

Jean Carlos Rodrigues  
(Organizador)

# **ENGENHARIA DE MATERIAIS E MEIO AMBIENTE:**

reciclagem, sustentabilidade,  
novos processos e desafios

Vol. 7



  
**AYA EDITORA**  
2025

# **ENGENHARIA DE MATERIAIS E MEIO AMBIENTE:**

reciclagem, sustentabilidade,  
novos processos e desafios

Vol. 7

Jean Carlos Rodrigues  
(Organizador)

# **ENGENHARIA DE MATERIAIS E MEIO AMBIENTE:**

reciclagem, sustentabilidade,  
novos processos e desafios  
Vol. 7

---

**Direção Editorial**

Prof.º Dr. Adriano Mesquita Soares

**Organizador**

Prof.º Me. Jean Carlos Rodrigues

**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**

Engenharia

---

**Conselho Editorial**

Prof.º Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva (UNIDAVI)

Prof.º Dr. Aknaton Toczec Souza (UCPEL)

Prof.º Dr. Argemiro Midonês Bastos (IFAP)

Prof.º Dr. Carlos Eduardo Ferreira Costa (UNITINS)

Prof.º Dr. Carlos López Noriega (USP)

Prof.ª Dr.ª Claudia Flores Rodrigues (PUCRS)

Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chioli (UTFPR)

Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota (IFPI)

Prof.ª Dr.ª Déa Nunes Fernandes (IFMA)

Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis (UEMG)

Prof.º Dr. Denison Melo de Aguiar (UEA)

Prof.º Dr. Emerson Monteiro dos Santos (UNIFAP)

Prof.º Dr. Gilberto Zammar (UTFPR)

Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota (IF Baiano)

Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza (UFS)

Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso (UNISC)

Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão (UFPE)

Prof.º Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR)

Prof.º Dr. João Paulo Roberti Junior (UFRR)

Prof.º Dr. José Enildo Elias Bezerra (IFCE)

Prof.º Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho (UFRPE)

Prof.ª Dr.ª Maria Gardênia Sousa Batista (UESPI)

Prof.º Dr. Myller Augusto Santos Gomes (UTFPR)

Prof.º Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda (UEPG)

Prof.º Dr. Rafael da Silva Fernandes (UFRA)

Prof.º Dr. Raimundo Santos de Castro (IFMA)

---

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani (UTFPR)  
Prof.º Dr. Ricardo dos Santos Pereira (IFAC)  
Prof.º Dr. Rômulo Damasclin Chaves dos Santos (ITA)  
Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia (UTFPR)  
Prof.ª Dr.ª Tânia do Carmo (UFPR)  
Prof.º Dr. Ygor Felipe Távora da Silva (UEA)

---

## **Conselho Científico**

Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz (UniCesumar)  
Prof.º Dr. Clécio Danilo Dias da Silva (UFRGS)  
Prof.ª Ma. Denise Pereira (FASU)  
Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig (UFPR)  
Prof.º Dr. Fabio José Antonio da Silva (HONPAR)  
Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti (UFPR)  
Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Lucimara Glap (FCSA)  
Prof.º Dr. Milson dos Santos Barbosa (UniOPET)  
Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail (CESCAGE)  
Prof.º Dr. Rudy de Barros Ahrens (FASF)  
Prof.º Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares (UFPI)  
Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros Rodrigues (FASF)  
Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda Santos (UTFPR)  
Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues (IFSC)

---

© 2025 - AYA Editora

O conteúdo deste livro foi enviado pelos autores para publicação em acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição Creative Commons 4.0 Internacional (**CC BY 4.0**). Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Estes detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, que reflete única e inteiramente sua perspectiva e interpretação pessoal.

É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se aos serviços de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou as opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

---

E576 Engenharia de materiais e meio ambiente: reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios [recurso eletrônico]. / Jean Carlos Rodrigues (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2025. 91 p.

v.7

Inclui biografia

Inclui índice

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-5379-683-6

DOI: 10.47573/aya.5379.2.409

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 3. Fitotecnia. 4. Engenharia elétrica. 5. Redes neurais (Computação). 6. Construção civil. 7. Engenharia sanitária. 8. Engenharia de produção. I. Rodrigues, Jean Carlos. II. Título

CDD: 620.11

---

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..... 10

## 01

**A Reutilização de Resíduos Sólidos da Construção Civil na Fabricação de Tijolos Ecológicos – Uma Maneira de Economia e Geração de Renda para a Sociedade .... 11**

Edilanne da Silva Matos  
Marcelo Pereira de Miranda  
Rita de Cássia Teles de Sousa  
Luanna de Carvalho Santos  
Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro

DOI: 10.47573/aya.5379.2.409.1

## 02

**Tratamento de Efluentes Coloridos com Carvão Ativado e Resíduos de Poda de Videira (*Vitis vinifera* L.) ..... 26**

Marcella Estanislau  
Carlos Alberto Ramos dos Santos  
Allem Karolyne Dino da Silva  
Júlio César Vasconcelos dos Santos  
Galba Maria de Campos-Takaki

DOI: 10.47573/aya.5379.2.409.2

## 03

**Associação de Gel e Bioestimulante no Desenvolvimento de Mudras do Cafeeiro ..... 36**

Ana Luísa Tavares  
Tacio Peres da Silva

DOI: 10.47573/aya.5379.2.409.3

# 04

## **Explorando Interações Fundamentais: Aplicação Inédita de Equações de Maxwell, Klein-Gordon e Yang-Mills com Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs) ..... 47**

Celso Luciano Silva Araujo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.409.4

# 05

## **Logística Estratégica na Amazônia: a Engenharia de Produção com Ênfase em Recursos Produtivos, Transformando Gestão Militar..... 54**

Paulo Ricardo Batista dos Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.409.5

# 06

## **Patologias em Estrutura de Concreto Armado: Novos Processos para Soluções em Ambiente Industrial ..... 60**

Kayron Lima da Silva Rabelo  
Evandro Martins Araújo Filho  
Jhonatan Peres de Sousa  
Wallesson Alexandre de Sousa Lima  
José Ribamar Ribeiro Silva Júnior  
Geysa Helena Guimarães Chaves  
William Marinho dos Santos  
Igor Felipe Cutrim Costa  
Mateus Charles Saraiva Madeira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.409.6

# 07

## **Plantio Direto: Uma prática de desenvolvimento sustentável ..... 76**

Alexsander Silva Alves  
Ana Beatriz Ribeiro Nascimento



Bruno de Souza Ribeiro Sebastiani  
Juliana Karla Bialeski da Costa  
Lúcia de Paula Zelenski  
Maria de Fátima Goveia da Silva  
Tiago Silva Durigon

**DOI: 10.47573/aya.5379.2.409.7**

**Organizador..... 85**

**Índice Remissivo..... 86**

---

# Apresentação

---

A engenharia de materiais desempenha um papel crucial na busca por soluções inovadoras e sustentáveis para os desafios ambientais contemporâneos. No contexto de uma crescente necessidade de desenvolvimento tecnológico aliado à preservação dos recursos naturais, este volume apresenta pesquisas que exploram a reciclagem, a sustentabilidade e novos processos voltados para a minimização de impactos ambientais. A coletânea reflete a intersecção entre ciência e prática, demonstrando a aplicação de conceitos fundamentais da engenharia em setores estratégicos da economia e da sociedade.

O reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil na fabricação de tijolos ecológicos é um dos temas discutidos, abordando sua viabilidade como alternativa sustentável e economicamente viável. Em paralelo, a eficiência de materiais alternativos no tratamento de efluentes industriais, como o uso de carvão ativado e resíduos vegetais, evidencia novas possibilidades para reduzir a contaminação hídrica. Essas investigações demonstram a importância da pesquisa aplicada na busca por soluções práticas e acessíveis.

O setor agrícola também é contemplado com estudos sobre o uso de bioestimulantes e géis para o crescimento de mudas, destacando a relação entre inovação e produtividade sustentável. A construção civil, por sua vez, é analisada sob a ótica de novos processos para mitigação de patologias estruturais em concreto armado, garantindo maior durabilidade e segurança das edificações.

A obra ainda discute o emprego de modelos físicos e computacionais, como redes neurais aplicadas à solução de equações diferenciais fundamentais, demonstrando a relevância da engenharia computacional no avanço das ciências exatas e suas aplicações em diversas áreas do conhecimento. Por fim, são analisadas questões logísticas estratégicas na Amazônia, enfatizando a otimização do uso de recursos em contextos desafiadores.

Este volume contribui significativamente para a disseminação de conhecimento técnico e científico, reforçando a importância da interdisciplinaridade no desenvolvimento de soluções sustentáveis. Ao reunir diferentes abordagens e metodologias, a obra convida pesquisadores, acadêmicos e profissionais a refletirem sobre as transformações necessárias para um futuro ambientalmente equilibrado e tecnologicamente avançado.

Boa Leitura!

# A Reutilização de Resíduos Sólidos da Construção Civil na Fabricação de Tijolos Ecológicos – Uma Maneira de Economia e Geração de Renda para a Sociedade

## *The Reuse of Solid Construction Waste in the Manufacture of Ecological Bricks – a Way of Saving Money and Generating Income for Society*

**Edilanne da Silva Matos**

*Aluna do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Florianópolis – UNIFAESF*

**Marcelo Pereira de Miranda**

*Aluno do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Florianópolis – UNIFAESF*

**Rita de Cássia Teles de Sousa**

*Aluna do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Florianópolis – UNIFAESF*

**Luanna de Carvalho Santos**

*Orientadora Arquiteta Especialista pela Universidade Federal do Piauí – UFPI*

**Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro**

*Coordenador Engenheiro Civil Especialista pela Universidade Paulista - UNIP*

### RESUMO

A construção civil tem um papel importante no que diz respeito a sustentabilidade e está relacionada ao desenvolvimento econômico e social. No entanto, os impactos ambientais causados ao meio ambiente, principalmente pelo consumo de recursos naturais e o descarte indevido de resíduos sólidos faz com que mais de 50% desses resíduos sejam provenientes da construção (Nascimento, Morais e Lopes, 2022). O tijolo ecológico é visto como uma ótima opção sustentável, visto que, por si só ele já é um material que promove a sustentabilidade, desde o seu processo de fabricação, na sua composição ainda pode haver resíduos sólidos da construção civil. Este estudo, tem como objetivo demonstrar maneiras de se reutilizar os resíduos sólidos da construção civil, principalmente na fa-



bricação dos tijolos ecológicos, que é um material que vem ganhando espaço no decorrer dos anos, devido às suas inúmeras características sustentáveis. Em relação a economia, levando em consideração a quantidade de desperdícios e gastos proporcionados por uma obra, a preferência pelo tijolo ecológico facilitará todo esse processo. A escolha desse método construtivo sustentável, reduz tempo de obra, quantidade de entulhos, e proporciona economia financeira durante toda a vida útil da edificação. Diante do exposto, fica notório que a preferência pelo tijolo ecológico promove muitos benefícios ambientais e pessoais, diminuindo assim os tantos impactos ao meio ambiente que vem assolando o bem estar social e a qualidade de vida, devido à geração de resíduos sólidos.

