

Adriano Mesquita Soares  
(Organizador)

# Tópicos Especiais em **ENGENHARIA:**

inovações e avanços tecnológicos  
Vol. 8



**AYA EDITORA**

**2023**

**Adriano Mesquita Soares**  
(Organizador)

**Tópicos Especiais em  
Engenharia: inovações e  
avanços tecnológicos**

**Vol. 8**

**Ponta Grossa**  
**2023**

---

## Direção Editorial

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## Organizador

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

## 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 Toczec Souza

*Centro Universitário Santa Amélia*

Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa

*Universidade Estadual de Londrina*

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 Me. Jorge Soistak

*Faculdade Sagrada Família*

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 Ma. Lucimara Glap

*Faculdade Santana*

---

---

**Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho**

*Universidade Federal Rural de Pernambuco*

**Prof.º Me. Luiz Henrique Domingues**

*Universidade Norte do Paraná*

**Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa**

*Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP*

**Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes**

*Universidade Estadual do Centro-Oeste*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Regina Negri Pagani**

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

**Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira**

*Instituto Federal do Acre*

**Prof.<sup>a</sup> Ma. 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvia Aparecida Medeiros  
Rodrigues**

*Faculdade Sagrada Família*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Silvia Gaia**

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sueli de Fátima de Oliveira  
Miranda Santos**

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Thaisa Rodrigues**

*Instituto Federal de Santa Catarina*

---

© 2023 - **AYA Editora** - 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**). As ilustrações e demais informações contidas nos capítulos deste Livro, bem como as opiniões nele emitidas são de inteira responsabilidade de seus autores e não representam necessariamente a opinião desta editora.

---

T757 Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2023. 162 p.

v.8

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-330-9

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia elétrica. 3. Iluminação. 4. Resíduos industriais. 5. Energia solar. 6. Sustentabilidade. 7. Blockchains (Base de dados). 8. Segurança do trabalho. 9. Construção civil - Medidas de segurança. I. Soares, Adriano Mesquita. 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..... 9

## 01

**A importância da gestão de resíduos para a sustentabilidade no setor solar fotovoltaico ..... 10**

Jhone Batista Carrinho

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.1

## 02

**Produção do Hidrogênio Verde (H<sub>2</sub>V), a partir da água destilada, utilizando eletrolisadores do tipo: *Proton Exchange Membrane* (PEM) ..... 19**

Paulo Sérgio Rosa Fernandes

Paulo Marcos Cabral Junior

Emídio Germano Rodrigues de Andrade Neto

Francisco Luiz da Cruz

Daniel Azevedo Corrêa

Jorge Anderson Suhet da Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.2

## 03

**A descentralização dos serviços cartorários por intermédio da tecnologia *Blockchain*..... 32**

Diego Bezerra de Paula

Siomara Dias da Rocha

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.3

# 04

## **A nova geografia e a aplicação de modelos científicos hidrológicos e hidráulicos ..... 41**

Alan Pedro Mansano  
Rodrigo Otávio Perea Serrano  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.4

# 05

## **Asymptotic analysis of turbulent flow ..... 56**

Rômulo Damasclín Chaves Santos  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.5

# 06

## **Modelagem matemática e projeto de um amplificador lock-in de duas fases para utilização na detecção de fase entre o sinal de corrente e o de tensão de uma máquina de indução trifásica ..... 63**

Gustavo Vendrame Barbara  
Diony José de Almeida  
Jair Fernando Damato  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.6

# 07

## **Pedalando para o conhecimento ..... 78**

Eduardo Vedovetto Santos  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.7

# 08

## **Terras-Raras: um olhar atualizado e perspectivas futuras ..... 90**

Bruno Mauro Oliveira Ataide  
DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.8

# 09

**Análise comparativa entre vigas em concreto armado convencional e protendido: estudo de caso de estrutura em indústria papaleira no município de Ivaí - PR ..... 104**

Kalwan Scheifer Torno  
Thomas Boldt Iavorski  
Leticia Col Debella Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.9

# 10

**Segurança em altura na construção civil: evolução e aperfeiçoamento das condições de trabalho ..... 123**

Erick Pereira  
Jeferson Luiz de Moraes  
Leticia Col Debella Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.10

# 11

**Estudo da substituição de um sistema tradicional de aço para aço dobrado em estruturas construtivas: um estudo de caso ..... 143**

Rafael Henrique Ballera  
Gerson de Marco  
Fabiana Florian

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.11

**Organizador..... 155**

**Índice Remissivo..... 156**



---

# Apresentação

---

Temos o prazer de apresentar o Volume 8 de “**Tópicos Especiais em Engenharia - Inovações e Avanços Tecnológicos**”. Este volume abrange uma multiplicidade de tópicos no campo da engenharia, desde a gestão de resíduos no setor de energia solar fotovoltaica até a segurança na construção civil.

A obra começa com uma discussão sobre a gestão de resíduos no setor solar fotovoltaico, estabelecendo a relevância de práticas sustentáveis nesta área crítica. Seguindo a temática da energia sustentável, a produção de Hidrogênio Verde (H<sub>2</sub>V) por meio de eletrolisadores do tipo *Proton Exchange Membrane* (PEM) é discutida, destacando o potencial desta tecnologia.

O livro prossegue com a implementação da tecnologia Blockchain nos serviços cartorários, demonstrando a aplicação de avanços técnicos na otimização de processos essenciais. A aplicação de modelos científicos hidrológicos e hidráulicos é discutida em detalhes, reforçando a importância da precisão na modelagem de sistemas hídricos.

A análise assintótica do fluxo turbulento é explorada para aprofundar nosso conhecimento da física dos fluidos. Da mesma forma, a modelagem e o projeto de um amplificador lock-in de duas fases para detecção de fase entre sinais de tensão e corrente em uma máquina de indução trifásica são apresentados, ilustrando as complexidades da engenharia elétrica.

O tema “Pedalando para o Conhecimento” é introduzido para destacar a importância da aprendizagem prática na educação em engenharia. As técnicas e as perspectivas atuais e futuras sobre Terras-Raras é abordada, proporcionando uma visão da engenharia de mineração.

Os capítulos finais concentram-se na engenharia civil, com um estudo comparativo entre vigas de concreto armado convencional e protendido e uma discussão sobre a segurança em altura na construção civil. O estudo de caso sobre a substituição de aço tradicional por aço dobrado em estruturas construtivas destaca as inovações em materiais e técnicas de construção.

Este volume reflete a ampla gama de temas que a engenharia aborda e aprofunda a compreensão dos leitores sobre cada um deles. Agradecemos a todos os autores por suas contribuições valiosas.

Boa leitura!

**Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares**

*Editor Chefe*

## A importância da gestão de resíduos para a sustentabilidade no setor solar fotovoltaico

Jhone Batista Carrinho

*Bacharelado em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário UNA, Bacharelado em Produção Industrial pelo Centro Universitário Leonardo da Vinci, Técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Goiás, ORCID ID 0000-0001-9497-4081*

### RESUMO

O estudo discute a importância da pesquisa interdisciplinar e colaboração entre os setores acadêmico, industrial e governamental na gestão sustentável de painéis fotovoltaicos no final de seu ciclo de vida. O estudo destaca a relevância da logística reversa para sistemas de recolhimento, reciclagem e disposição adequada dos painéis, bem como explora incentivos econômicos e fiscais para promover essas práticas alinhadas às políticas de energia solar. A necessidade de uma abordagem holística da sustentabilidade, cobrindo todo o ciclo de vida do produto, é enfatizada. Em suma, o estudo conclama uma abordagem interdisciplinar e completa para soluções inovadoras e sustentáveis na gestão de painéis solares no fim de sua vida útil.

**Palavras-chave:** logística sustentável. gestão de resíduos. energia solar. incentivos ambientais.

### ABSTRACT

The study discusses the significance of interdisciplinary research and collaboration among academic, industrial, and governmental sectors in the sustainable management of photovoltaic panels at the end of their lifecycle. The study underscores the importance of reverse logistics for efficient collection, recycling, and proper disposal systems for panels. Additionally, it examines economic and fiscal incentives to promote these practices in line with solar energy policies. The need for a holistic approach to sustainability, encompassing the entire product lifecycle, is highlighted. In essence, the study advocates for an interdisciplinary and comprehensive approach to innovative and sustainable solutions in managing end-of-life solar panels.

**Keywords:** sustainable logistics. waste management. solar energy. environmental incentives.



## INTRODUÇÃO

A crescente demanda por fontes de energia renovável tem catapultado a energia solar fotovoltaica (FV) para a vanguarda da matriz energética global. Nos últimos anos, com a adoção da energia solar FV o Brasil tem testemunhado um crescimento notável devido às suas características renováveis e ambientalmente benignas. Entretanto, esse avanço não está isento de desafios, visto que a indústria FV também gera resíduos significativos, notavelmente associados a painéis solares obsoletos e danificados. Abordar essa questão tornou-se crucial para assegurar a continuidade da trajetória sustentável da energia solar FV. Nesse contexto, a logística reversa se destaca como um processo de gestão de resíduos que abrange desde a coleta até a reciclagem e disposição final dos componentes dos painéis solares.

A metodologia de pesquisa deste estudo foi embasada em uma abordagem abrangente, envolvendo a análise de dados e relatórios de mercado, bem como a revisão criteriosa da literatura existente. A análise de dados e relatórios de mercado permitiu uma compreensão detalhada das tendências e dinâmicas atuais relacionadas à gestão de painéis solares no fim de sua vida útil. Por meio da revisão de literatura, foram examinadas as contribuições acadêmicas e as melhores práticas previamente identificadas nesse domínio, fornecendo um contexto sólido para a formulação das abordagens e recomendações apresentadas neste estudo. A integração desses dois métodos permitiu uma abordagem embasada e informada para abordar os desafios da gestão sustentável de painéis solares.

## LOGÍSTICA REVERSA PARA A SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA FV

A logística reversa tem se estabelecido como um componente essencial para garantir a sustentabilidade na indústria de energia solar fotovoltaica (FV). Conforme destacado por Souza Neto (2023), a expansão dessa indústria trouxe consigo não apenas avanços tecnológicos, mas também a preocupação crescente com os resíduos gerados, particularmente relacionados aos painéis solares. Nesse contexto, a logística reversa emerge como uma abordagem crucial para atenuar os impactos ambientais, por meio da recuperação e reciclagem de materiais.

A reciclagem de painéis solares, um aspecto central da logística reversa, desempenha um papel significativo na redução da pegada de carbono da indústria FV. Conforme abordado por Bettanin (2017) a recuperação de materiais e em especial os metais preciosos, como silício e metais raros, através da reciclagem de painéis solares, minimiza a necessidade de extrair esses recursos da natureza, reduzindo assim a pressão sobre os ecossistemas e as emissões associadas à extração.

Além dos benefícios ambientais, a logística reversa na indústria FV também possui implicações econômicas notáveis. Ghizoni (2017) a reutilização de materiais provenientes de painéis solares reciclados pode reduzir os custos de produção, uma vez que evita a dependência de recursos virgens, frequentemente sujeitos a flutuações de preço. Essa abordagem, portanto, contribui para a viabilidade econômica da energia solar FV, tornando-a

mais acessível e competitiva no mercado energético.

A implementação efetiva da logística reversa na indústria FV também é influenciada pela regulamentação governamental. Como ressaltado por Oliveira Neto *et al.* (2018), políticas públicas que incentivam a reciclagem e estabelecem diretrizes para a disposição adequada de resíduos eletrônicos são cruciais para criar um ambiente propício à adoção da logística reversa. Através do estabelecimento de normas e regulamentos, os governos podem direcionar as práticas da indústria em direção à sustentabilidade.

Em síntese, a logística reversa se revela como um pilar fundamental para a sustentabilidade na indústria de energia solar fotovoltaica. Através da reciclagem de painéis solares, essa abordagem não apenas contribui para a redução dos impactos ambientais, mas também para a otimização econômica e o cumprimento de regulamentações governamentais.

### **Vida útil dos módulos fotovoltaicos: um boom iminente**

Desde as primeiras instalações no Brasil, em meados de 2011, os sistemas fotovoltaicos têm demonstrado o potencial de transformar a matriz energética do país. Contudo, à medida que esses sistemas envelhecem, surge um desafio significativo: a gestão adequada dos painéis solares no final de sua vida útil. A vida útil dos painéis fotovoltaicos é uma questão central no contexto da sustentabilidade ambiental. Conforme discutido por diversos estudiosos, como Dias (2015), entender e enfrentar as implicações da disposição desses componentes no meio ambiente tornou-se crucial.

Ao considerar a vida útil dos painéis fotovoltaicos, é necessário também avaliar as consequências do seu descarte inadequado, que pode resultar em resíduos ambientais prejudiciais. As primeiras instalações no Brasil em 2011 marcaram o início de uma jornada rumo à energia limpa e renovável, mas também trouxeram à tona a necessidade de abordar os desafios relacionados à disposição dos painéis solares após seu uso. O crescimento exponencial da indústria FV desde então, conforme apontado por Oliveira *et al.* (2021), torna crucial lidar com as questões ambientais inerentes à longevidade dos painéis.

É fundamental reconhecer que, à medida que esses sistemas se proliferam, um aumento proporcional no descarte de painéis fotovoltaicos está por vir. A negligência na gestão desses resíduos pode resultar em impactos ambientais de longo prazo, minando os próprios princípios de sustentabilidade que a energia solar busca promover. À luz desse cenário, as primeiras instalações de sistemas fotovoltaicos no Brasil servem como um lembrete oportuno de que a sustentabilidade abrange todo o ciclo de vida do produto, desde a fabricação até o descarte adequado.

A disseminação cada vez mais abrangente desses sistemas fotovoltaicos implica um corolário inevitável: um aumento concomitante no descarte de painéis solares. Este fenômeno, por conseguinte, consubstancia-se em um imperativo prenunciador de um crescimento proporcional na geração de resíduos correlatos. A negligência no tocante à orquestração de estratégias eficazes de gestão desses resíduos pode desencadear uma série de implicações ambientais de natureza duradoura (TOCCHETTO, 2005), suscetíveis de comprometer a integridade dos próprios pilares axiológicos subjacentes ao conceito de

sustentabilidade, que ironicamente a energia solar pretende fomentar.

Nesse panorama, as experiências inaugurais de implementação de sistemas fotovoltaicos no contexto brasileiro assumem uma dimensão paradigmática. Elas reverberam como um oportuno lembrete da inextricabilidade entre a ideia de sustentabilidade e a plenitude do ciclo de vida do produto. Ao focalizar não apenas a etapa operacional e produtiva, mas também o pós-consumo, essas iniciativas pioneiras acionam uma visão mais integral e holística da sustentabilidade. A prática da responsabilidade abrangente, desde a fase inicial de fabricação até a correta disposição final, emerge como alicerçadora da genuína transformação em direção a uma economia circular e regenerativa.

Por conseguinte, à medida que contemplamos a trajetória ascendente da adoção da energia solar, torna-se premente internalizar que a gestão apropriada dos resíduos constitui um substrato irrevogável de qualquer empreitada sustentável. A tomada de consciência quanto a essa prerrogativa amplia o escopo da sustentabilidade, convergindo-a para uma esfera mais ampla e inclusiva, que engloba não apenas a produção e o consumo, mas também a destinação final. Em última análise, a implementação eficaz de estratégias de gestão pós-uso não apenas coaduna-se com os imperativos éticos e ambientais contemporâneos, mas também engendra uma dinâmica onde o amálgama entre desenvolvimento tecnológico e sensibilidade ecológica prospera de forma harmoniosa.

## **ESTRATÉGIAS PARA PROMOVER A SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM FIM DE VIDA ÚTIL**

Considerando os desafios ambientais relacionados à vida útil e ao descarte de painéis fotovoltaicos, é imperativo explorar estratégias que promovam a sustentabilidade ao longo de todo o ciclo de vida desses sistemas. A implementação de medidas eficazes pode mitigar os impactos ambientais e garantir que a transição para a energia solar seja realizada de maneira verdadeiramente responsável.

Olhando a linha produtiva, incorporar princípios de design sustentável na fabricação de painéis solares é um passo crucial. A pesquisa e desenvolvimento de materiais mais duráveis e facilmente recicláveis, bem como a integração de métodos de produção mais limpos, podem estender a vida útil dos painéis e reduzir o impacto ambiental. Conforme afirmam Gritti e Landini (2010), essa abordagem desde a fase de fabricação pode mitigar os problemas ambientais futuros associados à gestão de painéis em fim de vida útil.

Entretanto, a conscientização tanto dos consumidores quanto da indústria é fundamental para a gestão adequada dos painéis em fim de vida útil. Segundo Bravo *et al.* (2018), programas educativos podem destacar a importância do descarte correto, incentivando práticas de reciclagem e evitando o abandono em locais inadequados como aterros e similares.

Inspirando-se no princípio da logística reversa, é crucial implementar sistemas eficazes de recolhimento, reciclagem e disposição dos painéis solares. A criação de redes de coleta especializadas e centros de reciclagem pode facilitar a retirada segura dos painéis de suas instalações e seu encaminhamento adequado para tratamento pós-uso. Além

disso, em forma análoga à discutida por Demajorovic *et al.* (2016) incentivos financeiros ou fiscais podem estimular a adesão à logística reversa, alinhando-se às políticas de fomento à energia solar.

Derivado do paradigma consagrado da logística reversa, revela-se uma exigência imperativa a implementação de sistemas diligentes e bem delineados para a recolha, reciclagem e disposição de painéis solares ao término de sua vida útil. O estabelecimento de uma abordagem eficaz nesse âmbito é crucificado na consecução de uma economia circular e na mitigação de impactos ambientais negativos.

A essencialidade da instauração de estruturas dedicadas à coleta especializada e a estabelecimento de centros de reciclagem, os quais confeririam a facilitação da remoção segura dos painéis solares de suas instalações e a subsequente submissão aos trâmites de tratamento pós-uso prescritos pelos cânones da sustentabilidade. A magnitude desse aspecto não pode ser subestimada, dado que a reciclagem de componentes e materiais constituintes dos painéis poderá mitigar as repercussões ambientais da disposição inadequada, conservando recursos valiosos e reduzindo o influxo de resíduos em aterros.

Corroborando esta concepção, Demajorovic *et al.* (2016) enfatizam o papel preponderante de incentivos de ordem econômica ou fiscal no impulsionamento da aderência à logística reversa. A contundência de tais incentivos como meios de fomentar práticas de recolha e reciclagem sustentáveis se insinua por meio de sua congruência com as políticas de promoção da energia solar. Nesse contexto, o condão destas medidas reside na capacidade de alinhar interesses econômicos e ambientais, conferindo uma base financeira à atuação responsável no ciclo de vida dos painéis solares. Adicionalmente, é válido ressaltar que a implementação de incentivos tangíveis também pode induzir uma alteração de mentalidade entre os agentes envolvidos, transitando de uma postura predominantemente linear para uma perspectiva mais circular, enraizada na prudência ambiental.

No entanto, a eficácia desses mecanismos não pode ser interpretada de maneira unívoca. É imperativo considerar a complexidade da interação entre regulamentações, dinâmicas de mercado e imperativos ambientais. É nesse âmbito que a interdisciplinaridade, como mencionada anteriormente, ganha ainda mais relevância. A confluência de saberes econômicos, jurídicos, tecnológicos e ambientais pode permitir uma análise holística da eficácia desses incentivos e a identificação de possíveis desdobramentos não intencionais.

Outrossim, investir em pesquisa e desenvolvimento é fundamental para encontrar soluções inovadoras para os desafios de reciclagem e reutilização de painéis fotovoltaicos. Conforme abordado por Konzen (2020) é vital promover uma abordagem contínua de pesquisa, buscando técnicas mais eficientes e econômicas para recuperar materiais valiosos dos painéis obsoletos. Essa pesquisa dinâmica, destacam eles, é essencial para aprimorar as práticas de reciclagem e revalorização no processo industrial como um todo.

## **DESAFIOS FUTUROS NA GESTÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS: RUMO A UM SETOR SOLAR VERDADEIRAMENTE SUSTENTÁVEL**

À medida que o setor de energia solar fotovoltaica continua a crescer, é imperativo



antecipar e abordar os desafios futuros associados à gestão dos painéis em fim de vida útil. A transição para um setor solar verdadeiramente sustentável exige uma visão proativa que vá além do aspecto energético, incorporando também preocupações ambientais e socioeconômicas. O enfrentamento desses desafios é crucial para garantir que os benefícios da energia solar não sejam prejudicados por questões de descarte inadequado e desperdício de recursos.

O crescimento contínuo da indústria FV resultará em um aumento proporcional na quantidade de painéis solares atingindo o final de sua vida útil. A necessidade de uma infraestrutura de reciclagem eficiente e escalável é evidente. Souza Neto (2023) ressalta a importância de investimentos em instalações de reciclagem capazes de processar componentes eletrônicos pós vida útil de forma ambientalmente responsável.

É importante salientar que painéis fotovoltaicos contêm materiais que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, como metais pesados e materiais semicondutores. A gestão adequada desses componentes é um desafio complexo. Conforme discutido por Azeumo *et al.* (2019), é essencial desenvolver métodos eficazes de extração e tratamento dessas substâncias, minimizando os impactos negativos durante a reciclagem.

A eficácia da reciclagem pode ser aprimorada por meio do desenvolvimento de tecnologias mais avançadas. Mendes (2018) explora a possibilidade de aplicar técnicas de separação e recuperação de materiais, como a separação magnética e a extração química, para melhorar a eficiência e a precisão do processo de reciclagem.

Para tanto, o estímulo à pesquisa e inovação é vital para superar os desafios futuros. A colaboração entre setores acadêmicos, industriais e governamentais pode resultar em avanços tecnológicos significativos, que, em forma análoga à abordada por Trindade *et al.* (2019) traz à baila a importância da pesquisa interdisciplinar para encontrar soluções inovadoras que abordem as complexidades da gestão sustentável dos painéis em fim de vida útil.

A sinergia entre a academia, a indústria e o governo encarna uma valiosa estratégia para catalisar o ethos da inovação. As instituições acadêmicas encetam uma trajetória consagrada à indagação científica e à geração de capital humano erudito. Propiciam um ambiente propenso à incubação de ideias heterodoxas e à interposição de saberes interdisciplinares. As entidades industriais, por seu turno, são detentoras de expertise empírica, recursos pecuniários e infraestruturas habilitantes à transmutação de proposições conceituais em artefatos tangíveis. Já os órgãos governamentais ostentam a prerrogativa de estabelecer diretrizes normativas que fomentem a pesquisa e a inovação, além de arrojarem recursos financeiros destinados a empreitadas de longo espectro temporal.

A questão dos painéis solares, intrínsecos à matriz energética renovável, deflagra considerações relativas a sua vida útil, reciclagem e disposição final. A pesquisa interdisciplinar poderá abarcar enfoques como a concepção de substratos mais resilientes e recicláveis, esquemas de reciclagem eficazes, avaliação do ciclo de vida dos painéis e avaliação dos impactos ambientais. Paralelamente, é imperativo contemplar os contingentes econômicos e societários subjacentes à gestão desses dispositivos, incluindo custos, repercussões ocupacionais e a inserção das comunidades locais no processo.

Por conseguinte, a promoção da pesquisa interdisciplinar e da interlocução entre distintas camadas do aparato sociotécnico perfilha-se como um imperativo estratégico no enfrentamento de desafios intrincados, a exemplo da gestão sustentável de painéis solares ao término de sua existência útil. Mediante a abraçar essa abordagem, enseja-se o alvorecer de uma trajetória rumo a um porvir mais sustentável, no qual o engenho inovador e o acatamento de princípios responsivos coadunem-se inextricavelmente.

As regulamentações governamentais precisam ser adaptadas para lidar com os desafios emergentes na gestão dos equipamentos utilizados nos sistemas fotovoltaicos. Hicks *et al.* (2005) enfatiza a necessidade de estabelecer padrões rigorosos para a reciclagem, bem como a implementação de diretrizes para fabricação sustentável e disposição responsável.

O estabelecimento de normas e regulamentações atualizadas desempenha um papel fundamental na condução de um setor solar verdadeiramente sustentável. À medida que o mercado de energia fotovoltaica continua a crescer, a falta de regulamentações específicas para o descarte adequado de painéis solares pode resultar em riscos ambientais significativos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

À medida que os sistemas fotovoltaicos se tornam uma peça central na busca por fontes de energia limpa e renovável, a gestão responsável dos painéis em fim de vida útil se torna uma prioridade incontestável. Desde as primeiras instalações no Brasil em 2011, o setor evoluiu consideravelmente, revelando não apenas suas promessas, mas também os desafios inerentes. Este artigo percorreu uma jornada pela importância da logística reversa, estratégias para promover a sustentabilidade na indústria, desafios futuros e o papel das regulamentações.

A transição para um setor solar verdadeiramente sustentável exige ações concertadas de todos os atores envolvidos, desde os fabricantes até os consumidores finais. A integração de práticas sustentáveis em todas as etapas do ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos é imperativa para mitigar os impactos ambientais e sociais adversos. Com abordagens inovadoras, educação contínua, investimentos em pesquisa e o estabelecimento de regulamentações rigorosas, podemos superar os desafios e moldar um futuro no qual a energia solar não apenas beneficie a sociedade, mas também respeite os limites do nosso planeta.

O caminho para a sustentabilidade na indústria fotovoltaica é multifacetado e em constante evolução. Porém, a trajetória percorrida até aqui mostra que, com determinação e colaboração, é possível criar um setor solar que seja não apenas energeticamente eficiente, mas também ambientalmente responsável. À medida que avançamos para um futuro movido por fontes de energia limpa, a gestão adequada dos painéis fotovoltaicos em fim de vida útil é uma pedra angular que não pode ser negligenciada. A transição para uma matriz energética sustentável é um desafio complexo, mas é um desafio que precisamos enfrentar para garantir um planeta mais saudável e próspero para as gerações futuras.



## REFERÊNCIAS

- AZEUMO, Maurianne Flore; GERMANA, Conte; IPPOLITO, Nicolò Maria; FRANCO, Medici; LUIGI, Piga; SETTIMIO, Santilli. Photovoltaic module recycling, a physical and a chemical recovery process. *Solar Energy Materials And Solar Cells*, [S.L.], v. 193, p. 314-319, maio 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2019.01.035>.
- BETTANIN, Andrea. O uso de tiosulfato para a recuperação de prata na reciclagem de módulos fotovoltaicos. 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/169297>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- BRAVO, Thamara Lins et al. EDUCAÇÃO AMBIENTAL E PERCEPÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE COLETA SELETIVA DE LIXO URBANO EM DE ALEGRE, ES. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 375-396, 19 fev. 2018. Anima Educação. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e12018375-396>.
- DIAS, Pablo Ribeiro. Caracterização e Reciclagem de Materiais de Módulos Fotovoltaicos. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- DEMAJOROVIC, Jacques et al. REVERSE LOGISTICS OF E-WASTE IN DEVELOPING COUNTRIES: challenges and prospects for the Brazilian model. *Ambiente & Sociedade*, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 117-136, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc141545v1922016>.
- GHIZONI, Joana Pauli. Sistemas fotovoltaicos: estudo sobre reciclagem e logística reversa para o brasil. 2017. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/176163>. Acesso em: 17 ago. 2023.
- GRITTI, Giovana Cássia Marinelli; LANDINI, Marcelo Camargo. Construção Sustentável: Uma opção racional. 2010. 88 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco. Itatiba, 2010.
- HICKS, Charlotte et al. The recycling and disposal of electrical and electronic waste in China—legislative and market responses. *Environmental Impact Assessment Review*, [S.L.], v. 25, n. 5, p. 459-471, jul. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.007>.
- KONZEN, Bárbara Anne dalla Vechia. Avaliação do Ciclo de Vida de painel fotovoltaico: análise dos impactos ambientais e fim de vida em estudo de caso no sul do brasil. 2020. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- MENDES, Jefferson Januário. Recuperação de ferro contido em rejeitos de mineração, por processamento termoquímico, seguido de separação magnética. 2018. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.
- OLIVEIRA, Alzira Marques de et al. Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no brasil até 2050 / renewable electric energy sources. *Brazilian Applied*

Science Review, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 257-272, jan. 2021. Brazilian Applied Science Review. <http://dx.doi.org/10.34115/basrv5n1-016>.

OLIVEIRA NETO, G. C., Ruiz, M. S., Correia, A. J. C., & Mendes, H. M. R. (2018). Environmental advantages of the reverse logistics: a case study in the batteries collection in Brazil. *Production*, 28, e20170098. <https://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.20170098>.

SOUZA NETO, Antônio Lúcio de Oliveira. Resíduos oriundos do descarte de painéis fotovoltaicos: propostas atuais para tratamento e desafios para o Brasil. 2023. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17696>. Acesso em: 19 ago. 2023.

TRINDADE, Nathália Rigui *et al.* Educando para o desenvolvimento sustentável por meio da interdisciplinaridade: contribuições da aprendizagem experiencial no ensino de gestão. *Administração: Ensino e Pesquisa*, v. 20, n. 3, p. 673-713, 2019.

TOCCHETTO, Marta Regina Lopes. Gerenciamento de resíduos sólidos industriais. Santa Maria: UFSM, v. 97, 2005.

# Produção do Hidrogênio Verde ( $H_2V$ ), a partir da água destilada, utilizando eletrolisadores do tipo: *Proton Exchange Membrane (PEM)*

**Paulo Sérgio Rosa Fernandes**

*CEFET-RJ - Campus Maria da Graça / RJ*

**Paulo Marcos Cabral Junior**

*CEFET-RJ - Campus Maria da Graça / RJ*

**Emídio Germano Rodrigues de Andrade Neto**

*CEFET-RJ - Campus Maria da Graça / RJ*

**Francisco Luiz da Cruz**

*CEFET-RJ - Campus Maria da Graça / RJ*

**Daniel Azevedo Corrêa**

*CEFET-RJ - Campus Maria da Graça / RJ*

**Jorge Anderson Suhet da Silva**

*CEFET-RJ - Campus Maria da Graça / RJ*

## RESUMO

O aumento anual energético tem-se mostrado uma real preocupação dos governantes brasileiro. Observou-se um aumento contante quanto ao: consumo industrial; no residencial e no transporte de cargas e de passageiro. Esses dois tipos de consumo energético e no transportes, chegam a ser responsável, por aproximadamente, à 76%. Mediante a isto, viu-se os método de preparação de hidrogênio, e com estudos da: eletrólise água; biomassa; gaseificação; reforma do vapor; eletrólise da água utilizando-se células combustíveis. Foi mostrado o funcionamento de eletrolisadores, do tipo: alcalinos; com membrana de troca de prótons; com membrana de troca aniônica e; de óxido sólidos. Também as células de combustível de membrana de troca de prótons, com alta eficiência e com uma baixa temperatura operacional, a emissão zero de gases de efeito estufa, e a composição do PEMFC e seus componentes estruturais. Finalmente, comentou-se de eletromobilidade comparando as tecnologias de combustíveis com a sua eficiência, os: veículos elétrico movido à bateria; veículo à célula de combustível de hidrogênio e; os veículos à combustão, fazendo uma comparação entre eles, das sua eficiências energética e levando-se em consideração, a sua propulsão.

**Palavras-chave:** consumo energético. consumo industrial. eficiências energética.



## ABSTRACT

The annual increase in energy consumption has shown to be a real concern for Brazilian government officials. There was a constant increase in: industrial and residential consumption and in the transport of cargo and passengers. These energy and transport consumptions account for approximately 76% of the total. Through this, the hydrogen preparation methods were seen, by the routes of: biomass; gasification; steam reform; water electrolysis. The functioning of electrolyzers was presented, such as: alkaline; with proton exchange membrane; with anion exchange membrane and; of solid oxides. Also the proton exchange membrane fuel cells, with high efficiency and with a low operating temperature, zero emission of greenhouse gases, and the composition of PEMFC and its structural components. Finally, electromobility was discussed, comparing fuel technologies with their respective efficiency, namely: battery-powered electric vehicles; hydrogen fuel cell vehicle; combustion vehicles, making a comparison between them, their energy efficiency and taking into account their propulsion.

**Keywords:** energy consumption. industrial consumption. energy efficiencies.

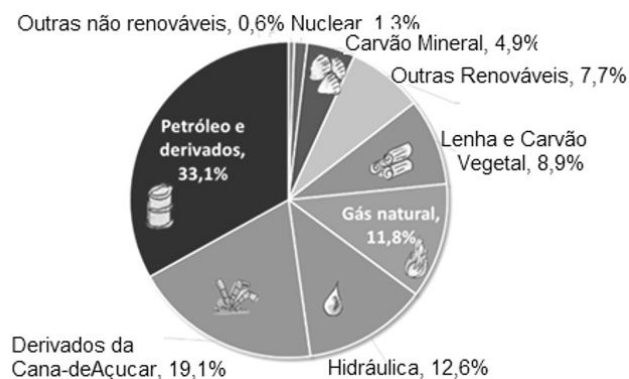
## INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um risco ambiental que o planeta enfrenta, está associado à elevação do consumo de energia. Esta é a situação ambiental e as consequências que o planeta vem sofrendo, devido ao uso dos combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural. Assim sendo, busca de modo alternativo a fonte de energia na matriz energética e por combustíveis, que sejam mais limpos e renováveis, como uma forma de diminuir os danos causados, pelos gases do efeito estufa (GEE).

Devido a isso, espera-se garantir o desenvolvimento econômico, através da oferta de energia, atrelada ao desenvolvimento social, mitigando os impactos ao meio ambiente. Pode-se verificar o consumo de energia e o tipo de combustível empregado, e assim, analisar a matriz energética mundial. Sendo esta é constituída por fontes não renováveis, como: o petróleo, carvão mineral e gás natural, representando mais de 80% (oitenta por cento) da matriz energética (EPE, 2022b).

No Brasil, a matriz energética é diferente, onde as fontes não renováveis continuam predominantes, no entanto, a utilização de fontes renováveis é mais significativa, correspondendo a cerca de 48% da matriz energética (EPE, 2022b). Na Figura 1, é possível analisar a matriz energética brasileira no ano de 2021.

**Figura 1 - Energética Brasileira, 2021.**



**Fonte: Balanço Energético Nacional, 2022.**

Em termos de consumo, os setores de transporte de cargas / passageiros e o setor industrial, são os responsáveis por cerca de: 65% do consumo de energia nacional, como apresentado a seguir (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022):

- Transportes de cargas e passageiros: 32,5% do consumo de energia do País
- Industrial: 32,3% do consumo de energia do País
- Residências: 10,9% do consumo de energia do País
- Setor energético: 9,5% do consumo de energia do País
- Agropecuária: 5% do consumo de energia do País
- Serviços: 4,8% do consumo de energia do País
- Uso não energético: 5% do consumo de energia do País

No ano de 2021, o total de emissões de CO<sub>2</sub> antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiram 445,4 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, sendo 197,8 Mt CO<sub>2</sub> equivalente, referente ao setor de transportes (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2022).

Em relação ao consumo energético mundial, faz-se uso dos combustíveis fósseis, no seu emissor de CO<sub>2</sub>, substância prejudicial ao efeito estufa do aquecimento global (GEE). A emissão elevada de GEE como: CO<sub>2</sub>, CO e CH<sub>4</sub>, relativos ao uso desses combustíveis, impulsionou diversos tratados internacionais para a mitigação de impactos ambientais, como o Acordo de Paris, assinado por 197 países em 2015, visando limitar o aumento da temperatura global em 1,5o C até o fim do século atual. (BOLSON; ARAÚJO, 2022)

Anterior ao Acordo de Paris foi assinado o Protocolo de Kyoto (1997), o primeiro com planejamento internacional que pretendia reduzir e combater a emissão de poluentes na atmosfera e restringir os impactos climáticos e ambientais (CHIOCA, 2022).

Objetivando a redução da poluição ambiental e de impossibilitar o esgotamento dos recursos naturais, foi incentivado que fontes renováveis gerassem uma energia de baixo custo, respeitando o meio ambiente, e dando uma demasiada atenção ao Hidrogênio (H<sub>2</sub>), sendo considerado, como combustível do futuro, principalmente pelo fato de, liberar apenas água em sua combustão (SILVA, 2016).

O H<sub>2</sub> é conhecido, como um combustível alternativo, com uma promessa de uma contribuição para a transição energética, sendo essencial no processo de descarbonização e tem atraído a atenção não só de pesquisadores como também de governos. Quando produzido por uma fonte renovável, pode possibilitar um sistema de energia não poluente mais seguro e econômico. De forma suplementar, é caracterizado pela versatilidade de aplicação, podendo operar em importantes setores, como por exemplo: o de transporte, aquecimento, indústria e eletricidade, os quais, juntos, são responsáveis por boa parte das emissões globais de CO<sub>2</sub>. Portanto, para acelerar a introdução desta nova economia, se faz necessário, que haja uma redução de custos na: produção de hidrogênio; nas células a combustível; no amadurecimento destas tecnologias no segmento automotivo; e na instalação de infraestrutura; que sejam adequadas à sua utilização. As células a

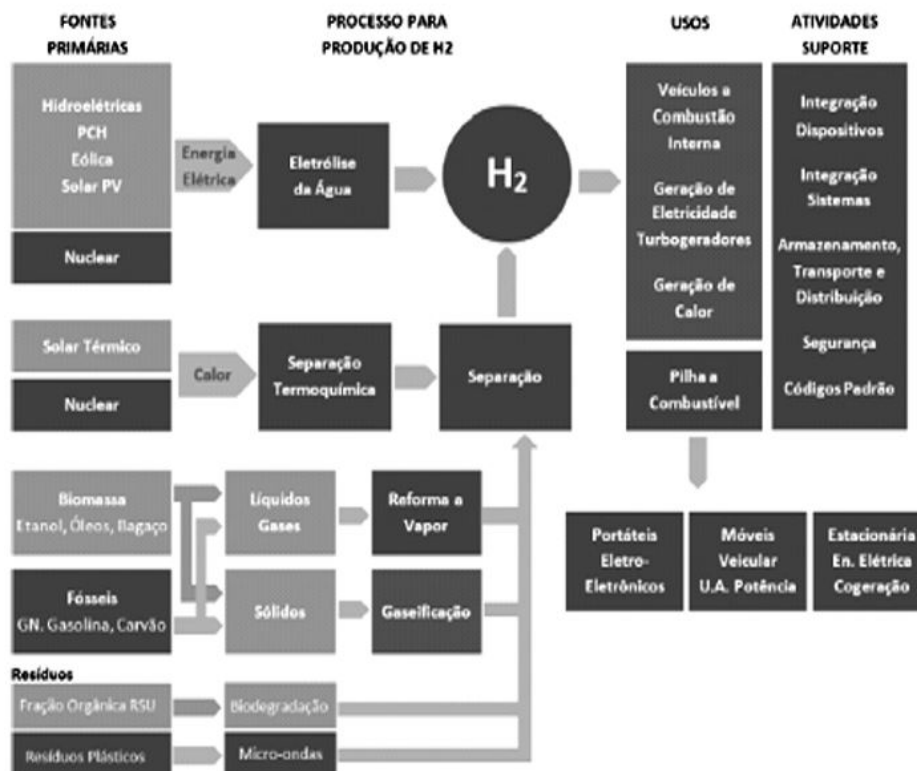
combustível se prestam à geração distribuída de energia elétrica, desde as de pequeno porte, de alguns KW até alguns MW, se comparadas com as centrais elétricas atuais, na ordem de GW (BARBIR, 2006). Entende-se por geração distribuída de energia elétrica a geração in loco, independente da rede, com a compra, de um combustível como hidrogênio, ou um combustível primário rico em hidrogênio, a ser reformado localmente. As células combustíveis (*Fuel Cell*) e as tecnologias de hidrogênio estão entre as mais promissoras no mundo, inclusive quanto à economia circular, ou como no baixo carbono. Em um estudo da produção de Hidrogênio Verde para Células à Combustível de Baixa Temperatura do tipo, membrana polimérica trocadora de prótons (PEMFC - *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*), aparece como aliada, nas aplicabilidades e no uso na mobilidade elétrica, possibilitando a futura descarbonização. Sendo assim, foi desenvolvida uma revisão dos estudos das: células a combustível de membrana eletrolítica polimérica (PEMFCs).

## MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DO H<sub>2</sub>V

A produção global de hidrogênio atualmente é dominada pelo uso de combustíveis fósseis. Com custos decrescentes para energia renovável, em particular solar fotovoltaico e eólico, teve o interesse na eletrólise da água para a produção de hidrogênio, e sua conversão em combustíveis à base de hidrogênio, ou matérias-primas, como hidrocarbonetos sintéticos e a amônia, que são mais compatíveis, que hidrogênio com a infraestrutura existente (IEA, 2019).

Na figura 2, são apresentadas as diferentes matérias-primas, que podem ser utilizadas para produção de hidrogênio.

Figura 2 – Rotas tecnológicas para obtenção do hidrogênio.



Fonte: EPE (2021)



A oferta de hidrogênio está baseada na reforma a vapor do gás natural e na oxidação parcial de combustíveis fósseis, a exemplo do carvão, como mostrado nos tipos de Tecnologias disponibilizadas na base de dados da IEA (IEA, 2021b):

- **Eletrólise da água:** Alcalina; Membrana de Troca de Prótons; Células de Eletrólise de Óxido Sólido e; Eletrólise Desconhecida \*.
- **Biomassa:** Reforma do Biogás; Gaseificação da Biomassa; Pirolise do Metano; Fermentação Microbiana; Gases Residuais na Produção de Resíduos; Gaseificação de Resíduos; Reforma de Resíduos e; vários outros tipos\*\*.

\* Tipo de eletrólise não divulgado

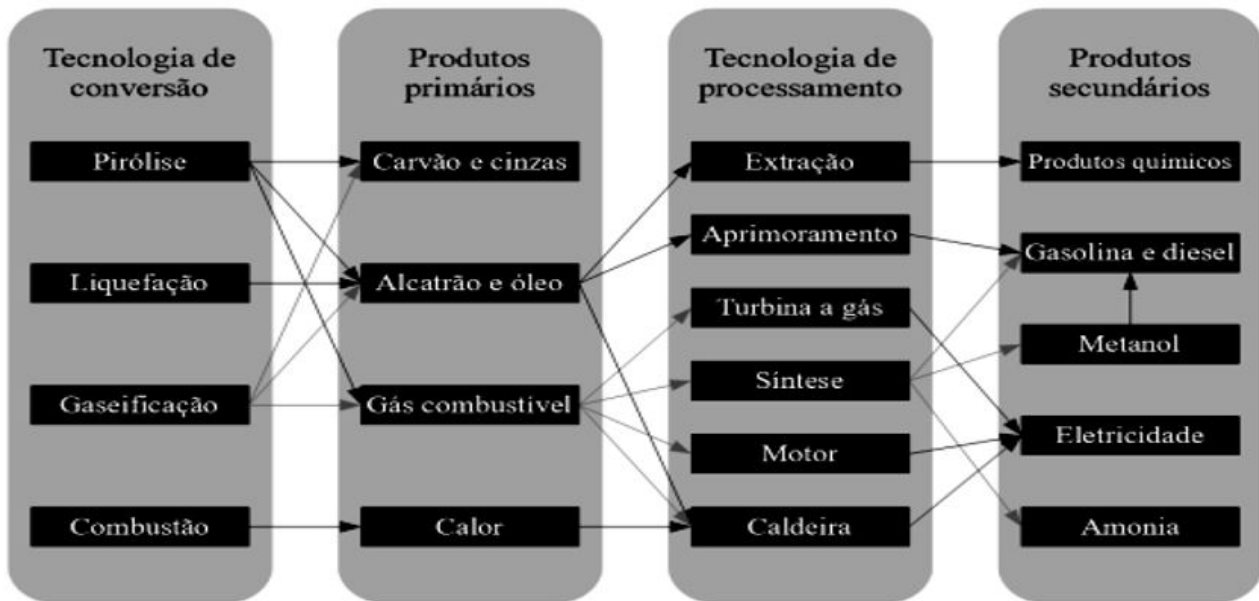
\*\* Combinação de Processos

## Gaseificação

A gaseificação pode ser definida como a conversão termoquímica de um material sólido ou líquido, que tenha carbono em sua composição, em um produto gasoso combustível, denominado como Gás de Síntese ou *Syngas*. Estes gases combustíveis contêm:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , hidrocarbonetos, gases inertes e diversos contaminantes, como por exemplo: os particulados e alcatrões; e a mistura de  $\text{CO}$  e  $\text{H}_2$ . Os sistemas de gaseificação operam de forma a limitar a oxidação completa do hidrogênio para água, e do monóxido de carbono para dióxido de carbono. O processo de gaseificação ocorre em temperaturas elevadas, 500 – 1400o C e em pressões atmosféricas ou maiores. O oxidante usado pode ser ar, vapor de água, dióxido de carbono, oxigênio puro ou uma mistura destes gases. A eficiência desta queima está relacionada em função da qualidade da biomassa. Esta deve ser a melhor opção de produção de hidrogênio, porém a poluição da retirada da biomassa do solo, e os resíduos lançados na atmosfera e tornam inviáveis ambientalmente (BRAGA, 2021).

A demanda mundial por fontes de energia renovável é um dos principais motivadores do crescente emprego dos sistemas de gaseificação os quais sofreram uma forte queda depois da crise do petróleo. Este fenômeno se vê refletido no aumento da produção de gás de síntese de alta qualidade, mediante sistemas de gaseificação. O gás de síntese gerado tem uma ampla gama de aplicações, os quais são apresentados na Figura 3, que também apresenta os produtos gerados por os processos da Pirólise e da Combustão.

Figura 3 - Processos de Conversão Térmica e seus Produtos Gerados.



Fonte: Adaptado de BRIDGWATER, 1994.

## Reforma do vapor (Gás Metano, $CH_4$ )

No processos de reforma de metano são usados para produção de hidrogênio, conforme mostrados abaixo:

- Reforma à vapor:  $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$
- Oxidação parcial:  $CH_4 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + 2H_2$
- Reforma seca, com  $CO_2$ :  $CH_4 + CO_2 \rightarrow 2CO + 2H_2$
- Reforma autotérmica: Oxidação parcial + Reforma a vapor

O gás natural, através da Reforma a Vapor do Metano, caracteriza-se por ser o método, mais utilizado para produção de hidrogênio nas indústrias, com aproximadamente, 48% da produção mundial. Esse processo caracteriza-se ter uma combinação de um vapor em alta temperatura com o gás natural, possuindo o metano ( $CH_4$ ), como seu componente, para se extrair o hidrogênio:  $CH_4 + H_2O + Vapor \rightarrow CO + 3H_2$ . Embora a reforma a vapor seja um método usual na produção industrial do hidrogênio, ela requer muito calor para fazer uma reação endotérmica não espontânea, ou seja, gastam energia para acontecer, fazendo com que esse processo, seja extremamente ineficiente (gás de síntese). O hidrogênio produzido por esse método, tem menos energia do que o gás metano, com o qual, a reforma a vapor começou, em um processo orgânico. Este acaba tendo como resultante, o manuseio de um elemento indesejado, o monóxido de carbono (REAL ENGINEERING, 2018).

## Eletrólise da água ( $H_2O$ ), utilizando células combustíveis

A produção de hidrogênio por eletrólise ocorre com: a quebra da molécula da água por meio de reações químicas desencadeadas, a partir de uma força eletromotriz geradora. O meio onde estas acontecem são: nas reações de eletrólise pode ser ácido ou básico (REAL ENGINEERING, 2018). A tensão e a corrente são fornecidas aos eletrodos do tipo,



ânodo ou cátodo, e são imersos em um condutor, podendo ser: iônico líquido ou sólido. As reações são:

- Eletrólise da Água:  $H_2O \rightarrow H_2 + \frac{1}{2}O_2$
- Reação Ácida Anódica:  $H_2O \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$
- Reação Ácida Catódica:  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
- Reação Alcalina Anódica:  $2OH^- \rightarrow \frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^-$
- Reação Alcalina Catódica:  $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$

A eletrólise da água é um processo simples para produção de hidrogênio. Mas, faz-se necessário que haja um elevado consumo de energia elétrica, para que ocorra a quebra da molécula da água. Os eletrolisadores possuem um custo elevado, e os único resíduo da eletrólise é o vapor d'água, tornando essa tecnologia limpa e não poluente. Este torna esse processo sustentável, quando realizado por fontes de energia renováveis, como por exemplo: a hidráulica, a eólica e a solar fotovoltaica, é considerada um processo sustentável e vantajoso. Na Figura 4, mostra a produção do hidrogênio, acoplado a uma fonte de energia renovável:

**Figura 4 - Produção hidrogênio a partir da água salgada, acoplado a um aerogerador eólico.**

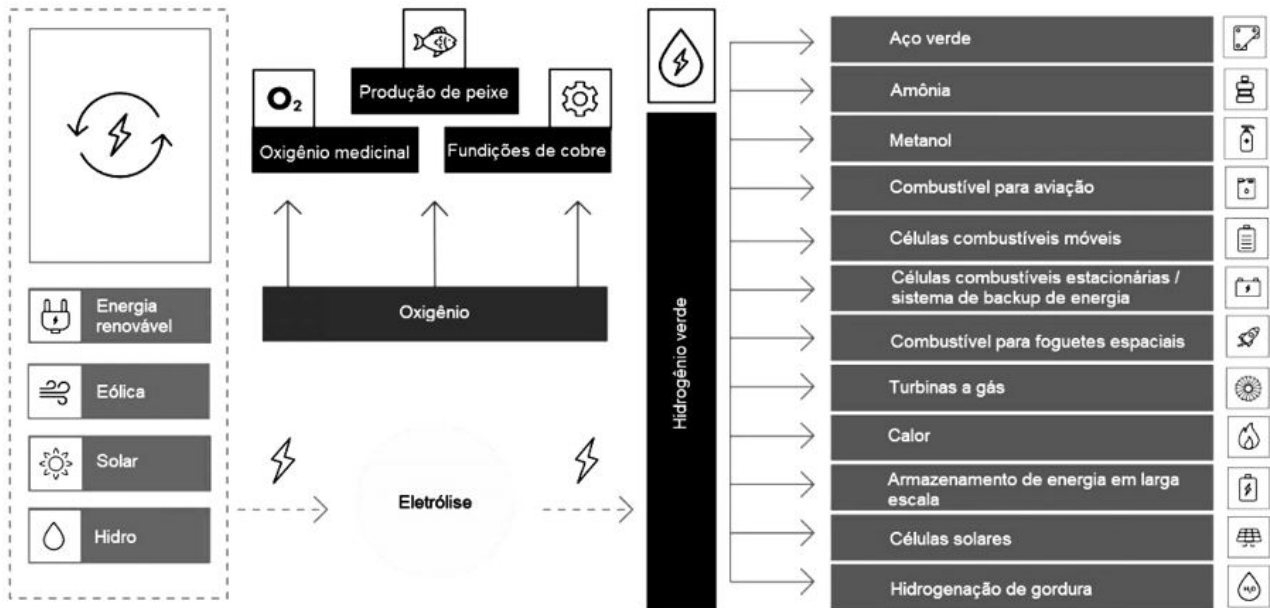


**Fonte: Instalações Piloto da Schaeffler, Ilha de Texel, no Mar do Norte.**

## FUNCIONAMENTO DE UM ELETROLISADOR

Um eletrolisador é um dispositivo capaz de interagir nas moléculas da água ( $H_2O$ ). Como a separação nas ligações destes dois elementos são estáveis, é preciso fornecer energia elétrica para que, para esta divisão. Ter eletrolisadores eficientes é fundamental, para que ocorra, a penetração desse nas indústrias, e conseqüentemente, aconteça a adoção das pilhas à combustível de hidrogênio (IBERDROLA, 2021).

