.; MELO, M. R.; SANTOS, M. H. **O Agronegócio Do Frango De Corte: um estudo de caso sob a ótica da economia dos custos de transação**. 2006. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpica/publicacoes/tec1-0107.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.
- PONTES, H. L. J. **Melhoria no sistema produtivo de uma fábrica de café: estudo de caso**. In *Simpósio de Engenharia de Produção*, 12, Bauru. Anais. São Paulo: SIMPEP, 2005.
- RIBEIRO, H. **A base para a qualidade Total. 5S roteiro para uma implantação bem-sucedida**. Salvador: Casa da Qualidade, 1994.
- SCHORR, H. **Asas para o Futuro**. In: *Agroanalysis*. Rio de Janeiro: FGV, Vol. 20, no 8, 2000.
- SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1943.
- SEGAT, V. **Curso de extensão em gestão empresarial**. Flores da Cunha: Universidade de Caxias do Sul, 2011.
- SILVA, A. T. **Administração básica**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- SANTOS, N. C. R. dos *et al.* **SIMPEP: Implantação do 5S para qualidade nas empresas de pequeno porte na região central do Rio Grande do Sul**. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/889.pdf. Acesso em: 15 de jun. de 2024.
- TAUBLIB, D. **Controle da qualidade total: Da teoria a prática em um grande hospital**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.
- TURRA, Francisco. **A saga da avicultura brasileira**. 2006. Disponível em: <http://abpabr.com.br/files/publicacoes/fcc1856de5f036bb47a8a246a0781e26.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.
- UBABEF, União Brasileira de Avicultura. **Relatório anual 2010-2011**. Disponível em: <http://www.abef.com.br/ubabef/exibenoticiaubabef.php?notcodigo=2761>. Acesso em: 01 jun. de 2024.
- XIN, H. **Cooling Poultry in Tropical Climates**. Iowa State University, 2009. Disponível em: <http://www.ans.iastate.edu/section/Ensminger/CostaRica/Xin.pdf>. Acesso em: 22 de jun. 2024.
- ZIEBERT, R. A; SHIKIDA, P. F. A. **Avicultura e produção integrada em Santa Helena, estado do Paraná: uma abordagem a partir da nova economia institucional**. *Agric.* São Paulo, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 71-86, jan./jun. 2004.

Software Ftool para Validação dos Esforços Internos de Treliças Planas Hiperestáticas

Ftool Software for the Validation of Internal Forces in Hyperstatic Plane Trusses

Kézia Brasilino de Souza

RESUMO

No cenário atual, é evidente que a elaboração de projetos estruturais, é necessário auxílio de uma ferramenta computacional, com a finalidade de otimização do tempo e para trazer melhor qualidade para os projetos. As treliças compõem boa parte de projetos estruturais, isso devido a apresentarem boa relação peso/resistência, e se destacarem por ser uma solução prática e econômica para muitos problemas de engenharia. Devido a isso, o presente trabalho visou calcular as forças axiais das barras de treliças hiperestáticas submetidas a carregamentos externos por meio do método dos nós, de três questões apresentadas por Beer *et al.* (2011) e validação utilizando *software* Ftool. Através da análise comparativa entre as duas metodologias, verificou-se a equivalência nas análises de esforços internos das estruturas sujeitas a carregamentos externos. Com isso é possível validar a confiabilidade, eficácia e precisão do Ftool como ferramenta de auxílio nas resoluções dos esforços internos de treliças planas.

Palavras-chave: treliças planas; Ftool; validar.

ABSTRACT

In today's scenario, it is clear that the development of structural projects requires the aid of a computational tool in order to optimize time and improve project quality. Trusses make up a large part of structural projects, due to their good weight/strength ratio and the fact that they are a practical and economical solution to many engineering problems. For this reason, this study aimed to solve the axial forces of hyperstatic truss members subjected to external loads using the knot method, three questions presented by Beer *et al.* (2011) and validation using Ftool software. A comparative analysis of the two methodologies showed that the internal forces of the structures subjected to external loads were equivalent. This makes it pos-



sible to validate the reliability, effectiveness and accuracy of Ftool as a tool to help solve the internal forces of flat trusses.

Keywords: flat trusses; Ftool; validate.

INTRODUÇÃO

O processo de cálculos estruturais eram inicialmente processos lentos, longos e bem trabalhosos, no entanto com a tecnologia foram criados *softwares* para proporcionar uma maior rapidez e precisão da concepção de projetos. A praticidade para resolução de problemas de análise estrutural iniciou com a utilização de régua de cálculo, calculadoras programáveis e computadores que levavam dias para processar até modelos de pouca complexidade (Kimura, 2018).

No entanto, é de extrema importância que o projetista compreenda o conhecimento teórico para realizar a interpretação dos resultados obtidos e seja possível propor soluções adequadas. Dessa maneira, os *softwares* não devem ser usados para substituir o conhecimento do engenheiro, mas complementar o conhecimento de forma a ajudar na execução mais rápida e objetiva das atividades.

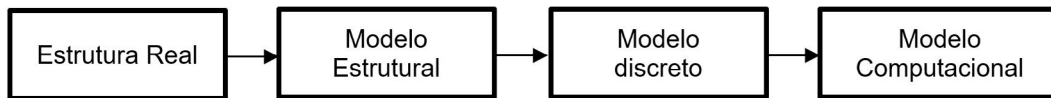
Atualmente, os programas computacionais estão mais modernos, com um processamento mais curto e servindo de auxílio para os engenheiros estruturais para solucionar problemas de treliças planas hiperestáticas. Um *software* que ajuda a solucionar os esforços axiais das barras das treliças é por meio do Ftool.

Portanto, esta pesquisa tem como foco principal a análise estrutural de treliças hiperestáticas por meio manual e posteriormente a validação dos resultados com o *software* Ftool. Com isso, mostrar de forma prática, para alunos e profissionais da engenharia, o uso do Ftool para elucidar problemas relacionados às treliças.

ANÁLISES DE ESTRUTURAS

A análise estrutural prevê o desempenho que uma estrutura está sujeita a cargas prescritas e/ou demais efeitos, como movimentação de apoios e mudanças da temperatura. No qual, foi importante ser estudada desde a antiguidade, pois tem sido parte do dia a dia do esforço humano. Porém somente no século XVII que os conhecimentos da mecânica em projetos estruturais começaram a ser aplicados (Kassimali *et al.*, 2016). A análise estrutural é necessário para compreender o comportamento que as estruturas estão submetidas, por exemplo, os esforços internos atuantes em uma treliça.

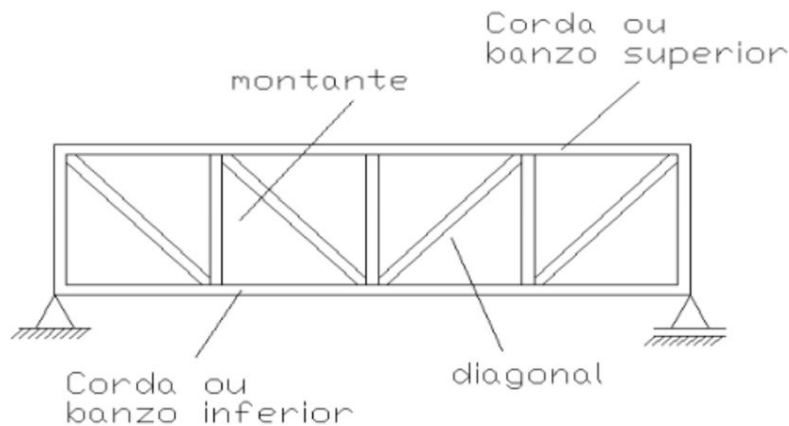
A análise estrutural é dividida em quatro níveis de abstração (figura 1). O primeiro nível se chama “estrutura real”, o qual representa como de fato a estrutura foi construída, o segundo nível é o modelo estrutural, onde informa a estrutura de forma matemática e certifica-se os comportamentos possíveis em que pode ser submetida. O terceiro nível é o modelo discreto, que se baseia na discretização, na mudança do modelo matemático para o discreto; por fim, o quarto nível, trata-se do modelo computacional, que visa a modelagem e simulação das estruturas através de *softwares* (Martha, 2017).

Figura 1 - Quatro níveis de abstração para uma estrutura na análise estrutural.

Fonte: Martha, 2017.

TRELIÇAS

Segundo Souza e Rodrigues (2008) as treliças são barras retas, que quando juntas formam painéis triangulares, elas são estruturas lineares e a solicitação em que estão submetidas ocorre de forma geral por tração e ou/ compressão. Os elementos que fazem parte de uma treliça (figura 2), são: corda, conjunto de barras que limitam a treliça; montante, barra vertical da treliça; diagonal, barra que o eixo coincide com a diagonal de um painel; painel, trecho entre dois alinhamentos consecutivos de montantes; e nó, ponto de união entre extremidades.

Figura 2 - Exemplificação de treliça.

Fonte: Souza e Rodrigues, 2008.

Treliças são muito utilizadas em projetos de engenharia devido sua versatilidade, elas proporcionam boa relação carga resistência/ peso próprio, sem gerar alto custo relativo ou perda de estética. Desse modo, a treliça se destaca dentre as estruturas de engenharia, pois proporciona em solução, prática, econômica, simultaneamente para cenários necessários (Beer *et al.*, 2012). As treliças podem ser classificadas como treliça plana (bidimensional) e treliças espaciais (tridimensional).