**Palavras-chave:** tijolo ecológico; resíduos sólidos; sustentabilidade

## ABSTRACT

The construction industry plays an important role in terms of sustainability and is related to economic and social development. However, the environmental impacts caused to the environment, mainly due to the consumption of natural resources and the improper disposal of solid waste, mean that more than 50% of this waste comes from construction (Nascimento, Morais e Lopes, 2022). Ecological bricks are seen as a great sustainable option, since they are already a material that promotes sustainability, since their manufacturing process may still contain solid waste from construction. This study aims to demonstrate ways to reuse solid waste from construction, mainly in the manufacture of ecological bricks, which is a material that has been gaining ground over the years due to its numerous sustainable characteristics. In terms of economy, taking into account the amount of waste and expenses caused by a construction project, the preference for ecological bricks will facilitate this entire process. Choosing this sustainable construction method reduces construction time, the amount of debris, and provides financial savings throughout the building's useful life. Given the above, it is clear that choosing ecological bricks provides many environmental and personal benefits, thus reducing the many impacts on the environment that have been plaguing social well-being and quality of life due to the generation of solid waste.

**Keywords:** ecological brick; solid waste; sustainability.

## INTRODUÇÃO

A construção civil é vista como uma das indústrias que mais geram de resíduos sólidos, sendo a maior parte desses resíduos descartadas de forma inadequada. Além disso, este setor gera impactos que estão relacionados ao consumo excessivos de recursos naturais e de energia (Nascimento, Morais e Lopes, 2022). Um dos maiores motivos e causas da construção civil ser um dos setores que mais geram resíduos, são as reformas de construções já existentes, demolições, excesso na produção de materiais, entre outros.

A proteção ao meio ambiente é essencial, e é direito e dever de todos os indivíduos, e tem égide na Constituição Federal de 1988. Levando-se em consideração este fato, e observando que a construção civil tem gerado uma grande quantidade de resíduos sólidos em seu processo produtivo, tornou-se fundamental a busca por novas soluções construtivas.

De acordo com (Santana, Assis e Perez, 2020), o emprego viável de novas ferramentas, a reciclagem de resíduos, o déficit habitacional, o desenvolvimento sustentável e a eliminação do desperdício no canteiro de obra por meio de racionalização de materiais e mão de obra, são desafios a serem encarados por pesquisadores que buscam solucionar os problemas gerados por tais resíduos.

Visando a sustentabilidade, surgiram ideias de como reaproveitar esses resíduos sólidos, aplicando-os na composição de materiais com o objetivo de economia e redução dos impactos ambientais. No entanto, as edificações desenvolvidas com a aplicação desses materiais, que pouco agridem o meio ambiente, devem oferecer aos seus moradores, dentre outras coisas, conforto e segurança (Santos, Nicodem e Oliveira, 2017).

O tijolo ecológico é visto como uma inovação na área de materiais de construção, é considerado uma ótima opção para obras que visam a sustentabilidade, pois tem como principal objetivo a preservação ao meio ambiente. Ele possui uma grande vantagem de permitir reutilizar recursos que, até então, seriam considerados como simples entulho, mas que, com a reutilização dos mesmos, se tornam parte importante da composição base do tijolo ecológico (Santana, Assis e Perez, 2020).

## **A REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

### **Sustentabilidade**

No decorrer dos anos, aumentou-se a preocupação com a sustentabilidade visando atingir um equilíbrio entre a sociedade, economia e meio ambiente, pois muito se fala de inúmeros desastres naturais e casos de doenças relacionados a poluição do meio ambiente. Consequentemente, isso envolve o setor da construção civil, em virtude de estar fortemente ligado ao desenvolvimento e ser considerado uma das áreas que mais consome recursos naturais e energia, além de ser um grande emissor de poluentes (Santos, Nicodem e Oliveira, 2017).

De acordo com Souza (2019), o conceito sustentabilidade pode abranger objetivos múltiplos, como, crescimento, distribuição, meio ambiente e instituição. O crescimento está relacionado a capacidade produtiva que promove o meio físico, o capital humano e social. O elemento de distribuição relaciona-se a diferença na qualidade de vida. Meio ambiente trata-se da redução consumo de recursos naturais e diminuição de impactos negativos. O componente institucional, se refere ao envolvimento da sociedade como fator relevante no que envolve os princípios sustentáveis.

### **Legislação Brasileira**

A Resolução CONAMA nº 307 foi publicada dia 17 de julho de 2002 e alterada pelas Resoluções nº 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015. Esse decreto é o primeiro instrumento legislativo que trata de forma específica os resíduos sólidos produzidos pela construção civil. O documento estabelece diretrizes e procedimentos específicos para o gerenciamento de RCC, compreendido como o conjunto de ações, responsabilidades, práticas, recursos e planejamento que objetivam a redução, reutilização e reciclagem de resíduos.

A resolução define RCC como todos os materiais remanescentes em decorrência de construções, demolições, reformas e movimentações de solo, sejam eles cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, argamassas, resinas, tintas, madeira, metais, gesso, vidro, plástico, papel, material betuminoso etc. Sua principal realização foi o desígnio da responsabilidade pelos resíduos.

O documento também apresenta a classificação dos RCC, cuja importância é identificação da forma adequada de acondicionamento e destinação ambientalmente correta, conforme disposto na tabela 1, elaborada por IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.

**Tabela 1 - Classificação do RCC segundo a resolução CONAMA 307/2002.**

CLASSE	COMPOSIÇÃO	CARACTERÍSTICAS	DESTINAÇÃO
A	Componentes de alvenaria, concreto, argamassa, solo, revestimento, telhas cerâmicas e outros.	Resíduos que podem ser reciclados na forma de agregados e absorvidos pela própria construção civil.	Reciclagem ou aterros licenciados.
B	Madeira, metal, plástico, papel, vidro e outros.	Resíduos recicláveis para outras destinações.	Armazenamento temporário e reciclagem.
C	Gesso quando em contato com outros materiais, isopor e outros.	Resíduos que ainda não apresentam tecnologias para reciclagem / reutilização economicamente.	Reciclagem ou deposição final conforme norma técnica.
D	Tintas, solventes, óleos, resinas e outros.	Resíduos perigosos ou tóxicos	Aterros licenciados para resíduos perigosos ou deposição final conforme norma técnica específica

Fonte: IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais.

## Tijolo Ecológico

A construção civil, sendo uma área que consome uma grande quantidade de recursos naturais, despertou para a sustentabilidade, impulsionado pela Lei 12.305, de Resíduos Sólidos. Com isso, surgiram muitas ideias, levando em consideração a reutilização de resíduos na fabricação de diversos materiais, um deles e o tijolo ecológico, que é um material produzido principalmente de mistura apropriada de subsolo orgânico bastante seco, argila não expansiva, areia e agregado, podendo também conter na sua composição resíduos sólidos, sejam elas da construção civil ou não (Queiroz, 2017).

Diversos materiais podem ser adicionados na composição dos tijolos ecológicos, dentre eles tem-se um exemplo de tijolo ecológico feito com cédulas de dinheiro sem valor (figura 1).

**Figura 1 - Tijolo ecológico confeccionado com cédulas de dinheiro sem valor.**

Fonte: Semanticscholar, 2017.

Neste contexto, tem-se também o exemplo de um tijolo ecológico constituído de solo e resíduo de casca de farinha (figura 2).

**Figura 2 - Tijolo ecológico constituído de solo e resíduo de casca de farinha.**

Fonte: Queiroz, 2018.

Construções feitas com tijolo ecológico resultam em ambientes com ótimo conforto térmico, bom comportamento acústico, além de apresentar aspectos ligados à reciclagem da construção (Queiroz, 2017).

Tijolos ecológicos desenvolvidos com a utilização de resíduos durante a sua produção é uma solução para minimizar as grandes quantidades de entulhos que são lançados na natureza. Além disso, existem algumas vantagens do tijolo ecológico com relação a sua praticidade e tempo de execução o bloco ecológico ocasiona uma diminuição no tempo de execução da obra de 30%, devido ao seu formato que facilita os alinhamentos e encaixes que são essenciais na obra (Santana, Assis e Perez, 2020). Ademais, no bloco contém

que tem como finalidade a passagem das tubulações, evitando assim futuras rupturas nos tijolos, na hora das instalações, sejam elas elétricas ou hidráulicas (figura 3).

**Figura 3 - Infraestrutura elétrica instalada em blocos de solo-cimento.**



Fonte: Tijolos Ecológicos Trindade, 2014.

## RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

### Geração de Resíduos

De acordo com Silva (2019), o setor da construção civil é responsável por uma significativa geração diária de resíduos sólidos. O autor destaca que muitos desses resíduos são frequentemente descartados de maneira inadequada, resultando em impactos diretos tanto na saúde ambiental quanto na saúde pública. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2022, o Brasil gerou 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos, o que corresponde a 224 mil toneladas diárias. Com isso, cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia. Ainda de acordo com a ABRELPE, no ano de 2021, os municípios brasileiros coletaram mais de 48 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), representando um aumento de 2,9% em relação ao período anterior. A quantidade coletada por habitante foi de aproximadamente 227 kg por ano, sendo que grande parte desses resíduos foram abandonados em vias e logradouros públicos. A região Sudeste é responsável por mais da metade do total de RCD coletados (52%), entretanto, a região Centro-Oeste se destaca em termos de coleta per capita, com quase 323 kg por habitante/ano.