Figura 5 - Tecnologia Power- to X.



Fonte: PÖRYR Brasil.

## Principais tipos de eletrolisadores

Existem diferentes tipos de eletrolisadores, sendo catalogados pelo seu tamanho e sua função. A seguir, será descritos os quatro tipos mais utilizados:

### Eletrolisadores alcalinos

Utilizam uma solução eletrolítica líquida, como hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio e água. O hidrogênio é produzido em uma célula constituída por um ânodo, um cátodo e uma membrana. As células costumam serem montadas em série para produzir mais hidrogênio e oxigênio ao mesmo tempo. Quando a corrente é aplicada na pilha eletrolítica, os íons hidróxidos se movem através do eletrólito do cátodo para o ânodo de cada célula, gerando bolhas de gás hidrogênio no lado do cátodo do eletrolisador e gás oxigênio no ânodo.

### Eletrolisadores com membrana de troca de prótons (PEM)

Empregam uma membrana de troca de prótons e um eletrólito polimérico sólido. Quando a corrente é aplicada na pilha, a água se divide em hidrogênio e oxigênio e os prótons do hidrogênio passam através da membrana para formar gás hidrogênio no lado do cátodo. São fáceis de refrigerar, extremamente compactos e operam com uma diversidade geradora de energia renováveis, e fornecendo um alto grau de pureza, utilizando materiais preciosos, como os catalisadores.

### Membrana de troca aniônica (AEM)

Elas consistem em dois eletrodos imersos em um AEC, separados por uma membrana sólida de polímero de troca de ânions. Elas estão em escala de laboratório com a primeira implantação industrial esperada dentro de médio prazo, de 6 (seis) a 8 (oito) anos.

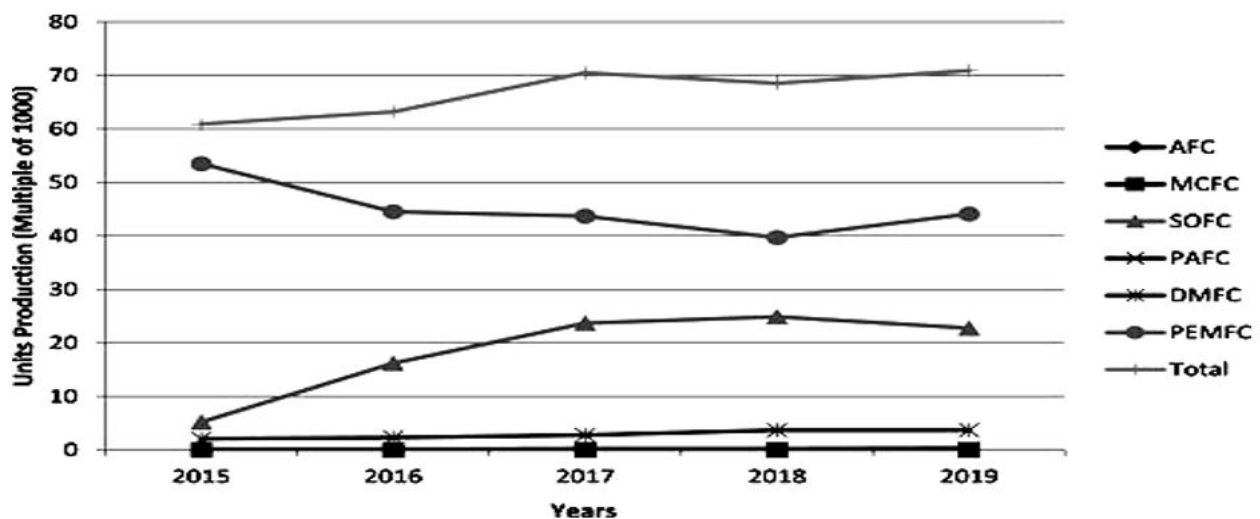
## Eletrolisadores de óxido sólidos

A Célula Eletrolisadora de Oxido Sólido (SOEC, Solid Oxide Electrolyzer Cell) funciona em temperaturas mais elevadas, entre 500 °C e 850 °C. Têm um potencial muito mais eficiente, que as células PEM e as alcalinas. Este processo se denomina, eletrólise de alta temperatura, ou eletrólise do vapor de água, utiliza um material cerâmico sólido como eletrólito. Os elétrons do circuito externo são combinados com a água no cátodo para formar o gás hidrogênio e íons de carga negativa. Existem outros tipos de eletrolisadores que ainda não são tão eficientes ou rentáveis como os anteriores, mas têm muito potencial de desenvolvimento.

## CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL DE MEMBRANA DE TROCA DE PRÓTONS (FUEL CELL)

O objeto desse estudo é o PEMFC, onde se torna a célula de combustível, mais atraente devido de seus desenvolvimentos, nos últimos anos, como mostrado em Figura 6:

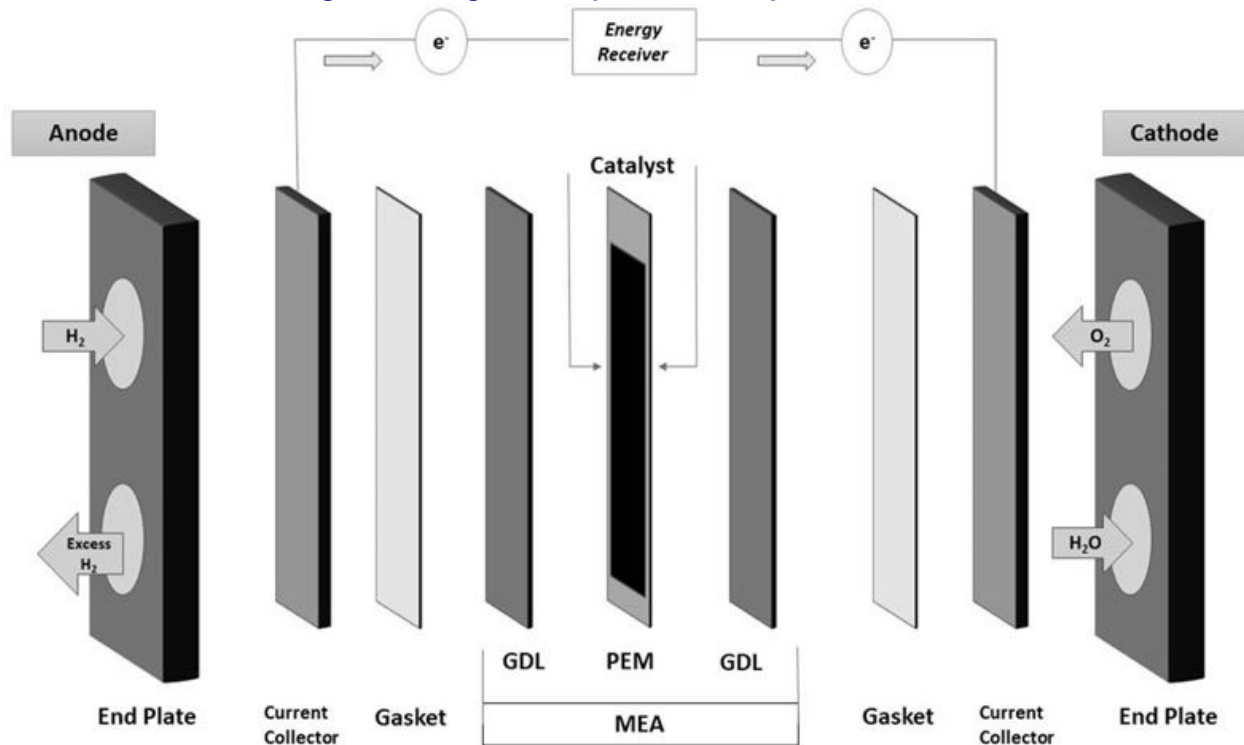
**Figura 6 - Eletrolisadores com membrana de troca de prótons com Células Combustíveis.**



Fonte: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2022.956132/full>.

Esta Célula possui como características: leveza, a alta eficiência com índice maior que 60 %, em uma baixa temperatura operacional, em torno de 80 °C, a emissão zero de gases de efeito estufa, o subproduto da reação é ambientalmente livre de H<sub>2</sub>O. O PEMFC é composto principalmente de placas terminais, coletores de corrente, placas bipolares, gaxetas, Camadas de Difusão de Gás (GDL), catalisador e membrana (LIAO, 2022), conforme mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Diagrama esquemático simples de PEMFC.



Fonte: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2022.956132/full>

As placas finais estabelecem a resistência para manter a estrutura da célula de combustível e evitar o vazamento de gases para o meio ambiente; é construído com canais de fluxo exclusivos, como serpentina simples, serpentina dupla e quatro serpentinas (BODDU *et al.*, 2009).

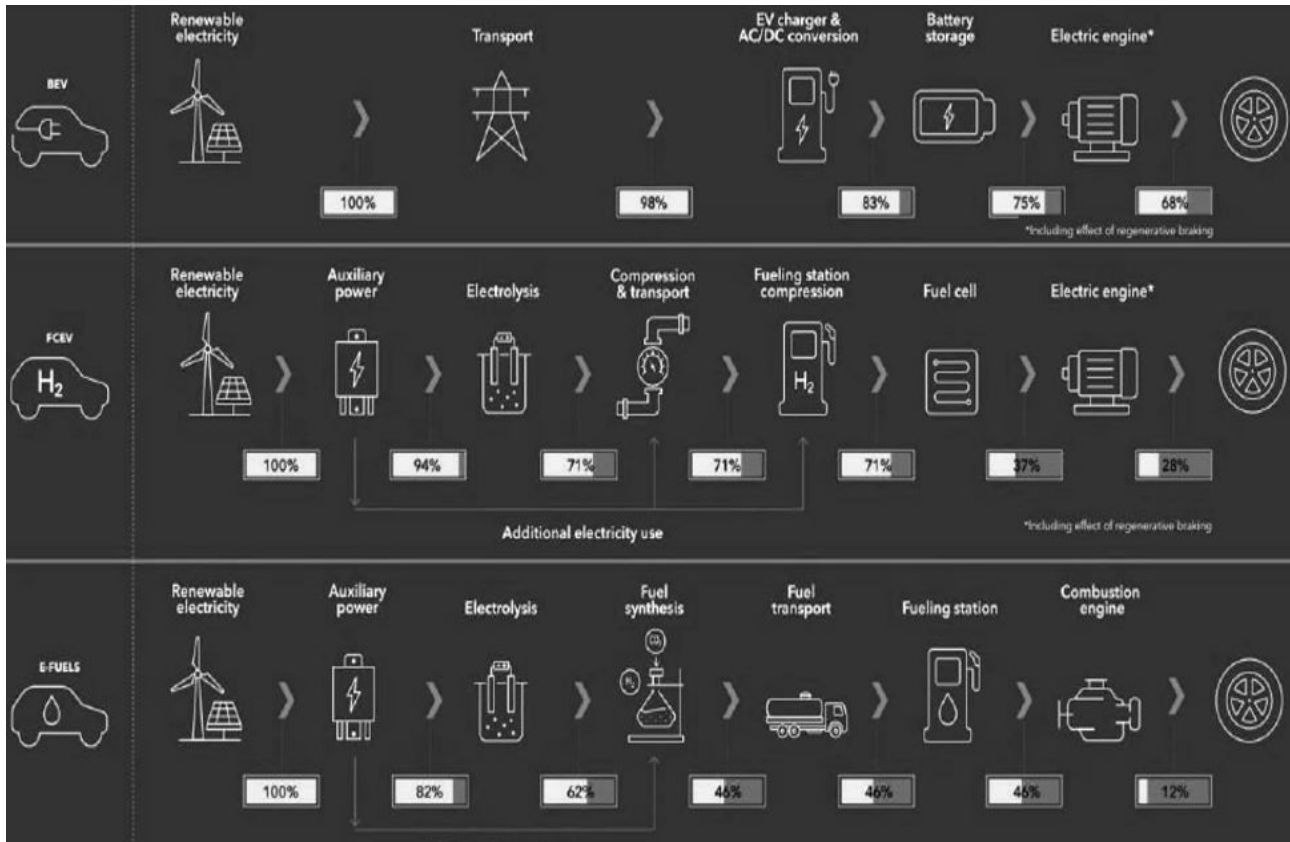
O coletor de corrente coleta a eletricidade e a transmite da célula de combustível para o lado externo. A placa bipolar permite conectar um Arranjo de Eletrodo de Membrana (MEA) a outro para aumentar a tensão e descarregar água. As juntas são feitas de material emborrachado e são usadas para evitar vazamento de gases reagentes dentro da célula de combustível, onde a MEA tornou-se o principal componente do PEMFC.

## ELETROMOBILIDADE COM CÉLULAS COMBUSTÍVEL

Atualmente no Brasil, existe um número reduzido de modelos de automóveis a movido por células a combustíveis. Estes converte quimicamente hidrogênio, em eletricidade. Alguns fabricantes apostam no potencial porque tem duas vantagens: peso e facilidade de abastecer. O Combustível Hidrogênio é um material físico, que se abastece como a gasolina, em segundos. É uma substância leve e de fácil disponibilidade, possuindo autonomia de 1K de Hidrogênio para 100 KM rodados; e possui uma capacidade média de 7 a 12 kg de armazenamento, e o resultado de consumo, o vapor de água. ACEA (*European Automobile Manufacturers Association*) decidiu, de fato, fazer com que o setor seja neutro em carbono até 2050. E para isso, que a partir de 2040 apenas caminhões com emissão zero poderão ser comercializados na Europa. Nos parece que os veículos movido a célula de hidrogênio, tem um promissor potencial, para a movimentação de carga pesadas, devido a sua grande autonomia. Pode-se ver na Figura 8, os três tipos de combustíveis com a

sua eficiência, os: Veículos Elétrico movido 100% à Bateria (BEV), com 68% de eficiência; Veículo a Célula de Combustível de Hidrogênio, com 28% de Eficiência e os Veículos a Combustão, com 12% de eficiência.

Figura 8 - Diferenciação motores BEV x PEMFC x E-Fuels.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O hidrogênio verde ( $H_2V$ ) é uma solução inovadora, que possibilita a extração deste vetor energético. Ele não possui emissão de gases poluentes, o que o torna, uma ferramenta eficaz na produção de combustíveis limpos, e para geração de energia em células a combustível.

A obtenção de  $H_2V$  pelo processo de eletrólise da água requer altos custos de energia, o que leva a necessidade de gerar a energia elétrica por painéis solares, convertendo os raios solares, em eletricidade, tornando o processo sustentável, além de reduzir as emissões de  $CO_2$ .

As células a combustível que utilizam como eletrólito a membrana trocadora de prótons são bastante promissoras para as aplicações como: fonte de produção de energia elétrica em sistemas estacionários, ou móveis, ou portáteis, na aquela, venha a usar  $H_2V$ .

Outro aspecto positivo é sua fartura do hidrogênio, o que significa: benefícios econômicos, para os países que investem nesta tecnologia, contribuindo assim, para o desenvolvimento regional, e a geração de empregos, e na segurança energética.

Para sua ampla utilização, esse tipo de célula a combustível, necessita se adequar a certas exigências de: custo; durabilidade; eficiência; tamanho; confiabilidade e desempenho, que representem as dificuldades para a sua utilização e comercialização mais efetiva.



## REFERÊNCIAS

- ABEÓLICA. INFOVENTO OFFSHORE - Setembro de 2022 - Edição 01. [http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/09/2022\\_09\\_InfoVento-Offshore-01\\_site.pdf](http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/09/2022_09_InfoVento-Offshore-01_site.pdf). Acessado: Junho de 2023.
- ALMEIDA, A. T. Células de combustível. Revista Gazeta de Física, p. 50-55,. 2010. BENT, S. Hydrogen and Fuel Cells, Academic Press, 2005. Acessado em: Maio de 2023.
- AZEVEDO J. & CAMPELLO R. Produção, Armazenamento, Transporte e Uso Final do Hidrogênio. Apostila do curso AHK Brasil / UFRJ - Gesel: Hidrogênio Verde - Bloco 2 – Aula 2. Rio de Janeiro, 2021.
- BARBIR 2005/ Frano Barbir, PEM Fuel Cells – Theory and Practice. Elsevier, Amsterdam, Holland, 2005.
- BRAGA, S. L. Produção, Armazenamento e Transporte de Hidrogênio. Apostila do curso AHK Brasil / UFRJ - Gesel: Hidrogênio Verde - Bloco 2 – Aula 3. Rio de Janeiro, 2021.
- BRIDGWATER, T. Catalysis in thermal biomass conversion. Applied catalysis a: general, 1994. v. 116, n. 1–2, p. 5–47.
- BOLSON, S. H.; ARAÚJO, S. F. de. As Metas Brasileiras ao Acordo de Paris sobre as Mudanças Climáticas e o Desmatamento Ilegal no Bioma Cerrado: a Omissão do Estado Brasileiro. RELPE: Revista Leituras em Pedagogia e Educação, v. 5, n. 1, p. 144 – 158, Jun 2022.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Informe Inovação em Soluções Energéticas Sustentáveis – Informe ISES. Primeira edição – Hidrogênio renovável. Projeto Agenda Positiva da Mudança do Clima e do Desenvolvimento Sustentável. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2021. [[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Informe\\_ISES/af7a58b1-9b13-45f1-af35-0783366146ae?version=1.1](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Informe_ISES/af7a58b1-9b13-45f1-af35-0783366146ae?version=1.1)]. Acessado: Maio de 2023.
- CHIOCA, M. F. As Estratégias de Internacionalização das Empresas de Energia Solar: a influência do Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris. 2022. 71 p. Monografia (Relações Internacionais) — Universidade Federal de Santa Catarina.
- DORES, A. M. B. A Economia do Hidrogênio: Cenário Global. Apostila do curso AHK Brasil / UFRJ - Gesel: Hidrogênio Verde - Bloco 2 – Aula 4. Rio de Janeiro, 2021.
- ELIZIARIO, S. A Economia do Hidrogênio no Brasil. Apostila do curso AHK Brasil / UFRJ - Gesel: Hidrogênio Verde - Bloco 2 – Aula 7. Rio de Janeiro, 2021.
- GOUVEIA FILHO, O. S. Processos de Produção de Hidrogênio Reforma a Vapor e Eletrólise: H2 Marrom, Cinza Verde. [<https://www.youtube.com/watch?v=szK2EstMcmc>]. Acessado: Maio de 2023.
- H2BRASIL / AHK / GIZ / MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIAS. Masterclass: “Hidrogênio Verde: Disseminando a Cadeia de Valor”. [<https://ahk-portalh2-prod-cdn.azureedge.net/uploads/2023/06/Masterclass-Hidrogenio-Verde-material-extra.pdf> ]. Maio de 2023.
- IBERDROLA. Electrolisador: O que é um eletrolisador e por que é essencial para o fornecimento de hidrogênio verde? [<https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/eletrolisador>]. Acessado em: Maio de 2023.

IEA (2019), International Energy Agency, The Future of Hydrogen: seizing today's opportunities. Junho de 2019. Acessado em: Maio de 2023

IEA (2021a), International Energy Agency, Global Hydrogen Review 2021. IEA (2021b), International Energy Agency, Hydrogen Projects Database, [<https://www.iea.org/reports/hydrogen-projects-database>]. All rights reserved. Acessado em: Maio de 2023.

IPCC (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change. Working Group, I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymakers. 2021. Acessado em: Maio de 2023.

IRENA (2019), Hydrogen: A renewable energy perspective (Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting in Tokyo, Japan), International Renewable Energy Agency, 2019.

LIAO, SHIJUN. Fuel Cells, Electrolyzers and Membrane Reactors. *Frontiers in Energy Research.*, Volume 10, September 2022.

REAL ENGINEERING. The Truth about Hydrogen. Acessado em: [<https://www.youtube.com/watch?v=f7MzFfuNOtY>]. Acessado em: Maio de 2023.

REVISTA CANAL SOLAR. Edição Número 15 – maio de 2023. [<https://canalsolar.com.br/download/2265/revista-canal-solar/501914/revista-canal-solar-15-edicao-2.pdf>]. Acessado: Maio de 2023.

RIFKIN 2003/ Jeremy Rifkin. "A Economia do Hidrogênio", M.Books, São Paulo. 2003.

SILVA, Inara Amoroso da . Hidrogênio: Combustível do Futuro. *Ensaio e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v. 20, n. 2, p. 122-126, 2016.

## A descentralização dos serviços cartorários por intermédio da tecnologia *Blockchain*

### *The decentralization of notary services through Blockchain technology*

**Diego Bezerra de Paula**

*Graduando do curso de Sistemas de informação pela Faculdade Fucapi. Manaus/AM.*

**Siomara Dias da Rocha**

*Doutorado em Química com ênfase em Química Analítica e Ambiental. Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Otávio, 6200, Coroado I - Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho, Brasil. Orcid. <https://orcid.org/0000-0002-4314-9927>.*

#### RESUMO

Este estudo parte de uma pesquisa literária de abordagem qualitativa cujos princípios são de ordem exploratória sobre a tecnologia *Blockchain*, a qual é caracterizada através de um mecanismo de banco de dados avançado que permite o compartilhamento transparente de informações na rede de uma empresa. Os resultados apresentados destacam que através da empresa DIGIT desenvolveu-se uma prova de conceito de reconhecimento de firma baseada em *Blockchain* para arquivos de log e documentos. A principal funcionalidade do sistema é, portanto, autenticar qualquer tipo de conteúdo digital, criando um *hash* exclusivo (impressão digital) de qualquer formato de documento digital e armazenar esse *hash* em um registro distribuído e descentralizado. Assim, esta pesquisa contempla dois processos, os quais são explanados pelas compreensões de notarização – processo que visa o registo seguro dos dados associados aos ficheiros seleccionados, de forma a assegurar atempadamente a sua integridade, autenticidade, titularidade e momento da sua criação e verificação – processo que visa verificar a integridade, autenticidade, titularidade e tempo de criação dos arquivos previamente notarizados, adentrando tais funcionalidades no âmbito de serviços cartorários e sua descentralização após a implementação da tecnologia.

**Palavras-chave:** tecnólogo. *Blockchain*. prestação de serviços. cartorários.





## ABSTRACT

This study starts from a literary research with a qualitative approach whose principles are of an exploratory nature on Blockchain technology, which is characterized by an advanced database mechanism that allows the transparent sharing of information in a company's network. For this study, the applicability of this technology will be applied in notary companies. The presented results highlight that through the company DIGIT, a proof of concept of notarization based on Blockchain was developed for log files and documents. The main functionality of the system is, therefore, to authenticate any type of digital content, creating a unique hash (fingerprint) of any digital document format and storing this hash in a distributed and decentralized registry. Thus, this research includes two processes, which are explained by the understanding of notarization – a process aimed at the secure registration of data associated with selected files, in order to ensure their integrity, authenticity, ownership and time of creation and Verification in a timely manner – process that aims to verify the integrity, authenticity, ownership and time of creation of files previously notarized, entering such functionalities in the scope of notary services and their decentralization after the implementation of the technology.

**Keywords:** technologist. Blockchain. services provision. registrars.

## INTRODUÇÃO

Os cartórios brasileiros são bem regulares, quando envolvem serviços de protestos, registros civis, escrituras e imóveis, essas instituições com o passar do tempo são atribuídas a mais funções para descomprimir o poder judiciário. Seus registros possuem um histórico e cada edição é registrada nele.

Não obstante as taxas para tal serviço são altas e constantemente burocráticas e a centralização dos documentos registrados, quando o usuário vai executar alguma operação em cartório, precisa se deslocar ao cartório sem contar que não sabe qual cartório é responsável por um determinado registro, documentos que são obrigatórios e os custos que o indivíduo terá que desembolsar.

Os tabeliães trabalham com base em papéis e na necessidade da presença de pessoas físicas para garantir a autenticidade por um procedimento humano, podendo está sujeito a falhas além do alto nível de burocracia, o governo brasileiro enfrenta dificuldades para implementar novas tecnologias por motivos técnicos, políticos e jurídicos.

Com o grande progresso da tecnologia desde o início do século uma das, mas recentes criações é a *Blockchain* considerada uma revolução tecnológica após a internet, em concordância com diversos autores como Wright e De Fillipi (2015) e Corales *et al.* (2019), de modo que pode transformar totalmente a forma como nos contemos perante a sociedade.

## CONCEITUAÇÃO BLOCKCHAIN

Nessa primeira parte do estudo, pretende-se explicar resumidamente sobre a tecnologia *blockchain* de forma simplificada e seu funcionamento e a automatização dos processos em um cartório utilizando a tecnologia e não é somente possível como podemos

colocar a solução em prática.

Segundo Mougayar (2018), a *blockchain* permite que ativos e valores sejam trocados, fornecendo um caminho novo e mais rápido para valores em movimento seja ele de quaisquer tipos, sem que tenha um terceiro intermediário, de modo facilitando a transação de valores utilizados em cartórios de registros.

Assim, de acordo Manav Gupta (2020, p.3):

[...] *Blockchain* é um *ledger* compartilhado e imutável que facilita o processo de registro de transações e rastreamento de ativos em uma rede de negócios. Um ativo pode ser tangível (uma casa, um carro, dinheiro, terreno) ou intangível (propriedade intelectual, patentes, direitos autorais, marcas). Praticamente qualquer coisa de valor pode ser rastreada e negociada em uma rede *blockchain*, reduzindo riscos e cortando custos para todos os envolvidos.

Diante disso o *Blockchain* é um livro compartilhado e imutável que facilita o processo de registro de transações e rastreamento de ativos em uma rede comercial. Um ativo pode ser tangível (casa, dinheiro, casa, terreno) ou intangível (propriedade intelectual, patentes, direitos autorais, marcas).

Praticamente objeto de valor que pode ser rastreada e negociada em uma rede *blockchain* reduzindo riscos e cortando custo para todos os envolvidos. Além disso, é importante ressaltar que se trata de uma rede, um sistema distribuído, ou seja, sem um centralizador das operações. O objetivo da tecnologia, portanto, é trazer maior transparência, confiabilidade, privacidade e simplificação seja ela de toda e qualquer área, desde governos até instituições financeiras e criptomoedas.

Quanto ao seu funcionamento cada bloco é composto por meio de um grupo de transações que aconteceram ao mesmo tempo. Nesse cenário podem ser divididas entre as confirmadas e as não confirmadas, sendo a primeira as que foram incluídas no *Blockchain*, e a segunda as transações que serão incluídas a depender de sua validade. É preciso dizer também, que um bloco sempre possui referência ao seu bloco anterior, de maneira que estes se encadeiam a partir dessa linha histórica de formação de blocos.

De acordo com Silva (2020), o funcionamento da tecnologia *Blockchain* foi idealizada sob a perspectiva de cinco princípios utilizados nas criptomoedas: *Hash* (mão única), que é utilizado para impossibilitar as modificações de arquivos digitais: *Timestamp* (registro de tempo de criação ou modificação do arquivo), tem como finalidade dificultar e impossibilitar as fraudes no *Blockchain* a assinatura digital do autor da alteração do arquivo, que validam as alterações que possam ocorrer realizadas pelo proprietário.

Assim, a rede descentralizada peer-to-peer que possuem o papel de conferir e aceitar /rejeitar alterações. Isso faz com que seja possível que a rede de computadores sustente o registro contábil de forma pública e acessível pela internet.

### **Blockchain aplicado nas atividades Notarial-Registral**

A análise realizada no tópico anterior demonstra que a tecnologia *blockchain* consegue garantir os atributos de autenticidade e de integridade de um documento armazenado por suas próprias características. Tendo em vista a Medida Provisória nº

2.200-2, De 24 De Agosto De 2001, a qual Institui a Infraestrutura de Chaves Públicas Brasileira - ICP-Brasil, transforma o Instituto Nacional de Tecnologia da Informação em autarquia, e dá outras providências (MP 2200-2), o não-repúdio pode se tornar um atributo dos documentos gerados na rede caso seja assinado por um certificado digital emitido em ICP-Brasil (art. 10, §1º).

Caso o sistema não forneça uma infraestrutura baseada na ICP-Brasil, o não-repúdio ao documento depende do acordo realizado entre as partes ou aceitação pela parte a quem for oposto o documento (art. 10, §2º). Nesse caso, as partes poderiam simplesmente acordar que um ato ou diversos atos de uma negociação se desenvolvam por meio da *blockchain*, tornando-os oponíveis a ambos, sempre com a ressalva de que é importante ter provas deste acordo, visto que uma das partes pode impugná-lo posteriormente.

Os cartórios possuem como expertise a identificação, qualificação, segurança, legalidade, confiabilidade, lastreadas a partir da fé pública delegada pelo Estado e, como consequência, são entidades em que podem confiar – inclusive legalmente. Por outro lado, a rede *blockchain* também possui como objetivo a geração de confiança entre os usuários. Consequentemente, neste quesito verifica-se a convergência de interesses desde o início.

## METODOLOGIA DA PESQUISA

### Materiais e Método

Quanto à abordagem da pesquisa é do tipo qualitativa. Ao propor uma discussão de base científica são necessários: clareza, rigor, domínio de conceitos, teorias e métodos. É neste sentido que iniciamos a discussão da pesquisa qualitativa.

Quanto à estratégia de investigação a pesquisa é de caráter exploratórias e descritiva a fim de realizar análises de conteúdo e ampliar sensivelmente suas possibilidades quando superada a concepção de que ela deva estar ligada ao teste de hipóteses (LARA; MOLINA, 2015).

Quanto aos procedimentos técnicos, a metodologia é aplicada diante o processo pelo qual se atinge este objetivo. É o caminho a ser trilhado para produzir conhecimento científico, dando as respostas necessárias de como foi realizada a pesquisa, quais métodos e instrumentos utilizados, bem como as justificativas das escolhas.

Assim, este estudo é de caráter transversal o qual ocorreu a partir de junta documental e bibliográfica da respectiva temática. Tais documentações explicitadas através de referências literárias foram extraídas de bases de dados específicas como:

- a) Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações – BDTD;
- b) Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES;
- c) Scientific Electronic Library Online – SciELO;
- d) Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação;

- e) Repositório Digital- Universidade Federal do Rio Grande do Sul;
- f) Banco de tese da Universidade de São Paulo – USP;
- g) Banco de Teses e Dissertações da Universidade de Brasília – UNB;
- h) Biblioteca Digital da Unicamp;
- i) UNESCO Brasil e;
- j) Outros sítios eletrônicos pertencentes a esfera de tecnologias, serviços cartorários, notariais e similares.

Por conseguinte, as pesquisas escolhidas para esta revisão de literatura foram extraídas de bases de dados específicas da esfera de pesquisa tecnológica pertencentes a língua vernácula e inglesa dos últimos 10 anos (2013-2023).

Ao todo foram selecionadas cerca de 16 obras científicas, dentre as quais documentos do tipo Revisão de Literatura, Revisão Sistemática, Estudos Originais , Teses de Doutorado e Dissertações de Mestrado.

Após a escolha de juntas documentais e literárias houve o fracionamento destes documentos a partir do método universal de Inclusão e Exclusão. Para a devida seleção de artigos científicos, teses e dissertações de mestrado foram adotados os seguintes critérios como:

1. Pertencer a temática proposta;
2. Compreender o período dos últimos 5 anos (exceto Leis e Decretos) e;
3. Pertencer à esfera de tecnologias, serviços cartorários, notariais e similares.

Para a exclusão, todos os documentos não adequados nos critérios de Inclusão foram descartados.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste contexto, a proposta desse trabalho em nenhum momento, teve como propósito encerrar as atividades cartorárias. E pretendeu-se em realidade demonstrar a sua importância no cotidiano de seus usuários e por essa razão, tentou-se demonstrar que suas atividades poderiam ser desempenhadas de modo mais inteligente e eficiente como a utilização da tecnologia *blockchain*.

Com a utilização da plataforma obtém – se os seguintes benefícios, demonstrados no Quadro 1.

**Quadro 1 – Benefícios da Plataforma Blockchain.**

1. Economia de tempo: As transações que são complexas são reduzidas de dias para minutos. Pois não necessita de uma autoridade central, pois no contrato inteligente já foram estabelecidas a regras para que a operação seja válida;
2. Economia de tempo: As transações que são complexas são reduzidas de dias para minutos. Pois não necessita de uma autoridade central, pois no contrato inteligente já foram estabelecidas a regras para que a operação seja válida;

3. Segurança: Os recursos da tecnologia protegem as operações contra a adulteração e crimes virtuais. E toda transação é concluída apenas quando atende todas as regras do contrato inteligente e impedindo atividades fraudulentas;
4. Privacidade: O proprietário conseguirá restringir o acesso às informações das suas transações. Junto com permissões, garante a privacidade na rede, impedindo o acesso não autorizados detalhes da transação;
5. Redução de custo: A tecnologia <i>Blockchain</i> consegue reduzir custos pois ela não depende totalmente da supervisão de autoridade central.

**Fonte: Silva (2020) adaptado.**

Os intermediários são reduzidos pois os participantes conseguem negociar diretamente. Todos os participantes conseguem ver em tempo real e ter um fácil acesso às informações.

Acerca da utilização do software, compreende-se que o usuário deve escolher um determinado documento ou outro arquivo eletrônico para carimbo de data/hora em um *blockchain* selecionado. O arquivo é processado no navegador do usuário para derivar o *hash* SHA256, que é essencialmente uma conversão unidirecional do arquivo grande arbitrário em um resumo de dados fixo de 32 bytes.

O *hash* é transmitido ao servidor do notário. Uma transação é então realizada para postar esse *hash* no *blockchain* escolhido. Desta forma, o *hash* é permanentemente registrado no *blockchain* e vinculado a um determinado ponto no tempo. Esse *hash* só pode ser vinculado ao conteúdo original do arquivo eletrônico do usuário, vinculando também esse arquivo ao carimbo de data/hora específico.

Note-se que este link pode ser verificado por qualquer pessoa sem referência a qualquer serviço ou autoridade centralizada (o *blockchain* é mantido em uma rede ponto a ponto por um número extremamente grande de nós e seus dados estão prontamente disponíveis para qualquer pessoa).

Quando o verificador pretende verificar a integridade, autenticidade, titularidade ou carimbo temporal de um documento notarial, tem de estar na posse do documento original, carregá-lo novamente no servidor do Cartório e obter o *hash*.

O servidor do Cartório consultará automaticamente o *blockchain* e o contrato inteligente e retornará a resposta se aquele *hash* já está registrado ou não. No caso de um *hash* previamente registrado, o servidor do Cartório retornará o endereço do iniciador e o *timestamp*.

Diante suas aplicações no cenário notarial, é visível que as respectivas características de um notário (ou notário público) é um funcionário nomeado por um governo estadual que tem a capacidade de redigir ou certificar uma determinada ação ou escritura. Isso pode incluir contratos, documentos úteis em outras jurisdições ou ações.

O papel do notário é aquele que exige que um funcionário seja um observador imparcial em diferentes afirmações. As responsabilidades de um notário podem variar de uma simples assinatura de um registro de venda de propriedade a outras escrituras e documentos importantes. Como solução, a tecnologia é aplicada para amenizar grandes cargas horárias de trabalho de funcionários cartorários e é aplicado para seguridade, diminuição de tempo e aprimoramento de atividades práticas.

Deste modo, um notário eletrônico (digital) dá a um oficial a capacidade de realizar a função notarial eletronicamente. Os notários públicos já dispõem há algum tempo das capacidades de utilização da tecnologia (por exemplo, assinaturas digitais e selos notariais digitais para validação de certidões).

Espera-se que a tecnologia *Blockchain* facilite o processo de reconhecimento de firma. Com esta tecnologia, os usuários podem garantir a integridade dos dados na cadeia. As características conhecidas do *blockchain* já o configuram como um grande trunfo para melhorar as capacidades notariais.

Os recursos da tecnologia *blockchain* garantem aos usuários resistência à adulteração e não repúdio. No mercado aberto, diferentes serviços oferecem diferentes implementações de *blockchain*.

Usando a tecnologia *blockchain*, esses serviços prestados não podem substituir diretamente os serviços notariais, conforme determina a lei (pelo menos, ainda não); eles só podem melhorar todo o processo. De país para país, eles podem ser aceitos ou negados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a pesquisa relacionada ao tema, a entidade milenar dos cartórios está atrasada e ultrapassada seus serviços burocráticos, atraso e custo de tempo. Sendo assim, devemos nos lembrar que os cartórios estão no ordenamento jurídico brasileiro, não para “burocratizar”, mas sim para “desburocratizar” e acelerar os atos jurídicos que demandam de segurança, além da diminuição dos custos e prevenção de litígios – sempre partindo do respeito a seus preceitos fundamentais e iniciais.

É perceptível que aplicação de *blockchain* é uma alternativa viável, haja vista a diferença visível de segurança correlacionando com o número de confirmações, com ela é possível evitar, por exemplo que um único servidor de armazenamento seja destruído por fatores externos, haja vista a descentralização do centro “livro-razão”.

Além disso, a redução dos custos de transação pode ser considerada um dos maiores pontos positivos. E a redução da corrupção, que é dada por meio de fraudes e subornos, pode ser radicalmente reduzida, caso exista uma aplicação correta, como está sendo o caso da Geórgia, que vem atualizando seus registros desde o início dos anos 2000.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Larissa Candida de. BLOCKCHAIN E OS CARTÓRIOS EXTRAJUDICIAIS BRASILEIROS: (in) viabilidade? Orientador: Me. Rivaldo Jesus Rodrigues. 2020. 50 f. Monografia (Bacharel em Direito) - UniEVANGÉLICA, Anápolis, 2020.

ALVES, P.H. LAIGNER, R. NASSER, ROBICHEZ, R. G. LOPES, H. KALINOWSKI, M. “Desmistificando Blockchain: Conceitos e Aplicações”, Em: C. Maciel, J. Viterbo (Orgs). “Computação e Sociedade”, Sociedade Brasileira de Computação. Disponível em: <http://www-di.inf.puc-rio.br/~kalinowski/publications/AlvesLNRLK20.pdf>. Acessado em: 10 mar. De 2023.



BRASIL. Comissão realiza audiência para conhecer estudo do Banco Central sobre blockchain. Câmara dos Deputados, 2017. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/CIENCIA-ETECNOLOGIA/546966-COMISSAO-REALIZA-AUDIENCIA-PARA-CONHECER-ESTUDO-DO-BANCO-CENTRAL-SOBRE-BLOCKCHAIN.html>. Acessado em: 17 de fev. De 2023.

BRENO FELIX, MONALY CORREIA, TÉRCIO DE MORAES, OfficeChain: Um modelo de Cartório de Registros Utilizando a Tecnologia e SmartContracts. Universidade Federal de Alagoas (UFAL), 2019.

CARVALHO, Carla Arigony de; ÁVILA, Lucas Veiga. A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN APLICADA AOS CONTRATOS INTELIGENTES. EM TEMPO - Marília - v. 18 – 2019. Disponível em: <https://revista.univem.edu.br/emtempo/article/view/3210/868>. Acessado em: 03 de mar. De 2023.

CARVALHO, LEONARDO RODRIGUES. Tecnologia Blockchain e as suas possíveis aplicações no processo de comunicação científica. Orientador: Fernanda de Souza Monteiro. 2018. 95 f. Monografia (Bacharel em Biblioteconomia) - Universidade de Brasília, Faculdade de Ciência da Informação, Brasília, 2018. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20896/1/2018\\_LeonardoRodriguesCarvalho\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20896/1/2018_LeonardoRodriguesCarvalho_tcc.pdf). Acessado em: 3 de mar. De 2023.

CHAVES, Natália Cristina; COLOMBI, Henry (Orgs.) Direito e Tecnologia: novos modelos e tendências. Porto Alegre, RS: Editora Fi, 2021. 384p. Disponível em: <http://www.editorafi.org>. Acessado em: 02 de fev. De 2023.

DE FILLIPI, Primavera; WRIGHT, Aaron. Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. Cambridge: Harvard University Press, 2015.

FV ROSSETO, Blockchain e sua implementação nos Cartórios de Registro de Imóveis. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/29573>. Acesso em 14/06/2022

LC DE AGUIAR, Blockchain e Os Cartórios Extrajudiciais Brasileiros: (in) viabilidade? 2020. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/10038>. Acesso em: 11/06/2022

MOUGAYAR, W. & LUCIO, V. Blockchain para negócios: Promessa, prática e aplicação da nova tecnologia da internet Alta Books, 2018.

SILVA, Victor Ayres Francisco da. BLOCKCHAIN: Uma Tecnologia Além da Criptomoeda Virtual, 2020. Disponível em: [www.revista.fatectq.edu.br](http://www.revista.fatectq.edu.br). Acesso em: 28/05/2022.

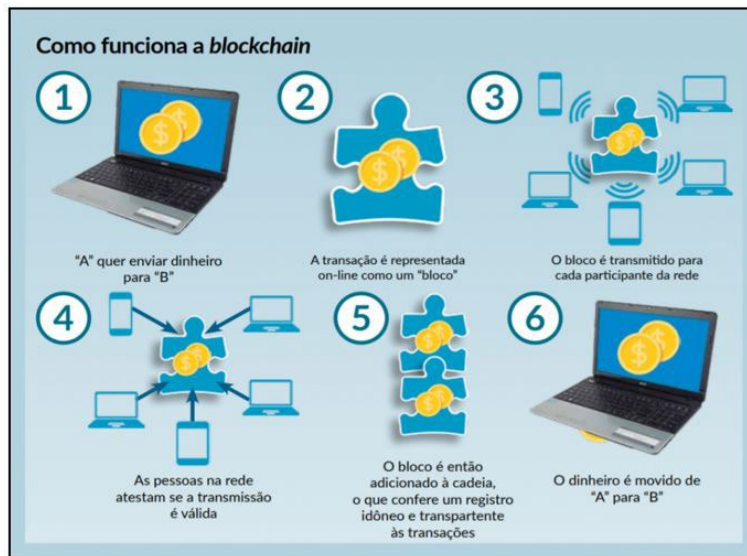
VHN LOURENÇO: O Direito Notarial E Registral Nas Atuais Revoluções Tecnológicas Do Blockchain, 2020.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar à frente de tudo em minha vida, guiando meus passos e me dando sabedoria nas minhas escolhas. Em segundo lugar, meus profundos agradecimentos aos meus pais que sempre me apoiaram nessa longa jornada acadêmica do início até meu egresso estudantil. Minha gratidão aos meus professores e colegas de sala que foram fundamentais também nessa caminhada. A todos, o meu muito obrigado.

## ANEXOS

Figura 1 – Como funciona a tecnologia Blockchain.



Fonte: Luizari (2017).



## A nova geografia e a aplicação de modelos científicos hidrológicos e hidráulicos

**Alan Pedro Mansano**

*Discente do curso de Mestrado em Geografia pela Universidade Federal do Acre – UFAC.*

**Rodrigo Otávio Perea Serrano**

*Docente da Universidade Federal do Acre – UFAC.*

### RESUMO

Na segunda metade do século XX ocorreu um movimento entre pesquisadores da área de geografia que introduziu uma nova forma de trabalho, os métodos quantitativos tornaram-se recorrentes nas pesquisas, sobretudo em geografia física, esse novo estilo foi chamado de nova geografia, teórica quantitativa ou ainda geografia quantitativa. O uso de modelos científicos foi ganhando força ao longo do tempo, principalmente com o avanço da tecnologia, como *softwares* e o geoprocessamento. No campo da hidrologia as inundações, são problema recorrente, derivado da urbanização desordenada e agravado pelas questões climáticas. Devido à necessidade de entender esse fenômeno e quantificar seu impacto no espaço e na vida da população ocorreu uma aproximação entre geografia e matemática. Nesse sentido, busca-se com este trabalho explorar um problema atual e fazer uma análise do método utilizado em sua compreensão. O trabalho conta com uma revisão da literatura que fundamenta o método geográfico empregado nos estudos de inundações.

**Palavras-chave:** modelagem hidrológica e hidráulica. inundações. hidrologia. geoprocessamento.

### INTRODUÇÃO

Durante a estiagem, os corpos hídricos ocupam o seu leito menor. Porém com o início dos períodos chuvosos ocorre a elevação do nível da água, ocasionando a inundação do leito maior do canal. Este fenômeno é conhecido como cheia ou enchente.

Sem planejamento urbano, a ocupação desordenada pode agravar o impacto dos períodos chuvosos, produzindo enchentes e, conseqüentemente, danos sociais, econômicos e ambientais. Isso requer investimento em infraestrutura e pesquisa por parte dos órgãos governamentais. Ao passo que são implementadas mais estruturas de drenagem na bacia ou sub-bacia, o processo torna-se mais complexo, o que demanda um estudo mais aprofundado das características locais, tais como topografia, hidrologia, aspectos físicos e socioambientais



(REZENDE, 2011).

A quantidade de enchentes em rios tem aumentado de maneira significativa em decorrência principalmente do crescimento desordenado das cidades brasileiras, do aumento do número de ocupações às margens de rios, à falta de programas eficientes mais intensivos de conscientização e devido a precipitações intensas com duração suficiente para ultrapassar a capacidade do volume de água do rio (FERRAZ *et al.*, 2022). Tem-se também a ausência de informações precisas devido à dificuldade na coleta, armazenamento, gerenciamento e manipulação de dados relativos ao recurso hídrico em questão, tornando o processo de tomada de decisões ainda mais trabalhoso e sujeito a erros (MIZUUTI & BARROS, 2007).

Por isso, durante a última década, uma ampla variedade de casos práticos vários modelos de inundação foram desenvolvidos e aplicados com sucesso focando em reduzir complexidades (DOTTORI & TODINI, 2011). E mesmo com complexidade reduzida essa abordagem sobre modelagem de inundação geralmente fornece insumos para gestão de risco de cheias (TAREKEGNA *et al.*, 2010).

Sendo assim, a modelagem hidrológica e hidráulica é considerada ferramenta essencial no planejamento da gestão das águas pluviais em bacias urbanas, por permitir a antecipação de eventos, simulação de cenários de inundação e fornecimento de insumos para que os gestores dos sistemas de drenagem urbana sejam capazes de implementar ações preventivas que minimizem os danos e otimizem os investimentos dos recursos públicos.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo realizar um estudo bibliográfico acerca do método empregado na modelagem científica utilizada nas pesquisas sobre inundações e a possibilidade de aplicação ao estudo de caso na bacia do Igarapé São Francisco, em Rio Branco, capital do Estado do Acre, que passou por uma inundação de proporções históricas em março de 2023, afetando 17 bairros.

Esse igarapé, apresenta uma extensão de 454.08 km<sup>2</sup>, sendo que 7% da bacia é responsável por aproximadamente 50% da drenagem do perímetro urbano de Rio Branco (ANDRADE *et al.*, 2022). Apresenta uma forma meandrante, característico de bacias sedimentares, influenciada pela estrutura geossistêmica da região, incluindo as características geológicas e geomorfológicas das rochas presentes e as ações antropogênicas. Além disso, o Igarapé São Francisco tem uma densidade de drenagem de 1,37 km/km<sup>2</sup> e desempenha um papel crucial como um dos principais coletores de drenagem da área urbana de Rio Branco (MENDONÇA, 2017)

Como objetivos específicos busca-se apresentar o conceito de geoprocessamento, descrever a modelagem hidrológica e hidráulica e apontar dados acerca dos impactos hidrológicos na região do Igarapé São Francisco.

A pesquisa foi realizada através de levantamento bibliográfico que trata do tema, fazendo uso de livros e artigos científicos obtidos de diferentes bases de dados, utilizados como forma de confrontar a opinião dos autores a respeito do tema com ênfase na modelagem hidrológica e hidráulica no mapeamento de inundações na bacia do Igarapé São Francisco.

## DESENVOLVIMENTO

Para entender melhor o mundo ao nosso redor a partir da geografia, pode-se empregar estudos qualitativos e quantitativos. Os dados qualitativos são informações descritivas, geralmente na forma de texto, abordam recursos (qualidade) e envolvem principalmente um processo intuitivo. É comumente utilizado para formular teorias e hipóteses. Os dados qualitativos tendem a ser subjetivos porque descrevem certos problemas ou condições do ponto de vista de quem a vivência. Para ser válido e confiável, depende em grande parte da habilidade e do rigor do pesquisador.

Já os dados quantitativos são informações que podem ser expressas por números ou que podem ser colocadas em categorias específicas, fornecem informações quantificáveis. Os dados quantitativos podem ser generalizáveis e oferecem a possibilidade de serem transformados em estatísticas facilmente, frequentemente são usados para testar e provar conceitos ou hipóteses previamente especificadas.

Os dados quantitativos são mais objetivos porque fornecem valores específicos sobre elementos concretos e a sua verificação depende não apenas da habilidade do pesquisador, mas também da precisão das medidas.