Leva-se em consideração que os pesos sujeitos à treliça são aplicados nos nós, onde metade do peso do elemento é aplicado a cada um dos nós que os une. É considerado que as forças em cada extremidade do elemento sejam uma única força sem nenhum momento, dessa maneira as forças são consideradas em um único elemento que se reduz a única força na extremidade do elemento, e assim cada elemento é considerado como elemento submetido a ação de duas forças (Beer *et al.*, 2012).

MÉTODO DOS NÓS

Um dos métodos mais utilizados para resolver problemas de treliça plana, ou seja, determinar os esforços internos ao qual cada barra está submetida (compressão ou tração)

é através do método dos nós, chamado também de método de cremona. O método dos nós visa resolver treliças planas, onde verifica-se o equilíbrio em cada nó da treliça, deve-se: determinar as reações de apoio, realização do diagrama de corpo livre de cada um dos nós, observando o tipo de solicitação sujeita, em seguida as equações de força devem ser aplicadas para obter as forças dos membros em cada um dos nós (Hibbeler, 2011).

Segundo Hibbeler (2011), para analisar as treliças pelo método dos nós faz-se preciso obedecer a certo passo a passo. O procedimento tem quatro passos: (1) Desenhar o diagrama de corpo livre para um dos nós, onde deve ter no mínimo uma força conhecida e no máximo duas incógnitas; (2) Considerar que a força do membro incógnito seja sempre de tração, dessa maneira na solução numérica dos membros resultará em forças escalares positivas para os membros de tração e negativa para os de compressão; (3) definir a orientação dos eixos “x” e “y” para determinar os componentes das forças para cada componente, através do diagrama de corpo livre, e depois aplicar equações de equilíbrio, $F_x = 0$ e $\sum F_y = 0$, para encontrar as intensidades das forças incógnitas; (4) depois dos resultados encontrados em um nó, seguir os mesmos passos para o próximo nó, até que todas as forças sejam identificadas.

FTOOL

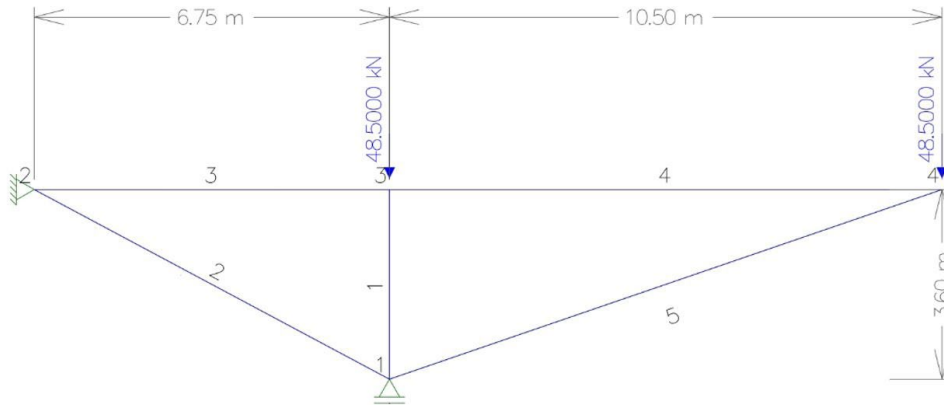
O Ftool (*Two-dimensional Frame Analysis Tool*), é um programa gráfico-interativo para análise de estruturas, desenvolvido na PUC-Rio, que ajuda no ensino do comportamento estrutural de pórticos planos (exemplo: vigas, pórticos e treliças planas). O Ftool é disponibilizado em versão gratuita para fins acadêmicos, mas também disponível para o mercado na versão avançada, adquirida normalmente por projetistas estruturais (Martha, 2002).

O Ftool utiliza de representação topológica completa, onde usa uma biblioteca chamada de HED (*Half-Edge Data Structure*). O HED isenta a programação de boa parte de funções para manipulação do modelo, porém necessita de um padrão de organização da estrutura de dados do programa. Desse modo, ao inserir os dados de forças e condições de apoio aplicado a nós, as forças distribuídas aplicadas a barras, são blocos “pendurados” nas entidades topológicas do HED: modelo, aresta (compõe uma barra) e vértice (compõe a um nó) (Kaefer, 2000).

APLICAÇÕES

São apresentados três exemplos de treliças planas hiperestáticas (figura 1-3) (Beer *et al.*, 2012). As questões foram resolvidas pelo método dos nós e verificadas através do software Ftool. As tabelas 1-3 evidenciam as respostas referente a cada treliça estudada. Primeiramente foram encontradas as reações de apoio, o sinal negativo atribuído ao elemento esforço normal de compressão e o sinal positivo ao esforço de tração na barra. E posteriormente encontrados os esforços axiais das barras.

Figura 3 – Modelo 1



Fonte: Beer et al., 2012.

Tabela 1.a - Esforços nas barras do modelo 1.

Elemento	Comprimento (m)	Método dos nós (kN)	Ftool (kN)
1	3,60	-48,5589	-47,5589
2	7,65	-16,2008	-16,2008
3	6,75	141,3436	141,3436
4	10,50	141,3464	141,3464
5	11,10	-149,4286	-149,429

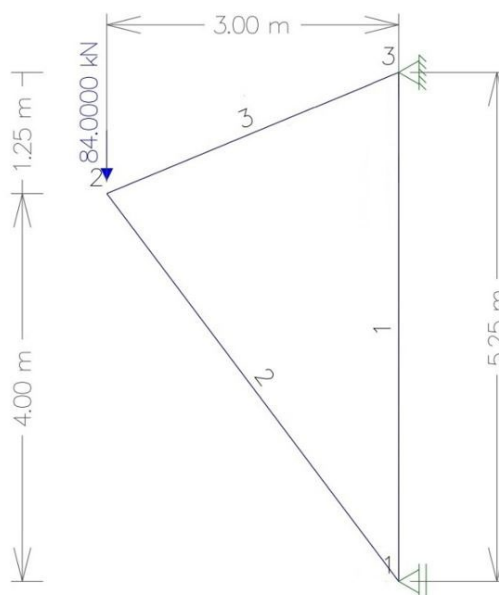
Fonte: autoria própria.

Tabela 1.b - Reações de apoio do modelo 1.

Ponto	Método dos nós (kN)	Ftool (kN)
1	172,4444	172,4444
2	75,4444	75,4444

Fonte: autoria própria.

Figura 4 - Modelo 2.



Fonte: Beer et al., 2012.

Tabela 2.a - Esforços nas barras do modelo 2.

Elemento	Comprimento (m)	Método dos nós (kN)	Ftool (kN)
1	5,25	63,9953	63,9953
2	5,00	-79,9535	-79,9535
3	5,25	52,0006	52,0006

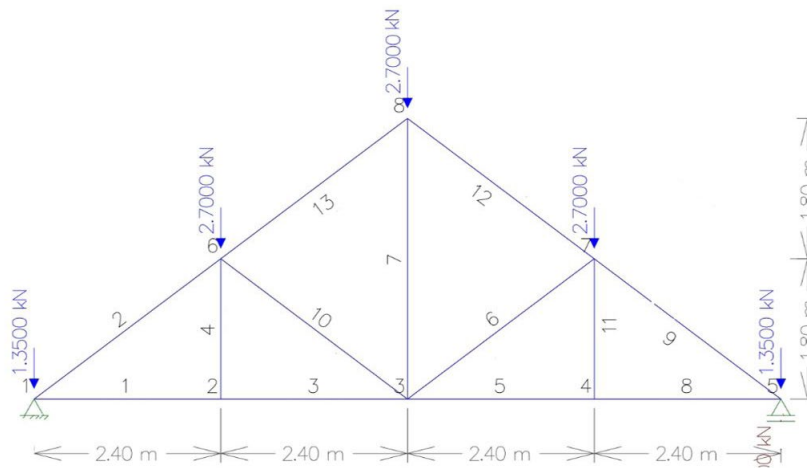
Fonte: autoria própria.

Tabela 2.b - Reações de apoio do modelo 2.

Ponto	Método dos nós (kN)	Ftool (kN)
1	-48,0000	-48,0000
3 (em x)	48,0000	48,0000
3 (em y)	84,0000	84,0000

Fonte: autoria própria.

Figura 5 - Modelo 3.



Fonte: Beer et al., 2012.

Tabela 3.a - Esforços nas barras do modelo 3

Elemento	Comprimento (m)	Método dos nós (kN)	Ftool (kN)
1	2,40	5,3801	5,3801
2	3,00	-6,7286	-6,7286
3	2,40	5,3784	5,3784
4	1,80	-0,0184	-0,0184
5	2,40	5,3784	5,3784
6	3,00	-2,2185	-2,2185
7	3,60	2,6804	2,6804
8	2,40	5,3801	5,3801
9	3,00	-6,7286	-6,7286
10	3,00	-2,2185	-2,2185
11	1,80	-0,0184	-0,0184
12	3,00	-4,4969	-4,4969
13	3,00	-4,4969	-4,4969

Fonte: autoria própria.

Tabela 3.b - Reações de apoio do modelo 3.

Ponto	Método dos nós (kN)	Ftool (kN)
1	5,4000	5,4000
5	5,4000	5,4000

Fonte: autoria própria.

DISCUSSÕES

Por meio das aplicações em problemas de treliças, realizadas pelo método dos nós e posteriormente conferidas com auxílio do Ftool, o programa computacional mostrou-se eficiente.