O descarte inadequado de RCD em áreas irregulares, conhecidas como “bota fora”, é uma grande preocupação ambiental, pois pode contaminar mananciais, prejudicar a drenagem do solo, assorear rios e córregos e criar áreas de proliferação de vetores, entre outros problemas. Além disso, há um grande desconhecimento sobre os volumes gerados, os impactos causados, os custos sociais envolvidos e as possibilidades de reaproveitamento desses resíduos.



Para lidar com essa problemática, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu a Resolução nº 307 em 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes para a gestão dos resíduos da construção civil e demolição. Essa resolução classifica os resíduos em quatro classes distintas (A, B, C e D), com base em seu potencial de reutilização, reciclagem e periculosidade dos componentes. É importante que sejam implementadas políticas públicas para conscientizar todos os indivíduos envolvidos nesse processo mitigar os impactos ambientais causados pelos RCD.

## Economia

Conforme Santana *et al.* (2013) ao analisarmos a quantidade de tijolos necessários para a construção de uma área de 60 m<sup>2</sup>, estima-se 1500 unidades para o tijolo convencional e 3420 de tijolos ecológicos. É importante salientar que a cada 1000 tijolos ecológicos o equivalente a 2,5 m<sup>3</sup> de entulhos da construção civil que acabam sendo reincorporados no processo produtivo, para a fabricação de tijolos, o que equivale a 150 m<sup>3</sup> retirados de entulhos ao mês.

Com base em estudos como este é possível afirmar que a utilização de resíduos sólidos da construção civil como agregado na composição do solo-cimento é eficaz quando se fala em sustentabilidade, pois evita a destinação incorreta dos resíduos e reintegra-os ao processo produtivo. O tijolo ecológico é considerado completo quando se fala em benefícios, pois possibilita a redução do tempo de construção em 30% em relação à alvenaria convencional, distribuem melhor a carga de peso sobre as paredes devido aos seus encaixes e colunas embutidas nos próprios furos, reduz o consumo de madeiras para formas nas construções, proporciona uma economia de concreto e argamassa em cerca de 70% e de aço 50% em relação à estrutura de concreto armado (Motta *et al.*, 2014).

Constata-se que há uma economia financeira na conclusão da obra devido ao tempo de execução reduzido através de um processo construtivo diferenciado que proporciona rigidez e segurança resultantes de um encaixe perfeito entre um tijolo e outro. Segundo Motta *et al.*, (2014) o fator determinante para uma melhor qualidade do solo-cimento depende do tipo de solo, umidade de moldagem, tipo de prensa, proporção de solo/cimento, tipo de estabilizante e o processo de cura. Para uma maior resistência à compressão, absorção e durabilidade do solo-cimento, deve-se utilizar um percentual maior de cimento na mistura.

**Figura 4 - Câmaras estanques de ar formadas nos tijolos ecológicos.**

Fonte: Tudo Construção, 2024.

Os formatos dos tijolos podem ser vazados, conforme a (figura 5), ou maciços, possuindo características que se adequam à alvenaria modular, esses tijolos são uma prova de que é possível construir de forma consciente e econômica, reduzindo os impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade.

Outro ponto positivo é o assentamento dos tijolos que é feito por encaixes e por consequência, há uma diminuição no consumo de argamassa. Diante disso, oferecem uma economia para a construção de até 40% a menos nos gastos, em comparação a uma obra feita com tijolos tradicionais (Santos e Souza, 2023).

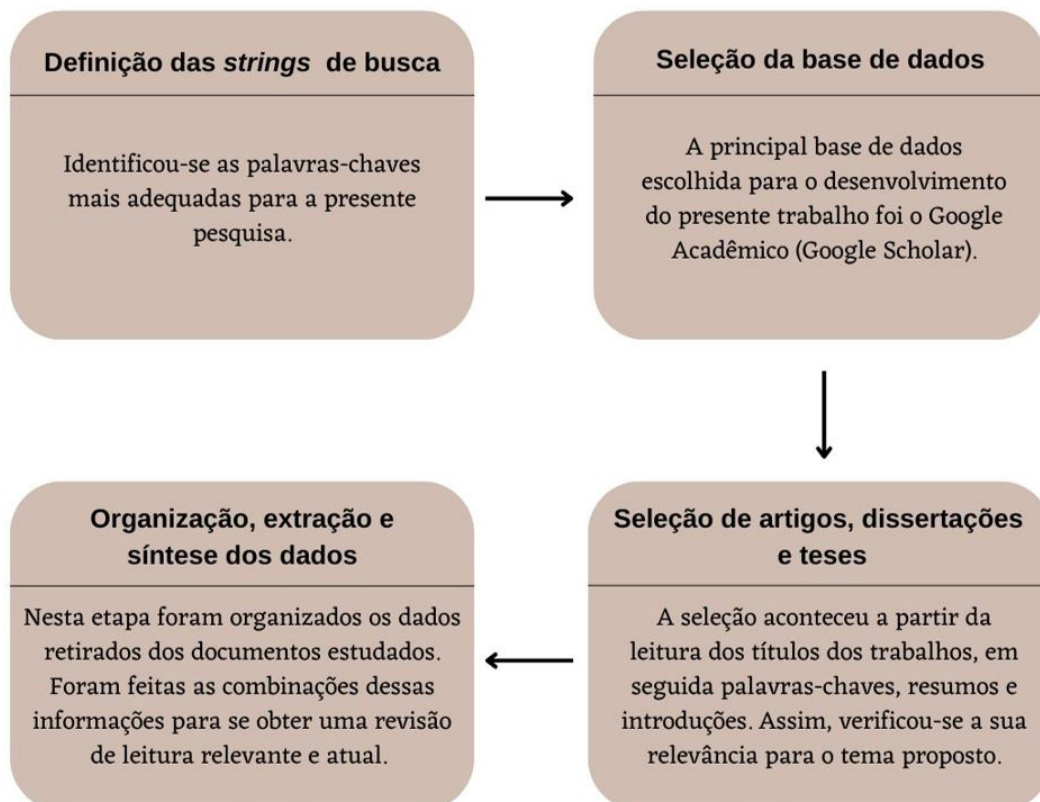
**Figura 5 - Tijolos Ecológicos Vazados.**

Fonte: Tudo Construção, 2024.

## MÉTODOS DE ANÁLISE

No presente trabalho, fez-se um levantamento de dados utilizando como base para o seu desenvolvimento pesquisas em artigos científicos, revistas, dissertações e teses, ambos publicados no período de 2015 a 2024. Os estudos foram desenvolvidos com o objetivo de encontrar respostas para o problema de pesquisa: “Como os resíduos sólidos da construção civil podem ser reutilizados na fabricação de tijolos ecológicos e quais os benefícios sociais?”. Diante disso, foram necessárias leituras de diversos trabalhos relacionados, tais como, pesquisas relacionadas a sustentabilidade na construção civil, economia e vantagens e desvantagens na utilização do tijolo ecológico. Sucedeu-se a metodologia detalhada na figura 6.

Figura 6 - Fluxograma.



Fonte: Autores, 2024.

Diante disso, foram considerados importantes para o presente tema os trabalhos relacionados a: sustentabilidade, construção civil, impactos ambientais, reciclagem, reaproveitamento, meio ambiente e resíduos. As pesquisas foram realizadas principalmente no google acadêmico (Google Scholar), as mesmas eram todas voltadas para o tema em questão, foram lidos artigos científicos, revistas, dissertações, e teses, todas com vínculos relacionados ao tema.

O emprego ético na construção civil acontece por meio da obediência às legislações, no comprometimento com o desenvolvimento sustentável, mediante aos cuidados com o meio ambiente, simultâneo com o uso racional de recursos naturais e redução da produção de resíduos e da emissão de gases poluentes. A Construção Civil tem um papel de grande importância e relevância no âmbito sustentável, possui inúmeras vantagens como, consumo consciente de matéria prima, o reaproveitamento de resíduos e a minimização de desperdícios (Nascimento, Morais e Lopes, 2022).

De acordo com Restelli (2021), é cada dia mais comum as leis limitarem o uso de um produto por sua baixa sustentabilidade, seja pela utilização de recursos finitos, seja por causa dos danos à saúde humana, animal ou qualquer forma de dano à natureza. Com isso, produtos sustentáveis vem sendo cada vez mais utilizados e um deles é o tijolo ecológico, as construções que optam por materiais e métodos construtivos sustentáveis, como o tijolo ecológico, reduzem tempo de obra, consumo de materiais, quantidade de entulhos, e produz economia. Os tijolos ecológicos são resultantes da combinação em proporções adequadas de solo, cimento e água, podendo conter também na sua composição diversos tipos de resíduos sólidos (Samson, 2016).

## ANÁLISES E RESULTADOS

A construção civil se expande exponencialmente, ocasionando uma grande preocupação em relação ao meio ambiente. Com isso as atividades mais antigas e importantes para o desenvolvimento econômico e social de uma região vem se tornando mais presente no dia de hoje, a reutilização de resíduos para o desenvolvimento de produtos é de grande representatividade na economia pode ser notada pelo dado de cerca de 40% da economia mundial provêm da participação da indústria da construção civil (Beltrame, 2013).

A construção civil causa impactos ambientais em todas as suas fases, desde a extração de matéria prima, produção de materiais, construção, utilização e demolição. Além desses impactos, pode ainda ocorrer a extração de recursos naturais e consumo de energia, contaminação das águas subterrâneas e lençóis freáticos. Com isso os impactos ecológicos não eram considerados relevantes às sociedades primitivas, pois a produção de resíduos era pequena e a assimilação ambiental era grande.