Esses dados podem ser primários, que são informações coletadas pelo próprio pesquisador através de pesquisa, utilizando medições e/ou análise de matérias, por exemplo. Dados secundários referem-se a informações disponibilizadas por outros pesquisadores ou institutos de pesquisa através de bancos de dados ou publicações tais como livros, artigos ou relatório. Os dados geográficos são frequentemente coletados em pesquisa de campo por meio de uma ou mais instituições e podem envolver diversos pesquisadores. Existem diversos métodos para obtê-los, tais como observações diretas, que incluem medições, fotografias, desenhos ou notas de campo. Um pesquisador pode fazer uso de qualquer um desses métodos para coletar dados para fins de pesquisa, como estudar os efeitos do ciclo hidrológico por meio de sucessivas medições de cota do nível d'água numa seção de perfil transversal conhecido no exutório da bacia hidrográfica, por exemplo.

### Geoprocessamento

Na busca contínua por soluções para os desafios espaciais impostos à humanidade no processo de ocupação do planeta, nas últimas décadas foram desenvolvidas novas tecnologias que tornaram possível o acesso a locais remotos, onde a aproximação terrestre era inviável. Deste modo, novos avanços tecnológicos, tais como satélites e processadores de dados mais eficientes aumentaram a qualidade tanto da coleta como da análise de dados empíricos de forma que o processo de acompanhamento das transformações ocorridas na paisagem passou a ser documentado com mais detalhes.

Novas metodologias de pesquisa estão marcadas pelo desenvolvimento dessas tecnologias espaciais, capazes de analisar bancos de dados sobre o Planeta Terra através de recursos computacionais, abrindo espaço para o surgimento das técnicas de geoprocessamento. Essas técnicas permitem a realização de análises de um espaço maior e em vários campos de estudo diferentes, apontando alternativas para soluções de problemas e facilitando a tomada de decisão referente aos problemas encontrados, sejam eles de qualquer espécie, no meio urbano ou rural.

Nesse sentido, as técnicas de geoprocessamento permitem obter o conhecimento das paisagens terrestres, através das informações extraídas das imagens de satélite com auxílio dos SIG's (Sistemas de Informações Geográficas), que se constituíram um dos principais meios utilizados para mapeamento dos aspectos físicos, tanto antrópicos quanto naturais.

O geoprocessamento teve sua gênese nos Estados Unidos e Inglaterra na década de 1950 do Século XX, com o intuito de produzir mapas e ao mesmo tempo reduzir seus custos (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). No entanto, sua trajetória de desenvolvimento ganhou destaque quando, em 1963, o Canadá iniciou o desenvolvimento do primeiro Sistema de Informação Geográfica (SIG), conhecido como *Canadian Geographical Information System*.

No Brasil, o geoprocessamento começou a se consolidar na pesquisa no início dos anos 1980, com o esforço pioneiro da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), desempenhando um papel crucial na divulgação do geoprocessamento e na formação de profissionais na área e permitindo ao Brasil acompanhar a evolução dessa tecnologia e suas aplicações em diversos campos, incluindo a geografia (MENEZES *et al.*, 2022).

Esses avanços tecnológicos revolucionaram a produção de mapas e tiveram um impacto significativo na pesquisa geográfica, possibilitando a análise de dados geoespaciais com detalhes sem precedentes, tornando-se uma ferramenta fundamental para a geografia, permitindo análises precisas da paisagem, monitoramento de mudanças ambientais e estudos relacionados a inundações e outros fenômenos hidrológicos (MENEZES *et al.*, 2022).

Geoprocessamento é um conceito que agrega técnicas matemáticas e computacionais como ferramenta de tratamento de dados e informações geográficas. Possui aplicação nas mais diversas áreas como cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, planejamento urbano e regional e energia.

O geoprocessamento representa uma ferramenta de grande relevância em países de grandes dimensões e com crescente demanda de informações, como o Brasil, sobretudo quando baseado em tecnologias de baixo custo e na busca por soluções inovadoras. (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Através do geoprocessamento cria-se um vínculo entre o mundo real e o sistema computacional, para onde são transferidas as bases cartográficas através de um sistema de georreferenciamento. Sua função geral é produzir relatórios, mapas e/ou arquivos digitais seguindo padrões de coordenadas geográficas (DAINESE, 2001).

Uma das contribuições mais significativas do geoprocessamento reside na sua capacidade de coletar dados e criar um modelo digital do terreno que reproduzindo as características da área de estudo, permitindo a representação do ambiente geográfico, fundamentais para modelagem hidrológica (CARVALHO; LATRUBESSE, 2004).

## Modelagem hidrológica e hidráulica

Segundo Christofolletti (1994) a vazão em um curso d'água é consequência da interação entre precipitação e a bacia hidrográfica, essa interação é reflexo de propriedades da bacia, tais como infiltração, armazenamento e evapotranspiração. Durante as chuvas intensas, a parte do volume precipitado que atinge o solo e não consegue infiltrar segue em direção aos cursos d'água, fenômeno denominado escoamento superficial. À medida que os escoamentos superficiais de pequenas áreas vão se ligando atingem proporções maiores, sobrecarregando os cursos de água, e aumentando a vazão. Assim que são formados os picos de vazão e enchentes. O escoamento rápido que acontece em decorrência das chuvas é denominado de escoamento superficial.

Estudar um fenômeno real sobre a perspectiva científica tem por propósito construir um conhecimento factível e eliminar toda visão ingênua acerca do problema. Para isso é necessário encontrar uma linguagem adequada que facilite e racionalize o pensamento. Inúmeras vezes a matemática cumpre esse papel de agregar grande quantidade de informação pertinente ao fenômeno estudado, fazendo uso de uma linguagem sintetizada (BASSANEZI, 2010).

Burton (1963) já anunciava o início de uma mudança radical de espírito e propósito na geografia, uma revolução quantitativa. O autor observava uma matematização da geografia física, com ênfase na construção e teste de modelos teóricos e ainda creditava a origem dessa mudança ao resultado do impacto do trabalho de não-geógrafos, como físicos e matemáticos, que estavam desenvolvendo pesquisas em geografia com uma abordagem matemática.

Essa mudança de paradigma, resultando em uma análise mais precisa e na construção de modelos teóricos para compreender fenômenos geográficos, incluindo uma abordagem quantitativa na análise do espaço geográfico, podendo trabalhar em conjunto com as análises qualitativas relevante a pesquisa geográfica (PESSÔA, 2012).

A publicação de "*Models in Geography*" de Chorley e Haggett (1967) potencializou a confirmação de que os modelos devem ser parte integrante da evolução do conhecimento geográfico. Uma das características da revolução foi um empréstimo maciço de ideias de outras disciplinas, ao mesmo tempo em que se mantinha fiel aos princípios fundamentais da Teoria Geral dos Sistemas. Isso permitiu que informações extraídas sobre as características de um sistema real fossem usadas para apresentar as propriedades de outro sistema ainda pouco conhecido, integrando diferentes disciplinas a aplicação da Teoria Geral dos Sistemas.

Essa ideia de sistema integrado utilizada na formulação de modelos advém da observação de Von Bertalanffy (1962) de que o mesmo processo do conhecimento pode ser aplicado em diferentes áreas, como a probabilidade que pode ser utilizada tanto na análise genética, quanto na contratação de um seguro de vida. A partir dessa observação o autor extrapolou as leis dos sistemas biológicos, que regem os processos como crescimento e adaptação, aplicando às áreas de psique humana, às instituições sociais e ao conjunto global da ecosfera. Desta forma, a Teoria Geral dos Sistemas analisa a natureza por meio da relação entre seus diversos componentes e as leis que regem essas relações, sendo fundamental para o avanço do entendimento geográfico.

A modelagem fortaleceu-se significativamente na última década, com o avanço da tecnologia, geoprocessamento, computadores mais rápidos e o aprimoramento de técnicas em software desenvolveu-se modelos mais complexos, o que permitiu aos geógrafos físicos a modelagem espacial mais eficaz, capaz de simular a realidade e fornecer respostas mais precisas aos problemas vivenciados na paisagem (GAILE; WILLMOTT, 2004).

Com isso, passou a ser mais factível a exploração de problemas geográficos e ambientais recorrentes ao longo do tempo, possibilitando o desenvolvimento de novos softwares, que oferecem uma ampla gama de opções para combinar variáveis e métodos de cálculo, resultando em simulações mais úteis da realidade.

Geralmente, a construção de um modelo físico requer como variável no processo de modelação, as características espaciais da área de estudo. A depender da escala dessa área, podem ser adotados métodos computacionais ou manuais para obtenção dessas variáveis. Embora os dados de clima, formas de relevo, vegetação e solos sejam medidos em diferentes escalas espaciais, esses processos geralmente são modelados com uma resolução muito mais grosseira do que sua variabilidade natural real. Por isso, tornou-se um desvio para os pesquisadores conseguir um refinamento em sua base de dados suficiente para terem resultados significativos. (GAILE; WILLMOTT, 2004).

O rigor na discretização das variáveis que compõem o ambiente pesquisado é imprescindível para a eficiência do modelo em construção. No entanto, Mulligan e Wainwright (2013) atentam para o conceito de parcimônia na modelagem científica, formulando os modelos de forma menos complexa possível, ou seja, descrever o real dentro do modelo usando o menor número de variáveis praticável. Pois a disponibilidade de dados e recursos para modelar um sistema é, quase sempre, maior do que a disponibilidade dados para a sua calibração.

Ocorre que essa economicidade pode facilitar o trabalho do pesquisador, uma vez que num certo grau da modelagem, aumentar a complexidade do modelo não irá trazer benefícios proporcionais ao esforço empreendido pelo construtor, sendo interessante reduzir a complexidade ao mínimo necessário, assim o melhor modelo geralmente configura-se como aquele que alcança o maior realismo com a menor complexidade de parâmetros.

Dessa forma, a modelagem científica constitui-se de uma ferramenta teórico-metodológica que fornece ao seu operador condições de aproximar a teoria da realidade (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2011), mas para que essa aproximação da realidade ocorra de fato o modelo necessita de passar por um processo de parametrização, calibração e validação.

Especificamente na pesquisa hidrológica o uso da modelagem tem se apresentado bastante amplo e multidisciplinar, com aplicações em biogeografia, climatologia hidráulica e geomorfologia fluvial. Porém com rigor das estiagens e cheias, que tem agravado a crise hídrica, pesquisadores têm dirigido seu foco para os avanços metodológicos e de modelagem na pesquisa hidrológica, seja para avaliar a variabilidade dos parâmetros hidrológicos e o balanço hídrico das bacias hidrográficas ou monitorar a dinâmica hidrológica no solo e condições meteorológicas. (GAILE; WILLMOTT, 2004).



## Modelo HEC-HMS e Modelo HEC-RAS

A expansão da atividade humana sobre a paisagem natural tem aumentado a necessidade de estudos de impacto, visando avaliar projetos e suas consequências. A modelagem científica é empregada para analisar uma ampla gama de fenômenos, incluindo mudanças no uso da terra, emissões de poluentes, mudanças climáticas, erosão costeira e outros. Além disso, é aplicada na avaliação de riscos e eventos naturais extremos (SILVA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021; LUCIO *et al.*, 2022)

Christofolletti (1999, p. 146) em sua obra traduz “natural hazards” para “azares naturais”, o autor não faz uma discussão detalhada sobre a semântica adotada. No entanto, entende-se o risco como uma ameaça provável, com um fator probabilístico acentuado que o difere do azar, quantificável ou não. Já o azar ou perigo pode ser definido como um evento danoso capaz de acarretar perdas consideráveis, sendo a materialização do desastre ambiental. Assim o risco nada mais é do que a probabilidade de ocorrência e um azar. (MARANDOLA; HOGAN, 2004).

A modelagem hidrológica e hidráulica desempenha um papel crucial na gestão de riscos de inundação e no planejamento de projetos relacionados a mares e rios, como portos, barragens, pontes e redes de drenagem, auxiliando no desenvolvimento de soluções sustentáveis ou de menor impacto socioambiental. Os softwares mais amplamente utilizados para essas finalidades são o *Hydrologic Engineering Center’s Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) e o *Hydrologic Engineering Center’s River Analysis System* (HEC-RAS), desenvolvidos pelo *Hydrologic Engineering Center* (HEC).

O HEC-HMS é um programa capaz de simular eventos de precipitação e escoamento de bacias hidrográficas, por meio de processos que envolvem a determinação das relações chuva-vazão, com base nas características da bacia hidrográfica. Para modelar o escoamento superficial, o software utiliza a equação básica do balanço hídrico, levando em consideração os principais parâmetros que governam o escoamento (USACE, 2013).

As variáveis de entrada empregadas na modelagem hidrológica no HEC-HMS dizem respeito as características físicas da bacia hidrográfica, volume de precipitação ou vazão do corpo hídrico, características de relevo, uso e ocupação do solo e informações de simulação (por exemplo, intervalo de tempo, hora de início da simulação e hora de término da simulação). Há a possibilidade de criar a configuração da bacia hidrográfica a partir da rede de drenagem inserindo áreas, trechos de rios, e junções manualmente ou gerar automaticamente através de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

Os dados de saída incluem hidrogramas (vazão ao longo do tempo) e volume de escoamento. Além disso, o HEC-HMS pode ser usado para otimizar parâmetros e realizar análises incertezas (CABRAL; SAKURAGI; SILVEIRA, 2017). Alguns dos pontos fortes do programa são sua capacidade de agregar e desagregar dados temporais, bem como sua capacidade de converter unidades facilmente. HEC-HMS é frequentemente utilizado para gerar hidrogramas que servem como condições de contorno em modelos hidráulicos como HEC-RAS.

O modelo hidráulico desenvolvido no HEC-RAS compreende a modelagem de rios e canais em geral. O “software” realiza a simulação hidráulica de escoamento através do

canal com base na morfologia do canal e pode gerar a extensão da região inundada. Os principais dados de entrada são: a geometria da seção no canal, a vazão utilizada para a modelação (valores fixos para o escoamento permanente e hidrogramas para o não permanente), condições de contorno e valores do coeficiente (n) de Manning para o canal e planície de inundação.

O HEC-RAS pode ser usado para realizar estudos de inundação, de ruptura de barragens, além de delinear planícies de inundação e modelar estruturas hidráulicas, como pontes e bueiros.

Acoplar os modelos hidrológico e hidráulico, desenvolvidos no HEC-HMS e no HEC-RAS, respectivamente, pode ajudar na avaliação da região inundada para um evento de tempestade conhecido. Ademais, o modelo acoplado e calibrado pode ser usado para mapeamento de planície de inundação futura, com os dados de chuva futuras e cenários de uso da terra (USACE, 2010), desempenhando um papel crucial na gestão de riscos de inundação e no planejamento de projetos relacionados a corpos d'água.

## Eventos naturais

É comum haver uma confusão com os conceitos de enchentes, inundação e alagamentos, alagamentos geralmente ocorrem em áreas intensamente urbanizadas e tem sua origem relacionada a falta de sistemas de drenagem adequados, ou ainda, a disposição inadequada de resíduos sólidos.

As enchentes e inundações são problemas geoambientais que resultam de perigos naturais hidrometeorológicos ou hidrológicos, e que são agravados pelo modelo de urbanização existente atualmente. Assim, apesar destes fenômenos estarem intrinsecamente associados à quantidade, intensidade e distribuição da precipitação atmosférica, eles se tornam muito mais preocupantes diante das alterações antrópicas, que, entre outros fatores, impermeabilizam o solo, retificam e provocam assoreamento dos cursos d'água.

A ocorrência de inundações é determinada, portanto, por uma série de fatores naturais e antrópicos. Em relação aos primeiros, podem-se destacar: as diferentes formas de relevo; as características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; a intensidade, quantidade, distribuição e frequência de chuvas; características do solo e teor de umidade; a presença ou ausência de cobertura vegetal, entre outros. Já em relação aos fatores antropogênicos, têm-se: uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água; disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água; alterações nas características da bacia hidrográfica e de cursos d'água como retificação, canalização, impermeabilização, intenso processo de erosão e de assoreamento de cursos d'água, entre outros.

Conhecer esses aspectos é fundamental para avaliar e prever desastres naturais. Por exemplo, uma bacia com fator de forma, razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia, mais alto está mais sujeita a enchentes que outra, de mesmo tamanho, porém com fator de forma menor. Chuvas intensas ou de longa duração, podem proporcionar uma provável saturação do solo, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água nessas áreas (VILELLA; MATTOS, 1975). Já a existência de vegetação ajuda a evitar as inundações ao reter água no solo e assim diminuir a velocidade do escoamento

superficial e a taxa de erosão (TEXEIRA; SILVA, 2019).

O relatório da Organização Meteorológica Mundial e do Escritório da ONU para Redução de Risco de Desastres, indicam que num intervalo de 50 anos, de 1970 a 2019, os desastres naturais foram responsáveis por 50% de todos os desastres, 45% de todas as mortes e 75% de todas as perdas econômicas. Desses, 11 mil desastres foram atribuídos a eventos climáticos, resultando em mais de 2 milhões de mortes e 3,47 trilhões de dólares em perdas econômicas (OMM, 2021)

No Brasil, a discussão sobre desastres ambientais torna-se ainda mais relevante, já que, o país aparece entre os 10 países com maior número de vítimas relacionadas a desastres naturais no recorte entre os anos de 1995 e 2015 (CRED/UNISDR, 2015). Cerca de 93,9% dos municípios brasileiros registraram algum tipo de desastre entre 2013 e 2022. Os danos ambientais e sociais geralmente produzem, também, impacto econômico de diferentes magnitudes, calcula-se que o número de moradias danificadas ou destruídas em eventos climáticos extremos ultrapassa 2 milhões e totaliza um prejuízo na ordem de R\$ 26 bilhões, impactando 78% dos Municípios do país (CNM, 2023).

O processo crescente de urbanização também faz com que o ciclo hidrológico sofra alterações significativas nessas regiões, graças à alteração da superfície, canalização do escoamento e o aumento de poluição devido à contaminação do ar, do espaço urbano e do lixo descartado irregularmente pela população. Tem-se empregado sobre as obras e o controle público da drenagem uma visão local e setorializada dos problemas, gerando mais impactos do que os já existentes e desperdiçando recursos financeiros. (TUCCI, 2003).

Mesmo sem contar com as alterações antropogênicas, o ciclo hidrológico já sofre por si só com uma variabilidade natural substancial (dependente, por exemplo, de tendências de vazão de água), existem dados que sugerem que a frequência de grandes inundações aumentou de forma relevante durante o século XX (TUCCI, 2007). Tendo em vista que esse período compreendeu justamente o de maior atividade antropogênica, existe uma tendência a se acreditar que os fatos estejam relacionados.

## DISCUSSÃO

Ao longo das últimas décadas, o Brasil apresentou um significativo crescimento de sua população, com isso a cidade muitas vezes o processo de urbanização ocorre de forma precária e diversos impactos ocorrem em relação aos corpos hídricos, notadamente o aumento das vazões máximas devido à impermeabilização das superfícies urbanas.

É importante salientar que as inundações são eventos naturais que atingem a população que ocupa às margens dos rios. Trata-se de um processo, que independentemente da ação humana, caracteriza-se pela ocupação do rio em seu leito maior. Porém a urbanização atua sobre elementos do ambiente que, por sua vez, alteram o fenômeno de inundação.

O processo de urbanização representa um aumento das áreas edificadas, as edificações absorvem parte da energia solar acarretando aumento da temperatura ambiente, principalmente em grande centro urbanos, no que é conhecido como o fenômeno “ilha de calor”.

Além da ilha de calor, a impermeabilização, por sua vez, pode gerar condições de movimento de ar ascendente que podem ocasionar um aumento ou diminuição na precipitação (CASE, 2006).

Conforme citado anteriormente, no entanto, a frequência e a magnitude das inundações tendem a aumentar em função da ocupação do solo, com superfícies impermeáveis, em função das redes de condutos de escoamento e possível assoreamento.

A aplicação de geotecnologias, como Sistemas de Informações Geográficas (SIG), contribuem para a análise das vulnerabilidades nas bacias hidrográficas, permitindo a manipulação de funções que representam processos ambientais, possibilitando a agregação de diversas fontes de dados e a modelagem de suas interações, essenciais na modelagem hidrológica (BURROUGH, 1998; MACHADO, 2002).

Em sua tese, Pedrollo (2000) realiza previsões de cheias tanto na forma numérica tradicional quanto na forma de categorias (uso de lógica Fuzzy). Assim, foram idealizados metodologias e procedimentos computacionais para aprendizado, simulação, consulta, e finalmente gerado um aplicativo baseado nestes conceitos, objetivando a pesquisa e a operação.

Já Andrade (2006), por sua vez, analisou planícies de inundação em canais naturais, sujeitos à propagação de uma onda de cheia. Assim, formulou-se um modelo matemático, baseado nas equações da hidrodinâmica, conjuntamente com a teoria fuzzy. O modelo foi capaz de avaliar, em função dos parâmetros hidráulicos e hidrológicos da bacia, o comportamento das variáveis de controle pertinentes ao escoamento.

Tanto Zin; Kawasaki; Win, (2015) quanto Thakur *et al.* (2017) mapearam áreas de inundação e elas estão localizadas principalmente em regiões urbanizadas. Decina e Brandão, (2016) constataram que houve inundação na bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, São Carlos – SP em todos os cenários levantados, com tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos como e sem a aplicação de medidas de contenção estruturais e não-estruturais.

De acordo com Malheiros *et al.* (2020) uma inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Águas Vermelha, em Joinville SC, com um tempo de retorno de 2 anos já seria capaz de interditar vias da cidade.

Em todos estes trabalhos é possível perceber o uso de ferramentas quantitativas na avaliação das áreas de inundação, como por exemplo o cálculo do tempo de retorno de uma chuva. Outro aspecto flagrante da nova geografia na modelagem está na metodologia fundamentada em dados de precipitação, declividade do terreno, dimensões de secções batimétricas em pontos estratégicos, como pontes e locais em que aumente significativamente a precisão mancha de inundação.

Dessa forma, para lidar eficazmente com o impacto do desenvolvimento urbano nos corpos hídricos, é essencial quantificar os efeitos das mudanças na bacia hidrográfica, através de métodos estatísticos que usam dados de vazão não homogêneos para estimar o impacto da urbanização, bem como por modelos matemáticos que determinam a vazão máxima com base na precipitação, ou ainda através de software como HEC-HMS e HEC-RAS.

Por fim, como também foi observado no relatório da ONN (2021) o risco de desastres no Brasil, veem aumentando ao longo dos anos, sendo a maior parte decorrente de enchentes, inundações e eventos climáticos extremos. Sendo importante o uso de tecnologias geoespaciais e abordagens quantitativas cruciais na análise e mitigação desses riscos, para gestão adequada dos corpos hídricos e áreas urbanas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se tratar de uma breve revisão sobre modelagem de inundações, onde observou-se maior ênfase as técnicas de modelagem matemática numérica. Mesmo que haja várias vantagens em usar tal modelagem, como a resolução de problemas altamente complexos, podem surgir inviabilidades como eficiência computacional, estabilidade numérica e resultados inadequados quando as condições de contorno não são adequadamente aplicadas.

É crucial entender que as inundações são fenômenos naturais independentes da ação humana. No entanto, a intervenção humana vem agravando esses fenômenos, resultando em diversos problemas sociais, ambientais e econômicos, decorrente do planejamento inadequado da ocupação e do uso do solo, especialmente a partir da década de 1960, quando a urbanização no Brasil não levou em consideração o ciclo natural dos rios e as cheias periódicas.

Dessa forma, observa-se que a ocorrência de inundações e enchentes, somente está relacionada ao sentido negativo do termo, em locais em que há pessoas instaladas, pois sem a presença dessas, seria apenas um fenômeno natural sem grandes repercussões.

Diante disso, torna-se evidente que o fenômeno das inundações é intrinsecamente ligado à forma como a sociedade organiza e utiliza o espaço, sendo necessário uma gestão integradora e uma visão sistêmica para enfrentar essa questão. Nesse sentido, a participação popular é essencial, bem como a ação conjunta dos diversos setores governamentais relacionados com a gestão hídrica.

Dessa forma, a gestão de bacias hidrográficas é um tipo de tomada de decisão não-estruturada baseada em condições físicas e socioeconômicas. A utilização de modelos para gestão de bacias exige uma representação a partir dos dados geográficos da bacia. As mudanças incorporadas pela Nova Geografia foram primordiais para que os fenômenos associados ao risco de inundações fossem abordados de forma mais ampla, sendo possível perceber que, sem a introdução de modelos probabilísticos e estáticos, a geografia não poderia criar modelos capazes de antecipar eventos de risco e ficaria dependente de outras áreas para discutir políticas públicas para o espaço urbano ao médio e longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Carla Freitas de. Estudo de planícies de inundação através da análise dos parâmetros hidráulicos do canal principal e sua influência na avaliação do risco fuzzy de enchentes. 2006.

ANDRADE, G. B. de; ROCHA, K. da S.; HID, A. R.; DUETI, L. de S. M.; REIS, F. da S. Análise espaço temporal das alterações de uso e cobertura da terra na bacia do igarapé São Francisco, rio branco - Acre - Brasil (2001 - 2021). UÁQUIRI, v 04, n 02, p 139-151, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29327/268458.4.2-9>

BASSANEZI, Rodney Carlos. Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia. 3. ed. São Paulo: Contexto, 2010.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica vista como um campo conceitual DOI: 10.5007/2175-7941.2011v28n3p507. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 507–545, 15 dez. 2011.

BRESSIANI, Jaciane Xavier *et al.* Delimitação de áreas variáveis de afluição em ambientes de microbacias urbanas através da comparação dos métodos TauDEM e HAND. 2016.

BURROUGH P A 1998 Dynamic modelling and GIS. In Longley P A, Brooks S M, McDonnell R and MacMillan B (Eds) Geocomputation: A Primer.

BURROUGH, Peter A. *et al.* Principles of geographical. Information systems for land resource assessment. Clarendon Press, Oxford, 1986.

BURTON, I. The quantitative revolution and theoretical geography. The Canadian Geographer, Toronto, v. 7, n. 2, p. 151-162, 1963.

CABRAL, Samuellson Lopes; SAKURAGI, Jójhy; SILVEIRA, Cleiton da Silva. Incertezas e erros na estimativa de vazões usando modelagem hidrológica e precipitação por RADAR. Revista Ambiente & Água, v. 12, p. 57-70, 2017.

CÂMARA, G.; DAVIS JR, C.A.; MONTEIRO, A.M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE, 2001.

Case, M. "Climate change impacts in the Amazon: review of scientific literature (World Wildlife Fund – WWF)". 8th Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. 20-31 March, Curitiba, Brazil. 2006

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. (Ed.). Models in Geography. Londres: Methuen e Co., 1967.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 415-441. 1994.

CRED/UNISDR. The human cost of weather related disasters 1995–2015. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, UN Office for Disaster Risk Reduction. 2015.

DAINESE, R. C. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual. 2001. 185 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade De Ciências Agrônômicas Campus De Botucatu, Botucatu, 2001.



- DECINA, T. G. T.; BRANDÃO, J. L. B. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 21, n. 1, p. 207–217, mar. 2016.
- DOTTORI, Francesco; TODINI, Ezio. A 2D flood inundation model based on cellular automata approach. In: XVIII International Conference on Water Resources CMWR. Barcelona, 2010.
- FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C.; PINTO, D. B. F.; ALMEIDA, R. A. Inundações e alagamentos em Teófilo Otoni, Minas Gerais, Brasil, segundo indicadores geomorfológicos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 23, n. 4, p. 1893–1910, 2022. DOI: 10.20502/rbg.v23i4.2152. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2152>. Acesso em: 28 ago. 2023.
- GAILE, Gary L.; WILLMOTT, Cort J. (Ed.). *Geography in America at the Dawn of the 21st Century*. Oxford University Press on Demand, 2004.
- JUNIOR, Roberto Mizuuti; DE BARROS, Andersown Becher Paes. *Gerenciamento de Recursos Tecnológicos em Software Livre*, 2008.
- LUCIO, F. da S.; Martins, M. H. da M.; Silva, Y. M.; Brown, V. R.; Cunha, M. A.; Serrano, R. O. P. Registro dos procedimentos operacionais do centro de monitoramento hidrometeorológico do estado do Acre: um estudo de caso. *UÁQUIRI - PPGGEO*, v. 04, n. 01, p. 96-109, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29327/268458.4.1-6>
- MACHADO, Ronalton Evandro. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 2002. Tese de Doutorado. University of São Paulo, Brazil.
- MALHEIROS, C. *et al.* Mapeamento das áreas de inundação de uma área urbana na bacia hidrográfica do rio águas vermelhas com ênfase do sistema viário local. p. 4, 2020.
- MARANDOLA JR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. *Ambiente & Sociedade*, v. 7, n. 2, p. 95-110, 2004.
- MENDONÇA, J. F.; SILVA, M. L. S.; BONFANTI, D. C.; PEREIRA, W. A.; LASMAR, C. I. de; SILVA, D. da; SILVA, A. M. de; ARAÚJO, J. S. de. Análise sócioambiental do igarapé São Francisco em Rio Branco, Acre – Brasil. *XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 8p. 2017.
- MENEZES, P. M. L de; Cruz, C. B. M; Fernandes, M. do C. A Geoinformação na Pesquisa em Geografia no Contexto do PPGG/UFRJ. *Espaço Aberto*, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, V. 12, N.2, p. 65-86, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2022.55024>
- OLIVEIRA, A. V. de; SERRANO, R. O. P.; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. do V. Temporal Trend and Estimation of the Hydrological Risk of Maximum Rainfall and Flow Extremes in the City of Rio Branco, Acre, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 36, n. 4, p. 749 - 758, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778636005>
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). Atlas de la OMM sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970–2019). Genève, Suiza, 90 p., 2021. Disponível em: [https://library.wmo.int/viewer/28270/download?file=1267\\_Atlas\\_of\\_Mortality\\_es.pdf&type=pdf](https://library.wmo.int/viewer/28270/download?file=1267_Atlas_of_Mortality_es.pdf&type=pdf) , Acessados em 9 de set. De 2023.
- PEDROLLO, Olavo Correa. Previsão em tempo atual de cheias com uso de sistema especialista difuso. 2000.

- PESSÔA, V. L. S. Geografia e pesquisa qualitativa: Um olhar sobre o processo Investigativo. *Geo UERJ*, a 14, nº 23, v 1, p. 4-18, 2012. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2012.3682>
- REZENDE, Gleyce Bernardes de Mello. Modelo hidrológico e hidráulico para estimativa e delimitação de áreas inundadas: uma ferramenta de auxílio a elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana. Dissertação (mestrado), programa de pós-graduação em engenharia civil – Universidade Federal de Uberlândia (2011).
- SILVA, J. R. dos S.; TAVEIRA, M. K.; SERRANO, R. O. P.; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. do V. Probability of rainfall for the city of Cruzeiro do Sul, Acre, Brazil. *Rev. Ambient. Água* 16 (1), 2021. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2593>
- TAREKEGN, Tesfaye Haimanot *et al.* Avaliação de um DEM gerado por ASTER para modelagem hidrodinâmica de inundação 2D. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 12, n. 6, pág. 457-465, 2010.
- TEIXEIRA, B. K.; SILVA, A. de S. Tipos de vegetação para medidas compensatórias de controle pluvial na fonte em zonas subtropicais. *Revista LABVERDE*, V. 9, Nº 2, 2019. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/146556/153609>. Acessado em 09 set. 2023.
- THAKUR, B. *et al.* Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in Precipitation Runoff Modelling and Evaluating Flood Plain Inundation Map. *World Environmental and Water Resources Congress 2017. Anais...* In: *WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS 2017*. Sacramento, California: American Society of Civil Engineers, 18 maio 2017. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784480625.022>>. Acesso em: 26 fev. 2022
- TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela. *Desastres naturais*. São Paulo: Ed. Instituto Geológico, 2009.
- TUCCI, Carlos E. M. Drenagem urbana. *Ciência e cultura*, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.
- TUCCI, Carlos EM. *Inundações urbanas*. Porto Alegre: ABRH/Rhama, v. 11, 2007.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2010. HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 4.1, CPD-68. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. Disponível em: < <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf> > acesso em 27/01/2022.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2013. HEC-HMS Hydrologic Modeling System, User's Manual, Version 4.0, CPD-74A. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. Disponível em: < [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS\\_Users\\_Manual\\_4.0.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.0.pdf) > acesso em 27/01/2022.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p.
- VON BERTALANFFY, Ludwig. *General System Theory-A Critical Review*, «General Systems», vol. VII, n. C, 1962.
- WAINWRIGHT, J.; MULLIGAN, M. (Eds.). *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. Chichester - Wiley-Blackwell, 473p., 2nd ed., 2013. Disponível em: < [https://is.muni.cz/el/sci/jaro2015/Z8877/um/Environmental\\_Modelling.\\_Finding\\_Simplicity\\_in\\_Complexity.\\_2nd.ed.pdf](https://is.muni.cz/el/sci/jaro2015/Z8877/um/Environmental_Modelling._Finding_Simplicity_in_Complexity._2nd.ed.pdf) > acesso em 30/01/2022.

YUAN, Yongping; QAISER, Kamal. Floodplain Modeling in the Kansas River Basin Using Hydrologic Engineering Center (HEC) Models Impacts of Urbanization and Wetlands for Mitigation - U.S. Environmental Protection Agency - Las Vegas. 2011

ZIN, W. W.; KAWASAKI, A.; WIN, S. River flood inundation mapping in the Bago River Basin, Myanmar. Hydrological Research Letters, v. 9, n. 4, p. 97–102, 2015.

# Asymptotic analysis of turbulent flow

## Análise assintótica do escoamento turbulento

Rômulo Damasclin Chaves Santos

*Postdoctoral Researcher. Aeronautics Technological Institute – ITA, São José dos Campos – SP, Brazil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9482-1998>*

### RESUMO

A análise matemática, aplicada neste trabalho, serve de pilar para uma investigação mais ampla sobre a regularidade das Equações de Navier-Stokes. Nesse contexto, esta investigação marca um passo significativo no avanço do modelo de Smagorinsky acoplado à metodologia LES, resultando com base nos Espaços de Banach e de Sobolev, um novo teorema que aponta o caminho para a construção de um modelo de viscosidade anisotrópica (ainda não discutido no presente trabalho). A princípio, o esforço dedicado aqui, visa apresentar uma análise matemática mais abrangente, promovendo uma compreensão mais nivelada do desafio proposto pela regularidade das equações de Navier-Stokes.

**Palavras-chave:** modelo smagorinsky. espaços funcionais. turbulência.

### ABSTRACT

The mathematical analysis, applied in this work, serves as a pillar for a broader investigation on the regularity of the Navier-Stokes Equations. In this context, this investigation marks a significant step forward in the advancement of the Smagorinsky model coupled with the LES methodology, resulting, based on the Banach and Sobolev Spaces, a new theorem that points the way to the construction of an anisotropic viscosity model (not yet discussed in the present work). At first, the effort dedicated here aims to present a more comprehensive mathematical analysis, promoting a more leveled understanding of the challenge posed by the regularity of the Navier-Stokes equations.

**Keywords:** smagorinsky model. functional spaces. turbulence.

### INTRODUCTION

Turbulent formations emerge in both natural occurrences and human endeavors, such as the flow of rivers or the emissions billowing from chimneys. Scrutinizing the dynamics of motion carries importance



across domains like aeronautics, meteorology, and engineering. The quantifiable factor referred to as the Reynolds number

$$Re = \frac{UL}{\nu} = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (1.1)$$

(with characteristic velocity  $U$ , characteristic length  $L$ , kinematic viscosity  $\nu$ , density  $\rho$  and dynamic viscosity  $\mu$ ) is a measure for turbulence of a flow. As demonstrated by Reynolds' experiment with pipe-flow, a fluid motion featuring a Reynolds number exceeding  $4 \times 10^3$  displays turbulence, see more in Li Ta-tsien & Yu Wen-ci (1985), Germano (1991), Kolmogorov (1991) and Pope (2000).

## THE SMAGORINSKY MODEL

To conclude the equations and consequently determine the filtered velocity field  $\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, t)$  along with the adjusted filtered pressure  $\bar{p}(\mathbf{x}, t)$ , it is imperative to formulate the anisotropic residual-stress tensor  $\tau_{ij}^r(\mathbf{x}, t)$ . Among the available models, the Smagorinsky model stands out due to its simplicity and its demonstrated capability to yield satisfactory performance, more details at Pope (2000).

In the Smagorinsky model, the anisotropic residual-stress tensor  $\tau_{ij}^r(\mathbf{x}, t)$  correlates with the filtered strain rate

$$\bar{S}_{ij} = \bar{S}_{ij}(\mathbf{u}) := S_{ij}(\bar{\mathbf{u}}) := 0.5(\partial \bar{u}_i + \partial \bar{u}_j), \quad (2.1)$$

as

$$\tau_{ij}^r(\mathbf{x}, t) = -2\nu_r \bar{S}_{ij}. \quad (2.2)$$

This embodies the mathematical representation of the Boussinesq conjecture, which proposes that turbulent fluctuations display dissipative characteristics on an average basis. The mathematical structure shares similarities with that of molecular diffusion, (for further information, see more at Sagaut (2005)). The residual subgrid-scale eddy-viscosity acts as an artificial viscosity (Sagaut, 2005), and represents the eddy-viscosity of the residual motions. It is modeled as

$$\nu_r = \ell_S^2 (2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij})^{\frac{1}{2}} = (C_S \Delta)^2 (2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij})^{\frac{1}{2}}. \quad (2.3)$$

In this context, we encounter the Smagorinsky length scale  $\ell_S = C_S \Delta$ , the Smagorinsky coefficient  $C_S$ , the filter width  $\Delta$ . Lastly, we can express the filtered momentum equation as follows

$$\partial_t \bar{u}_{ij} + \bar{u}_i \partial_i \bar{u}_j = 2 \partial_i \left( \left( \nu + \ell_S^2 (2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij})^{\frac{1}{2}} \right) \bar{S}_{ij} \right) - \partial_j \bar{p} + \bar{f}_j, j = 1, 2, 3. \quad (2.1)$$

## MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE SMAGORINSKY MODEL

In order to conduct a mathematical analysis of the Smagorinsky model, it is essential that the problem is clearly and precisely defined.

## Vector spaces

The Lebesgue space  $L^p(\Omega)$ ,  $p \in [1, \infty]$ , is the Banach space of measurable functions  $\mathbf{v}$  on  $\Omega$  which satisfy

$$\|\mathbf{v}\|_{L^{m,p}(\Omega)} := \left( \int_{\Omega} |\mathbf{v}(\mathbf{x})| dx \right)^{\frac{1}{p}} < \infty, \text{ if } p \in [1, \infty), \quad (3.1.1)$$

$$\|\mathbf{v}\|_{L^{m,p}(\Omega)} := \text{ess sup } |\mathbf{v}(\mathbf{x})| < \infty, \text{ if } p = \infty, \quad (3.1.2)$$

For  $p=2$  the Lebesgue space is also a Hilbert space with the scalar product

$$(\mathbf{x}, \mathbf{v}) = \int_{\Omega} \mathbf{v}(\mathbf{x}) \cdot \mathbf{w}(\mathbf{x}) dx. \quad (3.1.2)$$

in the case of one-dimensional functions, the dot signifies straightforward multiplication; however, when dealing with vectors or matrices, it denotes the dot product for vectors or the Frobenius inner product for matrices.

The Sobolev space  $W^{m,p}$  is the Banach space of functions for which

$$\|\mathbf{v}\|_{W^{m,p}(\Omega)} := \left( \sum_{0 \leq |\alpha| \leq m} \|D^{\alpha} \mathbf{v}\|_{L^p(\Omega)}^p \right)^{\frac{1}{p}} < \infty, \text{ if } p \in [1, \infty), \quad (3.1.3)$$

$$\|\mathbf{v}\|_{W^{m,p}(\Omega)} := \max \|D^{\alpha} \mathbf{v}\|_{L^p(\Omega)} < \infty, \text{ if } p = \infty,$$

remains valid, i.e., it can be defined as

$$W^{m,p}(\Omega) = \{\mathbf{v} \in L^p(\Omega) : D^{\alpha} \mathbf{v} \in L^p(\Omega), \forall |\alpha| \leq m\}. \quad (3.1.4)$$

Let

$$W^{1,3}_{0,div}(\Omega) = \left\{ \mathbf{v} \in W^{1,3}(\Omega) : \mathbf{v}|_{\Gamma} = 0, \nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \text{ in } \Omega \right\}, \quad (3.1.5)$$

be the divergence-free Sobolev space where functions vanish on the boundary  $\Gamma = \partial\Omega$ ,

$$H^1(0, T; L^2(\Omega)) := W^{1,2}(0, T; L^2(\Omega)) \quad (3.1.6)$$

a Sobolev space that is also a Hilbert space and

$$V := H^1(0, T; L^2(\Omega)) \cap L^3(0, T; W^{1,3}_{0,div}(\Omega)), \quad (3.1.7)$$

a Banach space with the norm

$$\|\mathbf{v}\|_V = \|\nabla \mathbf{v}\|_{L^3(0,T;L^3(\Omega))} + \|\partial_t \mathbf{v}\|_{L^2(0,T;L^2(\Omega))}. \quad (3.1.8)$$

## Weak formulation of Navier-Stokes Equation

Consider the Navier-Stoke Equation with the conditions



$$\begin{aligned}
\partial_t \mathbf{u} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} &= \nu \nabla \cdot \nabla \mathbf{u} - \frac{1}{\rho} \nabla P + \mathbf{f}, \text{ in } \Omega \times (0, T], \\
\nabla \cdot \mathbf{u} &= 0, \text{ in } \Omega \times [0, T], \\
\mathbf{u}(\mathbf{x}, 0) &= \mathbf{u}_0(\mathbf{x}), \text{ in } \Omega \\
\mathbf{u} &= 0 \text{ on } \Gamma \times [0, T], \\
\int_{\Omega} P \, d\mathbf{x} &= 0, \text{ in } \Omega \times (0, T],
\end{aligned} \tag{3.2.1}$$

with  $\Gamma = \partial\Omega$ . The first and second equations correspond to the momentum equation and continuity equation from above. The initial flow field  $\mathbf{u}_0(\mathbf{x})$  is also divergence-free, i.e.,  $\nabla \cdot \mathbf{u}_0 = 0$  in  $\Omega$ . The fourth equation is the no slip boundary condition. It relies on the supposition that the fluid does not permeate or slide along the wall. Without the last equation, the pressure  $P$  would only be determined up to a constant, according Sagaut (2005), Hunt & Vassilicos (1991).

Filtering Eqs. (3.2.1) and using a similar condition for the modified filtered pressure, we get:

$$\begin{aligned}
\partial_t \bar{\mathbf{u}} + (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} &= \nabla(\nu + \nu_r) \nabla \bar{\mathbf{u}} - \nabla \bar{p} + \bar{\mathbf{f}}, \text{ in } \Omega \times (0, T], \\
\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}} &= 0, \text{ in } \Omega \times [0, T], \\
\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, 0) &= \bar{\mathbf{u}}_0(\mathbf{x}), \text{ in } \Omega \\
\bar{\mathbf{u}} &= 0 \text{ on } \Gamma \times [0, T], \\
\int_{\Omega} \bar{p} \, d\mathbf{x} &= 0, \text{ in } \Omega \times (0, T],
\end{aligned} \tag{3.2.2}$$

by multiplying the first equation with  $\mathbf{v} \in V$  and integrating over time and space, we achieve a weak formulation. Now, let  $\bar{\mathbf{f}} \in L^2(0, T; L^2(\Omega))$  Find  $\bar{\mathbf{u}} \in V$  that satisfies  $\bar{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, 0) = \bar{\mathbf{u}}_0(\mathbf{x}) \in W^{1,3}_{0,div}(\Omega)$  and

$$\int_0^T (\partial_t \bar{\mathbf{u}} + (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}}, \mathbf{v}) + ((\nu + \nu_r) \nabla \bar{\mathbf{u}}, \nabla \mathbf{v}) dt = \int_0^T (\bar{\mathbf{f}}, \mathbf{v}) dt, \tag{3.2.3}$$

for all  $\mathbf{v} \in V$ , with  $(\cdot, \cdot)$  denoting the  $L^2(\Omega)$  scalar product.

## Asymptotic behavior

Let us first introduce some standard notations and function spaces which will be used in the following analysis. We denote  $\mathcal{V} = \{\varphi \in \mathcal{D}(\Omega)^3, \nabla \cdot \varphi = 0\}$ ,  $H$  = the closure of  $\mathcal{V}$  in  $L^2(\Omega)^3$ ,  $V$  = the closure of  $\mathcal{V}$  in  $W^{1,3}(\Omega)^3$ , where  $L^2(\Omega)^2$  is the space of functions which are square integrable over  $\Omega$  with respect to the Lebesgue measure and  $W^{1,3}(\Omega)^3$  is the  $L^3$  Sobolev space.  $H$  is a Hilbert space with respect to the inner product. We will use the notation  $V'$  for the dual space of  $V$ ,  $\|\cdot\|_{V'}$  for the induced norm and  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  for the duality product. For spaces of functions which depend on both time and space variables, we will frequently use the two following spaces: (i)  $C([0, T]; X)$  space of continuous functions  $u: [0, T] \rightarrow X$ , where  $X$  is a Banach space with the norm denoted by  $|\cdot|_X$ . (ii)  $L^p(0, T; X)$  the space of strongly

measurable functions  $u: ]0, T[ \rightarrow X$  with a finite norm

$$\|u\|_{L^p(0,T;X)}^p := \int_0^T |u|_X^p dt < \infty.$$

In the case  $p=\infty$ , the norm is defined by

$$\|u\|_{L^\infty(0,T;X)}^p := \text{ess sup}_{t \in ]0,T[} |u(t)|_X.$$

Finally, we will denote by  $|\cdot|_p$  the usual norm in  $L^p(\Omega)$ .

**Theorem.** Let  $u_0 \in H$  and  $f \in L^{\frac{3}{2}}(0, T; V')$ . Then for any  $T > 0$ , the problem (S) has a unique weak solution on  $[0, T]$ . Moreover, if  $u_0 \in V$  then the unique weak solution is in  $L^\infty(0, T; W^{1,3}(\Omega)^3)$ .

**Proof.** To prove the existence of a weak solution we used a classical Galerkin method. We omit it, since it is straightforward from the proof done in Lions (2008) and Jiroveanu (2002). We only present here, the proof of uniqueness. Let us suppose that there exist two weak solutions  $u$  and  $v$  to problem (S), with the same initial condition  $u_0 \in H$  and let  $w = u - v$ . After subtracting the weak formulation for  $v$  from the one for  $u$  and taking  $w$  as test functions in the resulting equation, we get:

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|w\|_2^2 + \sum_{i,j=1}^3 \int_{\Omega} [\mathcal{T}_{ij}(S(\mathbf{u})) - \mathcal{T}_{ij}(S(\mathbf{v}))] S_{ij}(\mathbf{w}) dx = - \int_{\Omega} (\mathbf{w} \cdot \nabla) \mathbf{u} w dx. \quad (3.3.1)$$

Moreover, from the definition of the tensor  $T$  (see more in Pope (2000), Hoffman & Johnson (2006)), we have:

$$\sum_{i,j=1}^3 \int_{\Omega} [\mathcal{T}_{ij}(S(\mathbf{u})) - \mathcal{T}_{ij}(S(\mathbf{v}))] dx = c_1 \sum_{i,j} \int_{\Omega} |S_{ij}(\mathbf{w})|^2 dx \quad (3.3.2)$$

with  $c_1 > 0$ .

Using Korn's inequality

$$\left( \int_{\Omega} |S(\mathbf{u})|^p dx \right)^{\frac{1}{p}} \geq C_p |\nabla \mathbf{u}|_p$$

for  $\mathbf{u} \in W_0^{1,p}$  with  $C_p > 0$  ( $1 < p < \infty$ ) and Hölder's inequality we obtain from Eq. (3.3.2):

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} \|w\|_2^2 + c_2 \|\nabla w\|_2^2 \leq \int_{\Omega} |w|^2 |\nabla \mathbf{u}| dx \leq \|\nabla \mathbf{u}\|_3 \|w\|_3^2. \quad (3.3.3)$$

In three dimensions we have the embedding

$$H^1(\Omega) \subset L^6(\Omega)$$

from which we deduce

$$|\mathbf{w}|_3 \leq |\mathbf{w}|_2^{\frac{1}{2}} |\mathbf{w}|_6^{\frac{1}{2}} \leq c_3 |\mathbf{w}|_2^{\frac{1}{2}} |\nabla \mathbf{w}|_2^{\frac{1}{2}}.$$

Moreover, it follows from Eq. (3.3.3), via Young's inequality, that

$$\frac{d}{dt} |\mathbf{w}|_2^2 + c_4 |\nabla \mathbf{w}|_2^2 \leq c_5 |\nabla \mathbf{u}|_3^2 \leq |\mathbf{w}|_3^2. \quad (3.3.4)$$

Since the functions  $g(t) = |\nabla \mathbf{u}|_3^2$  is integrable on  $]0, T[$  and  $w(0)=0$ , using Gronwall's inequality we get

$$|\mathbf{w}(t)|_2^2$$

on  $[0, T]$  and thus uniqueness of the solution to problem (S).

The uniform in time regularity is related to the asymptotic behavior of the solution that we now consider.

Let  $u_0 \in H$  and suppose now that  $f \in L^2(\Omega)^3$  is time independent. According Theorem, the unique weak solution is continuous

$$u \in C((0, T); H).$$

Consequently, we can define the family of operators  $(S(t))_{t \geq 0}$  by

$$\begin{aligned} S(t): H &\rightarrow H \\ \mathbf{u}_0 &\mapsto S(t)_{\mathbf{u}_0 = \mathbf{u}(t)} \end{aligned} \quad (3.3.5)$$

is the solution to problem (S).