As respostas encontradas no Ftool foram idênticas às encontradas de forma manual, no entanto as soluções foram determinadas de maneira mais prática e lúdica, além disso, a ferramenta proporciona além dos resultados das forças internas atuando nas barras, o diagrama dos esforços cortante, o diagrama dos momentos, o diagrama dos deslocamentos, e entre outras funcionalidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho visou em uma revisão de literatura sobre o tema, esforços internos de treliças planas hiperestáticas e validada pelo software Ftool. Diante disso, foram realizados os cálculos manuais para a análise das treliças planas, resultando nos esforços axiais finais nas barras solucionadas por meio dos métodos dos nós.

Posteriormente foi desenvolvido um modelo das treliças no Ftool capaz de realizar a análise das forças axiais de cada barra. Por fim, os resultados obtidos através do modelo resultante *software* Ftool foram equivalentes os valores encontrados pelos métodos dos nós, constatando a eficiência do uso do *software* Ftool para obter as cargas axiais das barras de treliças planas hiperestáticas.

REFERÊNCIAS

BEER, F. B.; JOHNSTON, E. R.; MAZUREK, D. F.; EISENBERG, E. R. **Mecânica vetorial para engenheiros: estática**. 9ª ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2012.

HIBBELER, R. C.; **Estática: Mecânica para engenharia** / Tradução Daniel Vieira – 12ª Ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

KAEFER, Luís Fernando; MARTHA, Luiz Fernando; BITTENCOURT, Túlio Nogueira. **Ftool: ensino de comportamento de estruturas com múltiplos casos e combinações de carregamento**. Anais, 2000.

KASSIMALI, Aslam. **Análise estrutural**. Cengage Learning, 2016.

KIMURA, A. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2. ed. ampliada e atualizada. São Paulo: Oficina de Textos. ISBN 978-85-7975-310-7. 2018.

MARTHA, Luiz Fernando. **FTOOL—Um programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas**. Versão educacional, v. 2, p. 33, 2002.

MARTHA, L.F. **Métodos Básicos da Análise de Estruturas**. 2 Ed, GEN LTC, Rio de Janeiro, 2017. Para engenheiros: estática. 9ª ed. Porto Alegre: McGraw Hill, 2012

SOUZA, M.; RODRIGUES, R. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. 93 p. Notas de aula — Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Departamento de Estruturas UNICAMP, Campinas, 2008.

Aplicação do Ciclo SDCA na Indústria Alimentícia: Melhoria Contínua no Setor de Manutenção

Application of the SDCA Cycle in the Food Industry: Continuous Improvement in the Maintenance Sector

Emerson Rodrigues Prazeres
Adriano Gabriel Souza Santos
Amanda Lucena de Medeiros

RESUMO

Este estudo teve como objetivo primordial a aplicação do Ciclo SDCA (*Standardize, Do, Check, Act*) na indústria alimentícia, especialmente no âmbito da manutenção, visando aprimorar a eficiência operacional e a qualidade dos produtos. Esta pesquisa assume relevância ao abordar um tema crucial para a indústria alimentícia, que é a gestão da manutenção e seus impactos na qualidade, segurança alimentar e conformidade regulatória. Diante dos desafios contínuos enfrentados pela indústria alimentícia na produção de alimentos seguros e de alta qualidade, a manutenção dos equipamentos emerge como um fator determinante para alcançar tais objetivos. No decorrer do método de pesquisa, o Ciclo SDCA foi implementado em diversas fases da manutenção, abrangendo desde a padronização de processos até a execução das atividades, a verificação dos resultados e a implementação de medidas corretivas. Utilizando indicadores de desempenho e análises bibliográficas, foram coletados dados quantitativos e qualitativos. Os resultados obtidos revelaram uma melhoria significativa na eficiência operacional e na qualidade dos produtos no setor de manutenção da indústria alimentícia após a implementação do Ciclo SDCA. A padronização de processos permitiu o estabelecimento de diretrizes claras, promovendo uma execução mais consistente e eficaz das atividades de manutenção.

Palavras-chave: ciclo SDCA; indústria alimentícia; manutenção; melhoria contínua.



ABSTRACT

This study aimed primarily to apply the SDCA Cycle (Standardize, Do, Check, Act) in the food industry, specifically within the maintenance sector, with the goal of enhancing operational efficiency and product quality. This research holds significance in addressing a critical theme for the food industry, namely maintenance management and its impacts on quality, food safety, and regulatory compliance. Given the continuous challenges faced by the food industry in producing safe and high-quality food, equipment maintenance emerges as a decisive factor in achieving these objectives. Throughout the research method, the SDCA Cycle was implemented across various maintenance stages, encompassing standardization of processes, execution of activities, verification of results, and implementation of corrective measures. Utilizing performance indicators and bibliographic analyses, both quantitative and qualitative data were collected. The results demonstrated a significant improvement in operational efficiency and product quality in the maintenance sector of the food industry after the implementation of the SDCA Cycle. The standardization of processes facilitated the establishment of clear guidelines, promoting a more consistent and effective execution of maintenance activities.

Keywords: SDCA cycle; food industry; maintenance; continuous improvement.

INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia é um setor essencial na economia global, desempenhando um papel crucial na produção de alimentos seguros e de alta qualidade para consumo humano. No entanto, enfrenta desafios significativos relacionados à eficiência operacional e à manutenção de padrões rigorosos de qualidade. A garantia de qualidade e a minimização do tempo de inatividade das máquinas são fatores críticos para o sucesso nesse setor altamente competitivo.

Segundo Orofino (2009), a busca incessante pela melhoria contínua dos processos visa identificar e eliminar as causas de falhas, através dos mecanismos de controle do processo, tornando a qualidade essencial para a sobrevivência das organizações. Ela vai além dos produtos e serviços, garantindo a satisfação total dos clientes.

O método SDCA (Padronizar, Executar, Controlar, Atuar) emerge como uma ferramenta de destaque no cenário organizacional, promovendo melhorias nos processos e soluções de problemas. Ele constitui a base da busca constante por aprimoramento e pode ser aplicado em diversos tipos de organizações, sejam elas empresas privadas, entidades sem fins lucrativos ou entidades do setor público. (Gozzi, 2015).

Dado o pertinente interesse no tema explorado, a pesquisa atual se depara com a seguinte indagação: de que forma a utilização da ferramenta SDCA pode contribuir para o aperfeiçoamento dos processos industriais?

O Ciclo SDCA

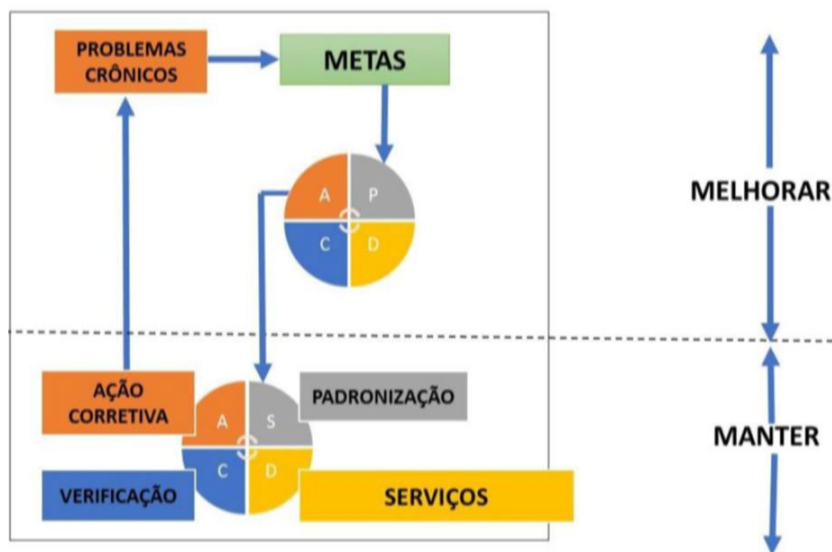
O ciclo tradicional PDCA, que significa “*Plan, Do, Check, Act*” (Planejar, Fazer, Verificar, Agir), representa uma sequência de ações com foco na correção de processos

e na busca pela melhoria contínua. Quando uma empresa enfrenta problemas em seu processo produtivo, o PDCA entra em ação como um meio de corrigir as irregularidades (Quinquilo, 2002).

Por outro lado, o SDCA, uma variação do PDCA, tem uma ênfase maior na padronização dos resultados obtidos por meio do ciclo inicial. A sigla SDCA representa “Standard, Do, Check, Act” (Padronizar, Fazer, Verificar, Agir), começando pelo “S” (padronizar) em vez do “P” (planejar), pressupondo que o PDCA já foi aplicado para alcançar os resultados desejados. O principal objetivo do SDCA é padronizar os resultados previamente alcançados com a aplicação do PDCA, sendo fundamental ressaltar que o SDCA deve ser aplicado somente após a conclusão do PDCA. Esta é a principal diferença entre as duas abordagens.

O desafio principal na implementação do SDCA reside na replicação consistente dos resultados obtidos. Na gestão de projetos e processos, as mudanças significativas frequentemente dizem respeito ao comportamento e à adaptação das pessoas, além do realojamento de recursos e materiais. O fator humano é crítico, uma vez que cada setor pode operar sob condições diferentes, mesmo quando o mesmo processo é aplicado. Garantir a padronização dos resultados, independentemente das condições variáveis, é um desafio que requer uma gestão eficaz.

Figura 1 - Ciclo SDCA.



Fonte: Adaptado de Campos, 2004.