O problema gerado pela quantidade de resíduos sólidos é que muitas vezes são depositados em locais impróprios, causando assim, diversos problemas sociais e ambientais, como enchentes, proliferação de vetores, incômodo à vizinhança pelo fluxo de caminhões, aumento do material particulado em suspensão, acréscimo à quantidade de sólidos presentes na água e degradação do ambiente urbano.

A utilização do tijolo ecológico é significativamente vantajosa porque ele possui um tempo de cura, de aproximadamente sete dias, onde é inferior do que o do tijolo tradicional cerâmico, pela não utilização de argamassa em seu processo construtivo e por não necessitar de acabamento, uma vez que para seu assentamento utiliza-se somente uma espécie de cola branca em bisnagas, dessa forma, nos ajuda diminuindo o tempo de execução da obra. Além disso, também pode ser colocado sem reboco, em razão do seu aspecto liso (Motta, 2014).

O tijolo ecológico nos possibilita a geração de menos resíduos no decorrer da obra e na economia de material em função da ausência de madeira para a produção das fôrmas da viga e do pilar, resultando, assim, em um isolamento acústico e a redução do acúmulo de umidade, isolamento térmico, o tijolo ecológico também facilita na hora da instalação elétrica e hidráulica, uma vez que ambas podem ser feitas por meio dos furos do próprio tijolo, sendo assim prático e econômico, entre outros benefícios (Dos Santos *et al.*, 2009).

## Análise da Resistência à Compressão Simples e Absorção de Água de Tijolos Ecológicos

Moraes (2021), realizou um estudo de caso utilizando agregados reciclados da construção civil triturado proveniente da empresa concessionária Eco Ambiental, no município de Cuiabá-MT. Nesse estudo, o autor objetivou compreender “Produção de tijolos prensados com agregados reciclados da construção civil”, no qual, os materiais utilizados para compor os tijolos foram: cimento, água e agregados reciclados da classe A. Moraes (2021), percebeu que, diante do estudo foi possível obter resultados satisfatórios ao analisar os dados obtidos em comparação com as normas utilizadas como referências.

Para a avaliação da resistência à compressão simples foi usada como referência a NBR 8492, (ABNT, 2012), na qual fala sobre a fabricação de Tijolos ecológicos de Solo-Cimento com Utilização de Prensa Manual ou Hidráulica - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Norma utilizada como parâmetro para tijolos ecológicos.

Foram utilizadas 6 (seis) unidades de tijolos para calcular a resistência, por idade de (7, 14, 28 e 180 dias), com a média expressa em MPa. Foi possível verificar que os resultados obtidos estão em concordância com a norma NBR 8492, (ABNT, 2012), que recomenda após os 7 dias de idade limites de resistência para tijolos individuais  $\geq 1,7$  e com média de resistência  $\geq 2,0$  MPa.

Depois dos 7 dias de vida, os tijolos fabricados com agregados de resíduos da construção civil obtiveram os seguintes resultados, conforme mostra na tabela 2 abaixo:

**Tabela 2 - Resistência à compressão em Mpa – NBR 8492 (ABNT,2012).**

Idades	Traço 1:7	Desvio Padrão (%)	Traço 1:9	Desvio Padrão (%)	Traço 1:11	Desvio Padrão (%)	Traço 1:20	Desvio Padrão (%)
7 dias	4,25	0,94	3,8	0,17	2,88	0,13	2,51	0,199
14 dias	4,5	0,17	4,98	0,24	3,12	0,71	2,19	0,23
28 dias	4,75	0,25	4,5	0,62	3,1	0,55	2,51	0,103
180 dias	5,503	0,169	4,4	0,109	3,76	0,186	2,2	0,186

**Fonte: Moraes, 2021.**

Portanto, foi possível ver que a média de resistência em MPa para cada traço utilizado foi superior a 2,0 MPa, como requer a norma 8492, (ABNT, 2012). Diante do estudo, Moraes (2021), constatou que os tijolos produzidos com cimento e agregados de resíduos da construção civil (RCC), embora absorvam muita água, mostram-se resistentes e não apresentam fissuras em sua estrutura.

Para a absorção de água por imersão, de acordo com a NBR 8492, (ABNT, 2012):  
 - Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio, a absorção média de água não pode ser superior a 20%, e nem apresentar valores individuais superiores a 22%.

Os resultados para os ensaios de absorção de água por imersão obtidos por Moraes (2021), encontram-se na tabela 3 que representam a absorção de água em (%).

**Tabela 3 - Determinação de absorção de água por imersão (%).**

<b>Traços</b>	<b>7 dias</b>	<b>14 dias</b>	<b>28 dias</b>	<b>180 dias</b>
1:7	14,40	14,40	14,87	15,01
1:9	12,26	12,26	11,91	16,64
1:11	17,79	17,79	11,95	16,21
1:20	16,57	16,57	12,53	17,37

Fonte: Moraes, 2021.

## Características entre Tijolos Solo-Cimento e Tijolos Convencionais

Pereira e Pezzuto (2010), falam da importância dos tijolos, os quais passaram a ser estudados apenas a partir da regulamentação pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), em 1936. No passado, geralmente eles eram empregados na confecção de base e sub-base para pavimentos de vias.

Diante deste contexto, também é essencial abordar as suas características positivas e negativas. Como benefícios, Motta (2014) cita o processo de fabricação simplificado, podendo assim englobar a parcela de população que não têm muitos recursos, além de ser um produto fabricado com insumo de grande abundância e a não liberar gases poluentes na hora do processo de fabricação. Conforme este mesmo autor, além destas, tem-se também como vantagens dos tijolos ecológicos:

- O tijolo pode ficar à vista, sem necessitar de reboco e pintura;
- As tubulações podem ser instaladas durante a execução das paredes, pois os tijolos apresentam furos que possibilitam a passagem;
- Não são necessárias madeiras para fôrmas;
- Isolamento térmico e acústico;
- Fácil acabamento final;
- Pesam menos que os convencionais, diminuindo o dimensionamento de outras partes da estrutura, como a fundação.

Com relação a desvantagens, Motta (2014) aponta o processo de coleta do solo, que quando elaborado sem o devido cumprimento dos padrões ambientais exigidos, implicam no surgimento de processos erosivos, e também a dosagem do traço, quando feita de forma equivocada pode trazer manifestações patológicas para a construção. Além destas, o autor cita as seguintes desvantagens:

- Falta de padronização no processo de fabricação;
- Variação referente a composição do solo, afetando a qualidade final;
- Restrições para remover paredes;
- Dificuldade nas mudanças de instalações hidráulicas e elétricas.

Dessa forma, é notória a demanda de estudos que façam esta comparação, pois com os parâmetros adequados é possível avaliar a melhor escolha para cada tipo de tijolo. Igual a todos os 49 elementos da construção, o tijolo ecológico dispõe vantagens e desvantagens que também devem ser levadas em consideração na hora da escolha.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente trabalho apresentaram análises obtidas através de uma revisão bibliográfica com o objetivo de estudar e compreender os efeitos da reutilização dos resíduos sólidos na fabricação de tijolos ecológicos. Diante da revisão, pode-se perceber que os tijolos ecológicos contribuem de forma significativa para a diminuição dos impactos ambientais e para o avanço de novas pesquisas relacionadas à construção de novos tipos de tijolos ecologicamente sustentáveis.

Portanto, a escolha de agregados reciclados dos resíduos sólidos provenientes da construção civil na confecção de tijolos é uma opção sustentável e viável, uma vez que não sejam extraídos recursos naturais. Tendo em vista, aproveitar esses materiais que podem ser reutilizáveis evita o acúmulo de sedimentos nos aterros sanitários; valorizando a área urbana; diminui a extração de matérias primas evitando o desmatamento e minimiza a contaminação do solo e dos lençóis freáticos.

Além disso, é necessário também que as grandes e pequenas empresas de construção civil possam adotar sistemas e práticas com medidas rigorosas para evitar descartes inadequados de resíduos no meio ambiente. Esse fator é fundamental para promover uma sustentabilidade e minimizar os impactos negativos desse setor na natureza. Adotando práticas e medidas corretas, as empresas da construção civil podem desempenhar um papel fundamental nas reduções dos impactos no ambiente e na promoção da sustentabilidade em suas operações.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública de Resíduos Especiais.** (2022). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 27 nov. 2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8492:2012. Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio.**

BELTRAME, E. de S. **Meio Ambiente na Construção Civil.2013.** Disponível em:[http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo\\_meio\\_ambiente.pdf](http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo_meio_ambiente.pdf)

BRASIL. Constituição (2010). **Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispendo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 27 nov. 2024.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes e procedimentos para a geração dos resíduos da construção civil.** Diário Oficial da União, Brasília, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002.

DOS SANTOS A. F. R., Baumgart, L. N., Woiciokoski M., Tabarelli Jr. O., Jatzak S., Nicoletti V. **Utilização de resíduos da construção civil em tijolos ecológicos.**

GONÇALVES, C. M., SILVA, G. F. (2017). **Gerenciamento de resíduos da construção civil: proposta de implantação em uma construtora do Distrito Federal.** Revista de Engenharia. Civil IMED, 4(1), 31-44.

MORAES, Benedito Ilmar de. **Produção de tijolos prensados com agregados reciclados da construção civil: estudo de caso em Cuiabá - MT. 2021.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 08 jan. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/2954>. Acesso em: 29 set. 2024.

MOTTA, J. C. S. S. *et al.* Tijolo de solo-cimento: **Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis.** Revista e-xacta, Belo Horizonte, v.7, n.1, p. 13- 26, 2014.

NASCIMENTO, E.R; MORAIS, D.P.F; LOPES, S.C. **Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura.** Research, Society and Development, v. 11, n.14, 2022.12f. Artigo Científico, 2022.

PEREIRA, D. B; Pezzuto, C.C. **Estudo do solo-cimento para a fabricação de tijolos ecológicos.** In: Encontro de Iniciação Científica, 15., 2010, Campinas. Anais, Campinas: [s/n], 2.p, 2010.

QUEIROZ, A.J.P. **Tijolos Ecológicos Constituídos de Solo e Resíduo de Casa Defarinha.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. 113f. Paraíba, 2017.

RESELLI, R.E. **Inovação no processo de produção de Tijolos Ecológicos.** Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia da Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).155f. Paraná, 2021.