## CONCLUSION

In summary, this study has undertaken a rigorous examination of the Smagorinsky model, casting light upon its sub-grid mathematical formulation through asymptotic analysis within the framework of Large Eddy Simulation (LES). The elucidation of this mathematical analysis not only establishes a foundational basis but also paves the way for a broader exploration of the regularity of the Navier-Stokes Equations. We firmly believe that this investigation represents a significant step forward in advancing the Smagorinsky model. Our expectation is that future research will yield an anisotropic viscosity model tailored for turbulent flows, ultimately addressing the longstanding question of regularity within the Navier-Stokes Equations. This dedicated effort aims to present a comprehensive mathematical analysis, with the intent of inspiring further exploration and fostering a deeper understanding of the enduring challenges posed by the regularity of the Navier-Stokes equations.

## REFERENCES

- Germano, M., Piomelli, U., Moin, P., & Cabot, W. H. (1991). A dynamic subgrid-scale eddy viscosity model. *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*, 3(7), 1760-1765. Doi: <https://doi.org/10.1063/1.857955>
- Hoffman, J., & Johnson, C. (2006). A new approach to computational turbulence modeling. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 195(23-24), 2865-2880. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2004.09.015>
- Hunt, J. C. R., & Vassilicos, J. C. (1991). Kolmogorov's contributions to the physical and geometrical understanding of small-scale turbulence and recent developments. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 434(1890), 183-210. Doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1991.0088>
- Jiroveanu, D. (2002). *Analyse théorique et numérique de certains modèles de viscosité turbulente* (Doctoral dissertation, PhD thesis, Université Joseph Fourier).
- Kolmogorov, A. N. (1991). The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 434(1890), 9-13. Doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.1991.0075>
- Li Ta-tsien & Yu Wen-ci. (1985). *Boundary value problems for quasilinear hyperbolic systems*, Fudan University Shanghai. People Republic of China.
- Lions, J. L. (1969). *Quelques méthodes de résolution des Problèmes aux limites non linéaires*, Dunod Paris.
- P. Sagaut. (2005). *Large eddy simulation for incompressible flows: An introduction*, Springer Science & Business Media.
- S. B. Pope. (200). *Turbulent Flows*, Cambridge University Press.

# Modelagem matemática e projeto de um amplificador *lock-in* de duas fases para utilização na detecção de fase entre o sinal de corrente e o de tensão de uma máquina de indução trifásica

## *Mathematical modeling and design of a two-phase lock-in amplifier for use in phase detection between the current and voltage signals of a three-phase induction machine*

**Gustavo Vendrame Barbara**

<http://lattes.cnpq.br/8583535654920717>

**Diony José de Almeida**

<http://lattes.cnpq.br/3610413319529667>

**Jair Fernando Damato**

<http://lattes.cnpq.br/7515014372951460>

### RESUMO

Este trabalho ilustra a importância dos amplificadores *lock-in* em especial quando se deseja utilizá-lo para a determinação da fase de um sinal de interesse. A modelagem matemática de um amplificador *lock-in* e de uma máquina de indução trifásica são apresentadas. É realizado o projeto de um filtro passa-baixa para que o sinal de saída do amplificador *lock-in* seja filtrado. Com a utilização do amplificador foi possível obter a fase relativa entre a corrente e a tensão que alimenta uma máquina de indução trifásica em diversas condições de carga aplicada ao eixo.

**Palavras-chave:** amplificador *lock-in*. detecção sensível à fase. dedução matemática. máquina de indução trifásica.

*Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos - Vol. 8*

DOI: 10.47573/aya.5379.2.231.6



## ABSTRACT

This work illustrates the importance of lock-in amplifiers, especially when you want to use them to determine the phase of a signal of interest. The mathematical modeling of a lock-in amplifier and a three-phase induction machine are presented. A low-pass filter is designed so that the lock-in amplifier output signal is filtered. With the use of the amplifier, it was possible to obtain the relative phase between the current and the voltage that feeds a three-phase induction machine under different load conditions applied to the shaft.

**Keywords:** lock-in amplifier. phase-sensitive detection. mathematical deduction. three-phase induction machine.

## INTRODUÇÃO

A aquisição e processamento de sinais de qualquer natureza é uma etapa muito importante em qualquer processo. Isso dá pois é a partir desses sinais que será possível, por exemplo, realizar o controle de determinado sistema, enviar e receber informações ou até mesmo apenas monitorar o comportamento de determinada variável dentro de um processo.

A partir da aquisição dos sinais, é possível se obter características específicas de uma determinada variável, seu comportamento e como ela influencia e é influenciada em um processo.

Para que se consiga realizar a aquisição de dados se faz o uso da instrumentação eletrônica, onde a partir da utilização de um sensor, e do condicionamento de sinal do sensor que vem do sensor é possível obter a variável que se deseja medir.

Um grande problema na aquisição e processamento de um sinal é a presença de ruídos no mesmo. Ruídos esses que podem ter diferentes origens e podem influenciar de diferentes maneiras o sinal a ser adquirido.

Uma forma de se medir a quantidade de um ruído presente no sinal é a partir da relação sinal-ruído (SNR) do mesmo, que é dada pela seguinte expressão:

$$SNR = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{\text{sinal}}}{A_{\text{ruído}}} \right) \quad (1)$$

onde  $A_{\text{sinal}}$  representa a amplitude do sinal de interesse e  $A_{\text{ruído}}$  representa a amplitude do ruído.

Analisando-se a equação (1), verifica-se que idealmente é necessário que a SNR seja o mais alto possível [1], no entanto, em aplicações reais isso se torna praticamente impossível. Dessa maneira se faz o uso de filtros para que se consiga obter o sinal desejado com a menor interferência de ruídos possível [2] e [3].

Mesmo com a utilização de filtros em algumas aplicações a relação sinal ruído é tão baixa, ou seja, a quantidade de um ruído no sinal de interesse é tão alta que a aplicação de técnicas de filtragens convencionais não consegue recuperar o sinal de interesse da maneira adequada. Para a solução desse problema se faz o uso de um uma técnica denominada



lock-in, onde, a partir de um sinal de entrada com uma baixa relação sinal ruído, obtém-se um sinal de saída filtrado [4].

Para utilização da técnica *lock-in* se faz o uso do que se chama de amplificador lock-in, tal amplificador é capaz de extrair um sinal de baixa amplitude de um sinal com altas amplitudes de ruído, tal amplificador utiliza o a detecção sensível a fase (PSD) [5].

As aplicações dos amplificadores *lock-in* são diversas, e muito úteis em se obter sinais de baixa amplitude em medições que possuem um alto nível de ruído.

Em [6] é utilizado um amplificador *lock-in* para a medição de baixas quantidades de gás a partir de um sensor. Este trabalho propõe a utilização de um amplificador lock-in analógico e a partir dos resultados obtidos concluiu-se que foi possível detectar com precisão a presença de monóxido de carbono na ordem de uma parte por bilhão.

Em [7] é utilizado um amplificador *lock-in* para a obtenção de sinais de oscilação mecânicas a partir de sinais nanométricas obtidos a partir de um sensor ressonante MEMS.

Em [8] é ilustrado a utilização de um amplificador *lock-in* como um sistema de realimentação em um sistema que converte fluxo magnético em tensão, de maneira que ruídos no sinal de feedback fossem eliminados pelo amplificador *lock-in*.

Em [9] é desenvolvido dois amplificadores *lock-in* integrados em um circuito CMOS de  $0,18\mu\text{m}$ , a partir da implementação dos amplificadores *lock-in* foi possível observar que o mesmo pode ser aplicado em condições que exigem maior portabilidade e espaço reduzido. A obtenção de sinais de corrente da ordem de  $\mu\text{A}$  sem a presença de ruídos proporcionou a monitoramento do consumo de potência da ordem de  $\mu\text{W}$ . Em [10] a exemplo do trabalho anterior, foi utilizado um amplificador *lock-in* em um circuito CMOS para a obtenção da incidência de um sinal óptico.

Em [11] é ilustrado o desenvolvimento de um amplificador *lock-in* para medição das emissões de luzes de partículas de diesel. Entre as características do amplificador desenvolvido pode-se citar a obtenção de sinais consistentes mesmo em ambientes com muito ruído e a capacidade do amplificador apresentar resposta mesmo a partir de um sinal com mudanças na faixa de frequência.

Em [12] é mostrado um método para melhorar a resolução de frequência de um amplificador *lock-in* de duas fases. Para ilustrar a eficácia do método apresentado os autores utilizaram os sinais de vibração de um cristal de quartzo, obtendo-se uma resolução de frequência 1000 vezes melhor quando comparado a um sinal sem a utilização do amplificador *lock-in*. Em [13] é ilustrado a aplicação de um amplificador *lock-in* para o processamento de onda de sinal quadradas, sendo que foi possível recuperar sinais com amplitude de  $9\text{mV}$  com SNR inicial de  $-30\text{dB}$ .

Em [14] os autores propõe a aplicação de um amplificador *lock-in* digital com rastreamento automático preciso de frequência. Observou-se que o amplificador proposto pelos autores apresenta uma precisão mais alta e maior imunidade a ruídos quando comparados a amplificadores *lock-in* comuns.

Em [15] é proposto um amplificador *lock-in* digital de alta frequência que utiliza um

sistema de amostragem aleatória. Utilizando essa técnica foi possível processar sinais com frequências muito superiores à frequência de *Nyquist*. Foi possível processar sinais com frequências de até 2,5MHz, sendo que a taxa de amostragem do sinal era de 150kHz.

Em [16] foi possível utilizar um amplificador *lock-in* para a identificação de *ripples* para otimizar a obtenção do ponto de máxima potência de painéis fotovoltaicos. A partir da utilização dessa técnica foi possível diminuir os *ripples* presentes na geração.

Em [17] é utilizado um amplificador *lock-in* para a medição, em materiais magnéticos, dos *loops* de histerese em função da temperatura. A partir da detecção de harmônicas pelo amplificador *lock-in* foi possível obter um sistema para a medição da curva de histerese dos materiais. Em [18] foi estudado, a partir da utilização de um amplificador *lock-in* a relação entre temperatura e curva de histerese em um toróide de ferrite de NiZn.

Em [19] é ilustrado a aplicação de da ciência quântica para melhorar a performance de um amplificador *lock-in*. A partir dessa aplicação foi possível medir com precisão baixas frequências com incerteza máxima de 10mHz. Dessa maneira foi possível obter medições de campos magnéticos de partículas nanométricas.

Por fim, em [20] é ilustrado a utilização de um amplificador *lock-in* de baixo para utilização em laboratórios de química.

Uma outra aplicação do amplificador *lock-in* é a detecção da fase do sinal de entrada quando comparado a um sinal de referência específico. O amplificador *lock-in* também é conhecido como amplificador sensível a detecção de fase. Sendo útil em aplicações em que a detecção de fase é necessária.

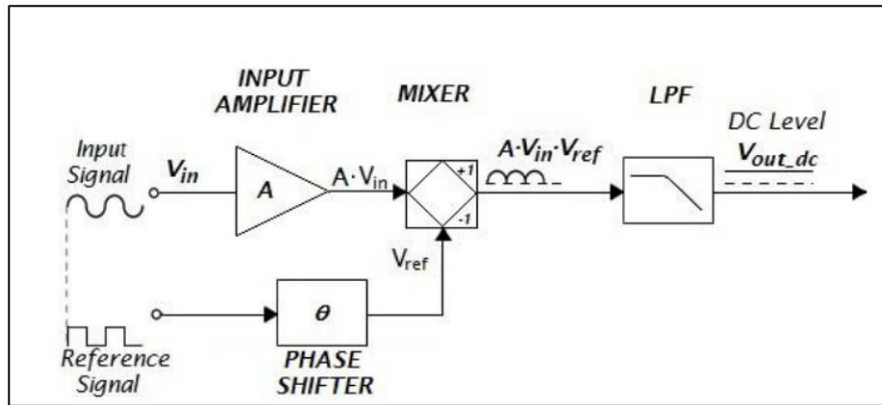
Quando uma máquina de indução trifásica está em operação ela possui características específicas, e dependendo da condição de operação a que ela se encontra ela possui um fator de potência diferente, ou seja, o ângulo de fase da onda de corrente se altera de acordo com a velocidade a que a máquina se encontra.

A partir dos dados de corrente e tensão obtidos pela máquina, a determinação do fator de potência da mesma é uma etapa complexa, uma vez que o mesmo, como explicitado anteriormente se altera de acordo com as condições de operação da máquina.

Este trabalho objetiva realizar a modelagem matemática do amplificador *lock-in* de duas fases, realizar o projeto do filtro passa-baixa na saída do amplificador *lock-in*, e, a partir dos sinais de corrente obtidos de uma máquina de indução trifásica em diferentes condições de operação, determinar o ângulo de fase da corrente em relação ao ângulo de fase da tensão, obtendo, dessa maneira, o fator de potência instantâneo da máquina.

## O AMPLIFICADOR LOCK-IN

Nesta seção do trabalho será realizada a apresentação das estruturas básicas de um amplificador *lock-in* além de ser realizada a dedução matemática do princípio básico de funcionamento de um amplificador *lock-in*. Com a dedução matemática será possível visualizar, a partir das equações obtidas, o funcionamento do amplificador *lock-in*. A Fig. 1 ilustra uma estrutura básica de um amplificador *lock-in* de uma fase.

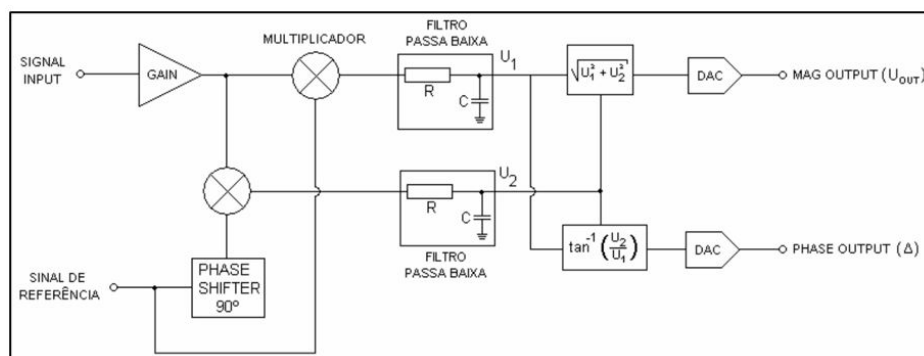
**Figura 1 - Estrutura básica de um amplificador *lock-in* de uma fase.**

Fonte: [9].

A estrutura acima, apesar de ser bastante útil não apresenta as características de fase do amplificador *lock-in*, dessa maneira, para que as características de fase do mesmo sejam obtidas se faz o uso de um amplificador *lock-in* de duas fases. Com o amplificador *lock-in* de duas fases é possível detectar além da amplitude do sinal de interesse a fase do mesmo, podendo-se assim reconstruir completamente o sinal original. A Fig.2 ilustra uma estrutura básica de um amplificador *lock-in* de duas fases.

### Dedução matemática do amplificador *Lock-in*

A dedução matemática inicial abordará a utilização do sinal de referência sem a mudança de fase em  $90^\circ$ .

**Figura 2 - Estrutura básica de um amplificador *lock-in* de duas fases.**

Fonte: [21].

Seja o amplificador *lock-in* com estrutura conforme Fig. 2. O sinal de entrada, será chamado de  $V_s(t)$  e o sinal de referência será chamado de  $V_r(t)$  com as seguintes características:

$$V_s(t) = A \cos(\omega_s t)$$

$$V_r(t) = B \cos(\omega_r t + \theta)$$

em que  $\theta$  é a diferença de fase entre o sinal de entrada e o sinal de referência.

Aplicando a propriedade trigonométrica do arco de cosseno no sinal de referência, tem-se:

$$V_r(t) = B[\cos(\omega_r t)\cos(\theta) - \text{sen}(\omega_r t)\text{sen}(\theta)]$$

Fazendo com que as frequências angulares de ambos os sinais sejam iguais e multiplicando ambos os sinais se obtém:

$$\omega_s = \omega_r = \omega$$

$$V_s(t)V_r(t) = AB \cos(\omega t)[\cos(\omega t)\cos(\theta) - \text{sen}(\omega t)\text{sen}(\theta)]$$

$$V_s(t)V_r(t) = AB[\cos^2(\omega t)\cos(\theta) - \cos(\omega t)\text{sen}(\omega t)\text{sen}(\theta)]$$

Pelas propriedades trigonométricas tem-se que:

$$\cos^2(\omega t) = \frac{1}{2}[\cos(2\omega t) + 1]$$

$$\cos(\omega t)\text{sen}(\omega t) = \frac{1}{2}[\text{sen}(2\omega t)]$$

Assim:

$$V_s(t)V_r(t) = AB \left\{ \frac{1}{2}[\cos(2\omega t) + 1]\cos(\theta) - \frac{1}{2}[\text{sen}(2\omega t)]\text{sen}(\theta) \right\}$$

$$V_s(t)V_r(t) = \frac{1}{2}AB[\cos(2\omega t)\cos(\theta) + \cos(\theta) - \text{sen}(2\omega t)\text{sen}(\theta)]$$

$$V_s(t)V_r(t) = \frac{1}{2}AB\cos(\theta) + \frac{1}{2}AB\{\cos(2\omega t)\cos(\theta) - \text{sen}(2\omega t)\text{sen}(\theta)\}$$

Pelas propriedades trigonométricas tem-se que:

$$\cos(2\omega t)\cos(\theta) - \text{sen}(2\omega t)\text{sen}(\theta) = \cos(2\omega t + \theta)$$

Assim, a saída da multiplicação do sinal original pelo sinal de referência é dada por:

$$V_s(t)V_r(t) = \frac{1}{2}AB \cos(\theta) + \frac{1}{2}AB \cos(2\omega t + \theta) \quad (1)$$

Para a multiplicação do sinal de entrada pelo sinal de referência com mudança de fase de 90°, tem-se:

$$V_s(t)V_r(t) = \frac{1}{2}AB \cos(\theta + 90^\circ) + \frac{1}{2}AB \cos(2\omega t + \theta + 90^\circ)$$

$$V_s(t)V_r(t) = -\frac{1}{2}AB \text{sen}(\theta) - \frac{1}{2}AB \text{sen}(2\omega t + \theta) \quad (2)$$

Assim, pelas equações (1) e (2) tem-se o resultado dos dois sinais multiplicados.

Observa-se que existe uma componente que possui o dobro da frequência do sinal de entrada, para que essa componente nas equações (1) e (2) desaparecem o sinal é filtrado por meio de um filtro passa-baixa.

Assim, as equações (1) e (2) ficam da seguinte forma, respectivamente:

$$X = \frac{1}{2}AB \cos(\theta) \quad (3)$$

$$Y = -\frac{1}{2}AB \text{sen}(\theta) \quad (4)$$

Para se obter o módulo e a fase do sinal de entrada em relação ao sinal de referência,

tem-se:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right) \quad (6)$$

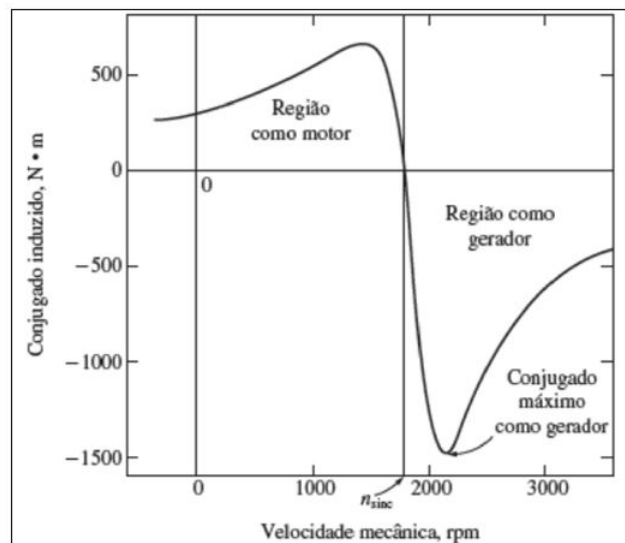
A partir das equações de (3) a (4) é possível recuperar completamente o sinal de entrada, que é justamente a função do amplificador *lock-in*.

## MÁQUINAS DE INDUÇÃO TRIFÁSICA

As máquinas de indução trifásicas são o principal tipo de máquina e provém força motriz na indústria. É uma máquina de construção simples e robusta, de fácil manutenção e instalação.

Uma característica muito importante desse tipo de máquina é que ela pode trabalhar tanto como motor, quanto como gerador, e a região de operação da mesma depende da velocidade a que a mesma está operando. A Fig. 3 ilustra as regiões de operação da máquina de indução.

**Figura 3 - Regiões de operação da máquina de indução.**



Fonte: [22].

A partir da análise da Fig. 3 pode-se observar que para a máquina de indução operar como gerador sua velocidade de trabalho deve ser maior que a velocidade síncrona. E para que a máquina de indução opere como motor sua velocidade de trabalho deve ser menor que a velocidade síncrona. Neste presente trabalho será estudado o comportamento da máquina quando a mesma está operando como gerador, em especial, quando a mesma está acoplada a uma carga com alto teor inercial. Segundo [23], esse tipo de carga é necessário um alto torque para que a mesma saia da inércia, no entanto, após essa carga chegar em sua velocidade de operação a mesma não possui nenhum tipo de torque exigido.

## Modelagem matemática da máquina de indução trifásica

Nesta seção será apresentada as principais equações da modelagem matemática das máquinas de indução trifásica. Todas as equações apresentadas nesta seção do trabalho possuem como referência [24].

Para que se consiga obter o modelo dinâmico da máquina de indução trifásica é mais comum e mais simples utilizar um outro sistema de referência. Dessa maneira, para a análise dinâmica da máquina de indução trifásica as variáveis existentes no sistema de coordenadas abc serão transformadas em várias no sistema dq0.

O desenvolvimento das equações obtidas é de certo modo trabalhoso e extenso, sendo que o desenvolvimento será suprimido deste trabalho. As equações apresentadas a seguir representam de forma resumida as equações do estator e do rotor da máquina de indução trifásica no sistema dq0.

$$V_s^{qd0} = \frac{\omega}{\omega_b} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \psi_s^{qd0} + \frac{1}{\omega_b} \frac{d(\psi_s^{qd0})}{dt} + r_s^{qd0} i_s^{qd0} \quad (7)$$

$$V_r^{qd0} = \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \psi_r^{qd0} + \frac{1}{\omega_b} \frac{d(\psi_r^{qd0})}{dt} + r_r^{qd0} i_r^{qd0} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_{ds} \\ \psi_{ds} \\ \psi_{0s} \\ \psi'_{qr} \\ \psi'_{dr} \\ \psi'_{or} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1s} + x_m & 0 & 0 & x_m & 0 & 0 \\ 0 & x_{1s} + x_m & 0 & 0 & x_m & 0 \\ 0 & 0 & x_{1s} & 0 & 0 & 0 \\ x_m & 0 & 0 & x'_{1r} + x_m & 0 & 0 \\ 0 & x_m & 0 & 0 & x'_{1r} + x_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x'_{1r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{0s} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \\ i'_{or} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{p}{2\omega_r} \left[ \frac{\omega}{\omega_b} (\psi_{ds} i_{ds} - \psi_{qs} i_{ds}) + \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} (\psi'_{qr} i'_{qr} - \psi'_{dr} i'_{qr}) \right] \quad (10)$$

onde,

$\psi$  se relaciona aos fluxos concatenados;

$\omega$  se relaciona às velocidades angulares;

$V$  são as tensões de alimentação da máquina

$i$  são as correntes que circulam pelos enrolamentos da máquina

$r$  são as resistências da máquina

$T_{em}$  é o torque eletromagnético da máquina

$p$  é o número de polos da máquina.



## METODOLOGIA

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento dinâmico da máquina de indução trifásica em várias regiões de operação, em especial determinar o ângulo de fase entre a corrente e a tensão, de modo a se obter o fator de potência instantâneo da máquina.

Para verificar o comportamento dinâmico da máquina e se conseguir obter os sinais de corrente correspondentes foram realizadas algumas simulações a partir do modelo dinâmico construído, sendo que tais simulações são as seguintes:

1. Partida da máquina em condições de torque nominal;
2. Partida da máquina em condições de torque de 1Nm;
3. Partida da máquina em condições de torque de 2Nm;
4. Partida da máquina em condições de torque nominal negativo (operando como gerador);
5. Partida da máquina em condições de torque nominal de -1Nm (operando como gerador);
6. Partida da máquina em condições de torque nominal de -2Nm (operando como gerador);
7. Variação da condição de operação da máquina, ora como motor, ora como gerador.

Para a realização das simulações propostas utilizou-se como referência os seguintes equipamentos:

- Máquina de indução trifásica de 1CV, 220V, 60Hz;
- Carga inercial de 0.1 kg.m<sup>2</sup>;
- Alimentação com tensões e frequência nominais e equilibradas.

O filtro projetado possui as seguintes características

- Tipo do filtro: Chebyshev do tipo 2;
- Frequência da banda de passagem: 90Hz;
- Ordem do filtro: 6<sup>a</sup> ordem;
- Atenuação mínima da banda de rejeição: 30dB;

## RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir da utilização da metodologia proposta. A seção está dividida de modo a garantir uma sequência lógica de informações, assim inicialmente é apresentado o filtro passa-baixa projetado, após é

apresentado os sinais de corrente e tensão e tensão obtidos e o ângulo obtido a partir da utilização do amplificador *lock-in* como detector sensível à fase.

## Filtro passa-baixa projetado

Nesta seção será apresentado o filtro passa-baixa projetado, as características utilizadas para o projeto do mesmo foram ilustradas na seção anterior.

O projeto do filtro foi realizado com o auxílio do software Matlab®. A função de transferência do filtro obtido é ilustrada a seguir.

$$H(s) = \frac{3,3089}{0,0001s^2 + 0,0169s + 3,3089}$$

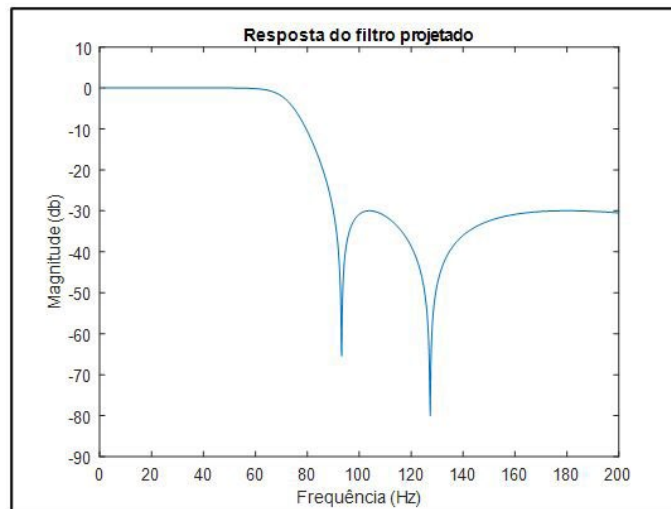
Os pólos desse filtro são:

- $(-6,5252 \pm j2,9203) * 100;$
- $(-2,8231 \pm j4,7153) * 100;$
- $(-0,7334 \pm j4,5715) * 100.$

Pela análise dos pólos observa-se que o filtro projetado é estável pois todos os seus pólos possuem parte real negativa.

A resposta em frequência do filtro é mostrada na Fig. 4.

**Figura 4 - Resposta em frequência do filtro projetado.**

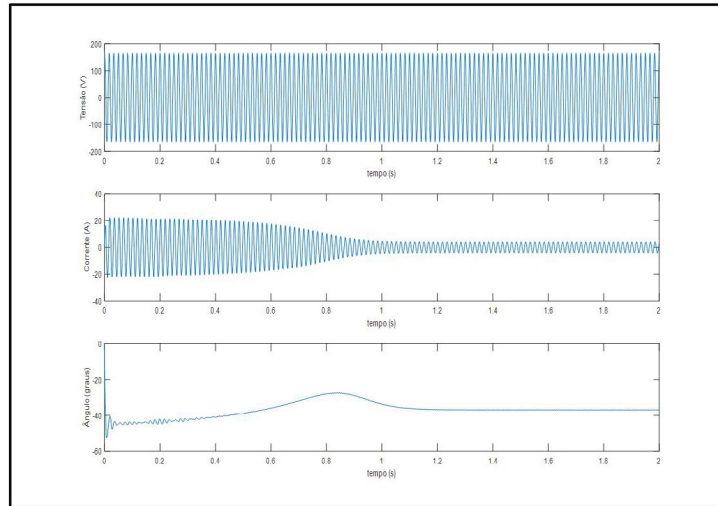


Pode-se observar que o filtro projetado possui a resposta de frequência de acordo com o que se pretendia em projeto, uma vez que a faixa de frequência desse estudo se baseia na frequência de 60Hz, que é a frequência de alimentação da máquina de indução trifásica.

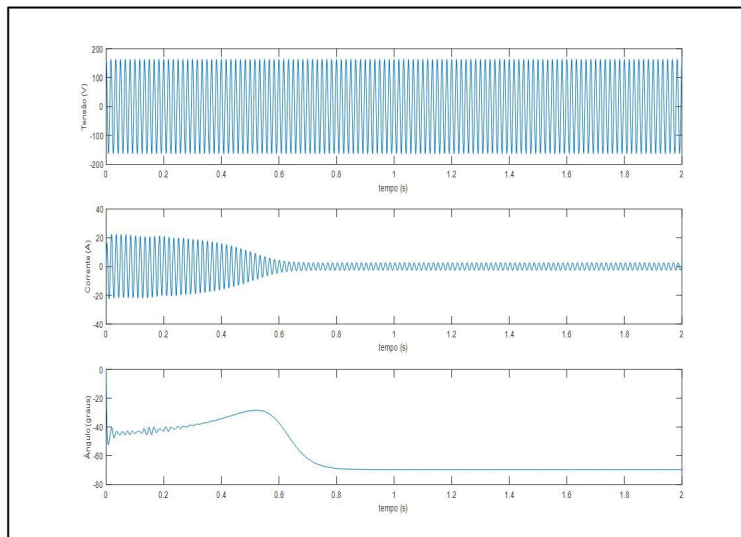
## Ângulo de fase entre o sinal de corrente e o sinal de tensão

Nesta seção será apresentado a utilização do amplificador *lock-in* para identificar o ângulo de fase do sinal de corrente para os 7 casos analisados.

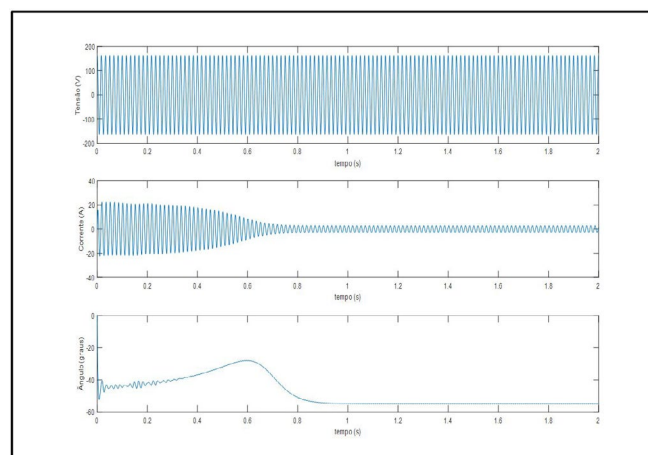
Para o primeiro caso, utilizou-se o torque nominal do motor, os resultados são ilustrados na Fig. 5.

**Figura 5 - Tensão, corrente e ângulo para o primeiro caso.**

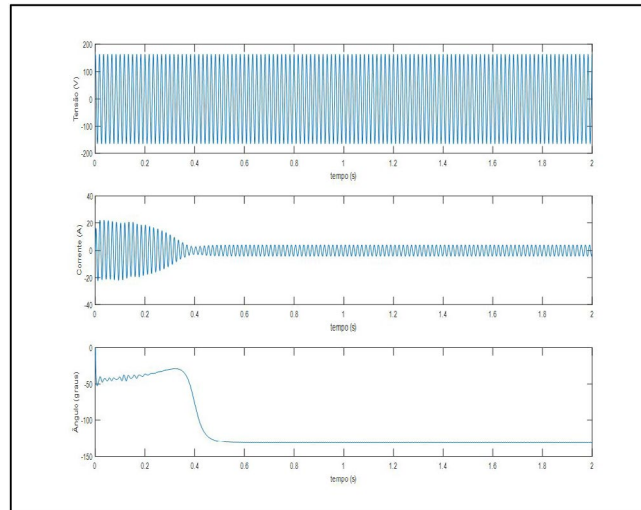
Para o segundo caso, utilizou-se o torque nominal do motor, os resultados são ilustrados na Fig. 6.

**Figura 6 - Tensão, corrente e ângulo para o segundo caso.**

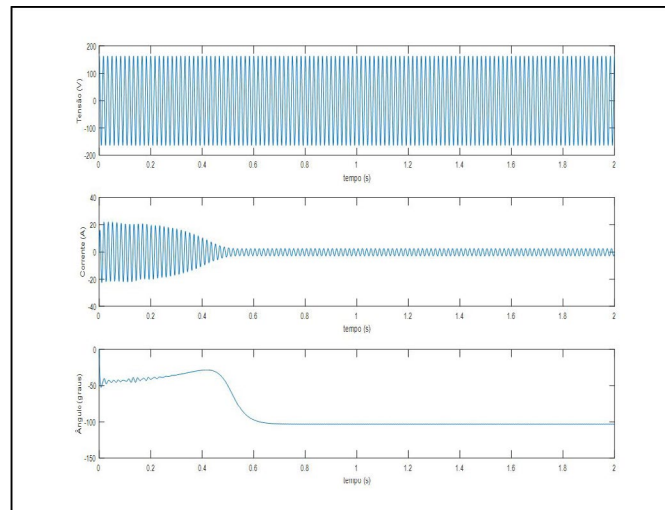
Para o terceiro caso, utilizou-se o torque nominal do motor, os resultados são ilustrados na Fig. 7.

**Figura 7 - Tensão, corrente e ângulo para o terceiro caso.**

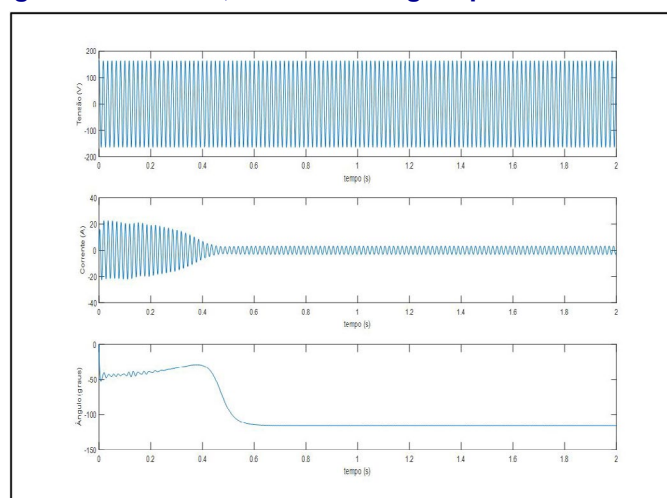
Para o quarto caso, utilizou-se o torque nominal do motor, os resultados são ilustrados na Fig. 8.

**Figura 8 - Tensão, corrente e ângulo para o quarto caso.**

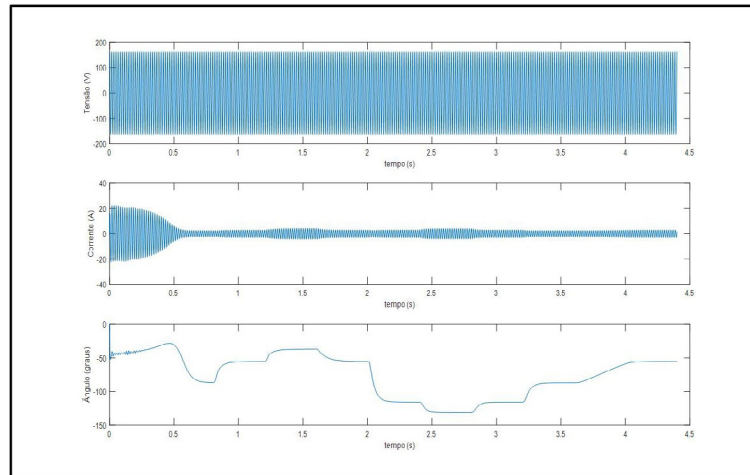
Para o quinto caso, utilizou-se o torque nominal do motor, os resultados são ilustrados na Fig. 9.

**Figura 9 - Tensão, corrente e ângulo para o quinto caso.**

Para o sexto caso, utilizou-se o torque nominal do motor, os resultados são ilustrados na Fig. 10.

**Figura 10 - Tensão, corrente e ângulo para o sexto caso.**

Para o sétimo caso, utilizou-se o torque nominal do motor, os resultados são ilustrados na Fig. 11.

**Figura 11 - Tensão, corrente e ângulo para o sexto caso.**

Ao analisar-se as figuras de 5 a 11 observa-se que o ângulo apresentado pelo amplificador *lock-in* vai de encontro ao ângulo do sinal estudado, dessa maneira, a partir do ângulo do sinal de corrente e do ângulo do sinal de tensão, pode-se calcular o valor do fator de potência.

Observa-se que para os casos em que a máquina opera como motor o ângulo relativo da corrente está no quarto quadrante, ou seja, entre  $0^\circ$  e  $-90^\circ$ . Enquanto quando a máquina opera como gerador o ângulo da corrente está no terceiro quadrante, ou seja, entre  $-90^\circ$  e  $-180^\circ$ .

Analisando o ângulo relativo entre a tensão e corrente, e sabendo que o ângulo da tensão é o ângulo de referência ( $0^\circ$ ), o ângulo relativo quando a máquina opera como motor está no primeiro quadrante (consumo de potência ativa e reativa), e quando a máquina opera como gerador o ângulo está no segundo quadrante (consumo de potência reativa e geração de potência ativa).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização deste presente trabalho pode-se observar que o amplificador *lock-in* possui diversas aplicações nas mais variadas áreas do conhecimento. Tal amplificador é uma ferramenta muito útil para Determinação do ângulo de fase de um determinado sinal.

Apesar do amplificador *lock-in* poder ser utilizado em inúmeras aplicações, observa-se que suas bases matemáticas são relativamente simples, o que torna esse tipo de amplificador ainda mais interessante de ser estudado.

Observa-se que o amplificador *lock-in* de duas fases possui uma grande vantagem em relação ao de uma fase apenas, pois a partir dele é possível a recuperação de todo o sinal de interesse.

No caso específico deste trabalho, foi possível recuperar o ângulo de fase do sinal de interesse de modo a se conseguir um ângulo de fase relativo entre a tensão e corrente que alimenta uma máquina de indução trifásica.

## REFERÊNCIAS

- [1] Y. C. Yoon and H. Leib, "Maximizing SNR in improper complex noise and applications to CDMA," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 1, no. 1, pp. 5–8, 1997, doi: 10.1109/4234.552140.
- [2] Analog Devices, "Balanced Modulator / Demodulator AD630," p. 20, 2016.
- [3] Y. Choo and G. K. Choi, "On Pascal matrix for transforming lowpass analog filter to bandpass digital filter," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 16, no. 2, pp. 77–80, 2009, doi: 10.1109/LSP.2008.2009838.
- [4] J. Aguirre, N. Medrano, B. Calvo, and S. Celma, "Lock-in amplifier for portable sensing systems," *Electron. Lett.*, vol. 47, no. 21, pp. 1172–1173, 2011, doi: 10.1049/el.2011.2472.
- [5] K. Kishore and S. A. Akbar, "Evolution of Lock-In Amplifier as Portable Sensor Interface Platform: A Review," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 18, pp. 10345–10354, 2020, doi: 10.1109/JSEN.2020.2993309.
- [6] A. De Marcellis, G. Ferri, A. D'Amico, C. Di Natale, and E. Martinelli, "A fully-analog lock-in amplifier with automatic phase alignment for accurate measurements of ppb gas concentrations," *IEEE Sens. J.*, vol. 12, no. 5, pp. 1377–1383, 2012, doi: 10.1109/JSEN.2011.2172602.
- [7] M. Poik, D. Kohl, M. Mayr, C. Kerschner, and G. Schitter, "A mechatronic lock-in amplifier: Integrating demodulation in sensor electronics for measuring mechanical oscillations," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, 2021, doi: 10.1109/TIM.2020.3047208.
- [8] L. L. Amplifier, M. Nakanishi, and Y. Sakamoto, "Analysis of First-Order Feedback," vol. 43, no. 8, 1996.
- [9] P. M. Maya-Hernández, M. T. Sanz-Pascual, and B. Calvo, "CMOS Low-Power Lock-In Amplifiers with Signal Rectification in Current Domain," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 64, no. 7, pp. 1858–1867, 2015, doi: 10.1109/TIM.2014.2366978.
- [10] A. Hu and V. P. Chodavarapu, "CMOS optoelectronic lock-in amplifier with integrated phototransistor array," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 4, no. 5, pp. 274–280, 2010, doi: 10.1109/TBCAS.2010.2051438.
- [11] R. Davies and G. Meuli, "Development of a digital lock-in amplifier for open-path light scattering measurement," *ISIEA 2010 - 2010 IEEE Symp. Ind. Electron. Appl.*, no. Isiea, pp. 50–55, 2010, doi: 10.1109/ISIEA.2010.5679498.
- [12] T. M. L. Amplifier, G. Marcati, and A. Alves, "Enhanced Frequency Resolution Two-Channel," vol. 70, 2021.
- [13] J. Aguirre, D. García-Romeo, N. Medrano, B. Calvo, and S. Celma, "Square-signal-based algorithm for analog lock-in amplifiers," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 10, pp. 5590–5598, 2014, doi: 10.1109/TIE.2014.2300054.
- [14] C. Zhang, H. Liu, J. Ge, and H. Dong, "FPGA-Based Digital Lock-in Amplifier with High-Precision Automatic Frequency Tracking," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 123114–123122, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006070.



- [15] M. O. Sonnaillon, R. Urteaga, and F. J. Bonetto, "High-frequency digital lock-in amplifier using random sampling," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 3, pp. 616–621, 2008, doi: 10.1109/TIM.2007.911584.
- [16] F. Paz and M. Ordonez, "High-Performance Solar MPPT Using Switching Ripple Identification Based on a Lock-In Amplifier," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 6, pp. 3595–3604, 2016, doi: 10.1109/TIE.2016.2530785.
- [17] T. Shirane and M. Ito, "Measurement of hysteresis loop on soft magnetic materials using lock-in amplifier," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 48, no. 4, pp. 1437–1440, 2012, doi: 10.1109/TMAG.2011.2174147.
- [18] R. Tanaka, M. Sasaki, and T. Shirane, "Temperature dependence of minor hysteresis loop in NiZn ferrite measured by lock-in amplifier," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 51, no. 1, pp. 2–5, 2015, doi: 10.1109/TMAG.2014.2357415.
- [19] S. Kotler, N. Akerman, Y. Glickman, A. Keselman, and R. Ozeri, "Single-ion quantum lock-in amplifier," *Nature*, vol. 473, no. 7345, pp. 61–65, 2011, doi: 10.1038/nature10010.
- [20] D. Treichel, S. K. Sengupta, J. M. Farnham, and J. E. Whitten, "Topics in Chemical Instrumentation A Simple Low-Cost Lock-In Amplifier for the Laboratory W," *J. Chem. Educ.*, vol. 82, no. 9, pp. 1399–1401, 2005.
- [21] R. Astuto, A. Nunes, and M. P. D. E. Albuquerque, "O amplificador," pp. 1–17, 2007.
- [22] CHAPMAN, Stephen J. *Fundamentos de máquinas elétricas*. AMGH editora, 2013.
- [23] Hughes, Austin; Drury, Bill. *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. Newnes, 2019.
- [24] ONG, Chee-Mun *et al.* *Dynamic simulation of electric machinery: using MATLAB/SIMULINK*. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall PTR, 1997.

## Pedalandando para o conhecimento

Eduardo Vedovetto Santos

Engenheiro Civil, Universidade Estadual de Maringá – UEM

### RESUMO

No sistema de transporte urbano, o uso da bicicleta tem voltado a ganhar espaço. A prática do ciclismo como atividade física ou sua utilização como forma sustentável e econômica de meio de transporte, vem crescendo e se desenvolvendo nos últimos anos, especialmente em cidades interioranas. Entretanto, os usuários que utilizam desse meio se deparam com a escassez ou falta de infraestrutura para se deslocarem. Em alguns municípios já se nota um planejamento urbano com a iniciativa de priorizar a acessibilidade de pedestres e a inserção de infraestrutura para formas limpas de meio transporte, seja adequando as vias existentes ou construindo novas vias dentro desses conceitos. Assim, este trabalho visa a elaboração de um projeto técnico de infraestrutura cicloviária que conecte o Instituto Federal de Cascavel-PR a principal ciclovia do município, fornecendo uma alternativa sustentável e segura de locomoção para estudantes e funcionários que não possuem ou desejam minimizar a utilização de veículos automotores. Para a concepção do projeto, foram realizados estudos topográficos, análises de fluxo de tráfego e verificação das geometrias viárias existentes, sendo definidas as vias mais adequadas para o sistema cicloviário projetado. O dimensionamento do projeto geométrico teve como base as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura Urbana de Transportes - DNIT. Para o projeto de sinalização horizontal e vertical, utilizou-se as recomendações do Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN. Para o desenvolvimento do projeto técnico foram utilizadas ferramentas computacionais, como AutoCAD, REVIT e Excel. Foi produzido o projeto técnico, em arquivos de extensão dwg e PDF, afim de possibilitar a execução futura do projeto, desenvolvendo a urbanização, a mobilidade e a saúde dos munícipes.

**Palavras-chave:** bicicleta. transporte. infraestrutura.

### ABSTRACT

In the urban transport system, the use of bicycles has gained ground again. The practice of cycling as a physical activity or its use as a sustainable and economical form of transport has been growing and developing in recent years, especially in rural cities. However, users who use this method are faced with a scarcity or lack of infrastructure to travel. In some municipalities, urban planning is already underway with the initiative to prioritize pedestrian accessibility and the insertion of infrastructure for clean forms of transport, either by adapting existing roads or building new roads within these concepts. Thus, this work aims to develop a technical cycle infrastructure project that connects the Federal Institute of Cascavel-PR to the



city's main cycle path, providing a sustainable and safe alternative for transportation for students and employees who do not have or wish to minimize the use of auto-vehicles. To design the project, topographic studies, traffic flow analyzes and verification of existing road geometries were carried out, defining the most suitable roads for the designed cycle system. The design of the geometric project was based on the standards of the National Department of Urban Transport Infrastructure - DNIT. For the horizontal and vertical signage project, the recommendations of the National Traffic Council - CONTRAN were used. To develop the technical project, computational tools were used, such as AutoCAD, REVIT and Excel. The technical project was produced, in dwg and pdf files, in order to enable the future execution of the project, developing urbanization, mobility and the health of citizens.

**Keywords:** bicycle. transport. infrastructure.

## INTRODUÇÃO

O uso da bicicleta como meio de transporte cresce no meio urbano das cidades brasileiras de tal forma que começa a tomar a atenção dos planejadores urbanos. Segundo Assunção e Araújo (2008) esta realidade torna notável a necessidade de adequação dos espaços urbanos, a fim de garantir o acesso de todas as pessoas à mobilidade com segurança.

O conceito de mobilidade deve englobar o ato de deslocamento em diversas formas, do coletivo ao individual. Nesse contexto, o uso da bicicleta como meio de transporte tornou-se de grande importância nos planos de mobilidade urbana (GALEAZZI, 2019).

Dados de uma pesquisa qualitativa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2017), a fim de entender quais os cenários futuros e fatores de sustentabilidade para redes cicloviárias, apontam que o Brasil tem um número maior de bicicletas em relação à quantidade de carros, sendo 50 milhões de bicicletas contra 41 milhões de veículos, mas somente cerca de 7% das viagens urbanas são feitas em bicicletas, marca que pode chegar até 40%.

No oeste do estado do Paraná, as cidades de Cascavel e Toledo deram início a remodelação do espaço urbano seguindo as tendências mundiais. Ao revitalizar parte das calçadas, garantiram a acessibilidade e implementação das primeiras ciclovias e pistas de caminhada, que já estão sendo utilizadas pela população (RANCY, 2020).

Assim, este trabalho visa a elaboração de um projeto técnico de infraestrutura cicloviária que acesse os principais pontos educacionais do município de Cascavel-PR, fornecendo uma alternativa sustentável e segura de locomoção para estudantes e funcionários que não possuem ou desejam minimizar a utilização de veículos automotores.

## JUSTIFICATIVA

A prática do ciclismo como forma sustentável e econômica de meio de transporte e também como atividade física, vem se desenvolvendo nos últimos anos. Entretanto, os usuários que utilizam desse meio se deparam com a escassez ou falta de infraestrutura para se deslocarem em trajetos urbanos.

A utilização sem critério de acostamentos por ciclistas tem levado a constantes problemas de colisões e atropelamentos no trânsito urbano, tanto com veículos automotores como com pedestres. A falta de segurança, e ainda, a sensação de insegurança, inibe a realização de trajetos urbanos que poderiam ser desenvolvidos com a bicicleta.

Boareto (2021), ressalta que a utilização da bicicleta abrange inúmeras situações, como a qualidade da infraestrutura dos transportes, os congestionamentos, a demanda do transporte público, a taxa de mortes no trânsito, o consumo de combustíveis e a poluição causada pela emissão dos gases.

Por meio da utilização da bicicleta nos meios urbanos, pretende-se fortalecer o conceito de mobilidade urbana para cidades sustentáveis, a fim de aumentar a inclusão social, a integração entre os diferentes meios de transporte e o desenvolvimento no território do município, enquanto reduz a quantidade de agentes poluentes e aumenta qualidade da saúde populacional, contribuindo também para o acesso universal à cidade. (BRASIL, 2012, art1º, art2º).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Este trabalho visa a elaboração de um projeto técnico de infraestrutura cicloviária que acesse os principais pontos educacionais do município de Cascavel-PR.