Em relação ao impacto do SDCA na melhoria contínua, é importante observar que tanto o PDCA quanto o SDCA têm como objetivo promover melhorias contínuas. Ambos os ciclos são projetados de forma a serem repetidos indefinidamente, permitindo que os resultados sejam continuamente aprimorados.

É importante destacar que, inicialmente, qualquer processo pode apresentar desvios, e a estabilidade só pode ser alcançada por meio da padronização, ou seja, da implementação de um padrão. Somente após a aplicação e estabilização desse padrão é que se torna viável a utilização do ciclo PDCA para realizar modificações. Qualquer melhoria só pode ser eficazmente implementada se não for transformada em um novo

padrão, tornando-se assim o objeto de planejamento para futuras melhorias.

Justificativa

O presente estudo assume relevância significativa na abordagem de um tema crucial para a indústria alimentícia, que é a gestão da manutenção e seus impactos na qualidade, segurança alimentar e conformidade regulatória. A indústria alimentícia enfrenta desafios contínuos relacionados à produção de alimentos seguros e de alta qualidade, sendo a manutenção dos equipamentos um fator determinante para o alcance desses objetivos.

Através do Ciclo SDCA, que compreende etapas de padronização, execução, verificação e ação corretiva, a gestão da manutenção pode identificar oportunidades de otimização, reduzir falhas e minimizar o tempo de inatividade dos equipamentos. A padronização de procedimentos e a constante avaliação dos resultados proporcionam maior consistência e confiabilidade aos processos de manutenção, garantindo assim a qualidade dos produtos alimentícios e a conformidade com as normas.

Ao promover melhorias contínuas no setor de manutenção, busca-se aumentar a eficiência operacional, reduzir custos e fortalecer a reputação da indústria alimentícia perante clientes e órgãos reguladores (Kardec e Nascif, 2009).

OBJETIVOS

Geral

Analisar a eficácia da aplicação do Ciclo SDCA na melhoria contínua do setor de manutenção da indústria alimentícia.

Objetivos Específicos

Avaliar a padronização dos procedimentos por meio do Ciclo SDCA no setor de manutenção de uma indústria de alimentos.

Examinar a influência da aplicação do Ciclo SDCA na confiabilidade dos ativos, em termos da disponibilidade e do número de falhas.

Identificar desafios e obstáculos para implementar o Ciclo SDCA.

METODOLOGIA

Prodanov e Freitas (2013) definem pesquisas científicas como: “uma atividade humana, cujo objetivo é conhecer e explicar os fenômenos, fornecendo respostas às questões significativas para a compreensão da natureza”.

A pesquisa será predominantemente de abordagem descritiva, buscando caracterizar e analisar as práticas existentes, bem como identificar os principais aspectos que influenciam a eficácia da manutenção na indústria alimentícia. Esta abordagem permitirá uma compreensão mais aprofundada do contexto em que o Ciclo SDCA será aplicado, fornecendo uma base sólida para futuras investigações e ações de melhoria.

Somado a isso, a pesquisa tem objetivo exploratório, que desempenhará um papel de permitir a investigação de casos específicos e práticas de manutenção na indústria alimentícia, especialmente aqueles que são pouco estudados ou que apresentam desafios únicos. Esta abordagem ajudará a conquistar maior familiaridade com o fenômeno em questão, identificando lacunas de conhecimento e oportunidades de melhoria.

A coleta de dados será realizada por meio de uma revisão sistemática da literatura, envolvendo a identificação e seleção meticulosa de fontes relevantes que abordem diversas perspectivas e abordagens relacionadas à aplicação do Ciclo SDCA na indústria alimentícia. A análise dessas fontes proporcionará uma base teórica sólida para a condução do estudo de caso.

Este estudo de caso se propõe a realizar uma análise aprofundada da aplicação do Ciclo SDCA na indústria alimentícia, com foco na melhoria contínua no setor de manutenção. Para isso, será conduzida uma revisão sistemática da literatura, metulosamente identificando e selecionando fontes relevantes que abordem diversas perspectivas e abordagens relacionadas ao tema.

Caracterização da Empresa

A fim de proteger os dados e prezar pelo sigilo das informações, não é divulgado o nome da empresa estudada. A empresa estudada é uma renomada empresa com origem italiana, com muitos anos de experiência no mercado brasileiro de alimentos. Especializada na produção de massa, biscoitos e outros produtos alimentícios, ela desempenha um papel fundamental no setor. Trata-se de uma empresa com área de aproximadamente 1 km² de área utilizável, com 7 linhas de produção, uma de massa longa, uma de massa curta e 5 de biscoitos.

Pertencente a um grande grupo de empresas nacionais, com presença em mais 4 estados e um quadro de aproximadamente 2 mil funcionários. Sua posição de destaque e longa trajetória evidenciam a expertise e a capacidade de inovação da organização, que busca constantemente atender às necessidades do mercado e oferecer soluções de alta qualidade aos seus clientes.

A empresa em questão utiliza o sistema integrado de gestão Sigma (Sistema Gerencial de Manutenção) como parte fundamental de sua estratégia de transformação digital há mais de 4 anos. Por meio do Sigma, a empresa foi capaz de consolidar e integrar todas as suas operações em um único sistema, proporcionando uma visão abrangente e em tempo real de suas atividades comerciais.

Além disso, a empresa dispõe de importantes certificações da indústria alimentícia que necessita ser auditado todos os anos, sendo necessário uma padronização dos processos, que é uma das principais funções do software Sigma, principalmente aplicado ao setor de manutenção, porém com suas limitações. É nesse contexto que se dará o estudo de caso, visando aprimorar os processos do setor de manutenção da empresa da empresa e padronizá-los, com intuito de possibilitar a melhoria contínua e a manutenção das certificações.

Para avaliar os resultados, serão utilizados os indicadores de manutenção. O MTTR (*Mean Time To Repair*), MTBF (*Mean Time Between Failures*), Disponibilidade e Backlog são métricas cruciais para avaliar o desempenho e a eficiência de processos de manutenção.

O MTTR representa o tempo médio necessário para reparar uma falha ou realizar uma manutenção. Quanto menor o valor do MTTR, melhor, pois isso indica que a equipe de manutenção está sendo eficiente em identificar e corrigir problemas, minimizando assim o tempo de inatividade.

$$MTTR = \frac{\text{Total de Horas de Reparo}}{\text{Número de paradas}}$$

O MTBF mede o tempo médio decorrido entre falhas em um sistema. Quanto maior o valor do MTBF, melhor, pois isso sugere que o sistema está operando de forma confiável e com menos interrupções. Um MTBF elevado indica uma maior resistência a falhas e uma melhor confiabilidade do sistema.

$$MTBF = \frac{\text{Total de horas programadas} - \text{Total de Horas de Reparo}}{\text{Número de paradas}}$$

A Disponibilidade representa a porcentagem do tempo em que um sistema ou equipamento está disponível para uso. Quanto maior a disponibilidade, melhor, pois isso significa que o sistema está mais frequentemente disponível para cumprir sua função. A fórmula para calcular a disponibilidade é:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Total de horas programadas} - \text{Total de Horas de Reparo}}{\text{Total de horas programadas}} \times 100\%$$

A avaliação do *Backlog* é especialmente crucial, onde valores acima de 1 indicam sobrecarga, enquanto valores abaixo de 1 sugerem uma carga de trabalho gerenciável. Essas métricas oferecem uma visão abrangente do desempenho da manutenção, permitindo que as equipes identifiquem áreas de melhoria e otimizem a eficiência operacional. O fator de produtividade 0,7 é aplicado para ajustar a estimativa de backlog, que foi selecionado pela coordenação de manutenção como um fator justo.

$$\text{Backlog} = \frac{\text{Total de horas apontadas}}{\text{Total de horas do espelho de ponto} * \text{fator produtividade}}$$

Os outros dados das análises são obtidos por relatórios do Software de manutenção SIGMA.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A empresa já utilizava o Ciclo PDCA como parte de sua estratégia de gestão e manutenção reconheceu a necessidade de dar um passo adiante na busca por certificações de segurança de alimentos. O Ciclo PDCA, embora eficaz em melhorar processos, muitas

vezes não é suficiente para atender às exigências cada vez mais rígidas de conformidade e padronização necessárias para garantir a segurança dos produtos alimentícios. Nesse contexto, a empresa optou por aprimorar seu sistema de gestão, adotando o Ciclo SDCA como uma ferramenta mais abrangente e eficaz para alcançar seus objetivos de segurança alimentar. Esta decisão representa um passo importante em direção à garantia da qualidade e à conformidade com os mais altos padrões da indústria de alimentos, proporcionando maior confiabilidade aos clientes e fortalecendo sua posição no mercado.

Ciclo PDCA na Empresa

Partindo do ciclo PDCA já aplicado com as seguintes etapas:

Planejar (Plan):

Identificação do Problema: A empresa começou a fase de planejamento reconhecendo que havia problemas no empacotamento primário de biscoitos e macarrão que afetavam a qualidade do produto e a eficiência da produção.

Ferramentas de Análise: Utilizou o Diagrama de Pareto para identificar os problemas mais significativos. O *Brainstorming* foi usado para coletar ideias sobre as causas dos problemas. Além disso, o Diagrama de Causa e Efeito (Ishikawa, 1993) ajudou a visualizar as causas potenciais.

Seleção do Principal Problema: Após análise, ficou claro que o principal problema estava no empacotamento primário dos produtos.

Estabelecimento de Objetivos: Definiu-se o objetivo de melhorar a eficiência e a qualidade do empacotamento primário.