SANTANA, J.E.S.; CARVALHO, A.C.X.; FARIAS, R.A.P.G. **Tijolo ecológico versus tijolo comum: Benefícios ambientais e economia da energia durante o processo de queima.** In: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2013.

SANTANA, J.C.S; ASSIS, R.C.T; PERES, S.M. **A Utilização de Tijolo Reciclável como Ferramenta de Construção Econômica e Sustentável.** Revista Portos: Por Um Mundo Mais Sustentável, Rio de Janeiro, ed. p28, 2020.

SAMSON, B.P. **Gestão de resíduo e tecnologia ambiental na fabricação de Tijolos Solo-Cimento.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SANTOS, D. E; SOUZA, M, B, A. **Tijolo Ecológico Aplicação na construção civil e sua viabilidade econômica. Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Administração pela Etec Prof. Edson Galvão- Centro Paula Souza.** 23f. São Miguel Arcanjo – SP, 2023.



SANTOS, J.L.; NICODEM, M.F.M; OLIVEIRA, D.G. **Revisão Integrativa: Reutilização de Resíduos da Construção Civil na Fabricação de Concreto e de Tijolo Ecológico.** Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, Medianeira, Edição Especial SIAUT, E – 7040, Paraná, 2017.

SOUZA, J.M. **Ética e Sustentabilidade na Construção Civil.** Trabalho Final de Mestrado Profissional Para a obtenção do grau de Mestra em Teologia Faculdades EST. 130f. Rio Grande do Sul, 2019.

## Tratamento de Efluentes Coloridos com Carvão Ativado e Resíduos de Poda de Videira (*Vitis vinifera* L.)

### Treatment of Colored Effluents with Activated Carbon and Vine Pruning Waste (*Vitis vinifera* L.)

**Marcella Estanislau**

*Escola Tecnologia e Inovação, Doutorado PPGDPA, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8237-349x>*

**Carlos Alberto Ramos dos Santos**

*Escola Tecnologia e Inovação, Doutorado PPGDPA, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4763-2939>*

**Allem Karolyne Dino da Silva**

*Escola Tecnologia e Inovação, Mestrado PPGDPA, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5136-4109>*

**Júlio César Vasconcelos dos Santos**

*Escola Tecnologia e Inovação, Doutorado PPGDPA, Universidade Católica de Pernambuco-UNICAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-6493>*

**Galba Maria de Campos-Takaki**

*Escola Tecnologia e Inovação-UNICAP, Centro Multiusuário de Análise e Caracterização de Biomoléculas e Superfície de Materiais-CEMACBIOS, Enviado: 11/07/24; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0519-0849>*

### RESUMO

Estudos foram realizados com o objetivo de investigar eficiência de tratamentos em efluentes sintéticos coloridos com azul de metileno, corante amplamente empregado na indústria têxtil. Neste sentido, foram utilizados como adsorventes, o carvão ativado comercial, com capacidade de sorver íons e compostos orgânicos, e partículas de 32 mesh (500 µm) de videira (*Vitis vinifera* L.), como um processo inovador, além do aproveitamento de resíduo de poda. Estudos comparativos foram realizados entre os processos de descoloração de efluentes, levando em consideração outros adsorventes naturais dirigidos para a sustentabilidade e viabilidade econômica. A pesquisa destacou a importância do uso de fontes renováveis para minimizar o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de efluentes têxteis, que contêm corantes sintéticos altamente tóxicos e de difícil degradação. Os resultados obtidos indicaram a eficácia do carvão ativado e do adsorvente natural o resíduo de videira na remoção de contaminante colorido, contribuindo para a promoção de práticas mais sustentáveis na busca da conservação dos ecossistemas, em especial, os recursos hídricos.



**Palavras-chave:** sustentabilidade; tratamento de efluentes; carvão ativado; resíduos de videira.

## ABSTRACT

Studies were carried out to investigate the efficiency of treatments for synthetic effluents colored with methylene blue, a dye widely used in the textile industry. In this sense, commercial activated carbon, capable of adsorbing ions and organic compounds, and 32 mesh (500  $\mu\text{m}$ ) grapevine particles (*Vitis vinifera* L.) were used as adsorbents, as an innovative process, in addition to the use of pruning residue. Comparative studies were conducted between effluent decolorization processes, considering other natural adsorbent aimed at sustainability and economic viability. The research highlighted the importance of using renewable sources to minimize the environmental impact caused by the improper disposal of textile effluents, which contain highly toxic and difficult-to-degrade synthetic dyes. The results obtained indicated the effectiveness of activated carbon and the natural adsorbent grapevine residue in removing colored contaminants, contributing to the promotion of more sustainable practices in the search for the conservation of ecosystems, especially water resources.

**Keywords:** sustainability; effluent treatment; activated carbon; vine residues.

## INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é uma das principais responsáveis pela poluição ambiental, ocasionando impactos negativos devido ao uso excessivo de recursos naturais, como água e solo, e ao emprego de diversos produtos químicos (Islam, 2020). Estima-se que a cada ano a indústria têxtil consome cerca de 98 milhões de toneladas de recursos não renováveis (Ellen, 2017). Diante disso, reduzir os impactos ambientais da produção têxtil é um desafio que envolve toda a cadeia produtiva, desde a escolha dos materiais utilizados nos processos até o tratamento de águas residuais e o reaproveitamento de matérias-primas.

Diversas iniciativas têm sido adotadas para melhorar os processos têxteis, como a reutilização de corantes, o uso de fibras curtas para produção de fios, a desfibragem de tecidos e malhas para gerar novos materiais e a moda circular, entre outras (Akter, 2022). Contudo, essas ações ainda são incipientes. Apenas 13% do material utilizado na confecção de roupas é reciclado, sendo destinado, principalmente, a aplicações de menor valor. Um dos problemas mais críticos é o consumo elevado de água. Portanto, o tratamento das águas residuais geradas pela indústria têxtil deve ser pesquisado e considerado uma solução essencial para a diminuição dos impactos ambientais (Kifetew, 2023).

Para a produção de uma tonelada de produto têxtil, é necessário consumir de 200 a 270 toneladas de água, com a geração de 50 a 100 litros de efluentes têxteis por quilo de tecido produzido durante as etapas de tingimento e acabamento (Beltrame, 2018). De acordo com o Banco Mundial, cerca de 20% das águas residuais industriais têm origem

na indústria têxtil (Tavagar, 2019). Assim, é fundamental compreender os stakeholders envolvidos nos processos têxteis e buscar maneiras de tornar esses processos mais sustentáveis. As etapas mais poluentes e problemáticas incluem a preparação, o tingimento e o acabamento dos tecidos (Keskin, 2021). A literatura aponta a presença de diversos poluentes nos insumos utilizados no tingimento têxtil, e um dos problemas mais graves é o desperdício de água, resultante no efluente têxtil, que contém corantes, muitos dos quais não se fixam às fibras e permanecem nas águas residuais do tingimento (Sharma, 2021).

Esses corantes são quimicamente estáveis e difíceis de degradar ao longo do tempo, podendo até mesmo gerar subprodutos mais tóxicos por meio de transformações biológicas e químicas. Portanto, é essencial que a água colorida seja tratada adequadamente antes de ser lançada em corpos d'água (Shamsool, 2021). A remoção desses contaminantes antes de descarregar os efluentes no meio ambiente se tornou um desafio crescente, sendo uma prioridade global. Assim, o desenvolvimento de métodos sustentáveis para o tratamento de efluentes têxteis tem recebido destaque nos últimos anos (Motamedi, 2021). A produção de carvão ativado (CA) pode ser uma alternativa devido à disponibilidade de matérias-primas que o tornam relativamente barato e abundante. Nas últimas décadas, cientistas têm explorado o reaproveitamento de resíduos e subprodutos como matérias-primas ecologicamente corretas para a produção de CA (Medhat, 2021).

O maior desafio da produção de CA envolve a acessibilidade a precursores renováveis (Jawad, 2021). Dentro da indústria têxtil, um resíduo promissor para a produção de CA é o pó de filtro, gerado durante o processo de limpeza no setor de fiação de fibras de algodão. Esse resíduo é abundante, de baixo valor agregado e contém algodão, uma das fibras têxteis mais utilizadas no mundo. Em indústrias têxteis verticalizadas, que possuem tanto a fiação quanto o tingimento, o carvão ativado produzido a partir do pó de filtro gerado pela fiação pode ser utilizado no tratamento de efluentes do tingimento dos fios ou tecidos, especialmente em empresas que operam nas áreas de tecelagem ou malharia.

Um desses problemas é o impedimento da penetração da luz solar na água, o que leva a uma queda nos níveis de oxigênio da água na fotossíntese e a interrupção da fotossíntese, por alterar parâmetros físico-químicos, em humanos e na fauna aquática, prejudicando a qualidade dos ambientes aquáticos receptores (Chadha, 2021). Portanto, vários métodos de tratamento primário, secundário e terciário estão disponíveis para tratar o efluente têxtil.

Os tratamentos de efluentes têxteis são categorizados em três tipos principais: físicos, químicos, físico-químicos e biológicos. Dentre os métodos citados, o processo de adsorção é um método químico conveniente para o tratamento de efluentes industriais com baixo custo operacional, baixos problemas de incrustação e a forma mais econômica de remoção de metais pesados do efluente industrial (Velusamy, 2021).

Ao longo dos anos, diversos métodos vêm sendo estudados, tais como coagulação e floculação, processos biológicos, processos oxidativos e adsorção (Chaves, 2022). Contudo, dentre os métodos citados, adsorção é a técnica que mais tem se mostrado eficaz devido às suas vantagens singulares, tais como estabilidade, baixo custo, facilidade operacional e eficiência de desempenho (Muharrem, 2017).

A adsorção pode ser definida como um processo de separação e purificação, no qual uma espécie química presente numa fase líquida ou gasosa, denominada adsorbato, é retida na superfície de um substrato sólido, conhecido como adsorvente (Skoog, 2006). O processo de adsorção pode ser classificado como físico ou químico, a depender da natureza das forças envolvidas. Na adsorção física ocorre entre adsorbato e adsorvente uma interação fraca, do tipo forças de Van der Waals; enquanto isso, na adsorção química ocorrem interações fortes, onde as moléculas ou átomos se ligam à superfície do material adsorvente através de ligações químicas (Penha, 2021).