### **Objetivos específicos**

- a) desenvolver uma revisão bibliográfica dos modelos e normas para a implantação de infraestruturas cicloviárias e dos parâmetros para os sistemas;
- b) realizar uma pesquisa de campo nos pontos educacionais sobre a utilização de bicicletas;
- c) fornecer os documentos construídos nesse trabalho ao município, de forma a possibilitar a execução de uma obra que resulte em melhorias da mobilidade urbana, maior saúde dos usuários e diminuição da poluição no meio ambiente.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Bicicleta na Mobilidade Urbana**

A bicicleta até se tornar o veículo que conhecemos, passou por inúmeras transformações. No decorrer da história, foi um meio de locomoção muito importante, todavia, perdeu espaço para os veículos motorizados. Entretanto, nos anos 2000 seu papel como veículo foi resgatado, sendo utilizada na prática de lazer, esportes e até mesmo para percursos casa/trabalho, substituindo para muitas pessoas, o uso de automóveis (PEDROSA; ANDRADE, 2017).

Segundo o levantamento da Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (ABRACICLO, 2021), atualmente o Brasil é o quarto produtor mundial de bicicletas, com uma frota nacional de mais de 70 milhões de unidades.

De acordo com o Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento - ITDP (2015) a bicicleta atua como um moderador socioeconômico ao possibilitar à população acesso ao lazer, locomoção ao trabalho e serviços existentes na região. Como é um transporte movido à propulsão humana, melhora a qualidade de vida dos usuários trazendo benefícios à saúde. Ressalta ainda que, a incorporação da bicicleta na matriz de transporte auxilia na qualidade ambiental ao reduzir a emissão de gases poluentes na atmosfera, e, promove o contato da população entre si, contribuindo para laços de cidadania e solidariedade.

Um dos principais desafios da mobilidade cicloviária é a inserção da bicicleta no ambiente urbano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007). A mobilidade através deste modal precisa ser tratada como um produto a ser utilizado pela população, e cabe aos órgãos públicos incentivar o transporte cicloviário, além de sinalizar a importância do tema para a sociedade de modo a garantir o sucesso da implantação de políticas cicloviárias (XAVIER, 2011).

## Infraestrutura Cicloviária

A concepção de infraestrutura cicloviária baseia-se no conjunto de ações voltadas para a circulação reservada ou não de bicicletas. Conforme o Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas do Departamento Nacional de Infraestrutura Urbana de Transportes – DNIT (2010), a escolha de um tipo de via para ciclistas depende de inúmeros fatores, como por exemplo a habilidade dos usuários, as condições do corredor disponível e dos seus custos.

O Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (2010) apresenta os três principais tipos de vias para ciclos: pistas compartilhadas, ciclofaixas e ciclovias.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro - CTB Lei 9.503 de 23 de setembro de 1997, na ausência de infraestrutura para bicicletas, seja ciclovias, ciclofaixas ou acostamento, é garantida a circulação de bicicletas nas ruas, no mesmo sentido dos demais veículos, assim como preferência sobre os veículos motorizados, chamando-se de pista compartilhada. O DNIT (2010) em seu Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas (2001), complementa que a maioria do tráfego de bicicletas ocorre em ruas e rodovias que geralmente não foram projetadas para este fim.

As ciclofaixas, segundo Gondim (2010), são faixas localizadas na pista de rolamento ou calçadas, delimitadas por sinalização específica, sem utilização de separador físico. Seu objetivo principal é regulamentar o trânsito de ciclistas e motoristas, disciplinando seus movimentos.

As principais vantagens da implementação de ciclofaixas é que elas são mais econômicas e podem ser executadas de forma mais rápida. Elas atraem uma demanda reprimida, com novos usuários que se encorajam a usar a bicicleta em seus deslocamentos, devido à maior sensação de segurança em relação às vias sem infraestrutura adequada

(ITDP, 2017).

Conforme o Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas do DNIT (2010) as ciclofaixas devem ser preferencialmente unidirecionais, no mesmo sentido de circulação e localizadas no bordo direito da via.

Já as ciclovias podem ser caracterizadas de diversas maneiras. A definição mais comum corresponde ao espaço em desnível com relação à via, separada por elemento físico delimitador, sendo um elemento geométrico ou área verde. Referente a sua localização na via pública, elas podem estar dispostas nas vias laterais das pistas, em canteiros centrais e nas calçadas. Fora da via pública pode ser localizada em áreas não edificáveis, faixa de domínio e parques públicos (BRASIL, 2015a)

O DNIT (2010) menciona que as ciclovias devem ser criadas para atender a área em que o tráfego de bicicletas não é servido pelo sistema viário e existe espaço disponível para sua construção. Sua utilização é mais comum ao longo de rios, praias, antigos leitos de ferrovias e parques. Quanto ao sentido de tráfego, a ciclovia pode ser unidirecional ou bidirecional.

Para Vaccari e Fanini (2011), no Brasil é mais comum a adoção da ciclovia bidirecional, que varia conforme o porte da cidade. Frequentemente é adotada nos grandes centros urbanos com a finalidade de lazer e, no interior do país, como ciclovia funcional.

## Normas técnicas

As principais referências acerca do assunto são o Caderno de Referência para elaboração do Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades (2007), o Manual de projeto geométrico de travessias urbanas do DNIT (2010), o Manual de Planejamento Cicloviário de GEIPOT (2001), o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume VIII - Sinalização Cicloviária do CONTRAN (2022).

O Caderno de Referência para elaboração do Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades (2007), instrumento para formulação e desenvolvimento da mobilidade urbana, baseia-se nas características locais e regionais. Além de trazer referências, diretrizes e requisitos para os municípios implementarem a circulação de meios de transporte não motorizado, de modo que contribua para um desenvolvimento sustentável da cidade, ele traz os elementos básicos que devem ser considerados na elaboração de projetos cicloviários.

O Manual de projeto geométrico de travessias urbanas do DNIT (2010) reúne informações essenciais para a elaboração de projetos geométricos de travessias urbanas por rodovias federais, de acordo com as normas em vigor no país.

O Manual de Planejamento Cicloviário de GEIPOT (2001) dispõe de normas, regras e exemplos de técnicas para a construção de infraestrutura em áreas urbanas e traz também recomendações quanto à geometria, à sinalização, às dimensões de ciclovias e ciclofaixas.

O Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume VIII - Sinalização Cicloviária do CONTRAN (2022), trata de subsistema da sinalização viária, utilizando sinais apostos em placas fixadas na posição vertical, ao lado ou suspensas sobre a pista, para transmitir mensagens, mediante símbolos e/ou legendas.



## O município de Cascavel-PR

Segundo a Prefeitura de Cascavel (2022), o município é conhecido como a Capital do Oeste Paranaense, por ser o polo econômico da região e um dos maiores municípios do Paraná, que segundo dados do IBGE (2022), teve uma população estimada em 2021 de 336.073 pessoas.

A topografia privilegiada facilitou seu desenvolvimento e permitiu a construção de ruas e avenidas largas, com bairros bem distribuídos, diz a Prefeitura de Cascavel (2022). De acordo com o IBGE (2022), em 2021, Cascavel contava com 55,2% de vias públicas urbanizadas e 264.285 veículos automotores, gerando uma proporção de 0,79 veículos por habitante.

Com a alta proporção entre habitantes e veículos criou-se o Conselho de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Cascavel - CODESC, com a missão de estimular a transformação de ambientes urbanos, visando garantir o transporte coletivo atrativo com facilidade e qualidade a toda população, desenvolvendo programas de integração intermodal, oferecendo acessibilidade plena e promovendo cidadania, educação e cultura para a mobilidade (CODESC, 2022)

Na educação, segundo dados do IBGE (2022), Cascavel possui 54 estabelecimentos de ensino médio, com 11.956 matriculados e 988 docentes. Assim, o número de matriculados e docentes do ensino médio correspondem a aproximadamente 4,9% da frota de veículos do município.

## METODOLOGIA

### Definição do ponto de estudo

Para a escolha do ponto educacional que recebeu a infraestrutura cicloviária, observou-se as instituições de ensino que possuem ensino médio, técnico e superior, sendo atendidas aquelas que ainda não possuem interligação com o sistema cicloviário existente. Os estabelecimentos educacionais que possuem somente ensino fundamental e infantil não foram analisados por motivos de segurança, já que a maior parte dos alunos ainda desconhecem assuntos relacionados a orientação de trânsito urbano.

### Estudo das vias

Para estudo das vias a serem utilizadas, foram realizados levantamentos de rotas de acesso dos bairros e ciclovias existentes até os pontos educacionais definidos. Foram observados o número de faixas para verificação da mobilidade de trânsito das vias. Foi realizado um levantamento topográfico altimétrico, para verificação da elevação dos trechos de percurso. Também foi utilizado o software *Google Earth* como ferramenta auxiliar na definição do traçado cicloviário a ser projetado.

### Definição e caracterização das vias

Para definir quais vias receberam a infraestrutura cicloviária, foram observados os resultados da planialtimetria, afim obter um percurso com a menor elevação possível

para os usuários. Ainda foi considerado o estudo de número de faixas existente, de forma que a implantação da infraestrutura cicloviária não afete a mobilidade existente em caso de necessidade de remoção de faixas. Foi realizado um levantamento geométrico das vias definidas, medindo-se larguras de faixas, largura de guia e sarjeta, largura e tipo de calçada, acesso de veículos e pedestres, obstáculos presentes no passeio, pontos de semaforização, praças e demais elementos.

## Elaboração do projeto geométrico

A elaboração dos projetos geométricos realizou-se com o uso de normas e manuais cicloviários. Foi-se determinada a largura de implantação a partir da largura das vias existentes e do tráfego de bicicletas que se desejou proporcionar. Foi realizada a verificação de rampa para alteração no perfil da via. Através do software AutoCAD foram desenvolvidas seções transversais, perfis longitudinais e mapa de rotas.

## Elaboração do projeto de sinalização

Para a sinalização horizontal, representou-se a faixa pertencente a ciclovia, as linhas de divisão de fluxo, indicação do sentido de circulação, pontos de parada e de pedestre. Já para a sinalização vertical, indicou-se início e término da ciclovia. Através do software AutoCAD a sinalização foi representada nas transversais, perfis longitudinais e mapa de rotas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Definição do ponto de estudo

O local utilizado como objeto de estudo foi o Instituto Técnico Federal do Paraná (IFPR), localizado na rua Av. das Pombas, no bairro Floresta, como mostra a Figura 1.

**Figura 1 – Local de estudo.**

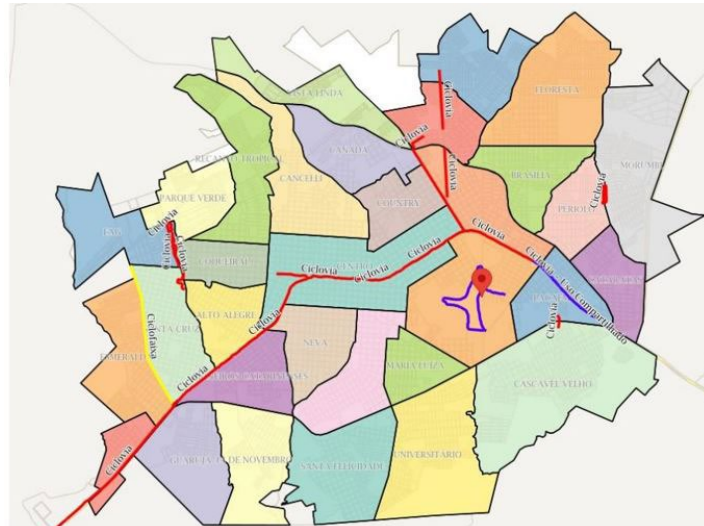


Fonte: Google Maps (2023)

## Estudo das vias

Para estudo das vias a serem utilizadas, foi realizado um levantamento de rota de acesso aos bairros e ciclovias existentes (Figura 2) até o IFPR – campus Cascavel. Foram observados o número de faixas para verificação da mobilidade de trânsito das vias, sendo que os trechos sempre acabaram apresentando sentido binário, com uma faixa para cada sentido. Desse modo, dentre os trechos analisados escolheu-se a rota através da Rua Ipanema até conexão com a Avenida Brasil (Figura 3), com uma extensão de aproximadamente 4.600 metros.

**Figura 2 – Bairros e ciclovias existentes.**



Fonte: GeoCascavel (2023). Adaptado pelo autor.

**Figura 3 – Rota definida.**



Fonte: Google Earth (2023). Adaptado pelo autor.

Foi realizado um levantamento topográfico altimétrico (Figura 4), para verificação da elevação dos trechos de percurso. A rota escolhida apresenta um desnível de aproximadamente 40 metros entre o IFPR e a Av. Brasil e uma declividade máxima de 10,7% e média de 3,8%.

Figura 4 – Declividade.

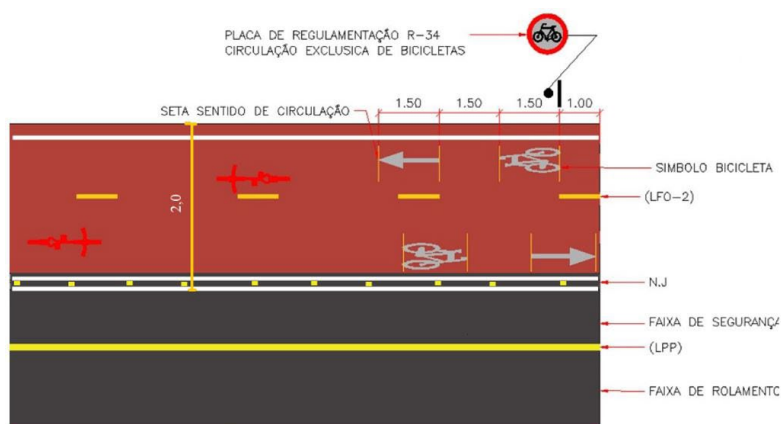


Fonte: Google Earth (2023). Adaptado pelo autor.

## Elaboração do projeto

A Figura 5 apresenta a seção transversal desenvolvida no projeto. Como solução, optou-se pela utilização de ciclofaixa de sentido bidirecional, contendo largura total de 2,0m, sendo 1,0m para cada faixa. A ciclofaixa é separada da faixa de rolamento através de faixa de retenção e pastilhas retentoras.

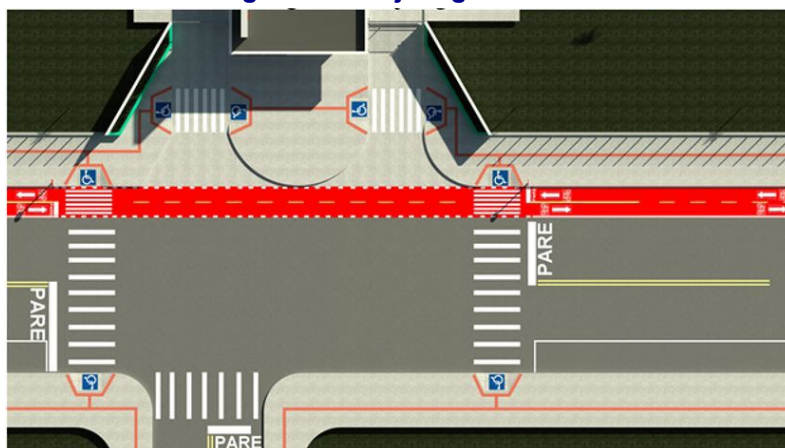
Figura 5 – Seção transversal.



Fonte: Autor (2023).

Fez-se as adaptações necessárias na plataforma existente, conforme o projeto geométrico na Figura 6. Removeu-se a faixa de estacionamento em um dos sentidos para implantação da via, de modo que não houve a necessidade remoção de postes e equipamentos do passeio. Adicionou-se rampas de acessibilidade e piso tátil ao passeio. A sinalização horizontal conta com divisão de faixas, indicação de sentido, faixa de pedestres e paradas. Ainda, possui sinalização vertical de início e fim de ciclofaixa.

Figura 6 – Projeto geométrico.



Fonte: Autor (2023).



A Figura 7 apresenta a modelagem tridimensional do projeto geométrico. Destaca-se a utilização de faixas tracejadas nas bordas da ciclofaixa, de modo a sinalizar a entrada e saída de veículos. Ainda, ressalta-se a finalização da ciclofaixa no lado superior esquerdo, com sinalização vertical de início e fim de ciclofaixa.

**Figura 7 – Modelagem tridimensional.**



**Fonte: Autor (2023).**

Para Vaccari e Fanini (2011), no Brasil é mais comum a adoção da ciclovia bidirecional, que varia conforme o porte da cidade. Frequentemente é adotada nos grandes centros urbanos com a finalidade de lazer e, no interior do país, como ciclovia funcional. As principais vantagens da implementação de ciclofaixas é que elas são mais econômicas e podem ser executadas de forma mais rápida. Elas atraem uma demanda reprimida, com novos usuários que se encorajam a usar a bicicleta em seus deslocamentos, devido à maior sensação de segurança em relação às vias sem infraestrutura adequada. É interessante ressaltar que a implantação de ciclofaixas traz um aspecto de revitalização do ambiente urbano, promovendo conforto e satisfação ao usuário da via.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da utilização da bicicleta nos meios urbanos, pretende-se fortalecer o conceito de mobilidade urbana para cidades sustentáveis, a fim de aumentar a inclusão social, a integração entre os diferentes meios de transporte e o desenvolvimento no território do município, enquanto reduz a quantidade de agentes poluentes e aumenta qualidade da saúde populacional, contribuindo também para o acesso universal à cidade.

## REFERÊNCIAS

ABRACICLO. Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e similares. Disponível em: <<https://www.abraciclo.com.br/site/press-releases-2021/2021/premio-abraciclo-dejornalismo-2021-tera-r-74-mil-em-premios/>> Acesso em: 16 de setembro de 2022.

ASSUNÇÃO, Juciara Conceição de Freitas; ARAÚJO, Maria Cristina Cavalcanti. Pelo direito de ir e vir na cidade: mobilidade urbana e inclusão social em cidade praia–Natal/RN. HOLOS, v. 1, p. 48-74, 2008.

BOARETO, Renato. Os desafios de uma Política de Mobilidade Urbana transformadora das cidades. RBC. Ribeirão Preto, 2021.

BRASIL (2015a). Ministério das Cidades. Cartilha do Ciclista. Brasília - DF, 2015. 35p.

BRASIL. Lei 9.503 de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9503.htm)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nos 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nos 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. Diário oficial da União, 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm)>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

CODESC - Conselho de Desenvolvimento Econômico Sustentável de Cascavel Transporte e Mobilidade. Disponível em: <<https://cascaveldofuturo.com.br>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito. VOLUME VIII. Sinalização Ciclovária. Brasília – DF. 2022.

DNIT/IPR - Ministério dos Transportes. Manual de projeto geométrico de travessias urbanas. Rio de Janeiro, 2010.

GALEAZZI, Ítalo. Sistema ciclovário: percepção sobre uma ciclovia em Porto Alegre - RS. Dissertação de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR) da Faculdade de Arquitetura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019.

GEIPOT. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Manual de Planejamento Ciclovário. 3ª Edição revisada e ampliada. Brasília, DF. 2001. 126p.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Disponível em: Acesso em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/cascavel/panorama>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

IPEA, Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Cidades Cicláveis: Avanços e desafios das Políticas ciclovárias no Brasil. Coelho filho, Osmar; Saccaro Junior, Nilo Luiz. Brasília: Rio de Janeiro, 2017.

ITDP. Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento. Política de Mobilidade por Bicicletas e Rede Ciclovária da Cidade de São Paulo: Análises e Recomendações, São Paulo, SP, nov 2015. 60p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Coleção Bicicleta Brasil. Programa Brasileiro de Mobilidade por Bicicleta. Caderno 1. Caderno de Referência para elaboração de: Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades. Brasília – DF, 2007.

PEDROSA, Roberta Kelly Braga Fernandes; ANDRADE, Victor. A efetividade da infraestrutura ciclovária no incentivo ao uso da bicicleta: o caso da ciclovia da Av. Roberto Silveira em Niterói/RJ. In: EDRA, F. P. M.; DECASTRO, J.; SALDANHA, L. (Orgs.) Cicloturismo urbano em foco. Niterói: FTH/UFF, p. 54-63, 2017.



PREFEITURA DE CASCAVEL, História. Disponível em: Acesso em: < <https://cascavel.atende.net/cidadao/pagina/historia>>. Acesso em: 16 de setembro de 2022.

RANCY, Sarah Janaína Rocha. Implantação de ciclovias no perímetro urbano de Capitão Leônidas Marques. *Revista Competitividade e Sustentabilidade*, v. 7, n. 1, p. 77-92. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/comsus/article/view/21076/pdf>> Acesso em: 16 de setembro de 2022.

VACCARI, Lorreine Santos; FANINI, Valter. Mobilidade urbana. Publicações temáticas da Agenda Parlamentar do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná–CREA-PR. Curitiba, 2011.

XAVIER, Giselle Noceti Ammon. O desenvolvimento e a inserção da bicicleta na política de mobilidade urbana brasileira. Tese de Doutorado, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

## Terras-Raras: um olhar atualizado e perspectivas futuras

### *Rare Earths: an updated look and future perspectives*

**Bruno Mauro Oliveira Ataide**

*Engenharia de Produção Mecânica - Universidade Paulista (UNIP). Especialização em engenharia de minas (CEEM). ORCID: 0009-0003-3263-9167*

#### RESUMO

O objetivo do artigo estudo é oferecer uma visão abrangente e atualizada sobre as Terras Raras, destacando suas características, importância industrial, desafios e possíveis direções futuras. As Terras Raras, são grupo de elementos químicos cruciais para a indústria moderna, devido à sua diversidade de aplicações e relevância estratégica. A análise contemporânea envolve exploração, uso industrial e impacto ambiental, bem como perspectivas futuras em meio a crescentes demandas por tecnologias sustentáveis, preocupações geopolíticas e iniciativas de reciclagem e substituição. No contexto brasileiro, há uma crescente conscientização sobre a importância das Terras Raras, com o governo reconhecendo a necessidade de retomar a mineração e o processamento desses elementos para garantir a autonomia estratégica na matriz energética do país. No entanto, enfatiza-se a importância de equilibrar cuidadosamente esses empreendimentos, minimizando os impactos ambientais e promovendo programas de recuperação e reciclagem para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

**Palavras-chave:** terras raras. elementos químicos. mineração. perspectiva futura.

#### ABSTRACT

The aim of this article study is to provide a comprehensive and updated view of Rare Earths, highlighting their characteristics, industrial importance, challenges, and possible future directions. Rare Earths are a group of chemical elements crucial to the modern industry due to their diverse applications and strategic relevance. Contemporary analysis encompasses exploration, industrial use, and environmental impact, as well as future prospects amidst growing demands for sustainable technologies, geopolitical concerns, and recycling and substitution initiatives. In the Brazilian context, there is a growing awareness of the importance of Rare Earths, with the government recognizing the need to resume mining and proces-



sing of these elements to ensure the country's strategic autonomy in its energy matrix. However, it is emphasized the importance of carefully balancing these endeavors, minimizing environmental impacts, and promoting recovery and recycling programs to ensure long-term sustainability.

**Keywords:** rare earths. chemical elements. mining. future perspective.

## INTRODUÇÃO

Os Elementos Terras Raras (ETR) são um grupo de elementos químicos de extraordinária importância para a indústria moderna. Eles têm despertado crescente interesse devido à sua diversidade de aplicações e à sua relevância estratégica para o desenvolvimento tecnológico e econômico (FILHO; SANTOS, 2022). Nesta direção, este artigo focará na análise dos ETR em um contexto contemporâneo, abrangendo sua exploração, uso industrial e impacto ambiental. Além disso, serão apresentadas as perspectivas futuras desses elementos, considerando as demandas crescentes por tecnologias sustentáveis, as preocupações geopolíticas e as iniciativas de reciclagem e substituição.

A crescente dependência global em relação aos ETR aliada à concentração de produção em poucos países e as preocupações relacionadas a sua extração e ao descarte de resíduos tóxicos, levantam questões críticas sobre a segurança de abastecimento, sustentabilidade ambiental e equidade geopolítica (SOUSA; GALAÇO; SERRA, 2020). Como podemos garantir o acesso contínuo a esses elementos essenciais enquanto mitigamos os impactos adversos associados a eles?

Os ETR desempenham um papel crucial em setores que vão desde eletrônicos até energias renováveis, em que a conscientização sobre a importância da sustentabilidade e da segurança de abastecimento está em ascensão (CHEISSON; SCHELTER, 2019). Compreender a situação atual e as perspectivas futuras é fundamental para orientar políticas públicas, estratégias empresariais e iniciativas de pesquisa que promovam o uso responsável desses recursos.

Diante disso, há uma necessidade premente de desenvolver estratégias de gestão mais eficazes para as ETR, envolvendo a diversificação da produção, a pesquisa em alternativas tecnológicas e a implementação de práticas de extração e processamento mais sustentáveis. A hipótese deste artigo é que, ao adotar abordagens mais abrangentes e colaborativas, podemos garantir um suprimento estável e minimizar seus efeitos negativos.

Portanto, o objetivo deste artigo é fornecer uma visão abrangente e atualizada sobre os ETR, abordando suas características, importância industrial, desafios e caminhos para o futuro.

## TERRAS RARAS

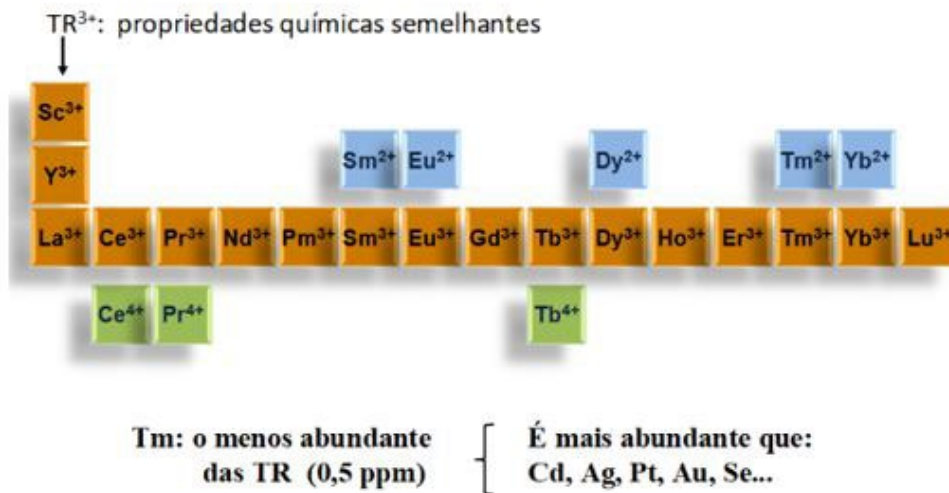
### Definição de elementos de terras raras (ERT)

Os ETR compõem um grupo de 17 elementos químicos que desempenham um papel fundamental em inúmeras aplicações industriais e tecnológicas. Este grupo inclui os 15 lantanídeos do lantânio (La) a lutécio (Lu) - além do ítrio (Y) e do escândio (Sc), como ilustrado na Figura 1, que normalmente ocorrem nos mesmos depósitos minerais que os lantanídeos e exibem propriedades físicas e químicas semelhantes (NASCIMENTO, 2023).

**Figura 1 – Elementos de Terras Raras.**

– Terras Raras (TR): La–Lu, Sc, Y (17 elementos)

– Lantanídeos (Ln): La–Lu (15 elementos)



Fonte: Hermi Brito, 2019

Na crosta terrestre, os ETR têm elevada ocorrência, com uma abundância total de cerca de 250 partes por milhão (ppm). O cério (Ce) é o elemento mais abundante entre os ETR, com uma ocorrência de cerca de 67 ppm, o que o coloca em paridade com elementos considerados comuns, como cobre e zinco. Por outro lado, o promécio não é encontrado naturalmente na superfície terrestre devido à sua instabilidade isotópica (FILHO; SANTOS, 2022).

A Tabela 1 ilustra o tamanho aproximado de 1 kg de cada elemento das Terras-Raras, medido em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) e gramas (g):

**Tabela 1 – Aplicações industriais da ERT.**

Elemento de ERT	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa (g)
Lantânio (La)	22.46	1380.6
Cério (Ce)	21.20	665.2
Praseodímio (Pr)	20.85	1041.8
Neodímio (Nd)	19.80	984.0
Promécio (Pm)	20.00	620.0
Samário (Sm)	19.65	1137.6
Európio (Eu)	18.90	826.2
Gadolínio (Gd)	19.90	1572.6

Térbio (Tb)	19.80	1613.4
Disprósio (Dy)	19.20	1645.6
Hólmio (Ho)	18.70	1694.8
Érbio (Er)	18.40	1684.8
Túlio (Tm)	18.30	1686.0
Ítérbio (Yb)	24.84	1727.8
Lutécio (Lu)	16.20	1757.0

Fonte: autor, 2023

Esses números revelam a densidade única de cada elemento, permitindo-nos apreciar a complexidade e a diversidade dessas substâncias.

## História e Origem

A história dos ETR é marcada por descobertas ao longo dos séculos XVIII e XIX. Inicialmente, esses elementos foram isolados a partir de minerais complexos que continham misturas de óxidos. O termo “ETR” foi cunhado devido à associação com óxidos metálicos e o termo “terras,” mas a designação “raras” não era precisa, pois esses elementos não eram verdadeiramente escassos (BACHA *et al.*, 2020).

No século XVIII, o mineralogista Carl Axel Arrhenius fez uma descoberta notável na Suécia ao identificar um mineral negro chamado “*ytterbite*” posteriormente conhecido como “gadolinita” ((Ce, La)CO<sub>3</sub>F). Essa amostra coletada em Ytterby, Suécia, revelou elementos como ítrio, gadolínio e térbio. (DAI; GRAHAM; WARD, 2016).

Ao longo do século XIX, a identificação de novos elementos era prestigiosa e controversa entre os químicos europeus. Carl Auer von Welsbach desempenhou um papel fundamental ao isolar neodímio e praseodímio, que foram usados em lâmpadas e isqueiros (CHEISSON; SCHELTER, 2019).

A importância dos ETR cresceu durante o século XX, especialmente durante a Segunda Guerra Mundial, quando elementos como neodímio e praseodímio foram essenciais para o projeto Manhattan, que permitiu a produção de bombas atômicas (DAI; GRAHAM; WARD, 2016).

No Brasil, a história dos ETR iniciou com a descoberta da monazita (Ce,La,Nd,Th) PO<sub>4</sub>, frequentemente encontrada em depósitos de placers marinhos, como areias de praia e deltas de rios. Um marco relevante ocorreu entre 1885 e 1890, quando John Gordon, da firma norte-americana E. Johnston & Co., exportou aproximadamente 15.000 toneladas de monazita do Brasil para a Europa, onde era usada na fabricação de camisas para iluminação a gás. O Brasil foi líder mundial na oferta de monazita até 1914, quando perdeu a posição para a Índia (LOUREIRO *et al.*, 2013; MARTINS; ISOLANI, 2015; CHEISSON; SCHELTER, 2019).

Até meados da década de 1960, o Brasil manteve sua importância como fornecedor de monazita e ETR purificadas, com a iniciativa privada, liderada por Pawel Krumholtz e a empresa ORQUIMA S.A., dominando o processo de extração e obtenção de óxidos de ETR de alta pureza. A história das ETR no Brasil é um testemunho do potencial científico

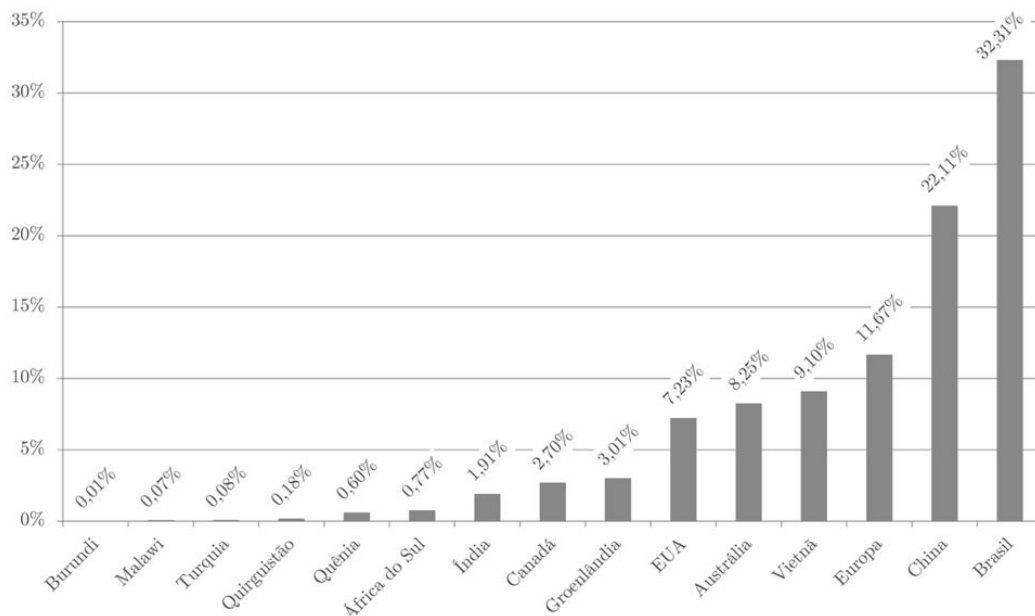
e tecnológico do país nesse campo, com contribuições notáveis para o cenário global das ETR (BACHA *et al.*, 2020; SOUSA; GALAÇO; SERRA, 2020).

Após 2010, houve um aumento na conscientização sobre a importância estratégica dos ERT, que são essenciais para a fabricação de produtos de alta tecnologia, como ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro usados em motores elétricos e ímãs de alta energia em turbinas eólicas. Isso levou a disputas comerciais e tensões geopolíticas, uma vez que a China detém uma parcela significativa da produção global de ERT (SOUSA; GALAÇO; SERRA, 2020).

## Reservas e Produção Mineral de ETR

A Figura 2 apresenta dados cruciais sobre a distribuição dos ETRs em todo o mundo, uma informação que lança luz sobre a importância estratégica desses elementos na economia global. No entanto, é fundamental ressaltar que os desafios relacionados à extração e ao processamento desses elementos estão longe de serem triviais.

**Figura 2 – Reserva e produção mundial.**



**Fonte: Lima *et al.* (2017)**

As maiores reservas comprovadas de Terras-Raras estão localizadas na China, com incríveis 44 milhões de toneladas. O Brasil ocupa a segunda posição, com 22 milhões de toneladas, o que o coloca à frente de nações como o Vietnã, Rússia, Índia e Austrália, de acordo com dados de 2018 do *United States Geological Service* (USGS) (REGAN *et al.*, 2019).

No Brasil, as ETR são encontradas em depósitos de areias monazíticas que margeiam o litoral, bem como em jazidas próximas a vulcões extintos. Algumas das áreas de destaque incluem as cidades de Araxá e Poços de Caldas, em Minas Gerais, e Catalão, em Goiás. Além disso, há também depósitos em Pitinga, no Amazonas. O potencial do Brasil nesse campo é substancialmente subestimado. Além disso, é altamente provável que as reservas brasileiras sejam muito maiores do que o que está atualmente comprovado,



especialmente na região amazônica (FUSER *et al.*, 2023)

O fato de o Brasil deter a segunda maior reserva mundial conhecida de ETR, poderia ser um trunfo significativo para a economia do país. No entanto, a exploração desses recursos tem sido limitada devido ao custo da tecnologia de extração e separação necessária. Como resultado, o Brasil se vê na posição paradoxal de importar esses elementos, principalmente da China, que é o maior produtor de ETR no mundo (MARTINS; ISOLANI, 2015; NASCIMENTO, 2023; FUSER *et al.*, 2023).

Os depósitos primários associados aos complexos carbonatíticos são os mais notáveis e de maior potencial econômico no Brasil. O complexo alcalino carbonatítico de Araxá, por exemplo, é um dos locais mais proeminentes, com uma reserva mundial significativa de nióbio (pirocloro), além de ser um depósito importante de fosfato (apatita), bário (barita) e elementos de ETR (monazita). Este complexo, situado na Província Ígnea Alto Paranaíba, é uma intrusão circular de aproximadamente 4,5 km de diâmetro, inserida em xistos e quartzitos do Grupo Ibiá (ALVARENGA *et al.*, 2023).

A exploração do minério monazítico de Araxá tem enfrentado desafios devido à forma como esses minerais estão distribuídos nos minérios e às limitações tecnológicas para processá-los. Alguns dos principais motivos pelos quais a exploração tem sido desafiadora incluem: minerais finamente disseminados, processamento complexo, impactos ambientais e dependência de tecnologia estrangeira (MARTINS; ISOLANI, 2015).

O complexo alcalino carbonatítico de Catalão, localizado no sudeste de Goiás, é uma importante região de depósito mineral que abriga uma diversidade de minerais valiosos. Este complexo é composto por várias rochas, incluindo carbonatitos, kimberlitos e kamafugitos, e contém uma variedade de mineralizações, incluindo: apatita (fosfato), pirocloro (nióbio), monazita, anatásio (titânio), barita (bário), magnetita (ferro) e vermiculita. A monazita é o mineral portador de elementos de ETR predominante neste complexo, com foco naqueles de ETR (ALVARENGA *et al.*, 2023).

No vasto mundo dos ETRs, a monazita brilha como uma fonte particularmente rica desses elementos essenciais. Quando exploramos as propriedades e as dimensões desses elementos, é possível compreender melhor o valor e a importância que eles desempenham em diversas aplicações industriais e tecnológicas (ALVARENGA *et al.*, 2023).

A mina de Pitinga, localizada em Presidente Figueiredo, no estado do Amazonas, é um dos projetos mais notáveis de exploração mineral de ETR no Brasil. Pertencente à Mineração Taboca e administrada pelo Grupo peruano Minsur, a mina tem o estanho como seu principal produto. O xenotímio, um mineral com teores elevados da fração pesada dos elementos de ETR, é o principal mineral portador de ETR encontrado na mina de Pitinga (SILVA, 2023).

A empresa australiana Meteoric Resources assinou um protocolo de intenções com o governo de Minas Gerais em 9 de agosto de 2023 e anunciou um investimento de aproximadamente R\$ 1 bilhão para explorar jazidas de ETR em Poços de Caldas. O projeto da empresa australiana está programado para entrar em operação em 2026, de acordo com estimativas do Ministério de Minas e Energia (MME) (BRAGA; BIONDI, 2023)

A empresa se concentrará na extração de argila iônica, que faz parte do chamado Projeto Caldeira. A entrada da Meteoric Resources na exploração das argilas de ETRs em Poços de Caldas representa um investimento relevante na região e pode ter um impacto positivo na economia local e na disponibilidade desses minerais essenciais para tecnologias sustentáveis (BRAGA; BIONDI, 2023).

A a superação dos desafios tecnológicos relacionados à exploração de ETR no Brasil exige investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de processamento, bem como parcerias entre o governo, a indústria e instituições acadêmicas. A entrada da empresa australiana Meteoric Resources em Poços de Caldas para explorar argilas iônicas ricas em ETRs pode representar um passo importante na direção de superar esses desafios e aproveitar o potencial desses minerais essenciais para tecnologias avançadas e sustentáveis (CHEISSON; SCHELTER, 2019).

Os depósitos e reservas brasileiras de ETR assumem uma importância estratégica cada vez maior, à medida que a demanda global por esses recursos continua a crescer. O aumento da conscientização ambiental e a busca por tecnologias verdes estão impulsionando essa demanda, tornando esses elementos indispensáveis para a transição em direção a uma economia mais sustentável e para a fabricação de dispositivos eletrônicos de alta tecnologia (CHEISSON; SCHELTER, 2019).

No entanto, a exploração e produção desses recursos enfrentam desafios significativos, que incluem preocupações ambientais e a necessidade de adotar práticas sustentáveis na mineração. Além disso, a dependência de um mercado global volátil e a competição internacional também representam fatores de considerável importância (FILHO; SANTOS, 2022).

## Cadeira produtiva

Acadeia produtiva dos ETR é crucial na economia global e na evolução de tecnologias avançadas. Técnicas específicas são adotadas para diferentes tipos de minerais portadores ETR. Por exemplo, para a monazita, a concentração é frequentemente empregada nas plantas industriais, enquanto as argilas de adsorção iônica passam diretamente pelo processo de lixiviação (SOUSA; GALAÇO; SERRA, 2020).

Na indústria, essas técnicas variam de acordo com a composição mineral dos depósitos de ETR. A China, por exemplo, é líder na produção de ETR e utiliza uma variedade de métodos para extrair esses elementos de suas reservas, incluindo a concentração mineral e processos de separação química. Os Estados Unidos, por outro lado, têm explorado minas de terras raras em Mountain Pass, Califórnia, e têm investido em técnicas de separação de ETR, como a extração por solventes (FILHO; SANTOS, 2022).

No entanto, além das técnicas convencionais, estão surgindo abordagens inovadoras para o processamento e extração de ETR. Um exemplo notável é a técnica de hidrometalurgia magnética, desenvolvida pelo grupo de pesquisa liderado pelo professor Henrique Toma, especializado em nanotecnologia no Instituto de Química da Unicamp. Essa técnica revolucionária simplifica o processo de separação de ETR, tornando-o mais eficiente e econômico (FILHO; SANTOS, 2022).

Filho e Santos (2022) ressaltam que as abordagens inovadoras para o processamento e extração de ETR estão surgindo devido ao rápido crescimento de dados não estruturados, à necessidade de lidar com relações complexas e à diversidade da linguagem natural. As estratégias convencionais muitas vezes falham em escalabilidade, captura de nuances, adaptação a domínios específicos e na lida com a linguagem variada, o que impulsiona a busca por métodos mais avançados, incluindo aprendizado de máquina e técnicas de processamento de linguagem natural avançadas, para superar essas limitações e extrair informações de maneira mais eficaz.

A hidrometalurgia magnética é uma alternativa à extração por solventes e utiliza nanopartículas magnéticas modificadas com um agente químico que captura as ETR presentes no minério. Posteriormente, um ímã de neodímio é usado para recuperar essas nanopartículas, que podem ser recicladas. Essa abordagem é altamente eficiente em comparação com as técnicas tradicionais, que envolvem reatores gigantes, que requerem grandes volumes de solventes não recicláveis e causam poluição ambiental (NASCIMENTO, 2023).

Além de ser ecologicamente mais responsável, a hidrometalurgia magnética também tem aplicações na reciclagem de ETR presentes em resíduos eletrônicos, contribuindo para a economia circular e a conservação de recursos naturais preciosos (NASCIMENTO, 2023).

No entanto, apesar do potencial dessas técnicas avançadas, há desafios a serem superados. A falta de apoio e investimento em pesquisa e desenvolvimento é um obstáculo significativo, especialmente em países como o Brasil, que possuem reservas de ETR, mas enfrentam dificuldades devido à falta de tradição em desenvolvimento tecnológico e à dependência de importações. Portanto, a promoção da inovação e o investimento em tecnologias sustentáveis são fundamentais para o futuro da extração e da cadeia produtiva dos ETR, garantindo um suprimento confiável e ambientalmente responsável desses elementos essenciais para a tecnologia moderna e a transição para uma economia mais verde (SOUZA; LIMA, 2023).

Embora os ETR sejam relativamente abundantes na crosta terrestre, a sua exploração e processamento são desafiadores. A dificuldade em separar esses elementos devido à sua similaridade química e a presença em minerais complexos limitou o seu uso industrial até o desenvolvimento de técnicas de processamento e separação (CHEISSON; SCHELTER, 2019).

Os ETR desempenham um papel crítico em uma variedade de aplicações industriais e tecnológicas. Eles são essenciais na fabricação de ímãs permanentes de alto desempenho, catalisadores automotivos, polimento e fabricação de vidros especiais, baterias de armazenamento de energia elétrica, ligas metálicas e muito mais. A sua importância reside na sua singularidade, pois não existem substitutos conhecidos que proporcionem o mesmo desempenho em diversas aplicações (SOUZA; GALAÇO; SERRA, 2020).

## Aplicações Industriais

Os ETRs, que incluem desde o lantânio até o lutécio, desempenham um papel crucial na tecnologia moderna, impulsionando avanços em eletrônicos, energia, comunicações e

saúde. É importante entender não apenas suas dimensões físicas, mas também seu valor e contribuição para nossa sociedade contemporânea.

Destaca-se ainda que esses elementos são altamente procurados devido às suas propriedades únicas e são usados em uma ampla variedade de produtos, desde ímãs de alta performance até componentes eletrônicos e sistemas de energia renovável. Portanto, a presença desses ETRs na monazita do complexo de Catalão é de grande relevância tanto para a indústria quanto para a economia brasileira (ALVARENGA *et al.*, 2023).

As ETR têm uma ampla variedade de aplicações industriais devido às suas propriedades únicas (Tabela 2).

**Tabela 2 – Aplicações industriais da ERT.**

Elemento de ERT	Aplicações Industriais
Lantânio (La)	Catalisadores, baterias de hidreto metálico, lentes de câmera
Cério (Ce)	Catalisadores, polimento de vidro e lentes, cerâmica
Praseodímio (Pr)	Ímãs de alta resistência, lâmpadas de carboneto de tungstênio
Neodímio (Nd)	Ímãs permanentes superfortes, motores elétricos
Promécio (Pm)	Fontes de energia nuclear, sensores
Samário (Sm)	Ímãs de alta resistência, conversores catalíticos
Európio (Eu)	Fósforos vermelhos, lâmpadas fluorescentes
Gadolínio (Gd)	Meios de contraste para ressonância magnética
Térbio (Tb)	Fibras ópticas, monitores de computador
Disprósio (Dy)	Ímãs de alta resistência, lasers
Hólmio (Ho)	Lasers, detectores de radiação
Érbio (Er)	Amplificadores ópticos, lasers de fibra
Túlio (Tm)	Lasers médicos, detectores de radiação
Ítérbio (Yb)	Lasers de estado sólido, detectores de radiação
Lutécio (Lu)	Detectores de radiação, janelas de alta refração

**Fonte: autor, (2023)**

Os ímãs permanentes se destacam como um exemplo notável do uso das ETR devido à sua notável força magnética duradoura. Esses ímãs desempenham um papel crucial em uma ampla gama de aplicações, desde a indústria automobilística até a geração de energia eólica. Elementos como o neodímio e o samário, presentes na ETR, desempenham uma função essencial na criação desses ímãs, permitindo a produção de dispositivos mais compactos, leves e eficientes. Eles são indispensáveis em motores elétricos, turbinas eólicas, unidades de disco rígido de computadores e até mesmo em equipamentos de ressonância magnética médica. Sem esses ímãs de alto desempenho, muitos dos avanços tecnológicos recentes simplesmente não seriam viáveis (SOUZA; LIMA, 2023).

O Neodímio (Nd), Samário (Sm) e Gadolínio (Gd) são elementos cruciais na fabricação de ímãs permanentes superfortes. Esses ímãs são amplamente utilizados em motores elétricos, turbinas eólicas, unidades de disco rígido de computadores e até mesmo em aparelhos de ressonância magnética médica. Sua força e estabilidade os tornam indispensáveis em muitas tecnologias modernas (SOUZA; LIMA, 2023).

As baterias recarregáveis de hidreto de níquel metálico (NiMH) representam outra

aplicação fundamental das ETR. A incorporação de elementos das ETR, como o lantânio e o cério, nos eletrodos dessas baterias, resulta em melhorias significativas em sua capacidade de armazenamento de energia e prolongamento de sua vida útil. Isso se traduz em baterias mais eficientes, com maior densidade de energia, tornando-as ideais para uma vasta gama de dispositivos eletrônicos, desde telefones celulares até laptops e veículos elétricos. A tecnologia NiMH desempenhou um papel crucial na promoção da adoção de veículos elétricos, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a transição em direção a uma mobilidade mais sustentável (FILHO; SANTOS, 2022).

O Lantânio (La) e o Cério (Ce) são elementos vitais na melhoria da eficiência e capacidade de armazenamento de energia dessas baterias. Elas são amplamente utilizadas em dispositivos eletrônicos, veículos elétricos e até mesmo na estabilização da rede elétrica (FILHO; SANTOS, 2022).

Além disso, as lâmpadas luminescentes, incluindo os LEDs (diodos emissores de luz), estão ganhando cada vez mais destaque devido à sua eficiência energética e durabilidade. Os elementos das ETR, como o ítrio e o europio, desempenham um papel fundamental na criação das cores vibrantes e variadas emitidas por essas lâmpadas. Os LEDs estão presentes em dispositivos de iluminação, telas de TV, monitores de computador e até mesmo em semáforos de trânsito, contribuindo para a economia global de energia elétrica e reduzindo o consumo em nossa sociedade cada vez mais consciente da eficiência energética (CARVALHO, 2023).

O Ítrio (Y) e o Europio (Eu) desempenham um papel crucial na criação de cores brilhantes e variadas em lâmpadas luminescentes e LEDs. Essas lâmpadas são usadas em dispositivos de iluminação, telas de TV, monitores de computador e semáforos de trânsito, contribuindo para a eficiência energética e a economia global de energia elétrica (CARVALHO, 2023).

Catalisadores (Cério (Ce)) é amplamente utilizado como catalisador em processos industriais, como a purificação de emissões de veículos a motor e a produção de produtos químicos. Sua capacidade de armazenar e liberar oxigênio em altas temperaturas o torna ideal para essas aplicações.

O Térbio (Tb) e o Érbio (Er) são elementos fundamentais em lasers de estado sólido e amplificadores ópticos, usados em comunicações de fibra óptica, tratamentos médicos e pesquisa científica avançada. Já o Gadolínio (Gd) e o Érbio (Er) são usados em detectores de radiação, essenciais em aplicações como medicina nuclear, segurança nuclear e pesquisas nucleares.

Gadolínio (Gd) é frequentemente utilizado como agente de contraste em ressonância magnética, tornando possível a visualização de tecidos e órgãos internos com maior clareza. E por fim Disprósio (Dy) e o Túlio (Tm) são usados em fibras ópticas de alta performance, permitindo comunicações de dados de alta velocidade e transmissão de sinais em longas distâncias.

Essas são as aplicações industriais das ETR, e seu papel na tecnologia moderna é inegavelmente relevante, impulsionando avanços em eletrônicos, energia, comunicações e saúde. À medida que a demanda por tecnologias mais eficientes e sustentáveis continua

a crescer, as ETR continuarão desempenhando um papel essencial em nossa sociedade contemporânea.