Desenvolvimento de Plano de Ação: Utilizando a ferramenta 5W2H, a empresa estabeleceu um plano detalhado para abordar as causas identificadas.

Executar (Do):

Ações Implementadas: A empresa contratou técnicos específicos para a parte de empacotamento e criou um plano de manutenção preventiva que detalhava ordens de serviço com os passos necessários para cada inspeção ou manutenção, juntamente com o tempo necessário para realizá-las.

Verificar (Check):

Monitoramento: Foram utilizados indicadores de manutenção, como o MTBF (*Mean Time Between Failures*), MTTR (*Mean Time To Repair*), backlog de manutenção e disponibilidade das máquinas.

Análise dos Resultados: Os indicadores foram acompanhados para avaliar o impacto das ações implementadas. O MTBF e MTTR ajudaram a medir o desempenho das máquinas, enquanto o backlog indicava o volume de manutenção pendente. A disponibilidade refletia a capacidade das máquinas de estar operacionais quando necessário.

Agir (Act):

Identificação de Oportunidades de Melhoria: Com base na análise dos indicadores, a empresa identificou máquinas com baixa disponibilidade e/ou alto MTTR como pontos críticos que afetavam a eficiência do empacotamento.

Implementação de Melhorias: A ação tomada neste estágio focou em melhorias nas máquinas problemáticas, realizando manutenção corretiva ou preventiva adicional e, em casos extremos, considerando a substituição por maquinários mais modernos e confiáveis.

Ciclo SDCA na Empresa

Nesse contexto, a padronização e aprimoramento das etapas acima começou a ser aplicada com a passagem para o Ciclo SDCA, com as seguintes etapas:

Padronizar (Standardize):

A implementação do ciclo de SDCA teve seu início com a minuciosa análise dos dados adquiridos na última fase do PDCA, um método já consolidado na operação da empresa. Nesse contexto, os indicadores-chave de desempenho em manutenção, tais como MTBF, MTTR, backlog e disponibilidade, foram meticulosamente considerados, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento subsequente.

Destaca-se, como elemento crucial, a integração do software de manutenção denominado SIGMA, capaz de proporcionar o controle abrangente de ordens de serviço, solicitações de serviço, horas laboradas pelos técnicos, e diversas outras funcionalidades.

Os dados coletados desempenharam um papel essencial na identificação das ações mais eficazes para aprimoramento. O foco concentrou-se na padronização dos processos-chave do ciclo PDCA. A viabilidade dos novos objetivos foi discutida em reuniões colaborativas com o coordenador de manutenção, analistas de PCM e técnicos especializados.

Neste processo, documentos normativos, como ordens de serviço preventivas, foram refinados para detalhar minuciosamente as etapas a serem seguidas. As ordens de serviço convencionais foram discernidas das ordens de serviço dos pontos críticos de controle (PCC), que são alvo primário durante auditorias de certificação. Tais pontos críticos de controle representam áreas nas quais qualquer não conformidade inviabilizaria a comercialização do produto. Um exemplo paradigmático de PCC são os detectores de metais. Portanto, a gestão mais eficaz desses pontos torna-se imperativa para a padronização e melhoria do processo.

Treinamentos individuais para cada processo de padronização foram conduzidos, juntamente com reforços coletivos em reuniões. Atualmente, a empresa encontra-se na fase de desenvolvimento de um manual que compila todos os procedimentos do setor de manutenção. O processo de abertura de ordem de serviço e solicitação de serviço, realizado pelo software SIGMA, já possui um manual padronizado e homologado, permitindo que qualquer membro da fábrica com acesso ao SIGMA solicite serviços de manutenção, com os técnicos registrando suas horas de trabalho para um controle mais efetivo pela coordenação.

Além disso, a empresa estabeleceu e homologou diversos outros processos relevantes e eficazes para o setor de manutenção, tais como:

A classificação de criticidade dos equipamentos, essencial para determinar a urgência de intervenção do setor de manutenção em um equipamento específico. Essa criticidade também está incorporada em todas as ordens de serviço preventivas.

A padronização de processos de medição, incluindo as medições de gás e diesel da fábrica, cruciais para o funcionamento adequado das máquinas. Essas medições são simples, alertando sobre a quantidade para prevenir a falta desses insumos.

Para equipamentos que requerem mão de obra terceirizada, foi elaborado um manual de procedimentos simplificado, permitindo que qualquer colaborador solicite serviços de manutenção. Uma planilha de controle de equipamentos enviados para reparo por terceiros também foi desenvolvida, facilitando o gerenciamento desse processo.

Para manutenções fora dos dias úteis, foi implementado um controle de acesso, garantindo que a empresa forneça as condições necessárias para a realização desses trabalhos. Uma lista de ferramentas necessárias para cada técnico foi elaborada e providenciada, visando facilitar as operações de manutenção de maneira mais prática, segura e eficaz. Medidas de segurança foram integradas em todas as ordens de serviço. O Diálogo Diário de Segurança (DDS) foi implementado duas vezes por semana, e treinamentos obrigatórios foram agendados para todos os colaboradores.

Como última etapa da padronização, foram desenvolvidas planilhas de controle de melhorias, incentivando os técnicos a proporem aprimoramentos no setor. Embasado no conceito Kaizen, voltado para melhorias contínuas, todos os técnicos podem sugerir melhorias nos equipamentos, sendo essas análises realizadas pela coordenação de manutenção. Caso viáveis, as melhorias são implementadas, registradas e os técnicos responsáveis por essas iniciativas são devidamente bonificados.

Para avaliar todos os pontos cruciais e simular a auditoria anual de certificação da empresa, são conduzidas auditorias internas e externas. Dada a relevância da empresa no setor de indústria alimentícia, ela detém certificações essenciais para o segmento. Portanto, anualmente, são realizadas auditorias externas pelo órgão certificador, sendo estas surpresas. Adicionalmente, a empresa promove auditorias internas entre os setores para simular auditorias externas, contando também com uma auditoria externa contratada para simular a auditoria oficial.

Executar (Do):

A fase “Do” foi iniciada com a implementação dos treinamentos necessários para colocar em prática o plano de ação e melhoria delineado na fase anterior. O primeiro passo crucial nesta fase envolveu o treinamento dos técnicos para o uso competente e eficiente do aplicativo SIGMA. Este aplicativo funciona como uma ferramenta de registro crucial, permitindo que os técnicos documentem as horas trabalhadas em tarefas preventivas, bem como em ações corretivas imediatas e planejadas. Adicionalmente, foram instruídos a abrir solicitações de serviços sempre que identificassem qualquer não conformidade na área de trabalho.

Os treinamentos foram conduzidos inicialmente por um especialista terceirizado, que se encarregou de explicar todos os pormenores do software SIGMA para as lideranças da fábrica. Os principais envolvidos neste treinamento foram os analistas de PCM e o coordenador de manutenção. O software foi adaptado para atender às necessidades específicas da empresa, de acordo com a demanda solicitada. Com isso, os analistas ficaram encarregados de, em um momento posterior, transmitir este conhecimento aos técnicos e estagiários.

O passo subsequente foi a realização de um treinamento sobre a programação diária. Embora pareça um procedimento simples, é de suma importância para garantir que os técnicos sigam o cronograma estabelecido e mantenham a atualização constante do progresso das tarefas. Este treinamento de menor complexidade envolveu a realização de várias reuniões com o objetivo de familiarizar todos com o novo processo.

Além disso, os documentos que foram padronizados na etapa anterior foram disponibilizados para todos os membros da equipe. Foi elaborado um guia de procedimentos para que os técnicos tivessem um documento de referência com todas as instruções necessárias, além dos treinamentos. Outros documentos, como o registro de medições diárias, foram implementados para monitorar e controlar o uso de gás e diesel na fábrica.

Por fim, para fazer o controle foram definidos certos indicadores, e auditorias internas e externas começaram a ser realizadas periodicamente. Estes serão apresentados em maior detalhe na próxima etapa do processo.

Verificar (Check):

Na etapa crucial de verificação, desdobram-se dois processos fundamentais para garantir a eficácia e conformidade dos procedimentos: os indicadores de manutenção e as auditorias, tanto internas quanto externas. Os indicadores específicos do processo de manutenção oferecem uma visão detalhada do desempenho operacional. Destacam-se:

Eficiência Apontada: Este indicador, meticulosamente monitorado, avalia a eficiência dos técnicos em relação às horas totais trabalhadas. Uma planilha do Excel, alimentada pelos dados do SIGMA e do espelho de pontos dos funcionários, controla esse indicador, servindo como base para avaliar o backlog e determinar a sobrecarga em setores específicos.

Backlog: Calculado mensalmente, este indicador resulta da divisão do total de horas trabalhadas pelo número total de ordens de serviço demandadas, multiplicado por um fator de eficiência.

Tempo Médio Entre Falhas: Derivado dos relatórios de produção, este indicador quantifica as paradas mecânicas e elétricas, utilizando a disponibilidade como referência.

Tempo Médio para Reparo: Este indicador essencial é obtido pela divisão do tempo total de paradas para manutenção pelo número de paradas para manutenção.

Número de Ordens de Serviço (OS): Controlado pela quantidade de OS realizadas mensalmente, este indicador é segmentado entre os tipos de OS, como corretiva planejada (CP), corretiva imediata (CI) e preventiva (PV).

Além disso, há o monitoramento do consumo total de energia, diesel e gás mensalmente, assim como o preço pago por esses insumos.