Dentre os materiais que podem ser empregados como adsorvente, o carvão ativado (CA) muito tem se destacado devido às suas propriedades únicas (Husien, 2022). Este produto é um material carbonáceo e poroso, obtido pela pirólise de substâncias orgânicas, em sua maioria de origem vegetal (Zakaria, 2023). Sua alta capacidade adsorviva é resultante da alta área superficial porosa e da presença de uma variedade de grupos funcionais contidos em sua superfície (Sujiono, 2022).

A aplicação desse material tem sido bastante empregada na adsorção de metais pesados em interfaces líquidas e tem apresentado apreciável eficiência para a remoção de substâncias orgânicas, principalmente de espécies que alteram a cor de efluentes (Serban, 2023).

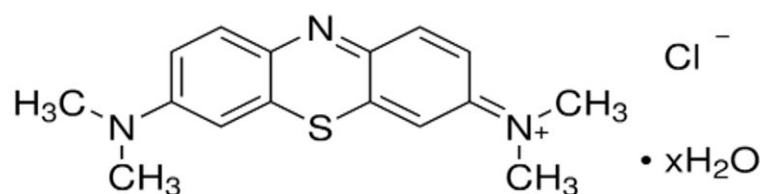
O presente estudo teve como objetivo a produção de carvão ativado a partir do resíduo de pó de filtro, sua caracterização e sua aplicação na adsorção de soluções de corantes têxteis.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Corante

Foi utilizado o corante sintético azul de Metileno Sigma-Aldrich **M9140** para os testes de descoloração, com estrutura química apresentada abaixo.

Figura 1 - Azul básico 9, Cloreto de 3,7-bis(dimetilamino) fenazatiônio, Cloreto de tetrametilitionina.



Fonte: autoria própria.

### Preparo do Resíduo de Videira para Adsorção

O resíduo de videira (*Vitis vinifera*) foi triturado e passado em peneira de mesh 32 com abertura de 500µm. Foram adicionados 5g/L de videira em cada amostra, sem autoclavagem. Após 24h, foram adicionados mais 1,5g de videira autoclavada a 120°C por 15 minutos para ativação dos sítios de adsorção. As amostras foram preparadas em

*erlenmeyers* de 150 mL em triplicata para cada concentração de AM em 50mL de água destilada. As amostras foram mantidas sob agitação em *shaker* a 150 rpm por mais 24 horas a uma temperatura de 28°C.

## Variações da Concentração do Corante na Solução

Para esse experimento foram utilizadas três concentrações diferentes dos corantes sendo elas 5, 10 e 15mg/L. Em cada Erlenmeyer foram adicionados 50 ml de água destilada, contendo 5g/L do carvão e do resíduo da videira e as diferentes concentrações do corante. Os frascos foram mantidos em agitação a 200 rpm à temperatura de 28°C por 24 horas. Após esse período o conteúdo foi centrifugado por 30 minutos a 4000 g e o sobrenadante utilizado para leitura em espectrofotômetro.

Posteriormente foi adicionado aos frascos 15 ml do corante Azul de metileno a uma concentração de 1% e colocados sob agitação a 120 rpm, a temperatura de 30°C. Alíquotas de 2 mL foram coletadas num intervalo de tempo de 15 min durante 180 min para medir as taxas de absorvância e foi utilizado frascos com 60 ml de água deionizada e 15 ml do corante (125 mg/L) como medida de controle do experimento. Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Todas as amostras foram analisadas em um espectrofotômetro utilizando a seguinte fórmula (Bakshi *et al.*, 2006).

Foi utilizado 1 ml do sobrenadante para análise de descoloração em espectrofotômetro UV/VIS (2101 Shimadzu) através da redução da absorvância (ABS), expressando o resultado em percentagem de descoloração (%) no comprimento de onda específico.

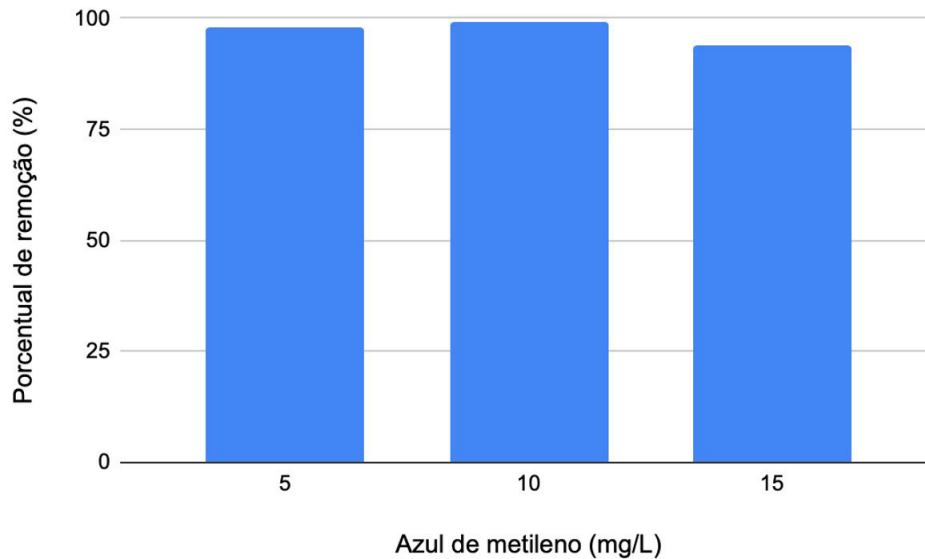
A porcentagem de descoloração será dada através da seguinte fórmula:

$$\text{Descoloração (\%)} = [(A_i - A_f) / A_i] \times 100$$

Onde,  $A_i$  é a absorvância inicial do efluente e  $A_f$  a absorvância após o processo de degradação ou absorvância final.

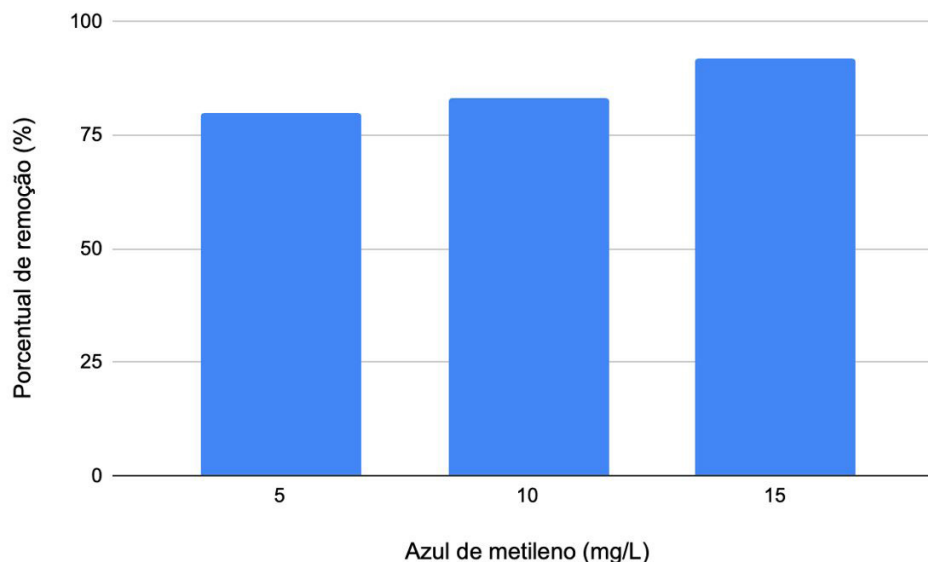
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises evidenciaram que a remoção de AM com carvão ativado mostrou-se eficiente com alta taxa de remoção em apenas duas horas de agitação em *shaker* removendo 92,7% do corante na amostra de concentração de 5mg/L de AM, 91,3% do corante na amostra de 10mg/L e 59,4% na amostra de concentração de 15mg/L. Após 24 horas, a remoção total de AM foi de 98% para a amostra de 5mg/L, 99% para a amostra de 10mg/L e 94% para a amostra de 15mg/L (figura 2).

**Figura 2 - Percentual de descoloração do carvão ativado em contato com o azul de metileno após 24 horas.**

Fonte: autoria própria.

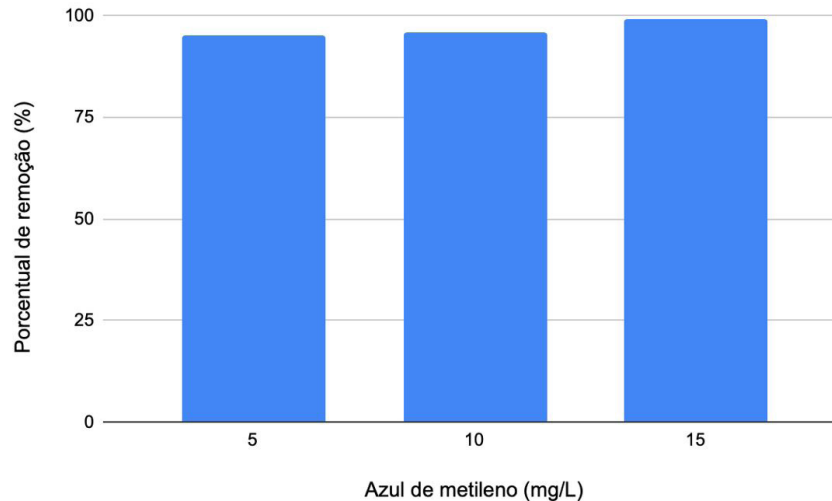
Para os resultados com as amostras com videira, após 1h de agitação em *shaker*, as taxas de adsorção foram: de 74% para a amostra de 5mg/L de AM, 51% para a amostra de 10mg/L e 70% para a amostra de 15mg/L. Após 24h a taxa de remoção foi de 80,3% para a amostra de 5mg/L, 83,3% para a amostra de 10mg/L e 91,5% para a amostra de 15mg/L (figura 3).