## O futuro dos ETR

O futuro dos ETR é repleto de promessas e desafios à medida que esses elementos valiosos continuam a desempenhar um papel essencial em uma ampla gama de aplicações tecnológicas e industriais (NASCIMENTO, 2023).

O futuro da produção de ETRs no Brasil requer uma abordagem equilibrada que priorize tanto a sustentabilidade quanto a eficiência no uso desses recursos preciosos. É fundamental encontrar soluções inovadoras para superar esses desafios e garantir que o país possa aproveitar plenamente seu potencial como fornecedor de ETRs, contribuindo assim para uma economia global mais verde e tecnologicamente avançada.

Para atender à crescente demanda futura, surgem propostas inovadoras, como a mineração em alto mar e a recuperação de ETR das águas residuais ácidas provenientes de minas abandonadas. Embora essas técnicas possam parecer ficção científica, a crescente demanda e os incentivos governamentais podem torná-las economicamente viáveis no futuro (ZHENG *et al.*, 2022).

Outra abordagem importante envolve o design mais inteligente de tecnologias para facilitar a reciclagem e a reutilização de ETR. A reengenharia de produtos eletrônicos, por exemplo, pode permitir que sejam facilmente reparados e atualizados, reduzindo a necessidade de descarte. Além disso, a pesquisa em métodos de recuperação de ETR a partir de resíduos eletrônicos pode reduzir a dependência da mineração e refinação (ZHENG *et al.*, 2022).

No entanto, o futuro das ETR também depende de decisões governamentais e da indústria. A China, que atualmente domina a produção global de ETR, pode desempenhar um papel significativo na determinação do futuro da indústria. O governo chinês expressou interesse em reduzir a poluição associada à produção de ETR, o que pode levar a mudanças na localização das operações e na transferência da poluição para países menos desenvolvidos (SOUZA; LIMA, 2023).

No final, a produção sustentável e socialmente justa de ETR depende da vontade dos consumidores e fabricantes de apoiar materiais produzidos de forma ética e sustentável. Além disso, a regulamentação governamental e a colaboração global são essenciais para garantir que métodos de produção sustentáveis sejam implementados efetivamente. O futuro das ETR será moldado pela capacidade da sociedade de equilibrar a demanda por tecnologia avançada com a responsabilidade ambiental e social (ZHENG *et al.*, 2022).

## Sustentabilidade nas Aplicações Industriais das Terras-Raras

Uma área em que as ETR desempenham um papel vital é a tecnologia verde. O crescimento dos parques eólicos e a transição de veículos de combustão interna para veículos elétricos aumentarão ainda mais a demanda por elementos como neodímio e disprósio, essenciais em motores de turbinas eólicas e baterias de alta performance. Essa demanda crescente representa uma oportunidade para a indústria mineradora expandir



suas operações e criar empregos, mas também levanta questões sobre a sustentabilidade e o impacto ambiental da mineração (NASCIMENTO, 2023).

A busca por um mundo mais sustentável é um dos maiores desafios da atualidade. À medida que a sociedade se conscientiza dos impactos ambientais causados pela produção e consumo de recursos, a indústria procura soluções que não apenas atendam às demandas do mercado, mas também promovam a conservação dos recursos naturais e a redução da pegada de carbono. Nesse cenário, as ETRs desempenham um papel crucial, não apenas por suas propriedades únicas, mas também pela sua contribuição para a sustentabilidade em várias aplicações industriais (FUSER, 2023).

Uma das áreas mais visíveis onde as ETRs desempenham um papel essencial é na produção de ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro (NdFeB). Esses ímãs são amplamente utilizados em motores elétricos de veículos elétricos e turbinas eólicas de alta eficiência (ALVARENGA *et al.*, 2023). A utilização de ímãs de NdFeB não apenas melhora a eficiência energética, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que veículos elétricos têm uma pegada de carbono significativamente menor em comparação com veículos a combustão interna. Além disso, a reciclagem de ímãs permanentes pode reduzir a dependência de mineração de ETRs, diminuindo os impactos ambientais associados à extração desses elementos (SILVA, 2023).

Nas baterias recarregáveis de hidreto de níquel metálico (NiMH), os elementos como lantânio e cério são incorporados nas baterias NiMH para melhorar sua capacidade de armazenamento de energia. Isso resulta em baterias mais eficientes, com maior densidade de energia, que são amplamente utilizadas em dispositivos eletrônicos, veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia (SILVA, 2023).

Portanto, os ETRs desempenham um papel crucial nas lâmpadas luminescentes, como LEDs (diodos emissores de luz). O ítrio e o europio, elementos de Terras-Raras, são responsáveis pela produção das cores brilhantes e variadas emitidas por essas lâmpadas. A eficiência energética e a longa vida útil dos LEDs contribuem significativamente para a conservação de energia e a redução do consumo (BRAGA; BIONDI, 2023).

É importante destacar que, apesar das contribuições positivas das ETRs para a sustentabilidade em várias aplicações industriais, a gestão responsável desses recursos é fundamental. Estratégias de reciclagem, pesquisa em materiais alternativos e redução do desperdício desempenham um papel importante na promoção de práticas sustentáveis (BRAGA; BIONDI, 2023).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um mundo cada vez mais dependente de tecnologia e com a crescente demanda por energias limpas e inovações tecnológicas, as ETR emergem como recursos estratégicos cruciais. Suas características únicas, como propriedades magnéticas e luminescentes, tornam-nas indispensáveis em diversas aplicações industriais, desde a fabricação de ímãs de alta potência até a produção de baterias para veículos elétricos e turbinas eólicas eficientes.

No contexto brasileiro, a conscientização sobre a importância das ETR está crescendo, e o governo reconhece a necessidade de retomar a mineração e o processamento desses elementos para garantir a autonomia estratégica do país em sua matriz energética. No entanto, esse empreendimento deve ser cuidadosamente equilibrado, minimizando os impactos ambientais e promovendo programas de recuperação e reciclagem para garantir a sustentabilidade a longo prazo.

Embora os valores envolvidos possam parecer relativamente pequenos em comparação com outras commodities, nas metas de sustentabilidade ambiental. Portanto, é imperativo que o setor produtivo e as instituições de pesquisa sejam fortemente incentivados a investir e inovar nesse campo.

Para o futuro, as implicações são claras devido que as ETR desempenharão um papel central nas transformações tecnológicas e na busca por soluções sustentáveis. O Brasil, com suas vastas reservas desses elementos, tem a oportunidade de desempenhar um papel de liderança nesse cenário global em crescimento. No entanto, o caminho adiante requer não apenas investimentos substanciais, mas também uma abordagem responsável que considere os desafios ambientais e sociais associados à mineração e ao processamento das ETR. Além disso, a colaboração global será fundamental, pois muitos países compartilham interesses e desafios semelhantes nesse campo.

Nessa direção conclui-se que a necessidade de desenvolvimento de estratégias inovadoras de processamento mineral e metalurgia extrativa é crucial para enfrentar os desafios complexos e interconectados da indústria de mineração e metalurgia no século XXI. À medida que as reservas de minerais de alta qualidade se esgotam e as preocupações ambientais se intensificam, a busca por métodos mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis torna-se imperativa. Estratégias inovadoras, como a aplicação de tecnologias avançadas de automação, o uso de processos mais eficientes em termos energéticos e a adoção de abordagens ecoeficientes, não apenas podem melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos, mas também reduzir o impacto ambiental, promovendo assim uma indústria mais responsável e sustentável.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Daniel Leite *et al.* Levantamento quantitativo e qualitativo de resíduos minerais do Estado de Goiás: estudo associado à produção mineral no período de 2010 a 2021. 2023

ASH, Soda. Mineral commodity summaries 2019. Reston, VA: US Geological Survey, 2019.

BACHA, André *et al.* Geoquímica de piroclastos intemperizados da Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas, Minas Gerais. Geologia USP. Série Científica, v. 20, n. 3, p. 63-80, 2020

CARVALHO, Agna. Avaliação da concentração de radionuclídeos de origem natural (NORM) e elementos de terras raras presentes na lama vermelha, proveniente dos estados do Pará e de São Paulo, Brasil. Editora Dialética, 2023

CHEISSON, Thibault; SCHELTER, Eric J. Rare earth elements: Mendeleev's bane, modern marvels. Science, v. 363, n. 6426, p. 489-493, 2019

- BRAGA JR, José Marques; BIONDI, João Carlos. Geology, geochemistry, and mineralogy of saprolite and regolith ores with Nb, P, Ba, REEs (+ Fe) in mineral deposits from the Araxá alkali-carbonatitic complex, Minas Gerais state, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 125, p. 104311, 2023
- DAI, Shifeng; GRAHAM, Ian T.; WARD, Colin R. A review of anomalous rare earth elements and yttrium in coal. *International journal of coal geology*, v. 159, p. 82-95, 2016
- FILHO, Victor; SANTOS, Thauan. Transição da Segurança Energética: energias limpas, minerais críticos e novas dependências. *Ambiente & Sociedade*, v. 25, 2022
- FILHO, Paulo C. de; SERRA, Osvaldo A. Terras raras no Brasil: histórico, produção e perspectivas. *Química Nova*, v. 37, p. 753-760, 2014.
- FUSER, Lucivânia. A geopolítica das Terras Raras e a inserção do Brasil. *Geopolítica (s): Revista de Estudios Sobre Espacio y Poder*, v. 14, n. 1, 2023
- HOWER, James C. *et al.* Distribution of rare earth elements in eastern Kentucky coals: indicators of multiple modes of enrichment?. *International Journal of Coal Geology*, v. 160, p. 73-81, 2016
- LIMA, Paulo César Ribeiro *et al.* Minerais estratégicos e terras-raras. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2017
- LOUREIRO, Francisco Eduardo Lapidó *et al.* O Brasil e a reglobalização da indústria das terras raras. CETEM/MCTI, 2013
- MARTINS, Tereza S.; ISOLANI, Paulo Celso. Terras raras: aplicações industriais e biológicas. *Química Nova*, v. 28, p. 111-117, 2015
- NASCIMENTO, Lucivânia. A geopolítica das Terras Raras e a inserção do Brasil. *Geopolítica (s): Revista de Estudios Sobre Espacio y Poder*, v. 14, n. 1, 2023
- REGAN, Robert S. *et al.* The US Geological Survey National Hydrologic Model infrastructure: Rationale, description, and application of a watershed-scale model for the conterminous United States. *Environmental Modelling & Software*, v. 111, p. 192-203, 2019
- SANTOS-FUSER, Lucivânia Nascimento. A Geopolítica das Terras Raras ea inserção do Brasil. *Geopolítica (s): revista de estudios sobre espacio y poder*, v. 14, n. 1, p. 27-50, 2023
- SILVA, Ana Paula Almeida da. Caracterização petrográfica, química e geocronologia U-Pb das rochas mineralizadas da Mina do Pitinga: implicações para prospecção de ETRs pesados. 2023
- SOUZA, Ana Carolina Santos; LIMA, Luiz Rogério Pinho. Separação de tório de elementos terras raras leves em soluções clorídricas por extração por solvente. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 20, p. 0-0, 2023
- SOUSA, Paulo C. de; GALAÇO, Ayla RBS; SERRA, Osvaldo A. Terras Raras: Tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações. *Química Nova*, v. 42, p. 1208-1224, 2020
- ZHENG, Bingzhu *et al.* Rare-earth doping in nanostructured inorganic materials. *Chemical Reviews*, v. 122, n. 6, p. 5519-5603, 2022.

## **Análise comparativa entre vigas em concreto armado convencional e protendido: estudo de caso de estrutura em indústria papaleira no município de Ivaí - PR**

### ***Comparative analysis between conventional reinforced concrete and prestressed concrete beams: case study of a structure in a paper industry in Ivaí, PR***

Kalwan Scheifer Torno  
Thomas Boldt Iavorski  
Letícia Col Debella Santos

#### **RESUMO**

O presente estudo propõe uma análise comparativa entre vigas de concreto armado convencional e vigas de concreto protendido, com o objetivo de adaptar uma estrutura de concreto convencional já dimensionada, por meio da substituição pelo concreto protendido. O estudo de caso aborda o dimensionamento das vigas, a avaliação das diferenças estruturais e dimensionais, a comparação da viabilidade econômica e a análise dos benefícios das vigas de concreto protendido em situações desafiadoras de grandes vãos e cargas elevadas. A análise de dimensionamento abrange aspectos como resistência, rigidez e deformação, considerando os parâmetros especificados pela NBR 6118 (ABNT, 2023). Além disso, a avaliação das diferenças estruturais analisa a capacidade das vigas em suportar as cargas e deformações previstas, levando em conta os efeitos da protensão. A comparação da viabilidade econômica envolve a análise dos custos relacionados ao projeto e construção das vigas de concreto armado convencional e protendido. Os resultados obtidos permitiram uma avaliação abrangente das vantagens e desvantagens das vigas de con-



creto protendido em comparação com as vigas de concreto armado convencional, além de contribuir para uma melhor compreensão das possibilidades de aplicação do concreto protendido, fornecendo *insights* valiosos para o setor da construção civil.

**Palavras-chave:** análise comparativa. vigas de concreto protendido. viabilidade econômica.

## ABSTRACT

The present study proposes a comparative analysis between conventional reinforced concrete beams and prestressed concrete beams, aiming to adapt an already designed conventional concrete structure through the replacement with prestressed concrete. The case study focuses on beam design, evaluation of structural and dimensional differences, economic feasibility comparison, and analysis of the benefits of prestressed concrete beams in challenging situations with large spans and high loads. The design analysis encompasses aspects such as strength, stiffness, and deformation, considering the parameters specified by NBR 6118 (ABNT, 2023). Furthermore, the evaluation of structural differences assesses the beams' capacity to withstand expected loads and deformations, taking into account the effects of prestressing. The comparison of economic feasibility involves analyzing the costs related to the design and construction of conventional reinforced concrete beams and prestressed concrete beams. The obtained results will allow for a comprehensive evaluation of the advantages and disadvantages of prestressed concrete beams compared to conventional reinforced concrete beams, while also contributing to a better understanding of the potential applications of prestressed concrete and providing valuable insights for the construction industry.

**Keywords:** comparative analysis. prestressed concrete beams. economic feasibility.

## INTRODUÇÃO

A construção civil busca constantemente tecnologias que atendam às demandas dos projetos arquitetônicos contemporâneos, como estruturas esbeltas e eficientes, com grandes vãos, seções transversais reduzidas, balanços extensos, maior resistência e menor número de pilares. Segundo Melo (2021), os projetistas estruturais têm recorrido cada vez mais às estruturas protendidas para enfrentar esses desafios.

O concreto protendido é uma evolução do concreto armado, aplicando tensões prévias de compressão para reduzir as tensões de tração e aumentar a resistência. Ao comprimir o concreto nas extremidades com cordoalhas, a peça ganha estabilidade, rigidez e aproveita melhor sua resistência à compressão. (BASTOS, 2018).

O uso de estruturas protendidas desempenha um papel crucial no cumprimento das demandas arquitetônicas em projetos de edifícios que envolvem cargas substanciais e grandes vãos. Isso ocorre devido à capacidade das peças protendidas de oferecer seções transversais mais compactas em comparação com as peças de concreto armado convencional, resultando na eliminação de fissuras, na criação de estruturas mais leves e na redução da flecha. (CASTRO, 2011).

Segundo a empresa de pesquisa de mercado Maximize Market Research PVT. LTDA., em 2021, o Brasil consumiu menos de 10% do mercado global de concreto protendido, enquanto a América do Norte sozinha abocanhava mais da metade. Com apenas 7% das

cordoalhas destinadas a edificações, o país possui um vasto potencial para aumentar sua utilização em projetos de construção de prédios, acompanhando a tendência observada em outros países. (SELAP, 2018).

O concreto protendido oferece benefícios significativos, melhorando o desempenho estrutural da peça e reduzindo a quantidade de insumos necessários para sua fabricação. No entanto, a técnica de protensão requer a inclusão de armadura ativa e a contratação de mão de obra especializada. (MELO, 2021).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo conduzir uma análise comparativa por meio de um estudo de caso realizado em uma indústria papeleira localizada no município de Ivaí. O foco da pesquisa é a comparação entre vigas de concreto armado convencional e vigas de concreto protendido. O intuito é realizar análises de dimensionamento, avaliar as diferenças estruturais, comparar a competitividade econômica e examinar os benefícios associados ao emprego de vigas de concreto protendido em situações desafiadoras caracterizadas por grandes vãos e cargas elevadas.

## DESENVOLVIMENTO

### Introdução à vigas

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), as vigas são definidas como elementos estruturais horizontais que têm a função de receber cargas perpendiculares ao seu eixo longitudinal e transmiti-las aos apoios. Esses elementos são empregados como suporte para lajes, coberturas, pontes, viadutos e diversas outras estruturas. As vigas são projetadas para resistir a esforços de flexão, cisalhamento, torção e compressão, exigindo uma análise cuidadosa em seu dimensionamento. (BOTELHO, 2017).

### Vigas em concreto armado

Uma das principais vantagens das vigas em concreto armado convencional é a ampla disponibilidade dos materiais no mercado brasileiro, o que facilita sua execução e reduz os custos de produção. (BOTELHO, 2017). No entanto, é importante mencionar que essas vigas apresentam algumas desvantagens, como a necessidade de manutenção periódica para garantir sua durabilidade e a limitação de vãos livres sem apoios intermediários. (CARVALHO, 2018).

O processo de dimensionamento de uma viga em concreto armado segue um passo-a-passo bem definido. Inicialmente, é necessário definir as cargas que atuam na estrutura, como carga permanente, carga variável e carga acidental, de acordo com a norma brasileira NBR 6120 (ABNT, 2019). Com as cargas definidas, calcula-se as solicitações de momentos fletores, forças cortantes e esforços normais. Esse cálculo é realizado considerando as propriedades dos materiais utilizados e as características geométricas da viga. (CARVALHO, 2018). O dimensionamento estrutural é feito conforme os requisitos estabelecidos pela norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2023), que define os critérios de projeto para estruturas de concreto armado.



Além das considerações técnicas, é importante avaliar os custos envolvidos no dimensionamento de vigas em concreto armado convencional. Os custos dos materiais, da mão de obra e dos processos construtivos devem ser levados em conta para garantir a viabilidade econômica do projeto. (BOTELHO, 2017).

### Despesas na execução de obras em concreto armado

Os componentes essenciais do concreto se encontram prontamente disponíveis em quase todas as regiões do Brasil. É de suma importância a realização de uma análise abrangente dos custos envolvidos na edificação, englobando os gastos associados aos materiais, à mão de obra, aos equipamentos e, ademais, o tempo necessário para sua conclusão. (BASTOS, 2021).

Entretanto, é imprescindível levar em consideração as diretrizes estabelecidas pela NBR 6118 (ABNT, 2023) que estipulam uma resistência mínima de 20 MPa para o concreto em estruturas de Concreto Armado. Além disso, conforme Giongo (2007), os custos associados ao Concreto Armado englobam os materiais constituintes, como barras de aço, pedra britada, areia, cimento, aditivos, bem como os materiais para montar as fôrmas para moldagens de todos os elementos estruturais, os custos dos andaimes, os custos com mão de obra e custos de lançamentos, adensamento, cura e desforma.

De acordo com Giongo (2007), cada um dos custos parciais tem uma incidência no custo total por unidade, apresentando porcentagens conforme descrito na Tabela 1.

**Tabela 1 – Distribuição dos custos em CA.**

Item	Incidência
Concreto (preparado c/ betoneira)	24,08%
Aço (CA-50)	27,87%
Fôrma	42,34%
Andaimes	0,56%
Lançamento e aplicação do concreto	5,16%
Total:	100,00%

Fonte: Giongo (2007).

### Vigas em Concreto Protendido

A viga protendida é um elemento estrutural de concreto reforçado com a aplicação intencional de forças de protensão, geradas por cabos ou barras de aço tensionados, de modo a induzir uma pré-compressão no concreto. Essa pré-compressão resulta em uma melhoria significativa na capacidade de carga, resistência e durabilidade da viga, permitindo a redução de seções transversais e vãos maiores em comparação com vigas de concreto armado convencional. (NEVILLE, 2016).

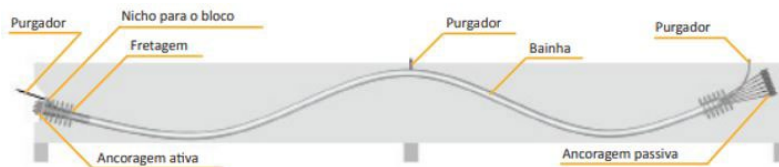
### Classificação das Aderências

A fim de assegurar a trabalhabilidade correta entre o concreto e a armadura da estrutura, seja ela passiva ou ativa, é essencial dar atenção à aderência entre os mesmos. Pfeil (1984, p. 4) denomina aderência de armaduras convencionais ou protendidas, a

capacidade de transferir esforços para o concreto, através de tensões cisalhantes atuando na periferia da armadura. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2023), são classificados os sistemas de protensão da seguinte maneira:

- Protensão com aderência inicial: Nesse método, a armadura ativa é pré-alongada antes da concretagem, exigindo apoios externos. Esses apoios são removidos após o concreto endurecer.
- Protensão com aderência posterior: Nesse método, a armadura ativa é pré-alongada após a concretagem do elemento estrutural, estabelecendo aderência permanente com o concreto por meio da injeção das bainhas, como ilustra a Figura 1 a seguir.

**Figura 1 – Corte longitudinal de viga protendida com cordoalhas aderentes.**



Fonte: Rudloff (2015).

- Protensão sem aderência: Técnica análoga à protensão com aderência posterior, onde o pré-alongamento da armadura ativa é realizado após a concretagem e endurecimento do elemento estrutural, utilizando-o como suporte. A distinção crucial reside na falta de aderência entre a armadura e o concreto, resultando em uma conexão pontual entre eles como mostra a Figura 2.

**Figura 2 – Corte longitudinal de viga protendida com tração posterior.**



Fonte: Rudloff (2015).

## Estados Limites

Os estados limites podem ser classificados em estados limites últimos (ELU) e estados limites de serviço (ELS). Os estados limites últimos são relacionados à resistência da estrutura, como a resistência à tração e à compressão do concreto, sendo ele o estado limite relacionado ao colapso ou a qualquer outra forma de deterioração estrutural que resulte na interrupção do uso da estrutura. Já os estados limites de serviço estão relacionados à utilização da estrutura em condições normais, levando em consideração a deformação, fissuração, vibração, entre outros (BOTELHO, 2017), sendo dividido em:

- Estado-Limite de Formação de Fissuras (ELS-F): Inicia-se a formação de fissuras é alcançado quando a tensão de tração máxima na seção transversal atinge um valor igual à resistência do concreto à tração na flexão, representada como  $f_{ct}$ ,  $f$ .
- Estado-Limite de Deformações Excessivas (ELS-D): A tensão normal é nula em

um ou mais pontos da seção transversal, enquanto não há tração nas demais áreas, é uma condição frequente que é verificada no contexto do concreto protendido.

- Estado Limite Último no Ato de Protensão (ELU-ATO): A tensão resultante da protensão iguala ou excede a resistência máxima do concreto à compressão (fcd), indicando a capacidade máxima de carga da estrutura.

## Tipos de Protensão

Conforme estabelecido pela norma NBR 6118 (ABNT, 2023), os distintos tipos de protensão estão inicialmente associados às condições de agressividade ambiental, conforme descritas na Tabela 2. Essa agressividade ambiental está relacionada com a presença de ações químicas que podem entrar em contato direto com a estrutura de concreto, independentemente das ações mecânicas, variações volumétricas decorrentes de efeitos térmicos, retração hidráulica e outras consideradas no processo de dimensionamento.

**Tabela 2 – Classes de agressividade ambiental segundo NBR 6118:2023.**

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	36	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30	40	50	
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: NBR 6118 (2023). (Adaptado)

Uma vez determinado o ambiente no qual a estrutura será construída, é possível estabelecer a magnitude da proteção a ser empregada sem o risco de comprometer a eficiência estrutural em relação ao padrão esperado. Conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2023), os níveis de protensão permitidos estão listados na Tabela 3.

**Tabela 3 – Níveis de protensão segundo a NBR 6118:2023.**

Tipo de concreto estrutural	Tipo de protensão	Classe de agressividade ambiental (CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	-	CAA I a CAA IV	Não há	-
Concreto armado	-	CAA I	ELS-W wk ≤ 0,4 mm	Combinação frequente
	-	CAA II e CAA III	ELS-W wk ≤ 0,3 mm	
	-	CAA IV	ELS-W wk ≤ 0,2 mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração	CAA I	ELS-W wk ≤ 0,2 mm	Combinação frequente
	Pós-tração	CAA I a CAA II		
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração	CAA I a CAA II	Verificar as duas combinações abaixo ELS-F	Combinação frequente
	Pós-tração	CAA I a CAA IV	ELS-D	Combinação quase permanente

Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração	CAA I a CAA IV	Verificar as duas combinações abaixo	
	Pós-tração	CAA I a CAA IV	ELS-F	Combinação rara
			ELS-D	Combinação frequente

Fonte: NBR 6118 (2023). (Adaptado)

Nesse contexto, é essencial estabelecer as condições ambientais e as combinações de ações a fim de realizar as devidas verificações. A avaliação simplificada da agressividade do meio ambiente em relação às estruturas de concreto armado e protendido pode ser realizada com base nas condições de exposição da estrutura ou de suas partes. Além disso, a norma também recomenda resistências mínimas para o concreto, bem como limites superiores para os fatores água-cimento (A/C), de acordo com a agressividade do ambiente, como indicado na Tabela 4.

**Tabela 4 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto NBR 6118:2023.**

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Fonte: NBR 6118 (2023). (Adaptado)

## Orçamento

A preocupação com os custos de um investimento está intrinsecamente ligada à viabilidade executiva do projeto. É essencial ter conhecimento sobre a quantidade de recursos e serviços necessários para se optar entre as diferentes opções, portanto esse indicador permite tomar decisões quanto à sua viabilidade. (QUEIROZ, 2001).

Para viabilizar o levantamento das quantidades de materiais utilizados na obra, foram disponibilizadas pelo engenheiro calculista as Tabelas de quantitativos.

Com base nas Tabelas de composição de custos do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil) que fornece coeficientes de custos para materiais e mão de obra de acordo com a região do país e estudos de orçamentos fornecidos por empresas reconhecidas no meio de campo da protensão, é possível estimar os custos totais, em valores atualizados e reais, para cada sistema estrutural adotado.

## Metodologia

Com o objetivo de realizar o dimensionamento e a comparação entre vigas de concreto armado e concreto protendido, torna-se imprescindível obter informações relevantes sobre a estrutura em questão, além de conduzir um levantamento quantitativo que permita a comparação dos orçamentos. Nesse sentido, alguns passos fundamentais são necessários:

## a) Dimensionamento e coleta de dados da estrutura:

- Levantamento de características gerais e dimensões;
- Definição de características do concreto e classe de agressividade;
- Pré-dimensionamento da viga protendida;
- Definição do tipo de cordoalha e quantidade (armadura ativa);
- Verificação de limites ELU e ELS;
- Dimensionamento de armadura passiva;
- Estudo de perdas.

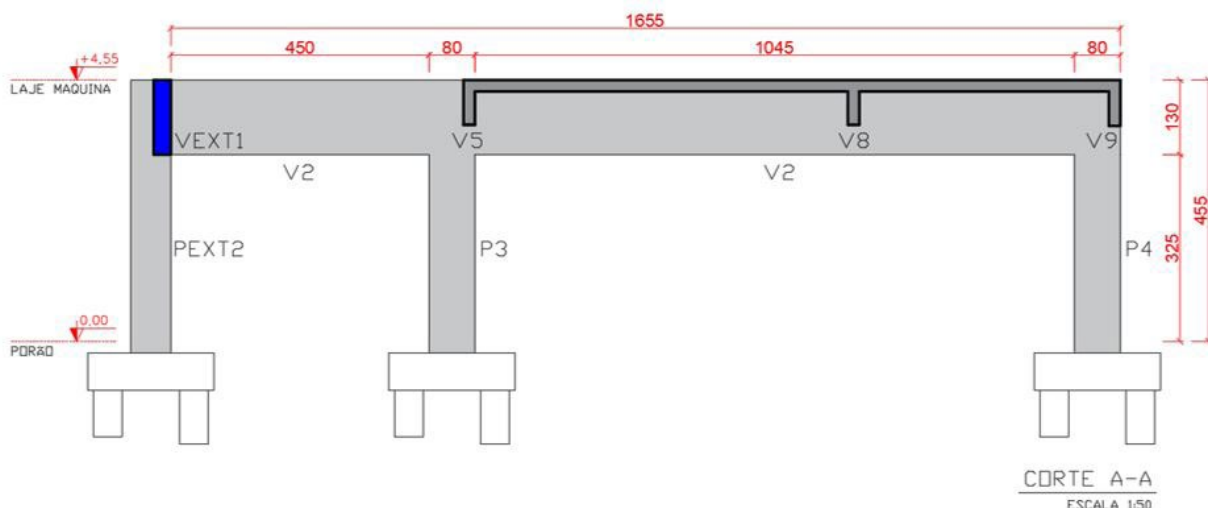
## b) Análise de custos:

- Quantitativo de materiais;
- Orçamentação (via Tabela SINAPE e solicitação de orçamento por empresa especializada)
- Comparação.

### Projeto em Concreto Armado

O projeto compreende a expansão de uma laje preexistente em uma indústria de papel localizada em Ivaí - PR. Seu principal desafio reside na superação de um vão considerável, sujeito a uma carga significativa. Conforme delineado na Figura 3, o projeto original prevê a utilização de concreto armado para toda a estrutura, inclusive nas vigas principais.

**Figura 3 – Corte longitudinal da estrutura.**



**Fonte: Os autores (2023).**

Para o modelo do sistema estrutural foi definido o uso de laje maciça convencional em concreto com carregamento de 1.500 kgf/m<sup>2</sup> para suportar a demanda de carga da indústria, a altura de piso a piso é de 4,55m, podemos observar a planta de formas no Apêndice A e outras características na Tabela 5.

**Tabela 5 – Características gerais do sistema estrutural em concreto armado.**

Sistema estrutural	Dimensões (cm)	Resistencia característica (Mpa)	Cobrimento (cm)	Classe de agressividade ambiental
Laje maciça	20 (espessura)	35	4	III
Vigas principais	130x30x1655	35	4	III
Pilares	80x30x435	35	4	III

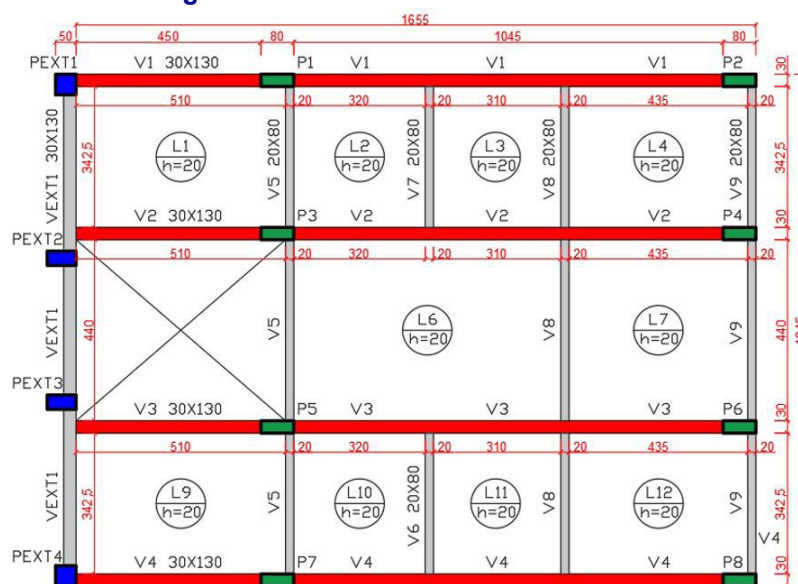
Fonte: Os autores (2023).

A estrutura em questão possui uma característica principal que a torna especialmente atrativa para o emprego de vigas protendidas: um amplo vão central entre pilares medindo 10,45 metros, que suporta uma carga substancial aplicada sobre a laje.

As vigas em concreto armado convencional utilizadas no projeto original foram calculadas pelo software Eberick, seguindo os critérios *default* que estão em conformidade com as diretrizes da NBR 6118 (ABNT, 2023). As vigas dimensionadas têm seção 130x30cm, com armadura negativa composta por 7 barras de  $\Phi$  20,0 e 1 de  $\Phi$  12,5, já a armadura positiva conta com 7 barras de  $\Phi$  20,0, toda a viga com estribos de  $\Phi$  6,3 a cada 10cm próximo aos apoios e 17cm no centro da viga, como podemos observar no dimensionamento no Apêndice B.

### Projeto em Concreto Protendido

A concepção estrutural do projeto foi realizada sequencialmente, considerando os elementos pilares, vigas e lajes. Com o objetivo de assegurar que não houvesse interferência nas operações da fábrica, os pilares foram posicionados estrategicamente em locais favoráveis. Além disso, as dimensões dos pilares serão mantidas conforme estabelecido no projeto original, uma vez que o foco principal está nas vigas e que os pilares já foram dimensionados para suportar as cargas solicitantes, sendo possível visualizar na Figura 4 a seguir a planta de forma da estrutura com as vigas de estudo em destaque na cor vermelha.

**Figura 4 – Planta de forma da estrutura.**

Fonte: Os autores (2023).

De acordo com a recomendação de Bastos (2021) para o pré-dimensionamento



de vigas, uma abordagem empírica amplamente utilizada é basear-se na relação  $l/15$  para definir a altura ( $h$ ) da viga, onde ( $l$ ) representa o vão entre os apoios. Portanto, a altura pode ser estimada como  $l/15$ . Por exemplo, considerando um vão de 10,45m, a altura estimada seria de  $10,45/15 = 0,69$ m. Sabendo que pelo dimensionamento empírico a altura da viga seria suficiente, para fins de simplificação e para atender as dimensões das vigas menores que descarregam nas mesmas, adotou-se uma altura de 0,80m. Quanto à largura da viga, ela será igual à largura dos pilares, que possuem uma espessura de 0,30m.

As lajes, por sua vez, também seguiram o projeto original, lajes maciças com espessura de 20cm de concreto convencional.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No intuito de analisar a viabilidade de substituição da tecnologia de construção empregada, foram elaborados modelos de quatro vigas protendidas para um pavimento Tipo de uma Indústria utilizando o software V-PRO TQS v.1.17. Posteriormente, procedeu-se à comparação dos desempenhos e dos custos diretos globais, incluindo materiais e mão de obra, entre os sistemas estudados.

### Dimensionamento das vigas

Com os dados disponíveis sobre o projeto as características para dimensionamento foram definidas e podem ser analisadas na Tabela 6.

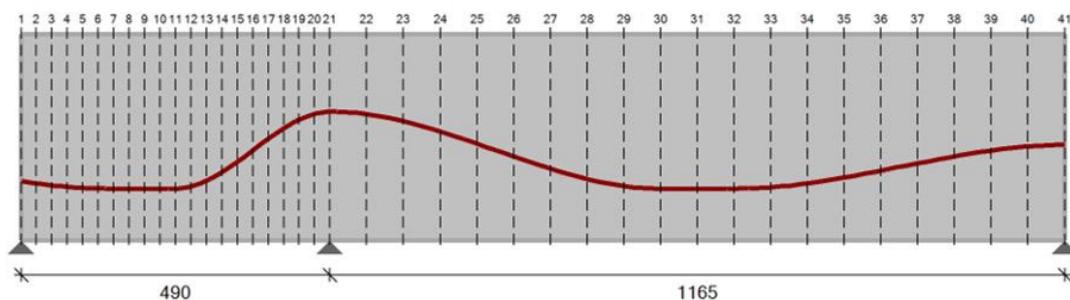
**Tabela 6 – Características atribuídas.**

Características	Quantidade	Unidade
Carga (V1 e V4)	11,5	kN/m
Carga (V2 e V3)	14,5	kN/m
Cobrimento	4,5	cm
fck	50	Mpa
Classe de agressividade	III	-

Fonte: Os autores (2023).

Para uma análise mais aprofundada, o software realiza a divisão da estrutura em 41 seções, computando os esforços e os limites últimos específicos de cada uma. A Figura 5 ilustra o padrão de distribuição da cordoalha ao longo da viga, adaptando-se às demandas de cada seção, a fim de contrabalançar as tensões de tração na viga.

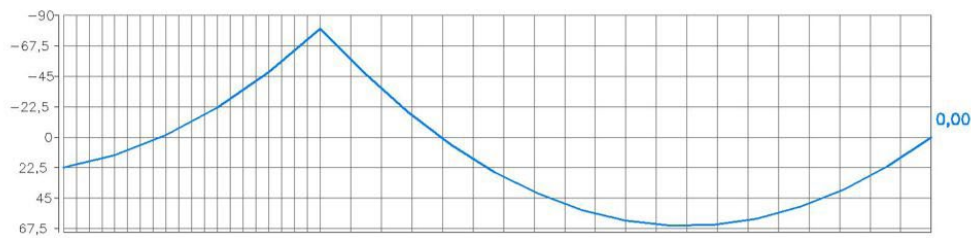
**Figura 5 – Geometria das vigas V1 a V4.**



Fonte: Os autores (2023).

O programa também apresenta a representação gráfica do momento fletor, oferecendo uma visão abrangente das tensões e das forças internas da estrutura, conforme ilustra a Figura 6.

**Figura 6 – Diagrama de momento fletor.**

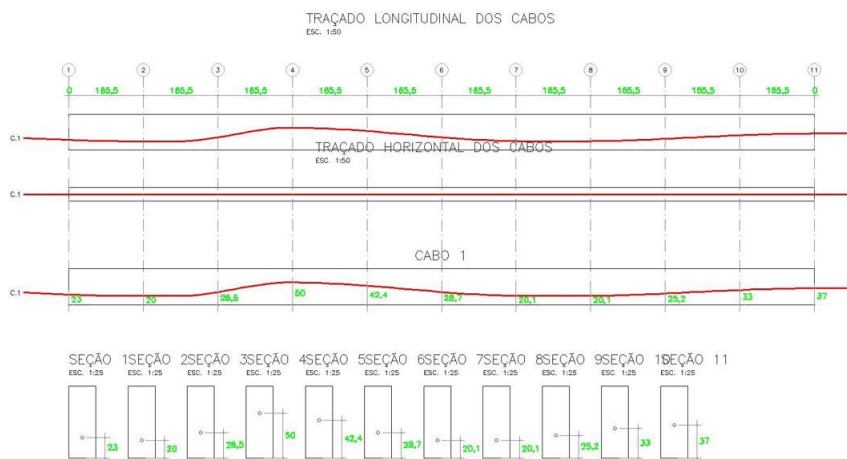


Fonte: Os autores (2023).

### Detalhamento da Armadura Ativa

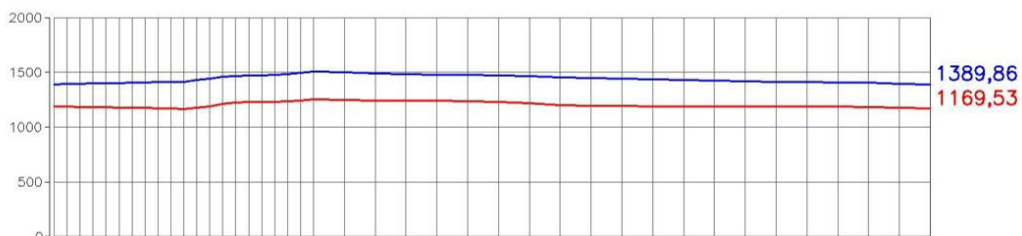
A seção dimensionada como suficiente para resistir aos esforços foi de 80x30cm, com o traçado das cordoalhas definidos como mostrado na Figura 7 e as características de Protensão ilustradas na Tabela 7. Também pode ser observada na Figura 8 as forças de protensão calculadas.

**Figura 7 – Traçado dos cabos.**



Fonte: Os autores (2023).

**Figura 8 – Forças de protensão.**



Fonte: Os autores (2023).

**Tabela 7 – Características atribuídas**

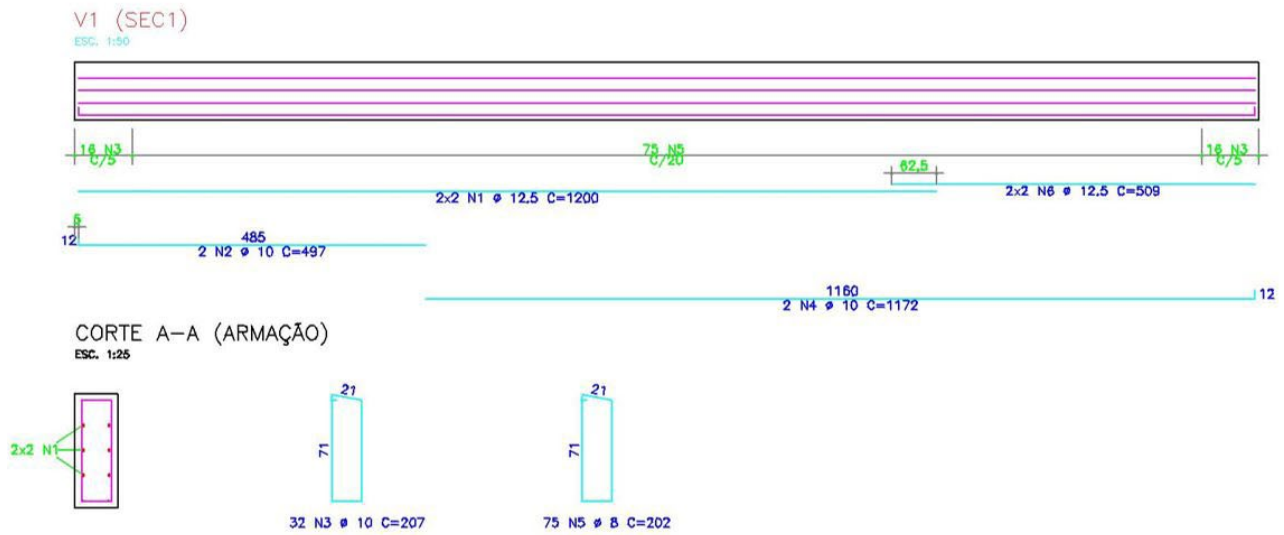
Cabo	Quantidade	Cordoalha	Comp. Bainha (m)	Comp. Cabo (m)	Força de Prot. (kN)	Along. do Cabo (mm)	Peso do Cabo (kg)
C.1	1	12 Ø12,7	16,32	18,62	1.668	99	177

Fonte: Os autores (2023).

## Detalhamento da armadura passiva

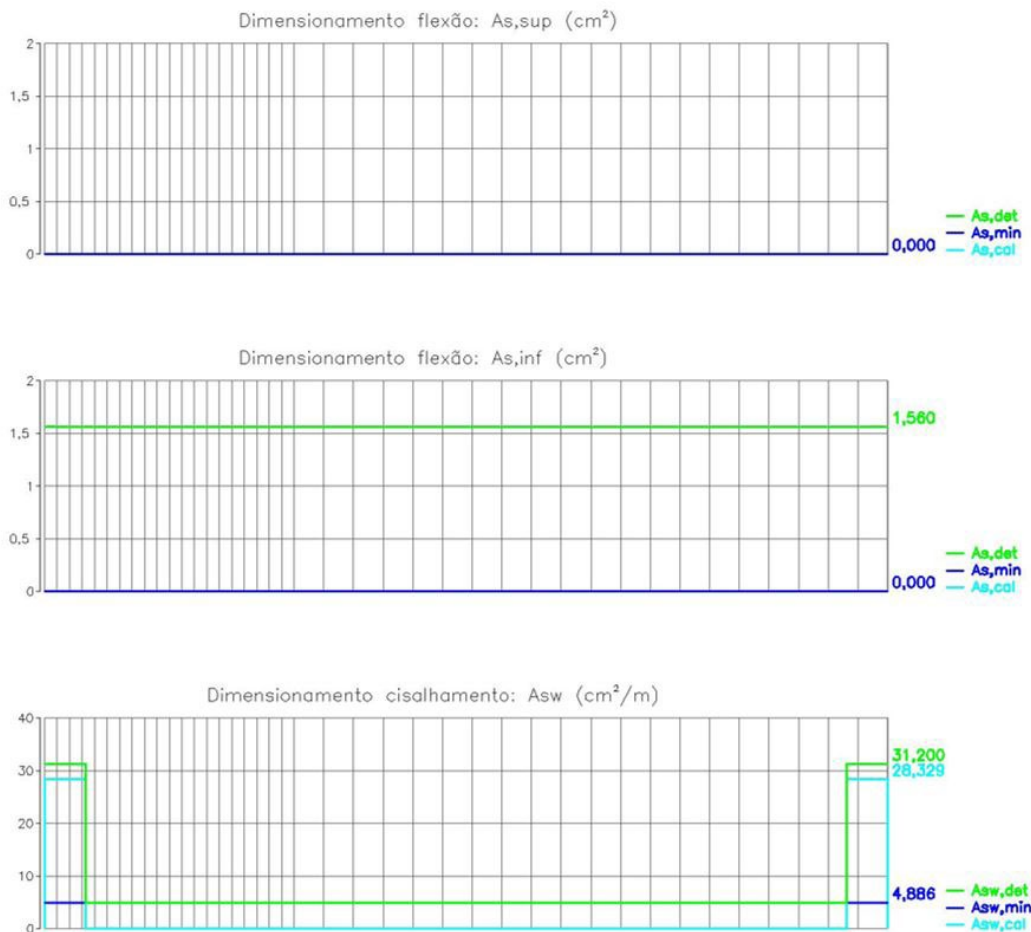
A armadura passiva dimensionada pode ser analisada na Figura 9, consistindo em uma armadura simples. Na Figura 10 temos os gráficos de dimensionamento da área de aço para armadura superior, inferior e cisalhamento respectivamente.

Figura 9 – Detalhamento da armadura passiva.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 10 – Área de aço das armaduras.



Fonte: Os autores (2023).

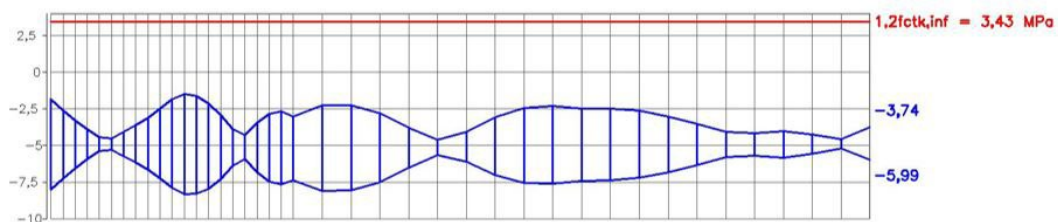
## Estados limites

As 4 vigas possuem a mesma armadura ativa e passiva, porém as vigas V1 e V4 são menos solicitadas que as vigas V2 e V3, acarretando em gráficos de estados limites diferentes, desta forma a apresentação deles será distinta pelo conjunto de vigas.

### Estado Limite de Formação de Fissuras (ELS-F)

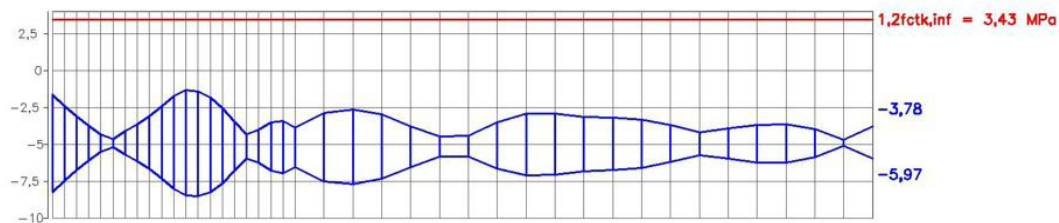
A viga sob análise encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023) para a formação de fissuras, conforme demonstrado na Figura 11 para V1 e V4, e na Figura 12 para V2 e V3, que apresenta as tensões em cada seção da viga. O limite de tensão estabelecido é de 3,43 MPa.

**Figura 11 – Gráfico de ELS-F para V1 e V4.**



Fonte: Os autores (2023).

**Figura 12 – Gráfico de ELS-F para V2 e V3.**

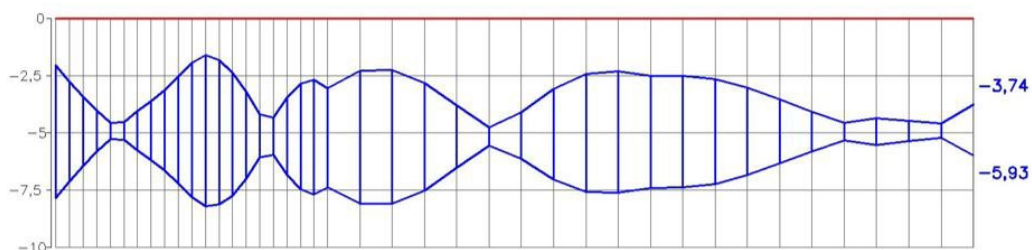


Fonte: Os autores (2023).

### Estado Limite de Descompressão (ELS-D)

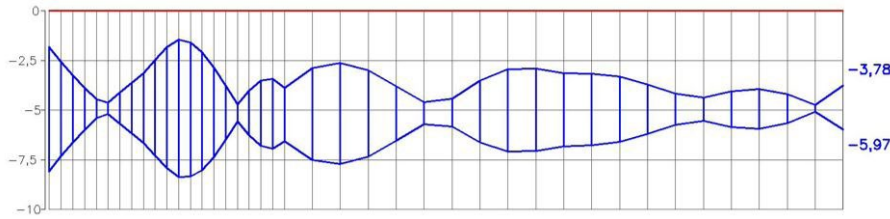
A viga sob análise encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023) para o limite de descompressão da peça, conforme demonstrado na Figura 13 para V1 e V4, e na Figura 14 para V2 e V3, que apresenta as tensões em cada seção da viga. O limite de tensão estabelecido são valores menores que 0 MPa.