As auditorias internas são conduzidas mensalmente por setores diferentes, visando a implementação contínua de melhorias, preparando-se para as auditorias externas oficiais. A cada semestre, a empresa contrata uma terceirizada para simular a auditoria externa oficial. Com base nos relatórios resultantes dessa simulação, são implementadas modificações em cada setor, aprimorando ainda mais os processos.

Finalmente, destaca-se a importância da auditoria externa oficial, sendo ela a principal razão para a padronização rigorosa dos processos. Este procedimento não apenas válida a conformidade, mas também é a pedra angular para a obtenção do certificado de segurança de alimentos e boas práticas de fabricação.

Agir (Act):

Na etapa denominada “ACT” (Agir) do ciclo SDCA, realizam-se alterações e revisões essenciais no plano de padronização, constituindo um processo acadêmico fundamentado na busca pela excelência operacional. Nesta fase, são reestruturados todos os treinamentos pertinentes aos processos, abrangendo tanto os específicos da manutenção quanto aqueles oriundos de áreas externas, incluindo capacitações relacionadas às Normas Regulamentadoras (NRs), que são regularmente atualizadas e reavaliadas anualmente.

Adicionalmente, realiza-se anualmente uma minuciosa revisão de todos os processos homologados presentes na lista mestra de manutenção. Esse procedimento visa assegurar a adaptação contínua às mudanças corporativas, refletindo o compromisso inabalável com a busca incessante pela melhoria contínua.

Concluindo, o processo engloba avaliações individuais periódicas de todos os colaboradores no setor de manutenção. Essas avaliações, conduzidas de maneira sistemática e estruturada, visam aferir o desempenho ao longo de um determinado período. Além disso, proporcionam um espaço valioso para a coleta de feedback, que alimenta um ciclo virtuoso de melhorias contínuas no setor de manutenção, focalizando, sobretudo, o refinamento das práticas de gestão de manutenção.

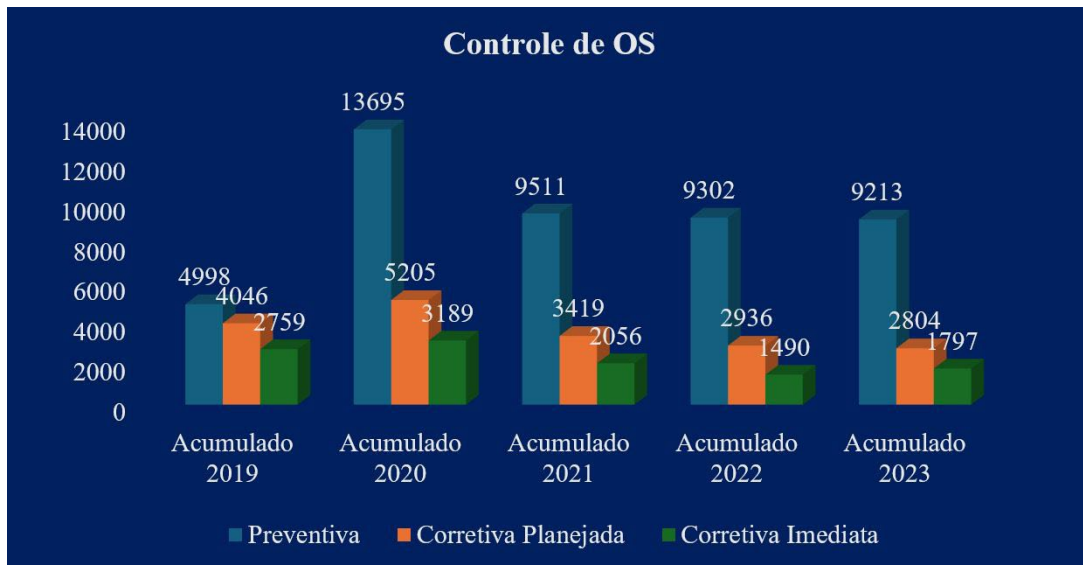
Resultados Obtidos

A adoção do Ciclo SDCA marcou uma transformação significativa na abordagem da empresa à gestão de manutenção, especialmente no contexto da busca por certificações rigorosas de segurança alimentar. Os resultados obtidos ressaltam a eficácia e amplitude do Ciclo SDCA em comparação com o Ciclo PDCA, consolidando a empresa como referência na conformidade com os mais altos padrões da indústria alimentícia.

A implementação do Ciclo SDCA resultou em uma padronização mais abrangente e detalhada dos processos de manutenção. A otimização do software SIGMA proporcionou um controle mais efetivo das ordens de serviço, contribuindo significativamente para a padronização dos procedimentos. A elaboração de manuais detalhados, o estabelecimento de protocolos específicos para equipamentos críticos e a classificação de criticidade dos equipamentos foram passos cruciais em direção à uniformidade operacional.

Como evidenciado no gráfico, houve aumento no número de ordens de serviço preventivas em comparação com as corretivas planejadas e imediatas, destacando o foco na manutenção preventiva para maximizar a disponibilidade dos equipamentos. Os resultados são nitidamente refletidos nos indicadores subsequentes.

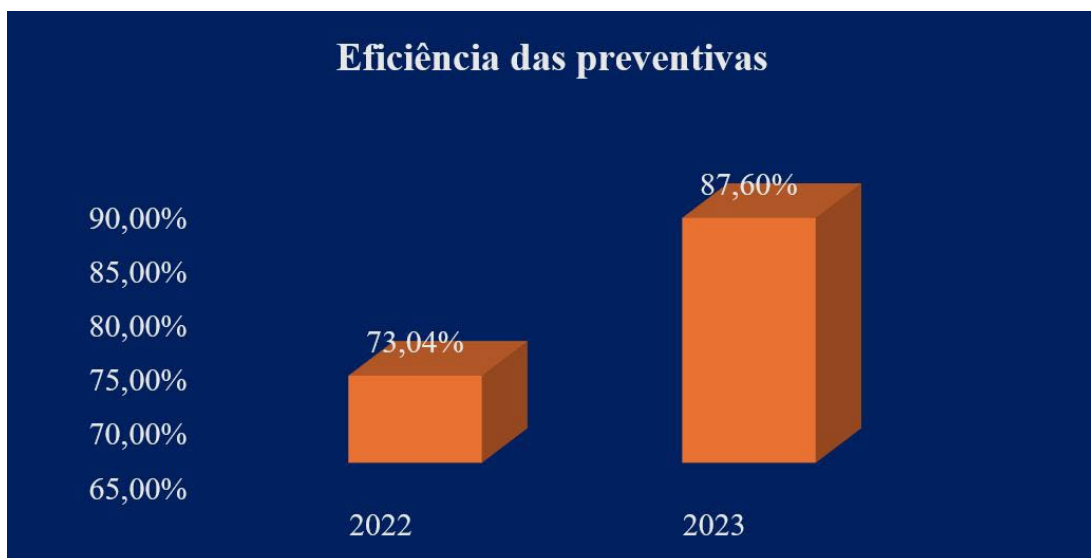
Figura 2 - Controle de OS.



Fonte: autoria própria.

Além disso, observa-se um substancial avanço na execução de ordens de serviço pelos técnicos em comparação com as programadas ao longo do ano.

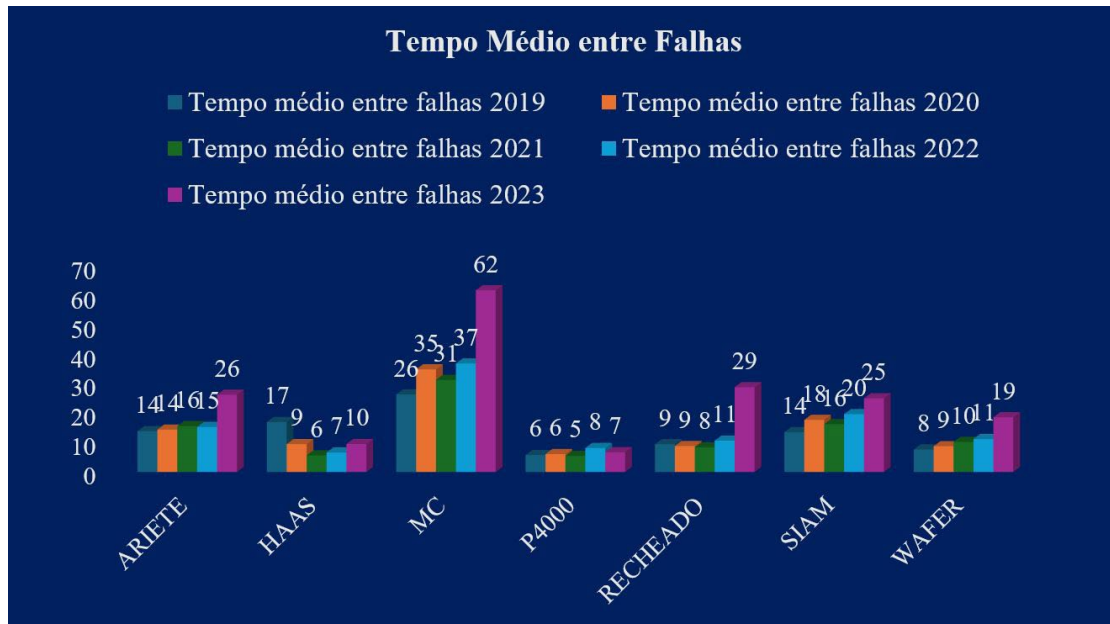
Figura 3 - Eficiência das preventivas.