**Figura 3 - Percentual de descoloração da videira em contato com o azul de metileno após 24 horas.**

Fonte: autoria própria.

Com a adição de 1,5g de videira autoclavada, após 24h sob agitação, o percentual de remoção de AM foi de 95,4% para a amostra de 5mg/L, 96,3% para a amostra de 10mg/L e 98,5% para a amostra de 15mg/L (figura 4).

**Figura 4 - Percentual de descoloração com adição da videira autoclavada em contato com o azul de metileno após 48 horas.**



Fonte: autoria própria.

Embora evidenciado que a velocidade de remoção de AM utilizando a videira ter sido inferior à do carvão ativado, o resíduo de videira mostrou-se eficiente no processo. Isso sugere que pode ser utilizado em aplicações específicas para tratar efluentes com concentrações moderadas ou em processos preliminares antes de um tratamento mais intensivo e oneroso.

Apesar do seu bom desempenho, o custo elevado de produção do carvão ativado devido à necessidade de matérias-primas específicas (como cascas de coco, madeira ou carvão mineral) e processos industriais intensivos, é um fator a se considerar quando a proposta é aumentar a escala de tratamento, sendo potencialmente numeroso esse tratamento em volumes industriais. O resíduo de videira mostrou ser uma alternativa promissora ao carvão ativado, principalmente, quando o resíduo foi tratado em autoclave, demonstrando maior capacidade de adsorção, sendo necessário maiores estudos sobre a eficiência de remoção do resíduo pós autoclavagem no poluente desde o tempo inicial.

Pernambuco possui um polo de produção de uvas no interior do Estado, e o fornecimento de resíduos de videira pode ser promissor para utilização no tratamento de efluentes de outro pólo econômico do Estado, o polo de confecções. A aplicação de resíduos de videira promove a sustentabilidade por meio do reaproveitamento de materiais que seriam descartados, reduzindo impactos ambientais e incentivando a economia circular.

A análise comparativa entre os resultados obtidos no presente estudo e os de trabalhos prévios revela informações significativas sobre a eficiência de diferentes resíduos no tratamento de efluentes, particularmente na remoção de corantes têxteis. No estudo em questão, foi utilizado o resíduo de videira tratado em autoclave, que demonstrou uma excelente capacidade de adsorção, com percentuais de remoção de corante variando de 95,4% a 98,5% para as concentrações de 5 mg/L, 10 mg/L e 15 mg/L, respectivamente, após 24 horas de contato sob agitação. Esses resultados indicam que o resíduo de videira pode ser uma alternativa viável ao carvão ativado, dada sua alta eficiência, baixo custo e potencial de aproveitamento local, uma vez que o resíduo é facilmente disponível em regiões produtoras de uvas, como Pernambuco.



Comparando os resultados obtidos com a literatura foram observadas a eficiência de outros resíduos orgânicos, como casca de banana, acerola, maracujá e abacaxi, no processo de adsorção de corantes têxteis. Dentre os resíduos testados, a casca de banana se destacou com a maior eficiência de remoção de corante, alcançando 86,7% (Tabela 1). Os resíduos de acerola, maracujá e abacaxi também demonstraram capacidades de adsorção, porém com valores inferiores encontrados ao uso de resíduos de poda de videira. A análise das propriedades físico-químicas, como pH, condutividade elétrica e a quantidade de sólidos dissolvidos nos resíduos, revelou que a casca de banana possui uma faixa de pH mais ampla para atuar como adsorvente catiônico, enquanto o resíduo de acerola demonstrou ainda, maior eficiência acima de seu ponto de carga zero (PCZ) de 6,23.

**Tabela 1 - Estudo comparativo do desempenho de outros adsorventes na sorção do corante azul de metileno.**

Resíduo vegetal	Concentração do azul de metileno (mg/L)	Porcentagem de descoloração (%)	Referências
Casca de banana (Musa paradisiaca)	6,0	86,7	Coringa et al, 2023
Casca de maracujá (Passiflora edulis)	6,0	62,0	Coringa et al, 2023
Casca de abacaxi (Ananas comosus)	6,0	63,2	Coringa et al, 2023
Casca de acerola (Malpighia emarginata)	6,0	65,0	Coringa et al, 2023
Resíduo da videira (Vitis vinifera)	5,0	80,3	Resultados obtidos
*Após autoclavagem	5,0	95,4	

Fonte: autoria própria

Para determinar a eficiência dos resíduos como adsorvente, foi determinada a capacidade máxima de adsorção ( $Q_e$ ) do corante azul de metileno a 6,0 mg/L por 24 horas. Todos os resíduos apresentaram eficiência na remoção do corante acima de 60%, na sequência: banana > acerola > maracujá > abacaxi, indicando o potencial de adsorção de contaminantes por esses resíduos, especialmente na remoção de corantes (Coringa, 2023).

O resíduo de **casca de banana** demonstrou a maior eficiência de descoloração, com um índice de 86,7%, conforme descrito por Coringa *et al.* (2023), o que indica uma boa capacidade de adsorção para o corante azul de metileno. Esse valor é superior à eficiência observada para os resíduos de maracujá (62,0%), abacaxi (63,2%), e acerola (65,0%), sugerindo que a casca de banana é um adsorvente mais eficaz entre os resíduos de frutas analisados. Por outro lado, o resíduo da videira, com 95,4 % de descoloração, apresenta um desempenho muito próximo ao da casca de banana, destacando-se também como um bom adsorvente, com uma eficiência de remoção apenas ligeiramente inferior

Foi obtido um desempenho no resíduo de videira após autoclave superior nas concentrações mais altas de poluentes, com eficiências que chegaram a 98,5% na remoção de corantes em 48h e após passar por autoclave, indicando sua alta capacidade de adsorção.

Em termos de sustentabilidade, o resíduo de videira oferece vantagens significativas em relação ao carvão ativado, cujo custo de produção é elevado e exige matérias-primas específicas, como cascas de coco, madeira ou carvão mineral.

Portanto, a comparação entre os resultados obtidos neste estudo e os da literatura destaca a relevância do resíduo de videira como uma alternativa eficaz e sustentável para o tratamento de efluentes, especialmente na adsorção de corantes catiônicos e metais tóxicos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o carvão ativado apresente maior eficiência na descoloração de efluentes sintéticos com azul de metileno, o resíduo de videira apresenta vantagens econômicas e ambientais importantes. Seu uso pode ser uma alternativa viável em processos de tratamento preliminar ou em sistemas híbridos que combinam diferentes adsorventes para otimizar custos e desempenho. Investir em pesquisas para melhorar a capacidade de adsorção desse resíduo pode ampliar seu uso e torná-lo uma solução sustentável para o tratamento de efluentes.

A aplicação do resíduo de videira como adsorvente pode ser considerada uma solução viável não apenas do ponto de vista técnico, mas também econômico e ambiental. Seu uso ajudaria a reduzir o impacto ambiental, oferecendo uma alternativa mais ecológica ao carvão ativado, além de contribuir para o reaproveitamento de resíduos agroindustriais.

## REFERÊNCIAS

AKTER, M. M. K. *et al.* **Textile-apparel manufacturing and material waste management in the circular economy: a conceptual model to achieve sustainable development goal (SDG) 12 for Bangladesh.** *Cleaner Environmental Systems*, [S.l.], v. 4, p. 1-12, mar. 2022.

CHAVES, N. O.; CARVALHO, L. C. F.; OLIVEIRA, R. M. P. B. **As principais técnicas utilizadas para remoção de corantes das águas residuais da indústria têxtil: uma revisão.** *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, v. 14, p. e20221406, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2022.v14.p.e20221406>. Acesso em: 19 dez. 2024.

CORINGA, E. A. O. *et al.* **Aproveitamento de resíduos de frutas para aplicação como biosorvente de corante em solução aquosa.** XIV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.14.23.XI-017>.

HUSIEN, S. *et al.* **Review of activated carbon adsorbent material for textile dyes removal: preparation, and modelling.** *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, v. 100325, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100325>. Acesso em: 19 dez. 2024.

JAWAD, C. A. H. *et al.* **High surface area and mesoporous activated carbon from KOH activated dragon fruit peels for methylene blue dye adsorption: optimization and mechanism study.** *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 32, p. 281-290, abr. 2021.

MEDHAT, A. *et al.* **Efficiently activated carbons from corn cob for methylene blue adsorption.** *Applied Surface Science Advances*, v. 3, p. 1-8, mar. 2021.

MEHRA, S.; SINGH, M.; CHADHA, P. **Adverse impact of textile dyes on the aquatic environment as well as on human beings.** *ResearchGate*, v. 28, n. 2, p. 164-176, abr.-jun. 2021.

MOTAMEDI, E. *et al.* **Efficient removal of various textile dyes from wastewater by novel thermo-halotolerant laccase.** *Bioresource Technology*, v. 337, p. 1-10, out. 2021.

MUHARREM, I. N. C. E.; INCE, O. K. **An overview of adsorption technique for heavy metal removal from water/wastewater: a critical review.** *International Journal of Pure and Applied Sciences*, v. 3, n. 2, p. 10-19, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.29132/ijpas.358199>. Acesso em: 19 dez. 2024.

PENHA, A. V. S.; MOURA, K. O.; PAZ, G. L. **Tratamento de águas residuais: uma revisão sobre a adsorção do corante preto de amido 10B.** *Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, v. 14, p. e20210010, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210010>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SHANSHOOL, H. A. **Coupling of electrocoagulation and microflotation for the removal of textile dyes from aqueous solutions.** *Journal of Water Process Engineering*, v. 40, p. 1-6, abr. 2021.

SHARMA, J.; SHARMA, S.; SONI, V. **Classification and impact of synthetic textile dyes on aquatic flora: a review.** *Regional Studies in Marine Science*, v. 45, p. 1-17, jun. 2021.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de química analítica.** Tradução da 8ª edição norte-americana. São Paulo: Thomson, 2006.