**Figura 13 – Gráfico de ELS-D para V1 e V4.**



Fonte: Os autores (2023).

Figura 14 – Gráfico de ELS-D para V2 e V3.

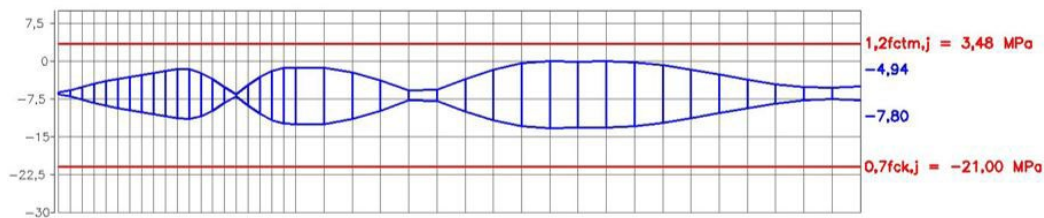


Fonte: Os autores (2023).

## Estado Limite Último no Ato de Protensão (ELU-ATO)

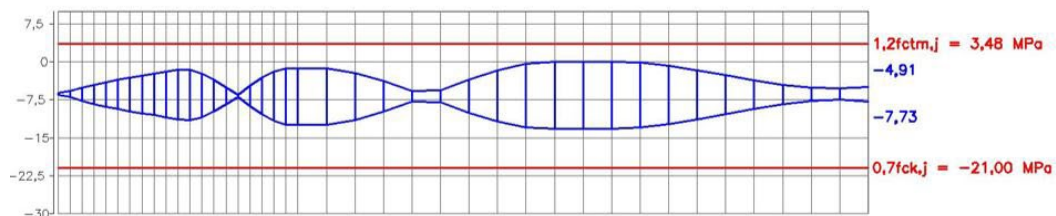
A viga sob análise encontra-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2023) para o limite no ato de protensão da peça, conforme demonstrado na Figura 15 para V1 e V4, e na Figura 16 para V2 e V3, que apresenta as tensões em cada seção da viga. O limite de tensão estabelecido são valores entre 3,48 e -21,00 MPa.

Figura 15– Gráfico de ELU-ATO para V1 e V4.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 16 – Gráfico de ELU-ATO para V2 e V3.



Fonte: Os autores (2023).

## Análise de custos

Com base nos resultados dos cálculos estruturais para os dois sistemas construtivos, esta seção apresentará os consumos de materiais e mão de obra, conforme os procedimentos metodológicos descritos neste estudo. A comparação de custos foi realizada com base nos quantitativos de materiais obtidos a partir do detalhamento do projeto de concreto armado original e do projeto fictício de concreto protendido.

A Tabela 8, a seguir, resume os quantitativos de materiais e os valores associados ao Concreto Armado. Para calcular os custos totais, foram utilizados os valores de composição analítica da Tabela SINAPI (PCI.818-01).

Tabela 8 – Valores da composição para estrutura em concreto armado.

Item	REF.	Descrição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
1	92465	Formas de madeirite plastificado 18mm	-	-	R\$ -	R\$ -
1.1	92465	Material	m <sup>2</sup>	166,74	R\$ 72,27	R\$ 12.050,30
1.2	92465	Mão de obra	m <sup>2</sup>	166,74	R\$ 52,14	R\$ 8.693,82

Item	REF.	Descrição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
2	-	Armação em aço CA-50	-	-	R\$ -	R\$ -
2.1	92760	Ø6.3mm	-	-	R\$ -	R\$ -
2.1.1	92760	Material	kg	170,9	R\$ 11,14	R\$ 1.903,83
2.1.2	92760	Mão de obra	kg	170,9	R\$ 2,98	R\$ 509,28
2.2	92761	Ø8.0mm	-	-	R\$ -	R\$ -
2.2.1	92761	Material	kg	255,4	R\$ 11,15	R\$ 2.847,71
2.2.2	92761	Mão de obra	kg	255,4	R\$ 1,95	R\$ 498,03
2.3	92765	Ø20.0mm	-	-	R\$ -	R\$ -
2.3.1	92765	Material	kg	789,3	R\$ 10,18	R\$ 8.035,07
2.3.2	92765	Mão de obra	kg	789,3	R\$ 0,43	R\$ 339,40
3	103675	Concreto usinado fck = 35MPa	-	-	R\$ -	R\$ -
3.1	103675	Material	m <sup>3</sup>	24,74	R\$ 513,32	R\$ 12.699,54
3.2	103675	Mão de obra	m <sup>3</sup>	24,74	R\$ 35,99	R\$ 890,39
<b>Total Material:</b>						<b>R\$ 37.536,45</b>
<b>Total Mão de Obra:</b>						<b>R\$ 10.930,93</b>
<b>TOTAL:</b>						<b>R\$ 48.467,37</b>

Fonte: Os autores (2023).

Já para a Tabela 9, temos o mesmo resumo de composição analítica desta vez para a estrutura em Concreto Protendido, sendo necessário combinar informações de orçamentos fornecidos por empresas reconhecidas no setor com dados da Tabela SINAPI, uma vez que esta última não inclui informações específicas sobre protensão.

**Tabela 9 – Valores da composição para estrutura em concreto protendido.**

Item	REF.	Descrição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
1	92465	Formas de madeirite plastificado 18mm	-	-	R\$ -	R\$ -
1.1	92465	Material	m <sup>2</sup>	90,78	R\$ 72,27	R\$ 6.560,67
1.2	92465	Mão de obra	m <sup>2</sup>	90,78	R\$ 52,14	R\$ 4.733,27
2	-	Armação em aço CA-50	-	-	R\$ -	R\$ -
2.1	92761	Ø8.0mm	-	-	R\$ -	R\$ -
2.1.1	92761	Material	kg	239,6	R\$ 11,15	R\$ 2.671,54
2.1.2	92761	Mão de obra	kg	239,6	R\$ 1,95	R\$ 467,22
2.2	92762	Ø10.0mm	-	-	R\$ -	R\$ -
2.2.1	92762	Material	kg	245,72	R\$ 10,19	R\$ 2.503,89
2.2.2	92762	Mão de obra	kg	245,72	R\$ 1,42	R\$ 348,92
2.3	92763	Ø12.5mm	-	-	R\$ -	R\$ -
2.3.1	92763	Material	kg	263,24	R\$ 8,80	R\$ 2.316,51
2.3.2	92763	Mão de obra	kg	263,24	R\$ 0,93	R\$ 244,81
3	103675	Concreto usinado fck = 35MPa	-	-	R\$ -	R\$ -
3.1	103675	Material	m <sup>3</sup>	15,79	R\$ 513,32	R\$ 8.105,32
3.2	103675	Mão de obra	m <sup>3</sup>	15,79	R\$ 35,99	R\$ 568,28
4	-	Monocordoalha nua CP190 RB 12,7mm	-	-	R\$ -	R\$ -
4.1	-	Material	kg	723,95	R\$ 19,38	R\$ 14.030,15
4.2	-	Mão de obra	kg	723,95	R\$ 21,49	R\$ 15.557,69
5	-	Ancoragem 12 cabos 12,7mm	-	-	R\$ -	R\$ -
5.1	-	Material	un	16	R\$ 434,19	R\$ 6.947,04
7	-	Trombeta 12 cabos 12,7mm	-	-	R\$ -	R\$ -



Item	REF.	Descrição	Unid.	Quant.	Unit.	Total
7.1	-	Material	um	8	R\$ 49,39	R\$ 395,12
8	-	Cunha bipartida longa 12,7mm	-	-	R\$ -	R\$ -
8.1	-	Material	un	96	R\$ 13,05	R\$ 1.252,80
9	-	Bainha metálica	-	-	R\$ -	R\$ -
9.1	-	Material	m	70	R\$ 20,44	R\$ 1.430,65
11	-	Purgador	-	-	R\$ -	R\$ -
11.1	-	Material	um	12	R\$ 5,68	R\$ 68,16
					<b>Total Material:</b>	<b>R\$ 46.281,85</b>
					<b>Total Mão de Obra:</b>	<b>R\$ 21.920,19</b>
					<b>TOTAL:</b>	<b>R\$ 68.202,05</b>

Fonte: Os autores (2023).

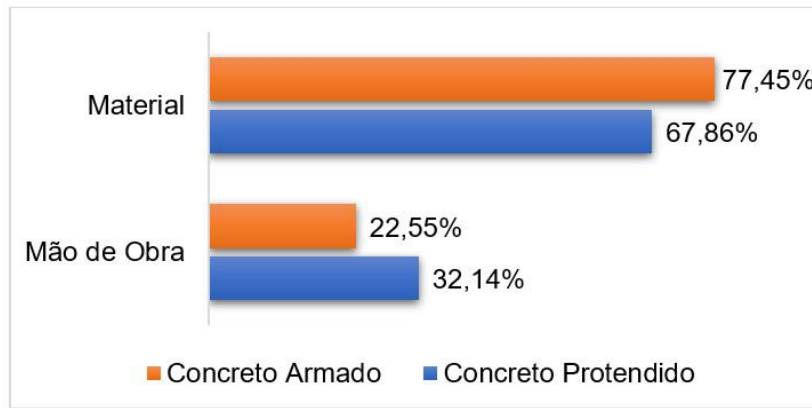
Os resultados apresentados nas Tabelas 8 e 9 indicam um incremento de cerca de 40,72% no custo direto associado à fabricação de vigas de concreto protendido, correspondente a um montante aproximado de R\$19.734,68. É notório que o elemento cordoalha, abrangendo tanto o custo do material quanto da mão de obra, desempenhou um papel significativo no encarecimento deste método, representando aproximadamente 43,38% do custo total, conforme ilustrado na Figura 17, seguido pelo componente de ancoragem, com uma participação de aproximadamente 10,19%. É relevante destacar que, em relação aos custos relacionados aos itens de aço (armadura passiva), concreto e formas, o concreto protendido apresentou custos inferiores, correspondendo a 34,75%, 36,18% e 45,56%, respectivamente.

Figura 17 – Comparativo de custos por insumos para CA e CP.



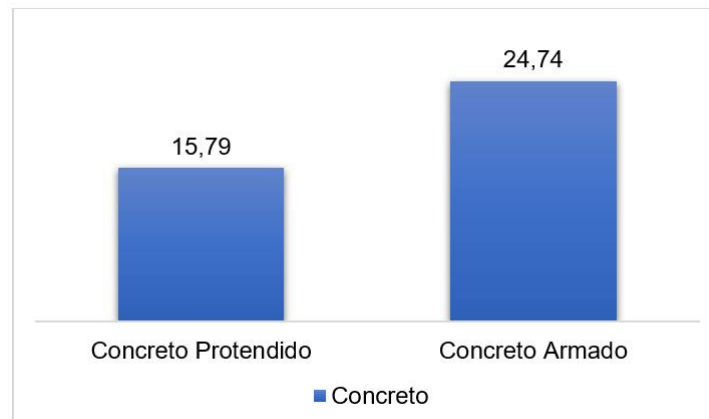
Fonte: Os autores (2023).

Outro aspecto relevante a ser destacado é a comparação entre os custos de mão de obra e material nos dois métodos, o que pode ser melhor visualizado na Figura 18. No que diz respeito aos custos de mão de obra, observa-se um acréscimo de 9,59% no caso do concreto armado. Por outro lado, os custos de material também apresentaram um aumento igualmente proporcional de aproximadamente 9,59% no contexto do concreto protendido. Vale ressaltar que essa diferença pode ser explicada pelos custos associados às cordoalhas, ancoragem passiva e ativa.

**Figura 18 – Comparativo entre material e mão de obra para CA e CP.**

Fonte: Os autores (2023).

Uma outra análise relevante consiste na comparação do volume de concreto empregado em cada método construtivo. No caso do concreto armado convencional, foram adotadas dimensões de 30 x 130cm para a seção transversal da viga, enquanto que, para o concreto protendido, as dimensões foram reduzidas para 30 x 80cm. Isso resulta em uma significativa redução de 36,18% no volume de concreto necessário, sendo o volume correspondente a 24,74m<sup>3</sup> para o concreto armado e 15,79m<sup>3</sup> para o concreto protendido, conforme ilustrado na Figura 19.

**Figura 19 – Volume de concreto (m<sup>3</sup>) para CA e CP.**

Fonte: Os autores (2023).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo se propôs a realizar uma análise do dimensionamento de vigas em concreto protendido, comparando-o ao método construtivo em concreto armado convencional. Ao longo da pesquisa, foram identificadas e discutidas as principais diferenças estruturais e características entre esses dois sistemas, culminando na avaliação da viabilidade econômica do uso de concreto protendido.

A metodologia adotada permitiu concluir que, no caso específico deste estudo de vigas de grandes dimensões, o uso de concreto protendido apresentou um custo significativamente mais elevado em relação ao concreto armado convencional, com uma diferença de aproximadamente 40,72%. É importante notar que, dado o contexto favorável

em termos de espaço na área de construção e a ausência de necessidade de redução na seção transversal do elemento estrutural, a aplicação de concreto protendido foi considerada financeiramente inviável nesta estrutura.

Uma das desvantagens do concreto protendido é a demanda por mão de obra altamente especializada, bem como a necessidade de componentes construtivos dispendiosos, como ancoragens e cabos de protensão. No entanto, as vantagens incluem a potencial economia nas quantidades de aço (armadura passiva), a redução nos volumes de concreto e uma maior durabilidade do elemento estrutural. Além disso, ficou claro que o concreto protendido é uma opção viável quando se busca garantir maiores vãos e reduzir as seções transversais das estruturas.

É importante ressaltar que o custo direto é apenas um dos parâmetros a serem considerados na avaliação da viabilidade econômica de um empreendimento ou serviço de engenharia. Deve ser analisado em conjunto com outros fatores que compõem o custo global de um projeto, como custos indiretos (tais como escoramento, içamento, consultoria, etc.), a composição do Benefício de Despesas Indiretas (BDI), despesas de manutenção da estrutura, custos relacionados a possíveis impactos ambientais e outros elementos relevantes. Portanto, é responsabilidade do engenheiro responsável ponderar cuidadosamente sobre esses aspectos, juntamente com outros fatores relevantes, ao tomar decisões relacionadas a obras de infraestrutura, como a construção de pontes.

Em resumo, este estudo não teve a intenção de generalizar suas conclusões para todos os tipos de estruturas, mas sim de enfatizar a importância da análise do custo-benefício em relação a todas as opções de sistemas construtivos disponíveis.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6120: ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7483: cordoalhas de aço para estrutura de concreto protendido - especificação. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118: projetos de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

BASTOS, P. S. Fundamentos do Concreto Protendido. Universidade Estadual Paulista, 2021, 264p.

BOTELHO, M. H. C. Concreto Armado - Eu Te Amo: volume 1. 7ª ed. São Paulo: Pini, 2017.

CARVALHO, R. C. Curso de Concreto Armado: teoria e exercícios. 10ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

CARVALHO, R. C. Estruturas em Concreto Protendido, volume 1: cálculo e detalhamento. 1ª ed. São Paulo, Pini, 2012, 369p.

CASTRO, Sérgio Vannucci de. Concreto Protendido - Vantagens e desvantagens dos diferentes

processos de protensão do concreto nas estruturas”. 2011. 46 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. I.], 2011.

CHOLFE, L.; BONILHA, L. Concreto Protendido: teoria e prática. 2ª ed. São Paulo, Oficina de Textos, 2018, 345p.

GIFFHORN, G. C.; LAZZARI P. M. Estudo comparativo entre viga de concreto armado e concreto protendido. Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana n.1 (2014) pp. 2-14

GIONGO, José Samuel. Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamentos de Engenharia de Estruturas. São Carlos-SP, fevereiro de 2007.

MELO, Matheus Sousa. Análise da competitividade econômica entre vigas de concreto protendido e vigas de concreto armado submetidas a vãos definidos. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, [S. I.], 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/45333/1/Analise\\_Melo\\_2021.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/45333/1/Analise_Melo_2021.pdf). Acesso em: 19 mar. 2023.

NEVILLE, A.M. Propriedades do Concreto. 5ª ed. Porto Alegre, Bookman, 2016, 912p.

PFEIL, W. Concreto Protendido, volume 1: introdução. 1ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984, 203p.

PFEIL, W. Concreto Protendido, volume 3: dimensionamento à flexão. 1ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984, 239p.

RESENDE, David. Projeto e cálculo de uma viga em concreto protendido. Orientador: Sebastião Salvador. 2018. 54p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/30709/1/Projeto%20e%20c%C3%A1lculo%20de%20uma%20viga%20em%20concreto%20protendido%20-%20David%20Resende.pdf>. Acesso em: 14 maio 2023.

RUDLOFF. Concreto protendido. Catálogo. Rev. 6, 11/2015. Disponível em: [http://www.rudloff.com.br/downloads/catalogo\\_concreto\\_protendido\\_rev-06.pdf](http://www.rudloff.com.br/downloads/catalogo_concreto_protendido_rev-06.pdf) acessado em 07 de setembro de 2023

SANTOS, Altair. Edifícios aquecem mercado de concreto protendido. Massa Cinzenta, [s. I.], 16 ago. 2018. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/edificios-aquecem-mercado-de-concreto-protendido/>. Acesso em: 7 maio 2023.

VERÍSSIMO, G. S.; CÉSAR JR, K. M. L. Concreto Protendido: fundamentos básicos. 4ª ed. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, 1998, 78p.

VERÍSSIMO, G. S.; CÉSAR JR, K. M. L. Concreto Protendido: perdas de protensão. 4ª ed. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa, 1998, 39p.

## Segurança em altura na construção civil: evolução e aperfeiçoamento das condições de trabalho

### *Height safety in civil construction: evolution and improvement of working conditions*

Erick Pereira  
Jeferson Luiz de Moraes  
Leticia Col Debella Santos

#### RESUMO

A construção civil desempenha um papel essencial na sociedade, atendendo diversas necessidades. No entanto, a segurança dos trabalhadores nesse setor enfrenta desafios, com um alto número de acidentes, especialmente em atividades em altura e na construção de edifícios. Para abordar essa questão, é necessário implementar estratégias de prevenção e conscientização. Pesquisas têm sido realizadas para entender as causas dos acidentes e desenvolver estratégias preventivas eficazes, abordando fatores individuais, organizacionais e ambientais que contribuem para comportamentos inseguros e acidentes em canteiros de obras. Destaca-se a importância do uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPIs) na prevenção de acidentes. A implementação de sistemas de gestão de saúde e segurança é fundamental para melhorar a segurança do trabalho e conscientizar os trabalhadores. Normas regulamentadoras, como a NR 35 e NR 18, estabelecem requisitos e medidas de proteção para garantir a segurança em atividades em altura. Assim, o presente trabalho se propõe apresentar uma pesquisa para auxílio da identificação de potenciais causas que levam aos acidentes, com intuito de reduzi-los, a fim de preservar vidas e melhorar as condições de trabalho dos profissionais envolvidos. Os resultados mostram que aproximadamente 70% dos acidentes são decorrentes de comportamentos inseguros, e 30% são atribuídos a comportamentos inseguros seguidos de condições inseguras, o que reforça a importância de se desenvolver ações para redução dos casos de acidentes.

**Palavras-chave:** acidentes. conscientização. prevenção.



## ABSTRACT

The construction industry plays an essential role in society, addressing various needs. However, worker safety in this sector faces challenges, with a high number of accidents, especially in tasks performed at heights and during building construction. To address this issue, it is necessary to implement prevention and awareness strategies. Research has been conducted to understand the causes of accidents and develop effective preventive measures, addressing individual, organizational, and environmental factors contributing to unsafe behaviors and accidents at construction sites. The importance of proper use of Personal Protective Equipment (PPE) in accident prevention is emphasized. The implementation of health and safety management systems is crucial for improving workplace safety and raising worker awareness. Regulatory standards, such as NR 35 and NR 18, establish requirements and protective measures to ensure safety in tasks performed at heights. Therefore, this study aims to present research to assist in identifying potential causes of accidents, with the goal of reducing them, preserving lives, and enhancing the working conditions of the professionals involved. The results indicate that approximately 70% of accidents result from unsafe behaviors, with 30% attributed to unsafe behaviors followed by unsafe conditions, underscoring the importance of developing actions to reduce accident rates.

**Keywords:** accidents. awareness. prevention.

## INTRODUÇÃO

A construção civil é essencial para a sociedade, mas enfrenta desafios significativos em relação à segurança dos trabalhadores, com altas taxas de acidentes (SMARTLAB, 2023). Há esforços do governo e empresas para promover a segurança e prevenção de acidentes (CANPAT, 2023). O Smartlab, desenvolvido em parceria com órgãos como o Ministério Público do Trabalho e a Organização Internacional do Trabalho, oferece dados estatísticos sobre acidentes, especialmente em trabalhos em altura (SMARTLAB, 2023).

Pesquisas sobre segurança no trabalho em altura são cruciais para identificar causas, fatores de risco e estratégias preventivas (KHOSRAVI, 2014). O uso adequado de EPIs é fundamental na prevenção de acidentes (SEHSAH *et al.*, 2020). Sistemas de gestão de saúde e segurança, como o OHSAS 18001, mostram melhorias significativas (OHSAS Project Group, 2007).

Pesquisas nacionais abordam causas de acidentes, eficácia de medidas preventivas e políticas públicas (CBIC, 2017). Destacam a importância do treinamento, sistemas de gestão de segurança e conscientização sobre riscos em trabalhos em altura (BRIDI, 2013).

A pesquisa é fundamental para identificar causas de acidentes e soluções que melhorem a segurança no trabalho em altura na construção civil.

## REVISÃO TEÓRICA BIBLIOGRÁFICA

### Transformação do setor da construção e seu impacto na economia brasileira

Mello e Amorim (2009), afirmam que o setor da Construção passou por uma transformação significativa, passando de uma estagnação prolongada com investimentos



mínimos para um período marcado por grandes projetos de construção em andamento e fortes investimentos imobiliários. Os autores atribuem essa mudança ao ressurgimento dos investimentos públicos, à promulgação de diversas leis que facilitam a reintegração de posse dos imóveis em caso de inadimplência, à captação de recursos em bolsas de valores e aos esforços do Plano Brasileiro de Qualidade e Produtividade - PBQP H, que tem disseminado os conceitos de gestão da qualidade (PBQP H, 2023).

Segundo Faria (2012), a indústria da construção civil no país está crescendo e impulsiona o desenvolvimento econômico por meio da geração de empregos. É uma atividade que engloba diversos fatores que contribuem para o desenvolvimento regional, geração de empregos e mudanças na economia, levando, em última instância, ao aumento do PIB. Dado o seu significativo nível de investimentos e o seu efeito multiplicador no processo produtivo, a indústria da construção desempenha um papel crucial na economia.

## **Considerações sobre o trabalho em altura e as normas regulamentadoras NR35 e NR 18 na indústria da construção**

O trabalho em altura é uma atividade comum na construção de edifícios verticais, representando um risco constante para os trabalhadores, que devem seguir medidas de proteção para garantir a segurança individual, como capacitação e autorização para realização deste tipo de atividade (NR35, 2022).

A NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção também trata do trabalho em altura, seguindo as diretrizes da NR 35 (NR18, 2023). Destaca a importância da capacitação dos trabalhadores, planejamento prévio e uso de equipamentos de proteção (NR18, 2023).

Empresas da construção civil devem seguir a NR 35 e a NR 18 para garantir a segurança em atividades em altura, prevenindo acidentes (NR35, 2022; NR18, 2023).

## **A importância da segurança no trabalho em altura na construção de edifícios**

### **Análise das notificações de acidentes de trabalho em altura: tendências, padrões e medidas preventivas no setor da construção de edifícios**

A análise do setor econômico revela as notificações de acidentes de trabalho em altura durante o último ano, abrangendo os trabalhadores com vínculo empregatício. A figura a seguir compara o percentual de notificações de diferentes setores econômicos no período de 2012 a 2022. Essa representação destaca o setor com o maior número de ocorrências, fornecendo informações cruciais sobre a segurança no ambiente de trabalho. Esses dados são essenciais para a implementação de medidas preventivas e o aprimoramento das condições laborais (SMARTLAB, 2022).

Figura 1 - Setores Econômicos com Mais Notificações.



Fonte: INSS - Instituto Nacional do Seguro Social  
Tratamento e análise: SmartLab

No último ano analisado, foram identificados padrões significativos nos setores econômicos relacionados aos afastamentos de trabalhadores com contrato de emprego, classificados em duas categorias: acidentários (código B91) e não acidentários (código B31). Ao analisar os benefícios associados a esses afastamentos no período de 2012 a 2022, é possível observar mudanças, tendências e diferenças quantitativas relevantes nas causas mais comuns de afastamento.

Especificamente, no contexto da construção de edifícios, destaca-se a importância desse tema, pois esse setor ocupa posições de destaque em relação aos afastamentos, tanto por acidentes quanto por outras razões. De acordo com os dados obtidos na análise da figura 02 - Perfil dos afastamentos (B91), a construção de edifícios é a terceira atividade econômica com o maior número de afastamentos devido a acidentes em todo o país. Isso ressalta os desafios relacionados à segurança no trabalho enfrentados por esse setor.

No que diz respeito aos afastamentos não acidentários, a construção de edifícios aparece como a quinta atividade econômica com o maior índice de afastamentos, conforme indicado na figura 03 - Perfil dos afastamentos (B31). Esses afastamentos podem ser resultado de questões de saúde, como doenças ocupacionais ou problemas relacionados ao bem-estar dos trabalhadores. Essa posição destacada na lista enfatiza a necessidade de se dar atenção aos aspectos ergonômicos e de saúde ocupacional no ambiente de trabalho da construção civil.

Esses dados ressaltam a importância de implementar normas, regulamentos e medidas de segurança adequadas no setor da construção de edifícios. A segurança no trabalho deve ser considerada uma prioridade para evitar acidentes, promover o bem-estar dos trabalhadores e contribuir para um ambiente de trabalho saudável.

Portanto, a compreensão da posição ocupada pela construção de edifícios nos indicadores de afastamento por acidentes e não acidentários reforça a necessidade de ações efetivas para mitigar os riscos ocupacionais nesse setor. A segurança no trabalho deve ser vista como uma responsabilidade compartilhada entre empresas, trabalhadores, sindicatos e órgãos reguladores, com o objetivo de preservar a integridade física e mental dos profissionais envolvidos nessa atividade econômica.

Figura 2 – Perfil dos afastamentos (B91)



Fonte: INSS - Instituto Nacional do Seguro Social  
Tratamento e análise: SmartLab

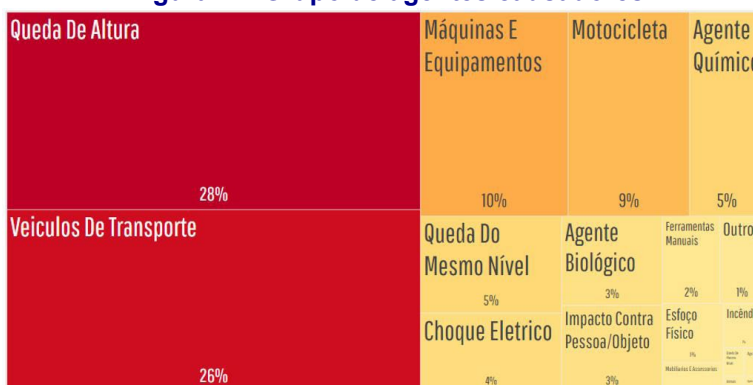
Figura 3 – Perfil dos afastamentos (B31)



Fonte: INSS - Instituto Nacional do Seguro Social  
Tratamento e análise: SmartLab

A análise dos dados referentes aos acidentes de trabalho em altura no setor econômico revela uma preocupação alarmante. Nesse contexto, é importante ressaltar que os acidentes fatais representam a maior parcela dos casos, com um percentual de 28% no período de 2012 a 2022, conforme indicado na figura 04 – Grupo de agentes causadores (SMARTLAB, 2022).

Figura 4 – Grupo de agentes causadores



Fonte: INSS - Instituto Nacional do Seguro Social  
Tratamento e análise: SmartLab

Os números apresentados enfatizam a importância crítica de abordar a segurança no trabalho em altura de maneira efetiva. A ocorrência de acidentes fatais neste contexto ressalta a urgência de implementar medidas preventivas e adotar práticas rigorosas de segurança na indústria da construção.

Empresas do setor devem priorizar investimentos em treinamento, equipamentos de proteção individual (EPIs) de alta qualidade e sistemas de segurança eficazes. Além disso, é vital promover uma cultura de segurança que conscientize os trabalhadores sobre os riscos envolvidos e incentive comportamentos seguros.

Os acidentes de trabalho em altura têm consequências devastadoras não apenas para as vítimas e suas famílias, mas também para o setor como um todo, incluindo custos econômicos significativos, como despesas médicas, perda de produtividade e danos à reputação das empresas.

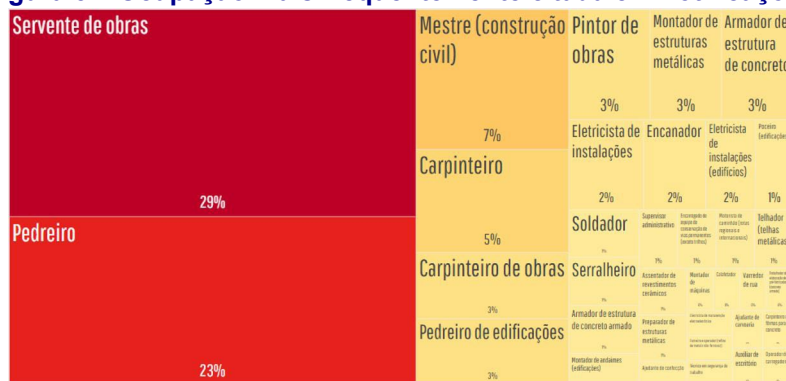
Portanto, é essencial um esforço conjunto do governo, das empresas e dos profissionais da construção para combater e prevenir esses acidentes. Isso requer uma abordagem abrangente com investimentos em capacitação, fiscalização e conscientização, visando a redução desses incidentes trágicos e a garantia de um ambiente de trabalho seguro e saudável.

A preocupação com a segurança no local de trabalho tem sido constante nos últimos anos, conforme destacado pela Organização Internacional do Trabalho (OIT), que afirma que “a prevenção de acidentes de trabalho é essencial para proteger a saúde e o bem-estar dos trabalhadores” (OIT, 2021). Identificar as ocupações mais frequentemente mencionadas em notificações de acidentes de trabalho é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de prevenção.

Nesse sentido, um estudo realizado pela Smartlab ressalta que “a ocupação de servente de obras apresenta o maior índice de notificações de acidentes de trabalho no Brasil, evidenciando a necessidade de medidas preventivas direcionadas a essa categoria profissional” (SMARTLAB, 2022).

Para ilustrar a magnitude desse problema, a Figura 05 - Ocupação mais frequentemente citada em notificações, demonstra a participação percentual de diferentes ocupações nas notificações de acidentes de trabalho no período de 2012 a 2022.

**Figura 5 – Ocupação mais frequentemente citada em notificações.**



Fonte: INSS - Instituto Nacional do Seguro Social  
 Tratamento e análise: SmartLab

Essa análise temporal é fundamental para identificar possíveis tendências e direcionar esforços para áreas de maior risco. Conforme destacado por um estudo do Instituto Nacional de Seguro Social (INSS), “a análise histórica dos percentuais de participação das ocupações nas notificações de acidentes de trabalho permite identificar padrões e implementar ações preventivas eficazes” (GOV, 2022).

Esses dados são particularmente relevantes ao considerar o universo de trabalhadores com vínculo de emprego. É essencial garantir um ambiente de trabalho seguro para todos, independentemente da ocupação exercida. Conforme ressaltado pelo Ministério do Trabalho e Emprego (PNSST, 2011), “a proteção da saúde e segurança dos trabalhadores é um direito fundamental e deve ser assegurada por meio da implementação de medidas preventivas em todas as ocupações” no qual é estabelecido uma política nacional para promoção da segurança e saúde no trabalho (PNSST, 2011).

### **A importância da promoção de ações de controle na prevenção de acidentes de trabalho em altura na indústria da construção**

A segurança no trabalho é uma responsabilidade compartilhada entre empregadores, empregados e órgãos reguladores, como estabelecido pela Norma Regulamentadora nº 4 do Ministério do Trabalho e Emprego (NR04, 2022). A promoção de uma cultura de segurança no trabalho é fundamental, conforme destacado pela Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2022), que enfatiza a necessidade de conscientização, educação e participação ativa de todos os envolvidos.

É importante compreender que a prevenção de acidentes de trabalho não se limita a números estatísticos, pois cada acidente afeta vidas, trabalhadores e tem impactos financeiros significativos nas empresas e na sociedade em geral. Portanto, investir em segurança no trabalho é uma questão de valorização do ser humano e de sustentabilidade empresarial, como proposto dentro do Plano Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho (PNSST, 2011).

A identificação das ocupações mais comuns em notificações de acidentes de trabalho, juntamente com a análise das tendências ao longo do tempo, fornece informações valiosas para o desenvolvimento de estratégias preventivas e a melhoria das condições de trabalho. É necessário um esforço conjunto, baseado em normas, regulamentos, pesquisa científica e envolvimento das partes interessadas, para criar um ambiente de trabalho seguro, onde os trabalhadores possam desempenhar suas funções sem riscos desnecessários, preservando assim sua saúde, bem-estar e qualidade de vida.

Analisando as tendências atuais, fica evidente a necessidade de ações de controle mais eficazes, especialmente no setor da construção, especialmente em relação às atividades em altura e suas diversas aplicações, levando em consideração os aspectos econômicos e sociais.

### **Metodologia**

Neste estudo, adotou-se uma abordagem qualitativa com o propósito de analisar as principais causas de acidentes em locais elevados na construção civil e as medidas de



controle e gestão relacionadas a esses acidentes. Além disso, foram considerados três tópicos adicionais para enriquecer a pesquisa: estudos de caso, tecnologias e inovações, e treinamentos e conscientização.

### **Estudos de caso**

Realizou-se uma análise de estudos de caso de acidentes ocorridos em locais elevados na construção civil, com o intuito de identificar suas causas, consequências e lições aprendidas. A seleção abrangeu casos relevantes em diversos ambientes elevados, como andaimes, escadas, plataformas e telhados, proporcionando uma compreensão aprofundada dos fatores contribuintes para esses acidentes

### **Tecnologias e Inovações**

Explorou-se as tecnologias e inovações disponíveis atualmente para a prevenção de acidentes em altura na construção civil. Isso incluiu a análise de sistemas de proteção coletiva, equipamentos de segurança avançados e o uso de drones para inspeções em locais elevados. Avaliou-se a eficácia, viabilidade e aplicabilidade dessas tecnologias e inovações na indústria da construção civil, com base em estudos de casos e pesquisas que demonstraram seu impacto na redução de acidentes em altura.

### **Treinamentos e Conscientização**

Investigou-se a importância dos treinamentos adequados e programas de conscientização para os trabalhadores da construção civil em relação à segurança em locais elevados. Foram analisados os tipos de treinamentos oferecidos, incluindo instruções sobre o uso correto de equipamentos de proteção individual (EPIs), procedimentos de trabalho seguros em alturas e técnicas de resgate em casos de acidentes. Avaliou-se a eficácia desses programas na redução de acidentes e na promoção de uma cultura de segurança entre os trabalhadores.

Além da revisão da literatura especializada, esta pesquisa também incluiu uma análise de dados na plataforma SmartLab para identificar categorias específicas de acidentes relacionados à construção civil, com foco em acidentes em altura. Essa abordagem metodológica proporcionou uma compreensão abrangente das principais causas de acidentes em locais elevados e das medidas de controle e gestão relacionadas a esses acidentes, englobando estudos de caso, tecnologias e inovações, treinamentos e conscientização. A análise de dados complementou a pesquisa, fornecendo informações atualizadas e específicas sobre as categorias de acidentes relacionados à construção civil em altura.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Principais causas de acidentes**

A análise qualitativa realizada neste estudo revelou que, de acordo com diversas fontes, cerca de 70% dos acidentes de trabalho em altura na construção civil são atribuídos



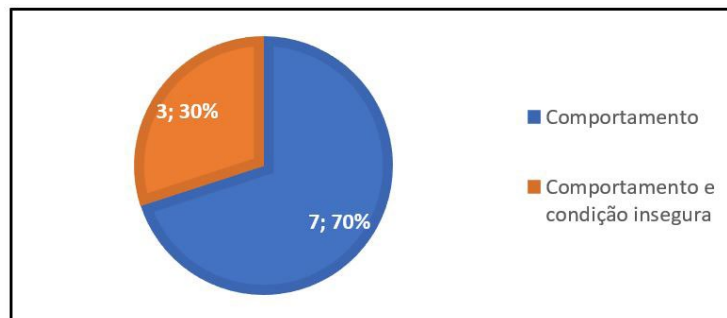
a comportamento inseguro. Por outro lado, os restantes 30% envolvem comportamento inseguro associado a condições inseguras. Os resultados detalhados dessa análise podem ser visualizados na Tabela 1, que destaca as origens dos dados qualitativos e explora estratégias eficazes de prevenção com base nas descobertas. Para uma representação visual das causas dos acidentes, a Figura 6 apresenta uma divisão gráfica desses dados.

**Tabela 1 – Autores e principais causas de acidente na construção civil.**

Autor	Causa	Ano
INBRAEP - Instituto Brasileiro de Ensino Profissionalizante	Comportamento	2022
Maria Luiza Oliveira Damásio Gomes Pessoa	Comportamento	2021
Demétrio Barboza Souza	Comportamento	2020
Camargo, Braga, Ferreira, Carvalho.	Comportamento e condição insegura	2018
Benedito Cardela	Comportamento	2016
Ronchi Pedro Goes	Comportamento	2014
Indianara Cardoso Kulkamp, Edsons Luis da Silva	Comportamento e condição insegura	2014
Ubirajara Mattos e Francisco Másculo	Comportamento e condição insegura	2011
Fundacentro	Comportamento	2001
Carlos Alberto G. S. Rocha	Comportamento	1999

Fonte: os autores

**Figura 6 – Principais causas de acidente em altura.**



Fonte: os autores

Assim, foi possível estabelecer alguns parâmetros sobre as causas de acidentes em alturas e o comportamento inseguro retratado na pesquisa apresentada. Essas relações são apresentadas a seguir.

### Comportamento inseguro: a maior causa de acidentes

O comportamento inseguro é um tema de grande relevância em relação aos acidentes de trabalho (SIMONELLI *et al.*, 2016). Isso envolve diversos comportamentos imprudentes dos trabalhadores, como o uso inadequado dos Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), a desobediência a procedimentos de segurança e a falta de treinamento adequado. A constatação de que aproximadamente 70% dos acidentes de trabalho em altura estão associados ao comportamento inseguro destaca a importância de lidar com essas questões de forma eficaz.

### Compreendendo o comportamento inseguro

Para abordar eficazmente o comportamento inseguro, é essencial compreender as razões subjacentes que levam os trabalhadores a se envolverem em atividades de risco. Fatores como pressão de tempo, falta de supervisão adequada, incentivos inadequados e falta de conscientização sobre os perigos associados ao trabalho em altura podem contribuir

para comportamentos inseguros. Portanto, os empregadores devem investir em programas de treinamento abrangentes que não apenas ensinem as melhores práticas de segurança, mas também promovam uma cultura de segurança no local de trabalho.

### Comportamento inseguro seguido de condição insegura

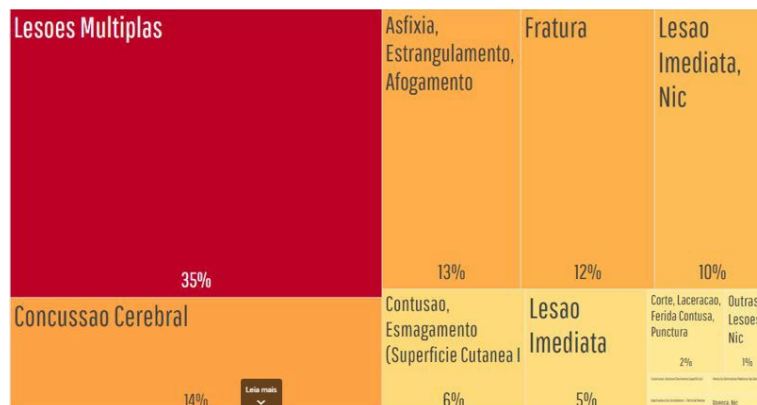
Embora o comportamento inseguro seja uma causa significativa de acidentes em altura, não podemos ignorar o papel das condições inseguras. O termo “comportamento seguido de condição insegura” refere-se a situações em que as condições de trabalho são inadequadas ou perigosas, o que pode levar a comportamentos de risco por parte dos trabalhadores (SIMONELLI *et al.*, 2016). Isso pode incluir a presença de equipamentos danificados, superfícies escorregadias, falta de sinalização adequada e outros fatores ambientais.

Para reduzir os acidentes de trabalho em altura na construção civil, é fundamental adotar uma abordagem integrada que aborde tanto o comportamento inseguro quanto as condições inseguras. Isso envolve educação e treinamento contínuos para os trabalhadores, enfatizando a importância da segurança e a correta utilização de EPIs, supervisão rigorosa para garantir o cumprimento de procedimentos de segurança e identificação precoce de comportamentos inseguros, manutenção regular de equipamentos e instalações para eliminar condições inseguras no ambiente de trabalho, e fomentar uma cultura de segurança onde os trabalhadores sintam que podem relatar preocupações sem medo de retaliação.

### Lesões mais frequentes

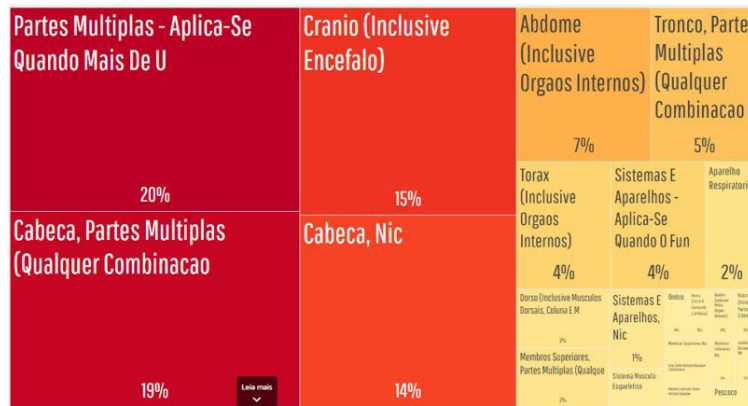
A análise das lesões mais frequentes em notificações de acidentes de trabalho ao longo do tempo é essencial para aprimorar as políticas de segurança no ambiente de trabalho. Ao identificar as lesões em destaque e observar como sua incidência evoluiu ao longo dos anos, podemos direcionar recursos e esforços de prevenção de forma mais eficaz (SMARTLAB, 2022). Além disso, a capacidade de combinar perspectivas por meio de filtros oferece uma visão mais abrangente e multifacetada dos acidentes de trabalho, auxiliando na formulação de estratégias mais assertivas para proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores.

**Figura 6 – Lesões mais frequentes por queda de altura com consequência a morte.**



Fonte: INSS - Instituto Nacional do Seguro Social  
Tratamento e análise: SmartLab

**Figura 7 – Parte do corpo mais frequentemente atingida pela queda em altura com consequência a morte.**



**Fonte: INSS - Instituto Nacional do Seguro Social**  
**Tratamento e análise: SmartLab**

### Análise de risco

A investigação dos fatores humanos subjacentes aos acidentes em altura na construção civil é crucial para aprimorar a segurança no setor (ALBERTO; ERTHAL, [s.d.]). A coleta qualitativa de dados sobre comportamento inseguro e condições inseguras resalta a necessidade de uma abordagem eficiente. Uma redução significativa na ocorrência de acidentes em altura na construção civil, visando a proteção dos trabalhadores, só é possível por meio da educação, supervisão e manutenção eficazes.

Além disso, a análise periódica das organizações não apenas fornece dados sobre a eficácia das práticas de segurança existentes, mas também possibilita a avaliação abrangente das tendências emergentes nas ameaças. Para isso, é fundamental implementar ações de mitigação de riscos, como ilustrado na figura abaixo.

**Figura 8 – Fluxo de análise de riscos.**



**Fonte: Google imagens**

Ao realizar análises de risco, as empresas podem identificar lacunas e áreas suscetíveis a falhas, examinando cada etapa dos processos de trabalho, desde a coleta de dados sensíveis até a implementação de medidas de controle físico (SECONCI-RIO, 2019). Além disso, a segurança no trabalho em altura não se resume apenas à tecnologia, mas também requer a criação de uma cultura de segurança que envolva os colaboradores. Portanto, o treinamento, supervisão e liderança desempenham um papel fundamental na prevenção de acidentes e na proteção dos trabalhadores.

**Figura 9 – Representação pilares da segurança na busca pela conscientização.**

Fonte: Os autores

## Investigação de acidente

A investigação de acidentes de trabalho é essencial para aprimorar a segurança laboral, pois permite identificar fatores humanos, técnicos e organizacionais envolvidos em acidentes. Essa análise proporciona insights valiosos para melhorar procedimentos de segurança e implementar correções eficazes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001).

Além disso, a investigação de acidentes ajuda as empresas a cumprirem regulamentações de segurança no trabalho, adaptando práticas e políticas conforme necessário. Neste estudo, examinaremos um acidente na Empresa AAA, onde um trabalhador terceirizado caiu de uma altura de seis metros durante reparos em um telhado.

### Estudo de caso

No cenário em que a Empresa AAA contratou uma prestadora de serviços para reparar um telhado danificado, um colaborador caiu do telhado de 6 metros de altura durante os trabalhos de reparo. O colaborador havia instalado um sistema de retenção de quedas (linha de vida) provisório no telhado, mas não conectou seu cinto ao sistema de segurança. É importante examinar os fatores que podem ter contribuído para o acidente, incluindo o treinamento do colaborador, avaliação médica, falta de permissão de trabalho e análise de risco.

### Fatores contribuintes

O colaborador estava treinado para trabalhar em altura e conhecia os procedimentos de segurança e o uso dos EPIs, incluindo o cinto de segurança. No entanto, houve uma falha ao não conectar o cinto ao dispositivo de retenção de queda, sugerindo descuido ou negligência durante o trabalho. Isso levanta questões sobre a eficácia dos métodos de antecipação de riscos, enfatizando a importância não apenas da formação do trabalhador, mas também da implementação de medidas práticas no ambiente de trabalho (FRANCESCO, 2018).

## **Avaliação médica e aptidão física**

O colaborador foi designado para trabalhar em altura devido à sua aptidão, considerando a NR35, que exige a avaliação da saúde dos trabalhadores (NR35, 2022). Essa avaliação, de acordo com a NR-07, inclui a consideração de patologias que podem causar mal súbito e quedas, bem como fatores psicossociais. Os exames médicos têm como objetivo garantir que o trabalhador seja capaz de executar suas tarefas em altura com segurança, levando em conta sua saúde

## **Permissão de Trabalho e análise de risco**

Foi identificada a falta da emissão de permissão de trabalho e análise de risco prévia à atividade, considerada uma falha crítica. A permissão de trabalho é essencial para avaliar riscos e implementar medidas de controle, conforme item 35.3.1 da NR35 (2022), evidenciando deficiências na gestão de segurança da empresa.

## **Conclusão da comissão de análise da empresa**

O acidente revela uma interseção de fatores que contribuíram para o acidente, embora o colaborador tivesse treinamento adequado, exame médico em dia e equipamentos de proteção instalados corretamente, a falta de conexão do cinto de segurança à linha de vida aliada à ausência de permissão de trabalho e análise de riscos, demonstra a necessidade de uma abordagem mais abrangente e rigorosa da empresa, para garantir a segurança dos colaboradores em atividades de risco. O que reforça a importância de se desenvolver métodos eficazes de gestão, tendo como exemplo a ISO 45001 (FRANCESCO, 2018).

## **Tecnologia e inovações**

Com base em Pereira e Alencar (2019), a maioria das organizações no setor empresarial busca aumentar a eficiência nos projetos de construção, focando na redução de custos. Isso é alcançado por meio da adoção de soluções tecnológicas inovadoras na construção civil, resultando em maior eficácia e agilidade nos processos (Pereira & Alencar, 2019). Na indústria da construção, particularmente no trabalho em altura, onde a segurança é fundamental, diversas inovações têm sido implementadas. Essas inovações visam proteger os trabalhadores, melhorar a produtividade e otimizar os processos. Tecnologias como realidade virtual e sistemas de monitoramento em tempo real têm desempenhado um papel importante nesse avanço, tornando o ambiente de trabalho mais seguro e eficiente (CONNECTA, 2019).

## **Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**

As tecnologias mencionadas têm aplicação no treinamento de segurança e conscientização sobre trabalho em altura, permitindo simulações de situações de risco e prática de procedimentos seguros em um ambiente virtual. Isso resulta em uma experiência imersiva devido à tecnologia utilizada, que modifica a percepção do usuário ao interagir com representações digitais, incluindo modelos tridimensionais de objetos ou ambientes (METASAFETY, 2023). Essa inovadora ferramenta representa um avanço significativo

na capacitação de trabalhadores que enfrentam frequentemente tarefas em ambientes elevados (HAUS, 2022).

**Figura 10 – Simulação virtual.**



Fonte: HAUS

### **Sistemas de Monitoramento e Rastreamento**

Dispositivos vestíveis e sensores em capacetes de trabalhadores rastreiam localização e movimentos (AECWEB, 2021). Isso assegura o cumprimento das regras de segurança e evita áreas perigosas. Os dispositivos vestíveis, compactos e integrados em equipamentos laborais, coletam e transmite dados para monitoramento em tempo real. Esses dados são enviados a um sistema centralizado, permitindo a supervisão e garantindo a conformidade com protocolos de segurança (NEWARK, 2023). Isso possibilita a detecção imediata de situações de risco e intervenção rápida.