Fonte: autoria própria.

O monitoramento contínuo por meio de indicadores, como eficiência apontada, *backlog* e tempo médio entre falhas, possibilitou uma avaliação mais precisa do desempenho operacional. O gráfico revela um aumento claro no tempo médio entre falhas em todas as linhas, indicando a eficácia das manutenções com o processo de padronização, essencial para a quantidade de produtos produzidos.

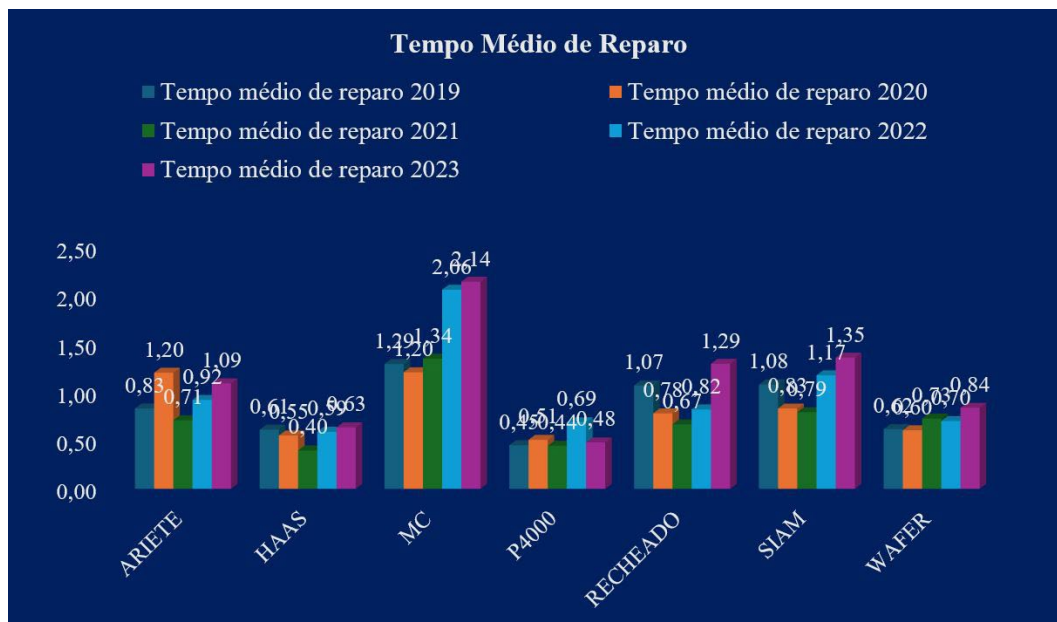
Figura 4 - Tempo médio entre falhas em dias.



Fonte: autoria própria.

Com a padronização do processo de manutenção, alguns indicadores apresentaram resultados que, à primeira vista, podem não parecer melhores. No entanto, uma análise minuciosa revela que o aumento no tempo de reparo é atribuído à melhoria na qualidade e confiabilidade da manutenção. Além disso, nota-se que o aumento não é significativo na maioria das linhas de produção.

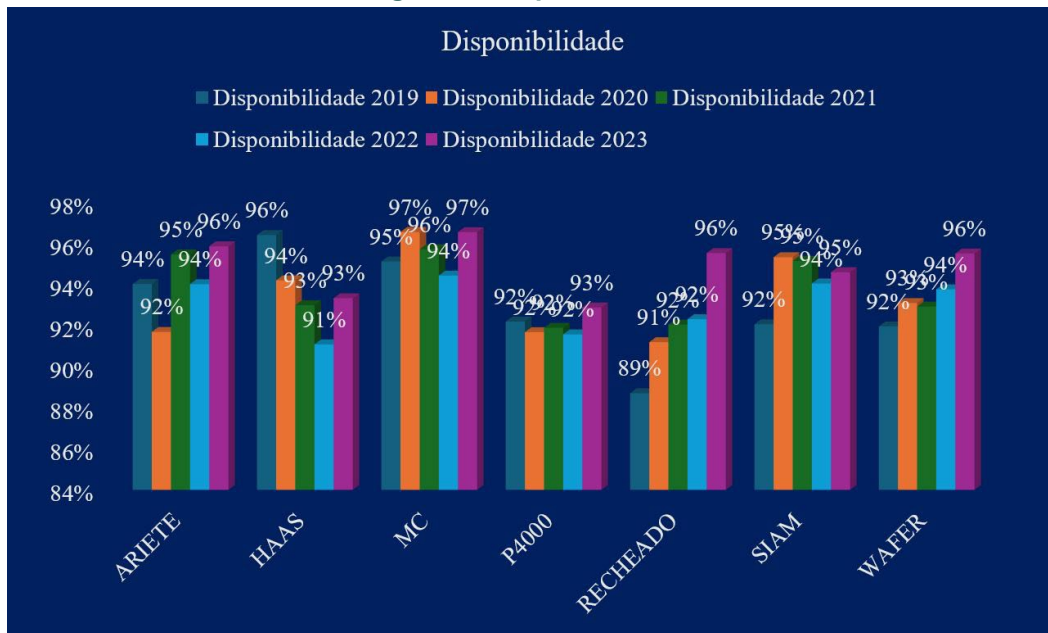
Figura 5 - Tempo médio de reparo em horas.



Fonte: autoria própria.

O gráfico subsequente destaca o impacto do aumento do tempo médio entre falhas no processo produtivo. Observa-se o aumento significativo na disponibilidade em grande parte das linhas de produção, e aquelas que não mostraram melhora seguiram uma margem de disponibilidade estável e acima da meta desejada.

Figura 6 - Disponibilidade.



Fonte: autoria própria.

A empresa adotou uma abordagem proativa na preparação para auditorias, tanto internas quanto externas. A simulação semestral de auditorias externas proporcionou uma revisão constante dos processos, permitindo ajustes preventivos. A realização de auditorias internas mensais, em conjunto com a contratação de terceirizados, solidificou a conformidade e resiliência do sistema de gestão. O gráfico a seguir mostra uma melhora crescente nas Boas Práticas de Fabricação (BPF), obtidas por meio da auditoria interna mensal.

O Ciclo SDCA demonstrou ser instrumental na busca e manutenção de certificações essenciais para o setor alimentício. A auditoria externa oficial, realizada anualmente, tornou-se fundamental para a obtenção do certificado de segurança alimentar e boas práticas de fabricação, reforçando a reputação da empresa e sua posição de destaque no mercado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, a transição da empresa para a implementação do Ciclo SDCA na gestão de manutenção revelou-se uma estratégia acertada e impactante. Ao aliar a eficácia já comprovada do Ciclo PDCA com a abrangência e detalhamento oferecidos pelo Ciclo SDCA, a empresa não apenas atendeu às exigências crescentes de conformidade na indústria de alimentos, mas também fortaleceu sua posição como líder, primando pela excelência operacional.

A padronização meticulosa dos processos, desde a análise inicial até a execução e monitoramento contínuo, proporcionou uma base sólida para melhorias significativas. A introdução do software SIGMA, o aprimoramento de manuais e protocolos específicos, a classificação de criticidade dos equipamentos e a implementação de medidas de segurança demonstram um compromisso inabalável com a uniformidade operacional e a garantia da qualidade dos produtos.

Os resultados obtidos, como o aumento nas ordens de serviço preventivas, a melhoria nos indicadores de eficiência e a redução dos custos de manutenção, refletem não apenas uma gestão mais eficiente, mas também um foco contínuo na prevenção de falhas e na maximização da disponibilidade dos equipamentos.

Além disso, a empresa não negligenciou a importância das auditorias internas e externas, utilizando-as como oportunidades constantes para ajustes preventivos e garantia da conformidade. A busca pela excelência operacional, evidenciada pelos certificados de segurança alimentar e boas práticas de fabricação, reforça a reputação da empresa como referência na indústria alimentícia.

Em síntese, a adoção do Ciclo SDCA na gestão de manutenção não apenas impulsionou a empresa a atender e superar os mais altos padrões do setor, mas também a consolidou como um modelo de eficiência, inovação e comprometimento com a qualidade, reforçando sua posição de destaque no competitivo mercado da indústria alimentícia.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia**. 9. ed. Nova Lima – MG: Falconi, 2013.

GOZZI, M. P. **Gestão da qualidade em bens e serviços**. São Paulo: Person, 2015.

ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1993.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio de Aquino. **Manutenção – Função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

OROFINO, A. C. **Processos com resultados: A busca da melhoria continuada**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnica da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUINQUIOLO, J. M. **Avaliação da Eficácia de um Sistema de Gerenciamento para Melhorias Implantado na Área de Carroceria de uma Linha de Produção Automotiva**. Taubaté/SP: Universidade de Taubaté, 2002.