### **Plataformas de Trabalho Suspensas Avançadas**

Plataformas suspensas motorizadas e controladas remotamente garantem acesso seguro e eficiente a áreas elevadas. Elas são projetadas para suportar trabalhadores, ferramentas e materiais, permitindo alcançar grandes alturas. Essas plataformas possuem motores potentes e mecanismos de elevação precisos, proporcionando acesso estável. Além da segurança, são marcadas pela eficiência, economizando tempo e esforço manual, resultando em projetos ágeis e produtivos (SHENXI, [s.d.]).

### **Uso de Drones**

Drones têm revolucionado a inspeção de estruturas, eliminando riscos para os trabalhadores e oferecendo benefícios significativos. Tradicionalmente, a avaliação da integridade estrutural de pontes suspensas envolvia montagem de andaimes ou o uso de guindastes, o que era demorado, caro e arriscado para os inspetores. No entanto, os drones equipados com câmeras de alta resolução, sensores e tecnologias de mapeamento avançadas podem voar até as áreas de interesse, inspecionar minuciosamente as superfícies e capturar dados precisos em tempo real. Isso permite avaliar a integridade estrutural, identificar problemas como rachaduras e corrosão, e acessar áreas de difícil alcance de maneira segura. Os dados coletados pelos drones são analisados por especialistas para tomar decisões informadas sobre a manutenção, reparo ou substituição de componentes, quando necessário (AECWEB, 2019).



## Treinamentos e conscientização

As empresas de construção civil estão adotando tecnologias, treinamentos e conscientização para melhorar a segurança dos trabalhadores em trabalhos em altura, e garantir o cumprimento de requisitos normativos (NR35, 2022). Tecnologias inovadoras, como plataformas elevatórias remotamente controladas e sistemas de ancoragem avançados, estão transformando a segurança nesse contexto. Além disso, programas de treinamento abrangentes, que incluem desde técnicas básicas de segurança até simulações de cenários realistas, desempenham um papel crucial na preparação dos colaboradores para situações complexas (MACEDO, 2020).

### Treinamentos Específicos

As empresas devem investir em treinamentos especializados para colaboradores que realizam trabalhos em altura, abordando segurança, uso de EPIs e EPCs, e procedimentos de emergência (NR35, 2022). O treinamento inicial deve ter pelo menos 8 horas e ser feito antes do início das atividades, com renovação a cada dois anos. Para atividades que envolvem acesso por cordas, como a manutenção de fachadas, os trabalhadores devem receber treinamento específico de acordo com as normas técnicas nacionais. Além disso, os empregadores devem oferecer treinamentos de resgate personalizados para preparar os colaboradores para emergências (NR35, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo principal a identificação das potenciais causas dos acidentes relacionados ao trabalho em altura na construção civil, com o propósito de reduzi-los por meio da conscientização, com a finalidade de preservar vidas e aprimorar as condições de trabalho dos profissionais envolvidos.

Com base na metodologia utilizada, ficou mais clara a necessidade de desenvolver campanhas de conscientização específicas para o trabalho em altura na indústria da construção. Isso se justifica pelo aumento significativo no número de notificações de acidentes em altura, os quais, em grande parte, estão relacionados a comportamentos inadequados e condições inseguras.

Ao analisar os fatores apresentados na pesquisa, que identificou as principais causas de acidentes, juntamente com o estudo de caso, torna-se claro que os fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes estão intimamente ligados ao comportamento humano e às condições inseguras que cercam as atividades em altura.

Portanto, este trabalho alcançou plenamente seu objetivo, ao apresentar medidas preventivas destinadas a mitigar comportamentos de risco nos locais de construção, com ênfase particular no trabalho em altura. Através da pesquisa e análise do estudo de caso, ficou claramente demonstrado que tais práticas inseguras desempenham um papel significativo na ocorrência de acidentes. O estudo de caso concentrou-se especificamente no comportamento de risco do colaborador, ao aceitar a condição de acessar o telhado sem utilizar dispositivos de retenção de quedas, mesmo eles estando disponíveis no local

de trabalho. Portanto, é evidente que a pesquisa se revelou satisfatória ao identificar as principais causas de acidentes, que são predominantemente as práticas inseguras.

## REFERÊNCIAS

AECWEB. Dispositivos vestíveis elevam segurança e produtividade da construção civil. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/dispositivos-vestiveis-elevam-seguranca-e-productividade-da-construcao-civil/21091>>. Acesso em: 9 set. 2023.

AECWEB. Drones agregam precisão e agilidade à construção civil. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/drones-agregam-precisao-e-agilidade-a-construcao-civil/19140>>. Acesso em: 9 set. 2023.

ALBERTO, L.; ERTHAL, V. Análise de risco aplicada ao trabalho em altura e propostas de medidas de controle. Disponível em: <[http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17720/2/CT\\_CCEST\\_XXVI\\_2014\\_19.pdf](http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17720/2/CT_CCEST_XXVI_2014_19.pdf)>. Acesso em: 9 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14280 Cadastro de acidente do trabalho - Procedimento e classificação Disponível em: <<https://docs.google.com/document/d/ZWd1cmFuY2F0cmFiYWxob3R1cm1hNDh8Z3g6MTEwZTA2ZGJiODFhZjM2YQ>>. Acesso em: 29 set. 2023

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO. Construção civil está entre os setores com maior risco de acidentes de trabalho. 30 de abril de 2019. Disponível em: <<https://www.anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setorescom-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>>. Acesso em: 14 mar. 2023

BRASIL, V. DO. EPI e EPC para trabalho em altura: tudo o que você precisa saber. Disponível em: <<https://blog.volkdobrasil.com.br/epi-e-epc-para-trabalho-em-altura/>>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BRIDI, M. E. *et al.* Identificação de práticas de gestão da segurança e saúde no trabalho em obras de construção civil. *Ambiente Construído*, v. 13, p. 43–58, 1 set. 2013. Acesso em: 20 mai. 2023.

Camargo, RD; Braga, ES; Ferreira, AF; Carvalho, JT. Trabalho em altura x acidentes de trabalho na construção civil. *Revista Teccen*. 2018 jul./dez.; 11 (2): 09-15.

CANPAT – Campanha nacional de prevenção aos acidentes de trabalho. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/canpat>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

CARDELLA, B. Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística: segurança integrada à missão organizacional com produtividade, qualidade, preservação ambiental, e desenvolvimento de pessoas. 1. Ed – São Paulo: Atlas, 2010.

CBIC - Orientações para prevenção dos acidentes e para o cumprimento das normas de sst guia para gestão de segurança nos canteiros de obras. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia\\_para\\_gestao\\_seguranca\\_nos\\_canteiros\\_de\\_obras\\_2017.pdf](https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Guia_para_gestao_seguranca_nos_canteiros_de_obras_2017.pdf)>.

CHAN, A. P. C. *et al.* Improving Safety Performance of Construction Workers through Learning from Incidents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 5, p. 4570, 4 mar. 2023. Acesso em: 20 maio. 2023.

CONNECTA, B. Inovações na Engenharia Civil para Acompanhar nos Próximos Anos! Disponível em: <[Dados estatísticos – Saúde e Segurança do Trabalhador. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/dados-de-acidentes-do-trabalho>>. Acesso em: 20 mai. 2023.](https://blog.banib.com/inovacoes-na-engenharia-civil-para-os-proximos-anos/#:~:text=Tend%C3%Aancias%20tecnol%C3%B3gicas%20para%20a%20engenharia%20civil%201%201.>. Acesso em: 19 ago. 2023.</a></p></div><div data-bbox=)

DEMÉTRIO, B.; SOUZA. Faculdade três marias curso de pós-graduação lato sensu em engenharia de segurança do trabalho. A importância da segurança no trabalho em altura na construção civil. João Pessoa-pb 2020. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://biblioteca.educasystem.com.br/repository/tcc/764f83a012fcf3d82caac8d365174fff.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2023.

FARIA, V. *et al.* MPH1536. Indústria da construção civil: análise e perspectivas no desenvolvimento regional. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.unitau.br/enic/trabalhos/MPH1536.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2023.

FRANCESCO. Pré-visualize a Norma ISO 45001:2018 de SST em português. Disponível em: <<https://iso31000.net/nova-iso-45001-em-portugues/>>. Acesso em: 2 set. 2023.

FUNDACENTRO. Engenharia de segurança do trabalho na indústria da construção. São Paulo: 2001. FUNDACENTRO. Engenharia de Segurança do Trabalho na Indústria da Construção. Brasília, 2001. Disponível em: [http://www.fundacentro.gov.br/dominios/PROESIC/anexos/SST\\_industria\\_da\\_construcon%20\\_Livro.pdf](http://www.fundacentro.gov.br/dominios/PROESIC/anexos/SST_industria_da_construcon%20_Livro.pdf)

Garantindo a segurança na construção civil - Sebrae. Disponível em: <<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/garantindo-a-seguranca-na-construcao-civil,2120be59ab4e5810VgnVCM100001b00320aRCRD>>. Acesso em: 3 set. 2023.

GOV - Diário Oficial da União. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/legislacao/decreto-no-10-905-de-20-de-dezembro-de-2021.pdf>>.

GRILL, M. *et al.* Safety leadership at construction sites: the importance of rule-oriented and participative leadership. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, v. 43, n. 4, p. 375–384. Acesso em: 20 mai. 2023.

HAUS. Simulador Virtual para Trabalho em Altura. Disponível em: <<https://estudiohaus.com/simulador-virtual-trabalho-em-altura/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

INBRAEP. Quais são os acidentes mais típicos de trabalhos em altura? Disponível em: <<https://inbraep.com.br/publicacoes/quais-sao-os-acidentes-mais-tipicos-de-trabalhos-em-altura/>>. Acesso em: 8 set. 2023.

Inspeção com Drones - Rápidas e Seguras | SCS TECH. Disponível em: <<https://www.scstech.com.br/inspecao-com-drone/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

KHOSRAVI, Y. *et al.* Factors Influencing Unsafe Behaviors and Accidents on Construction Sites: A Review. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, v. 20, n. 1, p. 111–125, jan. 2014.

KULKAMP, I. C.; DA SILVA, E. L. Segurança no trabalho em altura na montagem de estruturas pré-moldadas – estudo de caso. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2961/1/INDIANARA%20C.%20KULKAMP%20-%20Prof%20Edson%20Luiz.pdf>>. Acesso em: 8 set. 2023.

MACEDO, R. 10 dicas de Segurança para Trabalho em Altura. Disponível em: <<https://s2treinamentos.com.br/10-dicas-de-seguranca-para-trabalhar-em-altura/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

MATTOS, Ubirajara A. de O.; MÁSCULO, Francisco S. Higiene e segurança do trabalho. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MELLO, L. C. B. DE B.; AMORIM, S. R. L. DE. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. Production, v. 19, n. 2, p. 388–399, 2009.

METASFETY. Treinamento de NR 35. Disponível em: <<https://metasafety.com.br/index.php/treinamento-de-nr35-em-vr/>>. Acesso em: 9 set. 2023.

NEWARK, LAT. R. O papel dos dispositivos vestíveis industriais na garantia da segurança ocupacional. Disponível em: <<https://embarcados.com.br/o-papel-dos-dispositivos-vestiveis-industriais-na-garantia-da-seguranca-ocupacional/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

NORMA REGULAMENTADORA NO. 35 (NR-35). Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-35-nr-35>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

Nossos serviços: Inspeções: Inspeção com Drone – STD Standard Engenharia. Disponível em: <<https://www.stdengenharia.com.br/inspecao-com-drone/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

NR 04 - SERVIÇOS ESPECIALIZADOS EM SEGURANÇA E EM MEDICINA DO TRABALHO. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-04-atualizada-2022-2-1.pdf>>. Acesso em: 20 de mai. 2023.

NR 05 - Comissão interna de prevenção de acidentes. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-05-atualizada-2022.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2023.

NR 18 - Segurança e saúde no trabalho na indústria da construção. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-18-atualizada-2020-2.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

OHSAS 18001:2007 OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ASSESSMENT SERIES Occupational Health and Safety Management Systems Requirements OHSAS 18001:2007 OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY ASSESSMENT SERIES. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/103\\_ohsas\\_18001\\_2007\\_ing.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/103_ohsas_18001_2007_ing.pdf). Acesso em: 27 mai. 2023.

OIT - C155 - Segurança e Saúde dos Trabalhadores. Disponível em: <[https://www.ilo.org/brasilia/convencoes/WCMS\\_236163/lang--pt/index.htm](https://www.ilo.org/brasilia/convencoes/WCMS_236163/lang--pt/index.htm)>. Acesso em: 27 mai. 2023.

OMS - Plano de ação sobre a saúde dos trabalhadores. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/33985/CD54\\_10Rev.1-por.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/33985/CD54_10Rev.1-por.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 27 mai. 2023.

PBQP H - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/pbqp-h>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

PEREIRA, A.R.; ALENCAR, E.A.B. Análise do uso das novas tecnologias na construção civil. Artigo apresentado no Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Norte – Uninorte. 2019.

Plataforma SmartLab de Trabalho Decente. Disponível em: <<https://smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=perfilCasosAcidentes>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

PNSST. Política Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho - PNSST.pdf — Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/escola/e-biblioteca/politica-nacional-de-seguranca-e-saude-no-trabalho-pnsst.pdf/view>>. Acesso em: 11 out. 2023.

PODCAST, D. S. Parte 2 - Objeto de Aprendizagem em VR - Treinamento de NR35. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=u2cNfOyvf0o>>. Acesso em: 9 set. 2023.

REDAÇÃO. Mortalidade no trabalho cresce em 2022 e acidentes notificados ao SUS batem recorde. Disponível em: <<https://www.abmt.org.br/noticias/mortalidade-no-trabalho-cresce-em-2022-e-acidentes-notificados-ao-sus-batem-recorde/>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

RIBEIRO, M. Monitoramento de obras: como a tecnologia. Disponível em: <<https://maiscontroleerp.com.br/monitoramento-de-obra/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

ROCHA, C.A.G.S.C. Diagnóstico do cumprimento da NR-18 no subsetor edificações da construção civil e sugestões para melhoria da gestão da segurança e saúde ocupacional nas empresas da construção civil. 148p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

RONCHI, P.G. Diagnóstico de aplicação das normas regulamentadoras de segurança referentes aos trabalhos em altura. 2014 85f. UFSC. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/121994/TCC\\_Pedro\\_Goes\\_Ronchi\\_20141.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/121994/TCC_Pedro_Goes_Ronchi_20141.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Saiba qual é a diferença entre realidade virtual e realidade aumentada. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/noticias/2018/01/saiba-qual-e-a-diferenca-entre-realidade-virtual-e-realidade-aumentada.ghtml>>. Acesso em: 3 set. 2023.

SECONCI-RIO. Gestão do Trabalho em Altura na Construção Civil. Disponível em: <<https://www.seconci-rio.com.br/gestao-do-trabalho-em-altura-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

SEHSAH, R.; EL-GILANY, A.; IBRAHIM, A. M. Personal protective equipment (PPE) use and its relation to accidents among construction workers. La Medicina del lavoro, 2020.

Série SmartLab de Trabalho Decente 2022: Acidentes de trabalho e mortes acidentárias voltar a crescer em 2021. Disponível em: <[https://www.ilo.org/brasil/brasilia/noticias/WCMS\\_842760/lang--pt/index.htm](https://www.ilo.org/brasil/brasilia/noticias/WCMS_842760/lang--pt/index.htm)>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SHENXI. Plataformas suspensas | Plataformas suspensas de trabalho. Disponível em: <<http://suspendedplatform.com.br/2019/1-suspended-platform.html>>. Acesso em: 31 ago. 2023.

SIMONELLI, A. P. *et al.* Influência da segurança comportamental nas práticas e modelos de prevenção de acidentes do trabalho: revisão sistemática da literatura. *Saúde e Sociedade*, v. 25, n. 2, p. 463–478, 2016.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. DE. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. *Revista Paranaense de Desenvolvimento - RPD*, n. 109, p. 9–26, 2005.

UFCG - Centro de desenvolvimento sustentável do semiárido unidade acadêmica de Engenharia de Produção - Maria Luiza Oliveira Damásio Gomes Pessoa. A indústria da construção e os acidentes de trabalho: uma revisão da literatura. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/20543/MARIA%20LUIZA%20OLIVEIRA%20DAM%c3%81SIO%20GOMES%20PESS%c3%94A%20-%20TCC%20ENG.%20PRODU%c3%87%c3%83O%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 8 set. 2023.



## Estudo da substituição de um sistema tradicional de aço para aço dobrado em estruturas construtivas: um estudo de caso

### *Impacts of the use of bended steel in building structures: a case study*

Rafael Henrique Ballera  
Gerson de Marco  
Fabiana Florian

#### RESUMO

O aço é um dos materiais mais utilizados na construção civil como um elemento estrutural, tendo como vantagens a combinação com demais materiais, durabilidade e eficiência. Mas o modelo de fornecimento dos vergalhões longos que precisam ser cortados e dobrados para um material já entregue com as especificações necessárias se tornou uma tendência crescente nas últimas décadas. O objetivo deste artigo é estudar o impacto da substituição de um sistema tradicional de aço para o uso de aço dobrado na fase estrutural de uma obra localizada no município de Ibitinga-SP. Para tanto foi feito levantamento bibliográfico e documental a fim de demonstrar as diferenças na obra de um muro de arrimo. Os resultados percebidos indicaram minimização da quantidade de funcionários necessários e redução do tempo de obra, já que o aço dobrado chega pronto e só precisa ser instalado nos espaços adequados indicados no projeto. Os benefícios elencados como principais são a redução da mão de obra especializada em cada obra e do tempo para concluir as demandas. O que no cálculo geral justificaria investimento nesse tipo de modelo estrutural de aço dobrado em comparação com o tradicional de aço em vergalhão, mesmo que a um custo pouco superior. Ainda assim, comparativamente, na obra analisada foi identificada otimização em 4% do valor do aço, com a redução de pedreiros armadores para o serviço.

**Palavras-chave:** aço dobrado. estruturas construtivas. sistema tradicional.



## ABSTRACT

Steel is one of the most used materials in civil construction as a structural element, with the advantages of combining with other materials, durability and efficiency. But the model of supplying long rebars that need to be cut and bent into material already delivered to the required specifications has become a growing trend in recent decades. The objective of this article is to study the impact of replacing a traditional steel system with the use of folded steel in the structural phase of a project located in the municipality of Ibitinga-SP. To this end, a bibliographic and documentary survey was carried out in order to demonstrate the differences in the work of a retaining wall. The results perceived indicated a minimization of the number of employees needed and a reduction in construction time, as the folded steel arrives ready-made and only needs to be installed in the appropriate spaces indicated in the project. The benefits listed as main are the reduction of specialized labor in each project and the time to complete demands. Which in the general calculation would justify investment in this type of folded steel structural model compared to the traditional rebar steel model, even if at a slightly higher cost. Even so, comparatively, in the work analyzed, an optimization of 4% of the value of the steel was identified, with the reduction of bricklayers for the service.

**Keywords:** folded steel. constructive structures. traditional system.

## INTRODUÇÃO

O aço está entre as principais matérias primas da construção civil, sendo utilizado há quase dois séculos, em diferentes estruturas e finalidades. O aço dobrado em estruturas construtivas tem sido utilizado desde os anos 1980 no Brasil, como forma de otimizar processos e reduzir desperdício (NETA; FERRER NETO, 2017).

O objetivo deste estudo é estudar o impacto da substituição de um sistema tradicional de aço para o uso de aço dobrado na fase estrutural de uma obra localizada no município de Ibitinga-SP. Os elementos analisados nesse processo de construção serão em relação a custo, tempo e demandas ambientais.

Na construção civil, o uso tradicional do aço se dá por meio de vergalhões, que são barras de aço com comprimento aproximado de 12 metros, que são cortadas, dobradas e armadas no próprio canteiro de obras (FREIRE, 2001). Esse sistema in loco, no entanto, conta com implicações em relação ao desperdício de material e geração de resíduos. O aço dobrado é contratado já nas especificações exatas para seu uso, dispensando assim mão de obra especializada (armadores) e custos com material inutilizado ou sobras (ARAÚJO, 2013).

A abordagem do tema se justifica considerando as discussões em relação a modelos sustentáveis de construção, em atendimento às novas normalizações, o que impõe a discussão de adaptações, por exemplo por meio de indicadores da Lean Construction, como relataram estudos de Venturini (2015), Passos Júnior (2007) e Pozzobon, Heineck e Freias (2004). Nesse sentido, a hipótese deste trabalho é que a utilização do aço dobrado é uma alternativa mais limpa e sustentável, além de possibilitar redução de custo e tempo em comparação ao sistema tradicional de aço.

Foi realizada pesquisa bibliográfica com foco no Google Acadêmico, utilizando as

palavras-chave “Aço dobrado”, “Estruturas construtivas” e “Sistema Tradicional”, referente a última década, a fim de embasar a discussão com relação aos resultados agregados, e, posteriormente, realizado um estudo de caso referente a uma obra realizada pela Prefeitura do município de Ibitinga.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O aço começou a ser utilizado na construção em 1850 e ganhou força a partir de 1920 com o surgimento do concreto armado. Até então, o sistema construtivo era baseado em alvenaria e concreto, mas a utilização de estrutura que leva o aço no interior de vigas, pilares e lajes, se tornou revolucionária por garantir alta resistência e durabilidade, possibilitado uma nova mecânica e a construção de edifícios mais altos (BARROS; MELHADO, 1998; BASTOS, 2006; VASCONCELOS, 1992).

Segundo Araújo *et al.* (2000, p. 90), o concreto armado é constituído pela associação de concreto e aço, união que advém do fato que o concreto possui baixa resistência à tração, sendo função do aço absorver os esforços de tração e cisalhamento que atuam nos elementos de concreto. O vergalhão é o mais utilizado, uma barra de aço com comprimento aproximado de 12 metros, que é cortada, dobrada e armada, conforme as especificações de cada projeto (FREIRE, 2001).

O aço é um produto resultante das interações principalmente entre o ferro (Fe) e o carbono (C), que resulta na liga de aço. A maior ou menor quantidade de carbono é o que define as características físicas de cada tipo de barra, por exemplo em relação à dureza, resistência, flexibilidade e transmissão de carga. São conhecidos mais de 3 mil tipos de aços, mas a liga de aço que permite o processo de corte e dobra é o mais importante para a construção civil, podendo ser utilizado como estrutura montada ou em armações de concreto (NETA; FERRER NETO, 2017; MARQUES, 2013).

Entre as vantagens da utilização do aço na construção civil pode-se destacar o relativo baixo custo, ter boa resistência, ser um material sustentável, fácil de ser utilizado, além de flexível, moldável e compatível de utilização com outros materiais. O aço também é 100% reciclável, portanto, as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas, além de permitir uma precisão em medidas, até mesmo em milímetros, o que garante qualidade na utilização em acabamentos de construções e minimizar o consumo, além de aliviar cargas e custos em até 30% nas fundações, por exemplo (NETA; FERRER NETO, 2017).

Mas a questão do uso, manuseio e desperdício de material passou a ser discutido, embora os rolos de 2 toneladas e os vergalhões de 12 metros tenham se tornado comuns. Porém, foi consolidado que 10% desse material é descartado em decorrência de erro ou perda nos cortes, além de demandar espaço e tempo para a realização da armação de estruturas desejadas (SOUZA, 2005; FREIRE, 2011).

De acordo com Araújo (2013), até meados dos anos 1970, as estruturas eram produzidas *in loco*, todo o processo de corte, dobra e armação foram feitos artesanalmente, com o auxílio de tesouras manuais, bancadas com pinos e chaves para dobra do aço, esse processo era lento e necessitava de um número maior de trabalhadores, e também de mais

espaço para produção e armazenagem, pois o aço deve ser armazenado em local seco e sem contato com o solo, para evitar intensificação do processo de corrosão, manifestado pela ferrugem.

O processo *in loco* de corte e dobra de vergalhões em aço é o tradicional e foi o mais utilizado até a década de 1990, mas apresentava como itens relevantes a necessidade de um grande espaço no canteiro de obras e uma série de especificações que nem sempre são seguidas, como observa Bonfante e Savi (2013).

Entre as medidas básicas para a realização da montagem de estruturas necessárias ao projeto estão a instalação de bancadas ou plataformas apropriadas e estáveis, apoiadas sobre superfícies resistentes, niveladas e não escorregadias; pilares, vigas e outras estruturas verticais apoiadas e escoradas para evitar tombamento e desmoronamento, para que o serviço seja realizado com qualidade e segurança (BONFANTE; SAVI, 2013).

O movimento para o uso do sistema de aço dobrado foi iniciado na Europa como forma de melhoria dos níveis de industrialização e automatização. A ideia foi trazida ao Brasil por Leon Herzog, que reuniu o potencial da indústria brasileira com a tecnologia europeia para o início do fornecimento de aços cortados e dobrados. O sistema é originário da Espanha e foi trazido ao Brasil pelos grupos siderúrgicos Gerdau e Belgo no final dos anos 1980 (FELÍCIO, 2012).

A industrialização da construção é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva (FERREIRA, 2001, p. 5).

O sistema de corte e dobra foi bastante popularizada pela Belgo, que criou o sistema Belgo Pronto, por meio de parceria com empresas menores que passaram a realizar o serviço por encomenda, conforme padrões e necessidades exigidas pelos clientes. A estimativa da Belgo, cerca de metade das construtoras já utilizam o sistema, por sua facilidade, reduzindo espaço no canteiro de obras e proporcionando redução de até 15% no consumo do material, reduzindo custos e melhorando a produtividade (FELÍCIO, 2012).

A tendência do uso de aço dobrado na construção civil está relacionada à minimização de desperdício do material, seja por conta de custos ou impacto ambiental. Mas no Brasil, esse processo, que se iniciou em 1980, ainda varia de 20 e 35% de consumo nas obras, enquanto na Europa esse sistema de uso já atinge 85% das obras (PASSETI, 2009). Portanto, existe um amplo mercado a ser conquistado ainda em âmbito nacional.

El Debs (2000) diz que a construção civil tem sido considerada uma indústria atrasada, em comparação com outros setores, por conta do alto desperdício de materiais, baixa produtividade e baixo controle de qualidade. O gerenciamento e planejamento da obra está prevista inclusive na resolução nº 307 do CONAMA (2002), como indicativo de redução, reciclagem e reutilização de resíduos nas construções.

O processo de racionalização construtiva, segundo Sabbatini (1989), é composto pelo uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros em todas as fases da construção. Portanto a racionalização pressupõe organização, planificação, verificação de técnicas adequadas e constante

melhoria da qualidade com visão sustentável, em busca de produtividade e redução de desperdício (LEAL, 2009).

Entre os motivadores do processo pronto de corte e dobra está a questão da sustentabilidade. As empresas de aço geram anualmente milhões de toneladas de sucata em aço contribuindo para a poluição do meio ambiente, e muitas vezes ocorre o descarte em locais indevidos, como os aterros. As sobras ocorrem tanto nos processos in loco como nas empresas que realizam a dobra e corte, a diferença está no destino dos materiais.

Embora o aço apresente uma série de benefícios, a produção, o desperdício e o descarte incorreto de sobras resultam em degradação do solo, compromete os corpos d'água, pode intensificar as enchentes e contribuir para a poluição do ar. O problema é que a construção civil demanda grande quantidade de resíduos sólidos, respondendo por cerca de 40% a 60% do total nas grandes cidades, por isso são necessárias melhorias nos processos construtivos objetivando reduzir gastos desnecessários e gerar atitudes sustentáveis, para a racionalização em busca da melhoria da qualidade de vida em aspectos sociais, econômicos e ambientais (MOURA; SÁ, 2013).

A otimização de material de construção, no caso do corte e dobra do aço sobre medida, além da utilização do processo *just in time*, está de acordo com o pensamento sustentável, que envolvem melhorias globais para minimizar a produção com reflexos ambientais, evitar desperdícios, reduzir custos e agregar valor ao processo construtivo.

Entre as medidas básicas para a realização da montagem de estruturas necessárias ao projeto estão a instalação de bancadas ou plataformas apropriadas e estáveis, apoiadas sobre superfícies resistentes, niveladas e não escorregadias; pilares, vigas e outras estruturas verticais apoiadas e escoradas para evitar tombamento e desmoronamento, para que o serviço seja realizado com qualidade e segurança (BONFANTE; SAVI, 2013)

Devido a essa grande quantidade de material de sobra gerada pelas empresas há a necessidade de recicle para reduzir o impacto energético no processo produtivo do aço, e, conseqüentemente, as emissões de CO<sub>2</sub>. Sem contar na geração de oportunidades de trabalho a milhares de pessoas por meio de uma extensa cadeia de coleta e processamento de sucata para reciclagem. Segundo Vázquez (1997), a proteção ambiental é um dos maiores desafios que a sociedade enfrenta atualmente, mais especificamente as reduções no consumo energético e de matérias-primas naturais, e a produção de resíduos.

## **ESTUDO DE CASO: SUBSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA TRADICIONAL DE AÇO POR AÇO DOBRADO NO MUNICÍPIO DE IBITINGA-SP**

Foi estudado o caso de uma obra de reforma de um muro de arrimo realizado pela Prefeitura de Ibitinga, município com 60 mil habitantes localizado na região central do estado de São Paulo (IBGE, 2023). Embora possa ser entendida como uma obra simples ou comum, o projeto foi considerado de alta relevância por sua localização, que é parte do estacionamento do Centro de Especialidades em saúde, e a necessidade de sustentação, devido ao desnível do terreno.



A obra do Centro de Especialidades foi contratada mediante edital de tomada de preços 013/2018, com descrição de muro de arrimo que tinha a previsão de utilização de armaduras em barras de aço de CA-50 e CA-60 (A OU B), considerando medição do peso nominal das bitolas constantes no projeto, incluindo o dobramento, transporte e colocação de armaduras, com os devidos materiais auxiliares, como arame, espaçadores, cortes e pontas de traspasse para emendas (IBITINGA, 2018).

A obra foi concluída em 2020, ao lado de uma Unidade de Pronto Atendimento da Vila São João, contando com 11 especialidades médicas e registrando aproximadamente cinco mil consultas mensais. No entanto, o muro dos fundos cedeu, em novembro de 2021, em decorrência de fortes chuvas, que causaram o deslocamento de terra do barranco ao lado. Apesar de estar localizada no estacionamento externo, caso não ocorresse o reparo, a extensão da movimentação poderia se estender e, assim, comprometer outras estruturas construídas no entorno (Figura 1).

**Figura 1 – Queda de muro em decorrência de chuvas.**



**Fonte: G1 (2021)**

A partir de novembro de 2021, foi autorizada a reforma com novas especificações para o muro de arrimo. O termo arrimo tem como significado proteção, amparo ou encosto, ou seja, uma construção que garanta o suporte como estrutura de contenção para resistir aos esforços exercidos pelo solo e as pressões da água.

A tomada de preços 10/2022, aberta em março de 2022, previu uma obra mais ampla e reforçada do muro de arrimo, conforme demonstra-se na sequência por meio de descrição no edital e nas fotos dos processos realizados, com maior enfoque na utilização da estrutura de aço.

A obra foi contratada pela Prefeitura de Ibitinga em junho de 2022, com prazo previsto de entrega em 60 dias, mas o contrato foi prorrogado porque houve atraso, até outubro de 2022. A primeira fase da obra foi a parte estrutural do reforço com o concreto armado (Figuras 2 a 5). Foi definida como obra a realização de uma estrutura de contenção para um desnível de solo com altura de 3 metros, por meio de muro de arrimo de flexão, com laje de fundação de 2 metros de largura, com vigas de transição apoiadas sobre estacas, e parede com alvenaria de blocos de concreto com espessura de 19cm e pilares de concreto com seção transversal de 25x40cm (IBITINGA, 2022).



**Figura 2 – Limpeza e preparo da área para a obra do muro.**

**Fonte: Ibitinga (2023)**

A primeira fase previu a limpeza do entulho e a remoção de um trecho do muro danificado, preparando a área, com acumulação do solo no local e a formação de um talude provisório nas bordas com inclinação máxima de 45°, com posterior à execução do muro será executado o reaterro com o próprio solo escavado, realizando-se a compactação adequada em camadas de 30cm (IBITINGA, 2022).

Foram executadas 28 estacas com equipamento de perfuração tipo hélice contínua, com diâmetro de 25 cm e 8 metros de profundidade, armadas com aço CA-50, utilizando concreto com  $F_{ck} = 25$  MPa. A superestrutura contou com a execução de pilares de 25x40cm, com vigas de transição com 30x40cm e laje de fundação com espessura de 15 cm, em concreto com  $F_{ck} = 25$  Mpa, armado com aço CA 50 em barras com diâmetro variável conforme as especificações de projeto. Para a vedação dos vãos entre pilares foi prevista a alvenaria de blocos de concreto com espessura total de 19cm, com canaletas armadas a cada 1,0 metro de altura do muro.

**Figura 3 – Instalação da estrutura em aço.**

**Fonte: Ibitinga (2023)**

Foi definida como obrigatoriedade o cobrimento mínimo de 30mm para as armaduras, sendo toda obra adequado à ABNT/NBR 14931/2004, sobre a execução e estruturas de

concreto.

**Figura 4 – Instalação aço dobrado nas especificações determinadas.**



**Fonte: Ibitinga (2023)**

**Figura 5 – Armaduras em aço já instaladas.**



**Fonte: Ibitinga (2023)**

As outras etapas da obra previam o revestimento do muro e um processo de drenagem por meio de canaleta e caixas de alvenaria, além de um sistema subterrâneo, a fim de captar as águas pluviais e evitar infiltrações.

O custo estimado para essa obra foi de R\$ 103.806,79, sendo R\$ 35.187,85 referente a armaduras em barras de aço, com preço por quilo de R\$ 11,67. A Prefeitura de Ibitinga já utiliza esse sistema construtivo há alguns anos por considerar que é mais prático e mais rápido, além de no cálculo geral compensar, mesmo que o dobrado seja mais caro do que o vergalhão, porque reduz o custo com mão de obra.

Marques (2013) estimou que o uso de vergalhões de 12 metros nas obras costuma gerar perdas entre 10% e 20%, devido ao corte e dobra in loco, devido à necessidade de peças com variados formatos e tamanhos, enquanto na peça já pronta, a perda é zero, já que é entregue exatamente a peça com as especificações projetadas. Todas estas otimizações, resultam em redução do tempo de execução da obra, ou seja, economia.

Estudo de Raulino e Daré (2015) identificou que os custos diretos totais do serviço de armadura são para o método industrializado de corte e dobra de R\$ 4,81/kg por unidade,

o método Industrializado corte, dobra e montagem tem custo unitário de R\$ 4,93/kg, e o tradicional custo unitário de R\$ 5,27/kg. Esses valores indicam que o método Industrializado (corte e dobra) é 9,56 % menor que o método Tradicional.

Em relação aos custos, as perdas identificadas no estudo de Raulino e Daré (2015) foram de 18,37% no método tradicional, 1,22% no método de corte e dobra e 2,22% no método industrializado corte, dobra e montagem, decorrentes principalmente de diferença no diâmetro nominal do vergalhão, erros de projeto e modificações de última hora.

Os custos com aço incluídos no contrato da Prefeitura de Ibitinga com a obra em estudo não estão especificados valores para cada modelo de aço utilizado, portanto, pode-se dimensionar que o valor com o aço vergalhão não teria muita diferença em relação a esse valor por quilo. No entanto, seria necessário acrescentar à planilha os valores gastos com homem/hora na obra.

Geralmente, pedreiros que realizam armações são melhores remunerados que os ajudantes, sendo o salário médio do mercado de R\$ 1.865,00 e o valor bruto na Prefeitura de Ibitinga de R\$ 2.400,00. O departamento de engenharia da Prefeitura de Ibitinga estima que a obra do muro de arrimo utilizou oito funcionários por dia. Caso fosse necessário realizar as armações in loco seriam necessários ao menos mais quatro funcionários.

O cálculo estimado realizado nesse estudo de caso considera que cada funcionário trabalha 44 horas semanais (220 horas mensais), portanto o custo de cada hora por pedreiro é de R\$ 10,90. Considerando 8 horas de trabalho por dia, o custo por trabalhador/dia é de R\$ 87,20.

A quantidade de aço utilizada para o muro de arrimo demandaria em torno de quatro dias de trabalho em armações, portanto quatro funcionários a mais necessários resultariam em um custo adicional à obra de pelo menos R\$ 1.395,20, ou seja, próximo de 4% no preço do aço adquirido. Deve-se considerar ainda que, como servidores públicos, quando a quantidade de mão de obra é otimizada em um local, os funcionários podem ser utilizados em outras obras, melhorando assim o atendimento e serviços públicos, ou seja, com o dinheiro cidadão.

Em um estudo Praça e Neto (2001), realizado em quatro obras em Fortaleza, com o uso do sistema tradicional, com corte e dobra in loco, e o sistema industrializado de fornecimento de barras moldadas, foram comparadas as planilhas orçamentárias de composições unitárias dos dois sistemas, apontou que o sistema pronto era mais vantajoso para as empresas. A diferença encontrada foi de 19 % a favor do sistema industrializado.

Considerando a relevância da obra, a urgência e a preocupação com a contenção, compreende-se como relevante a utilização do aço dobrado para acelerar o processo, reduzir desperdício com material e custos. Deve-se observar ainda que, trata-se de obra pública, que tem a responsabilidade social, ambiental e em relação à transparência, já que a tomada de preços é pelo menor preço.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição do aço tradicional em vergalhão por aço cortado e dobrado já nas especificações de cada obra é uma prática que está fundamentada na Prefeitura de Ibitinga, como demonstrou o estudo de caso, que cumpriu os objetivos inicialmente previstos demonstrando o impacto da substituição de um modelo tradicional de uso do aço para outro mais moderno, que é a aquisição do aço dobrado.

Foi verificado que uso desse tipo de sistema na fase estrutural das obras municipais vem resultando na minimização da quantidade de funcionários em cada obra e uma boa relação custo-benefício, reduzindo ainda o impacto ambiental, pois não ocorrem mais sobras de resíduos em aço.

Esse tipo de visão contemporânea, com sistemas mais ágeis e limpos, é uma tendência na gestão corporativa e que tem ganhado destaque na construção civil, por meio do Lean Construction. Mas no estudo de caso apresentado entende-se que tem ainda maior relevância considerando que a prática está ocorrendo no serviço público, portanto está revertendo em benefícios ao contribuinte, com respeito ao dinheiro público.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. L. C.; RODRIGUES, E. H. V.; FREITAS, E. G. A. Materiais de construção. Rio de Janeiro: Universidade Rural, 2000.

BARROS, M.M. S. B.; MELHADO S.B. Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios. São Paulo: EPUSP, 1998. Disponível em: [http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT\\_00004.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf). Acesso: maio 2017

BASTOS, P.S.S. Fundamentos do concreto armado. Bauru: UNESP, 2006. Faculdade de Engenharia, departamento de engenharia civil. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>. Acesso: maio 2018.

BONFANTE, A; SAVI, C.N. Implantação de um canteiro de obras de acordo com a NBR 18 – Estudo de Caso. Curso de Engenharia Civil. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2013.

EL DEBS, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. Escola de Engenharia de São Carlos/USP. São Carlos, 2000.

FELÍCIO, E.A. Estudo da implementação de conceito da produção enxuta para redução de resíduos em uma manufatura do ramo siderúrgico. (Faculdade de Engenharia). Universidade Federal de Juiz de Fora. 2012.

FERREIRA, M. A. Racionalização e industrialização da construção civil. Artigo Técnico. Universidade Federal de São Carlos, 2001.

FREIRE, T. M. Produção de estruturas de concreto armado, moldadas in loco, para edificações: caracterização das principais tecnologias e formas de gestão adotadas em São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia). São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001. 325p.



G1. Muro do Centro de Especialidades de Ibitinga cai em cima de veículo durante tempestade. Bauru e Marília, 30 nov. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2021/11/30/muro-do-centro-de-especialidades-de-ibitinga-cai-em-cima-de-veiculo-durante-tempestade.ghtml>. Acesso em: 15 ago. 2023.

GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ibitinga. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/ibitinga/panorama>. Acesso em: 11 ago. 2023.

IBITINGA. Prefeitura da Estância Turística de Ibitinga. Centro de Especialidades Médicas – um ano de bons serviços em Ibitinga. 07 out 2021. Disponível em: <https://www.ibitinga.sp.gov.br/centro-de-especialidades-medicas--um-ano-de-bons-servicos-em-ibitinga-262834>. Acesso em: 11 ago. 2023.

IBITINGA. Prefeitura da Estância Turística de Ibitinga. Disponível em: <https://www.ibitinga.sp.gov.br/>. Acesso em: 11 ago. 2023.

IBITINGA. Prefeitura Municipal da Estância Turística de Ibitinga. Edital de tomada de preços nº 013/2018. Processos Administrativos n.º 6992/2018. 25 out. 2018.

IBITINGA. Prefeitura Municipal da Estância Turística de Ibitinga. Edital de tomada de preços 010/2022. Processos Administrativos nº 1.921/2022. 22 mar. 2022.

LEAL, D.M.N. Pré-fabricação de edifícios: avaliação da tecnologia sob a ótica da gestão de processos. UEFS. Departamento de Tecnologia Curso de Engenharia Civil. Feira de Santana 2009.

MARQUES, C.H.C.R. Utilização do aço cortado e dobrado na construção civil. (Bacharelado em Engenharia Civil) Universidade Católica de Brasília, 2013. Disponível em: <https://silo.tips/download/carlos-henrique-castro-ribeiro-marques-utilizaaao-do-ao-cortado-e-dobrado-na-cons>. Acesso em: 25 maio 2023.

MOURA; A; SÁ, M.V.V.A. Influência da racionalização e industrialização na construção sustentável. Revista Tecnologia & Informação. Ano 1, N.1, Nov.2012/FEV.2014. P. 64- 77

NETA, N.A.S; FERRER NETO, F.M. O Uso do Aço na Construção Civil.VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, 2017.

PACHECO, D.A.J. Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração. UFRGS. Production SciELO Brasil, 2014. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/prod/2014nahead/aop\\_prod1171\\_ao.pdf](http://www.scielo.br/pdf/prod/2014nahead/aop_prod1171_ao.pdf). Acesso em: Acesso em: 05 maio 2023.

PASSETI, J. A. Corte e dobra de aço. Debates técnico. Revista Construção e Mercado. Edição 38 – janeiro de 2009. Disponível em: <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/38/corte-e-dobra-de-aco-281686-1.aspx>. Acesso: 10 abr. 2023.

PASSOS JÚNIOR, R. Diretrizes para planejamento operacional no canteiro de obras. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.

POZZOBON, C.; HEINECK, L. F.; FREITAS, M. Levantamento de inovações tecnológicas simples em obra. In. I Conferência Latino-Americana de construção Sustentável; X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 2004. Anais..., São Paulo: CLACS; ENTAC, 2004.

RAULINO, M. DARÉ, M.E. Estudo comparado dos custos diretos dos serviços de armação com o método tradicional e o método industrializado para residências unifamiliares. Curso de Engenharia Civil. UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2015

SABBATINI, F.H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989.

SOUZA, U. L. Como reduzir perdas nos canteiros: Manual de gestão do consumo de materiais na Construção Civil. São Paulo: PINI, 2005. 138p.

VASCONCELOS, A. C. O Concreto no Brasil. São Paulo: Editora Pini, 1992.

VENTURINI, Juliana S. Proposta de ações baseadas nos 11 princípios Lean Construction para implantação em um canteiro de obras de Santa Maria. Graduação. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, RS, 2015.



---

## Organizador

## **Adriano Mesquita Soares**

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

# Índice Remissivo

## A

abordagem 10, 11, 12, 13, 14, 16, 32, 35, 42, 45  
acidentes 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 137, 138, 139, 140, 141, 142  
aço 107, 115, 118, 119, 121, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153  
ambientais 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 41, 44, 46, 49, 50, 51, 52, 90, 95, 96, 101, 102  
ambiental 12, 13, 14, 20, 21, 47, 81, 90, 91, 96, 97, 100, 101, 102  
amplificador 63, 65, 66, 67, 69, 72, 75, 77  
análise 11, 13, 14, 17, 34, 41, 43, 44, 45, 50, 51, 52, 53, 56, 69, 70, 72, 90, 91  
análise comparativa 104, 105, 106  
atividade física 78, 79  
autonomia 28, 90, 102

## B

bicicleta 78, 79, 80, 81, 87, 88, 89  
blockchain 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39

## C

cartorários 32, 36, 37  
ciclo de vida 10, 12, 13, 14, 15, 16  
combustíveis 19, 20, 21, 22, 23, 24, 28, 29  
combustível 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30  
concreto 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 121, 122  
conscientização 13, 42, 90, 91, 94, 96, 102, 123, 124, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 137  
construção 45, 46, 56  
construção civil 105, 123, 124, 125, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 152, 153  
construtivas 143, 144, 145  
consumo 13, 19, 20, 21, 25, 28  
contemporâneos 13, 105  
criptomoedas 34  
custo 21, 25, 29, 34, 37, 38, 44, 95, 107, 119, 120, 121, 143, 144, 145, 150, 151, 152

# D

desenvolvendo 45, 78, 79, 83  
desenvolvimento 13, 14, 15, 18, 20, 26, 27, 29, 43, 44,  
46, 47, 50, 65, 70, 78, 80, 82, 83, 87, 88, 89, 91, 96,  
97, 102  
detecção 63, 65, 66  
diversidade 26, 90, 91, 93, 95, 97

# E

econômica 11, 12, 14, 78, 79, 104, 105, 106, 107, 120,  
121, 122  
econômicas 49  
eficiência 15, 19, 23, 27, 28, 29, 46, 51  
eficiências 19  
elementos 25, 43, 49, 82, 84, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,  
97, 98, 99, 100, 101, 102, 103  
elétrico 19  
empreendimentos 90  
energética 11, 12, 15, 16, 19, 20, 21, 29  
energético 12, 15, 19, 21, 29  
energia 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17  
espaços funcionais 56  
estratégias 12, 13, 16, 91, 97, 102, 123, 124, 128, 129,  
131, 132  
estratégica 90, 91, 94, 96, 102  
estrutural 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 121, 136,  
143, 144, 148, 152  
estruturas 14, 41, 48, 66, 105, 106, 107, 110, 121, 122,  
136, 140, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 152

# F

ferramentas 50, 78

# G

gaseificação 19, 23  
geológicas 42  
geopolíticas 90, 91, 94  
geoprocessamento 41, 42, 43, 44, 46, 52, 53

---

gestão 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18

## H

hidráulica 25, 41, 42, 45, 46, 47  
hidrologia 41  
hidrológica 41, 42, 44, 45, 46, 47, 50, 52

## I

impacto 13, 41, 44, 45, 47, 49, 50, 90, 91, 96, 101, 102  
incentivos 10, 14  
indução trifásica 63, 66, 70, 71, 72, 75  
industrial 10, 14, 19, 20, 21, 24, 26  
informações 32, 37  
infraestrutura 15, 21, 22, 35, 41, 78, 79, 80, 81, 82, 83,  
84, 87, 88  
inundações 41, 42, 44, 48, 49, 50, 51, 53  
investimento 41, 95, 96, 97, 110, 143

## L

lock-in 63, 64, 65, 66, 67, 69, 72, 75, 76, 77  
locomoção 78, 79, 80, 81  
logística 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17

## M

máquina 63, 66, 69, 70, 71, 72, 75  
matemática 41, 45, 51, 52, 56, 63, 66, 67, 70  
meio de transporte 78, 79  
método 19, 24, 36, 41, 42  
metodologia 11, 35  
métodos 11, 13, 15, 35, 41, 43, 46, 50, 52  
mineração 17, 90, 96, 100, 101, 102  
mineral 20  
mobilidade 22, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 89  
modelagem 41, 42, 44, 46, 47, 50, 51, 52, 53, 54, 63,  
66, 70  
modelo 39, 44, 46, 47, 48, 50, 56

# P

painéis fotovoltaicos 10, 12, 13, 14, 15, 16, 18  
perdas 47, 49  
planejamento 21, 41, 42, 44, 47, 48, 51, 78  
prestação 32  
prevenção 38, 123, 124, 128, 129, 130, 131, 132, 133,  
138, 140, 142  
princípio 13, 56  
princípios 12, 13, 16, 32, 34  
projeto 63, 66, 72, 78, 79, 80, 82, 84, 86, 87, 88  
pública 34, 35

# Q

químicos 90, 91, 92, 93, 99

# R

reciclagem 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 90, 91, 97,  
100, 101, 102  
registro 32, 33, 34, 37  
resíduos 10, 11, 12, 13, 14, 18  
responsabilidade 5  
reversa 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17

# S

saúde 78, 80, 81, 87  
serviços 32, 33, 36, 38  
sistema 5, 21, 32, 34, 35, 44, 45, 46, 53, 64, 65, 66, 70,  
78, 82, 83  
sistemas 10, 12, 13, 14, 16  
sistema tradicional 143, 144, 147, 151  
sociedade 16, 33, 51, 81, 98, 99, 100, 101, 123, 124,  
129  
solar 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16  
sustentabilidade 10, 11, 12, 13, 14, 16, 30, 79, 90, 91,  
100, 101, 102  
sustentáveis 10, 14, 16, 47, 80, 87, 88, 90, 91, 95, 96,  
97, 99, 100, 101, 102, 144, 147  
sustentável 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 25, 29, 78, 79, 82

---

## T

técnico 78, 79, 80, 83

técnicos 33, 35

tecnologia 25, 29, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40

tecnologias 15, 19, 21, 22, 33, 36, 43, 44, 51, 90, 91, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 105

tecnólogo 32

tensão 24, 28, 63, 65, 66, 71, 72, 75

terras raras 90, 92, 96, 102, 103

topográficos 78

transporte 19, 21, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 87

transporte urbano 78

turbulência 56

## U

urbanização 41, 48, 49, 50, 51, 78

urbano 41, 42, 43, 44, 49, 50, 51, 78, 79, 80, 81, 83, 87, 88, 89

## V

vantagens 28, 51, 81, 87, 104, 106, 121, 143, 145

viabilidade 11, 38, 39, 104, 105, 107, 110, 113, 120, 121







**AYA EDITORA**  
**2023**