Organizador

Rômulo Damasclim Chaves dos Santos

Minha trajetória acadêmica e profissional está pautada na busca incessante pela compreensão dos fenômenos físico-matemáticos por meio da Modelagem Matemática e Computacional. Utilizo como “ferramentas” matemáticas a Análise Complexa, Análise Funcional, Equações Diferenciais Parciais, Integrais e Integro-Diferenciais, além da Análise Numérica para interpretar tais fenômenos de maneira aproximada e concisa do mundo físico real. Atualmente, como Pós-doutorando (Voluntário) em Física no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA/SP), concentro meus esforços em Dinâmica Não-Linear, Sistemas Complexos e Caos. Nesse viés acadêmico, obtive o título de Doutor em Matemática Aplicada pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP/U.Porto) através do Programa de Pós-graduação em Matemática Pura e Aplicada (PDMA-FCUP/U.Porto, 2014 -- 2018), onde durante o doutoramento, optei em continuar na área de Dinâmica dos Fluidos; tendo o título reconhecido e validado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2019). Também possui um Mestrado em Engenharia Mecânica concedido pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI/MG, 2012 -- 2014), com ênfase em Dinâmica dos Fluidos e Máquinas de Fluxo, e uma Graduação em Matemática pela Universidade Federal do Acre (UFAC, 2006 -- 2009), onde foi desenvolvido em paralelo à Graduação um projeto de Iniciação Científica, intitulado “Modelagem Geométrica de Fractais com Programação Orientada a Objeto”. Assim, para além da minha formação acadêmica, estou como Revisor em alguns importantes Periódicos Científicas, a saber, do Journal of Mathematics and Statistics from Science Publications, do International Journal of Theoretical and Applied Mathematics from Science Publishing Group; do Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal from ASTES Journal; do Journal of Applied Fluid Mechanics (JAFM), e da Revista de Matemática da Universidade Federal de Ouro Preto (RMAT - UFOP); e ainda como membro em grupos de pesquisa e em associações profissionais, como o Grupo de Pesquisa em Sistemas Complexos, Dinâmica Não-Linear

e Caos (ITA-SP), na Sociedade Brasileira de Matemática (SBM), na Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional (SBMAC) e na International Association of Engineers and Computer Scientists (IAENG). Minhas áreas de interesse e de pesquisa envolvem e incluem a Modelagem Matemática e Computacional, a Dinâmica dos Fluidos, a Análise Funcional, a Análise Complexa e Numérica, as Equações Diferenciais Parciais, Integrais e Integro-Diferenciais, Turbulência em Fluidos Newtonianos Incompressíveis, a Transferência de Calor por Convecção Mista (Forçada e Natural) e Sistemas Dinâmicos Complexos. Tenho expertise em alguns Métodos Numéricos com sintaxe em linguagem C/C++, Python e Matlab, a saber, o Large-Eddy Simulation (LES), o Smagorinsky Sub-Grid Model, o Spalart-Allmaras Method, o Partially-Averaged Navier-Stokes (PANS), o Detached-Eddy Simulation (DES), o Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations (URANS), o Smoothed-Particle Hydrodynamics (SPH), o Immersed Boundary Method (IBM) e o Centered Finite Difference Method. Sou autor de artigos, livros e capítulos de livros científicos. Na área de Inovação e Tecnologia, possuo registros de programas de computador junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial).

Índice Remissivo

A

alimentícia 158, 159, 161, 162, 166, 168, 172
argamassas 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20
armado 21
avicultura 135, 136, 137, 139, 140, 146, 147, 149

C

cerâmicos 72, 73, 75, 76, 78
concreto 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29
contínua 83, 90, 106, 135, 140, 141, 142, 144, 147, 158,
159, 160, 161, 162, 168

D

desenvolvimento 13, 21, 39, 41
distribuição 77, 79, 80, 82, 84, 88, 89, 91, 92, 97, 98, 99,
100, 101, 102

E

eficiência 79, 81, 84, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99,
100, 101, 107, 123, 135, 136, 141, 146, 147
elástico 27, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 37
elétrica 79, 82, 83, 84, 85, 86
elétrico 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 97,
99, 100, 101, 102
encurtamento 26, 30, 32, 33, 34, 35
energética 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87
energia 22, 49, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87
energias 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86
engenharia 13, 22, 38, 39, 64, 79
ensaios 14, 15, 16, 17, 39, 47, 48, 49, 50, 52

F

fibra 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 55,
56, 57, 58, 59, 60, 63
flexão 15, 16, 19, 21, 22

G

geográfica 81, 103

geovisualização 103, 104, 116, 117, 118

I

incêndios 64, 65, 68

indústria 31, 72, 73, 91, 95, 97, 101, 102, 122, 126, 136,
137, 138, 158, 159, 161, 162, 164, 166, 168, 171, 172

influência 12, 13, 19

informação 85, 94, 103

J

jussarite 72, 73

L

linear 22, 72, 73, 75

logística 121, 122, 123, 133

M

manutenção 70, 81, 82, 96, 99, 108, 135, 147, 158, 159,
161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170,
171, 172

mapas 103, 104, 105, 106, 107, 110, 111, 113, 117, 118

materiais 13, 14, 22, 34, 39, 41, 42, 43, 61, 67, 68, 72,
73, 75, 76

mecânicas 12, 39, 46, 61

melhoria 45, 60, 61, 81, 94, 97, 121, 133, 138, 140, 141,
142, 143, 144, 147, 149, 158, 159, 160, 161, 162,
163, 165, 166, 168, 170, 172

momento 21, 22, 25, 26

N

nanomaterial 12
nanotecnologias 12, 19

O

operacional 98, 123, 129, 135, 147

P

planas 22, 150, 151, 153, 156
processos 35, 42, 77, 85, 96, 97, 111, 121, 122, 123,
124, 125, 132, 133, 134
produtores 135, 136, 138, 146, 147
protendido 21, 22, 27, 29

Q

qualidade 13, 31, 46, 73, 88, 89, 91, 92, 93, 94, 95, 97,
98, 99, 101, 102, 103, 105, 106, 113, 115, 116, 118,
121, 123, 124, 129, 133

R

renováveis 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87
resistente 21, 22, 25, 26, 28, 29
retração 36, 45, 72, 75, 77, 78
rurais 82, 84, 135, 136, 138, 146, 147

S

setor 39, 77, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 93, 97, 98,
99, 100, 101, 102
sustentabilidade 22, 39, 40, 64, 79, 80, 81, 82, 85, 86,
87
sustentável 39, 40, 41, 62, 63

T

tecnologia 13, 22, 88, 95, 96, 100

tecnologias 12, 41, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86

temperatura 48, 65, 67, 68, 69

transição 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87

transmissão 79, 80, 84, 88, 89, 90, 92, 97, 98, 99, 100,
101

treliças 150, 151, 152, 153, 156

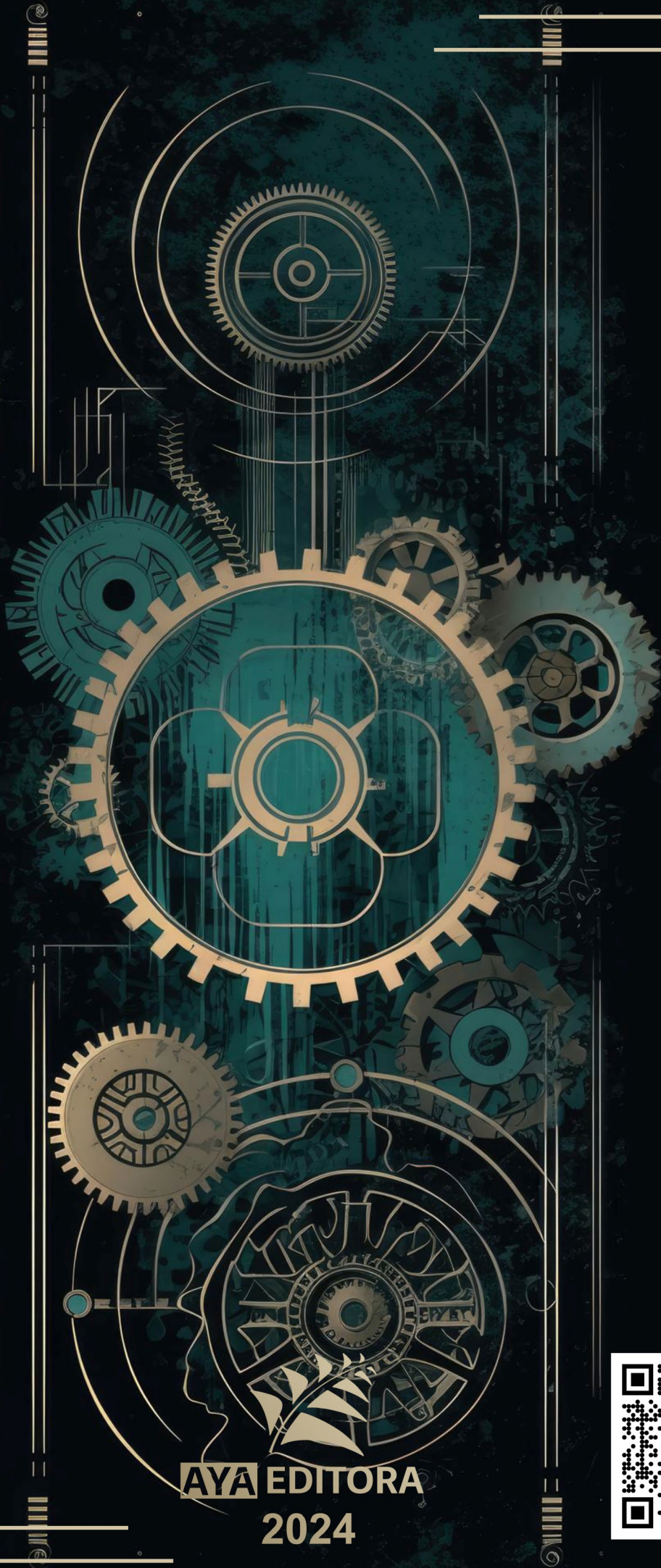
U

último 21, 22, 29

V

vigas 21, 22, 29

voluntária 103, 118



AYA EDITORA
2024