SERI, G. V. *et al.* **Removal efficiency and adsorption kinetics of methyl orange from wastewater by commercial activated carbon.** *Sustainability*, v. 15, n. 17, p. 12939, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su151712939>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SUJIONO, E. H. *et al.* **Fabrication and characterization of coconut shell activated carbon using variation chemical activation for wastewater treatment application.** *Results in Chemistry*, v. 4, p. 100291, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100291>. Acesso em: 19 dez. 2024.

ZAKARIA, M. R. *et al.* **Produção de biocarvão e carvão ativado a partir de biomassa de dendê: situação atual, perspectivas e desafios.** *Culturas e Produtos Industriais*, v. 199, p. 116767, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116767>. Acesso em: 19 dez. 2024.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a concessão de Bolsas da FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco) Processo nº IBPG-1620-3.06/24 de Alberto Ramos dos Santos, Processo nº IBPG-2241-3-06/22 de Allem Karolyne Dino da Silva e o Processo nº IBPG-2219-3.06/22 de Júlio Vasconcelos Santos, Bolsa concedida pela UNICAP para Marcella Estanislau e Bolsa de Produtividade em Pesquisa concedido a Galba M. Campos-Takaki pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) Processo nº 312241/2022-4.

## Associação de Gel e Bioestimulante no Desenvolvimento de Mudanças do Cafeeiro

### *Association of Gel and Biostimulant in the Development of Coffee Seedlings*

Ana Luísa Tavares  
Tacio Peres da Silva

#### RESUMO

A cafeicultura brasileira, uma das principais atividades agrícolas do país, enfrenta desafios relacionados ao aumento da produtividade e à adaptação às condições climáticas variáveis. Nesse contexto, o uso de bioestimulantes e géis tem ganhado destaque como alternativas para melhorar o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro, especialmente em ambientes protegidos. Este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses de gel e bioestimulantes no crescimento do cafeeiro, considerando parâmetros como altura e diâmetro do colmo. A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido, permitindo um controle mais rigoroso das variáveis ambientais. A metodologia adotada foi exploratória, com a aplicação de diferentes tratamentos em parcelas experimentais, acompanhados por análises periódicas do desenvolvimento vegetativo das plantas. Os dados foram coletados por meio de medições físicas e comparados entre os grupos tratados com distintas concentrações de gel e bioestimulantes. A pesquisa revelou que o uso combinado de gel e bioestimulantes em doses adequadas pode ser uma prática benéfica para a redução da mortalidade das plantas. Conclui-se que, embora promissores, os resultados indicam a necessidade de mais estudos para definir as doses ideais e as condições mais favoráveis para a aplicação desses produtos na cafeicultura, visando à otimização da produtividade e a sustentabilidade do cultivo. A pesquisa contribui para o avanço das práticas agrícolas e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a cafeicultura brasileira.

**Palavras-chave:** cafeeiro; bioestimulantes; gel; ambiente protegido; produtividade.



## ABSTRACT

Brazilian coffee farming, one of the country's main agricultural activities, faces challenges related to increasing productivity and adapting to variable climate conditions. In this context, the use of biostimulants and gels has gained prominence as alternatives to improve the vegetative development of coffee plants, especially in protected environments. This study aims to evaluate the effects of different doses of gel and biostimulants on coffee plant growth, considering parameters such as height, leaf area and plant vigor. The research was conducted in a protected environment, allowing for more rigorous control of environmental variables. The methodology adopted was exploratory, with the application of different treatments in experimental plots, accompanied by periodic analyses of the vegetative development of the plants. Data were collected through physical measurements and compared between groups treated with different concentrations of gel and biostimulants. The research revealed that the combined use of gel and biostimulants in adequate doses can be a beneficial practice for reduction of plant mortality. It is concluded that, although promising, the results indicate the need for further studies to define the ideal doses and the most favorable conditions for the application of these products in coffee farming, aiming to optimize the productivity and sustainability of the crop. The research contributes to the advancement of agricultural practices and the development of more efficient technologies for Brazilian coffee farming.

**Keywords:** coffee tree; biostimulants; gel; protected environment; productivity.

## INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira ocupa uma posição de destaque no mercado global, sendo o país o maior produtor e exportador de café do mundo. Esse status é resultado de uma longa trajetória de desenvolvimento tecnológico e adaptação das práticas agrícolas ao clima e solo brasileiros. No entanto, a produção cafeeira enfrenta desafios relacionados a fatores ambientais, doenças, pragas e, principalmente, à variabilidade climática. A busca por alternativas que aumentem a produtividade e a resistência das plantas, sem comprometer a qualidade do produto, tem levado à pesquisa de novas tecnologias, como o uso de bioestimulantes e géis que promovem o crescimento vegetativo. Neste contexto, a avaliação dos efeitos de diferentes doses desses produtos no cafeeiro em ambiente protegido é um tema relevante e de grande interesse para os produtores.

A utilização de bioestimulantes tem se expandido em diversas culturas agrícolas devido ao seu potencial para melhorar a saúde das plantas, otimizar o uso de nutrientes e aumentar a resistência a condições adversas. Esses produtos atuam estimulando processos fisiológicos nas plantas, como o desenvolvimento de raízes, a fotossíntese e a eficiência no uso de água. Em culturas de alto valor econômico, como o cafeeiro, o uso de bioestimulantes pode representar uma vantagem competitiva, especialmente em cenários de mudanças climáticas e estresses ambientais. Da mesma forma, a aplicação de géis também tem sido investigada como uma estratégia para promover um melhor desenvolvimento do sistema radicular, retendo umidade no solo e fornecendo nutrientes de maneira controlada para as plantas.

O cultivo de café em ambiente protegido, como estufas ou túneis, oferece um controle mais preciso das variáveis ambientais, o que permite a realização de experimentos mais controlados. Esse tipo de ambiente tem se mostrado promissor para a produção de mudas de cafeeiro de alta qualidade, uma vez que as condições de temperatura, umidade e luminosidade podem ser ajustadas para promover o melhor desenvolvimento vegetativo. Além disso, ao minimizar as variações climáticas, é possível observar com mais clareza o impacto direto de diferentes tratamentos no crescimento e na saúde das plantas. Nesse cenário, a combinação de bioestimulantes e géis pode ser testada de forma mais eficaz, permitindo um estudo detalhado de suas interações e efeitos.

O principal objetivo deste estudo é avaliar a resposta vegetativa do cafeeiro quando submetido a diferentes doses de gel e bioestimulantes, com foco no desenvolvimento de parâmetros como a altura das plantas, a área foliar, o número de folhas e o sistema radicular. Tais parâmetros são indicadores cruciais da saúde e do vigor das plantas, que, por sua vez, influenciam diretamente na produtividade e na qualidade do café. A escolha dos tratamentos, como o gel e os bioestimulantes, se baseia na ideia de que essas substâncias podem atuar sinergicamente para melhorar a adaptação das plantas a condições de cultivo controladas, favorecendo o seu desenvolvimento em fases iniciais de crescimento.

Além dos benefícios agrônômicos, o uso de bioestimulantes e géis também pode contribuir para a sustentabilidade da produção cafeeira. A diminuição do uso excessivo de fertilizantes e defensivos químicos, através da utilização de produtos biológicos e mais eficientes, pode resultar em um café de melhor qualidade, sem comprometer o equilíbrio ambiental. A crescente demanda por produtos agrícolas sustentáveis, tanto no mercado interno quanto no externo, coloca essa questão como um ponto central nas pesquisas sobre práticas agrícolas mais verdes e responsáveis. Nesse sentido, a aplicação de bioestimulantes e géis representa uma alternativa interessante para os cafeicultores que buscam aumentar a produtividade de forma mais sustentável.

Este estudo, ao investigar o impacto das diferentes doses desses tratamentos no cafeeiro, visa não apenas entender os efeitos específicos dessas substâncias, mas também gerar informações que possam ser aplicadas na prática pelos cafeicultores. A pesquisa buscará fornecer dados precisos sobre a dose ideal de bioestimulantes e gel que favoreça o crescimento vegetativo das plantas sem causar efeitos adversos. A expectativa é que os resultados contribuam para a formulação de estratégias de manejo mais eficientes e adaptadas às necessidades específicas de cada região produtora de café, promovendo uma agricultura mais produtiva e sustentável.

Dessa forma, a análise dos resultados obtidos neste estudo poderá oferecer um panorama detalhado sobre as possibilidades de utilização de bioestimulantes e géis no cultivo de cafeeiros em ambiente protegido. Assim, a pesquisa se insere em um contexto de inovação tecnológica, onde práticas de manejo mais precisas e adaptativas são fundamentais para o sucesso da cafeicultura no Brasil e no mundo. O desenvolvimento de tecnologias que otimizem a produção, aliando aumento de produtividade e sustentabilidade, é essencial para manter a competitividade da produção cafeeira, principalmente diante de um mercado global cada vez mais exigente e atento às questões ambientais e sociais.

## METODOLOGIA

### Montagem, Seleção de Plantas e Delineamento

O experimento foi conduzido na Horta Experimental, no Campus da Agronomia, na Universidade Prof. Antônio Edson Velano - UNIFENAS/Alfenas, no sul de Minas Gerais, em área do Setor de Viveiro e Experimentação (21025'45"S, 45056'50"W, 880 m de altitude). O clima da região é o subtropical com temperaturas médias anuais entre 18°C e 20°C.

### Delineamento Experimental e Identificação das Estirpes

A pesquisa será realizada em ambiente controlado, utilizando um delineamento em blocos ao acaso, para minimizar a variabilidade entre as amostras, em esquema de fatorial, 3x9 considerando-se 1 espécie de café (*Coffea Arabica*) com a aplicação de 3 diferentes estimuladores denominados de Gel (G1), bioestimulante (BE2) e Bloco (B3), com 3 repetições por tratamento.

A amostra será composta por 27 mudas de cafeeiro, com idade uniforme de 30 dias, provenientes de um viveiro de mudas certificado. As plantas serão divididas em 3 blocos, com a aplicação de 3 doses diferentes de gel e 3 doses de bioestimulante (500ml x 27 parcelas) e 9 tratamentos em cada bloco.

### Análise e Correção do Solo e Condução do Experimento

Os resultados analíticos do solo revelam que o pH do solo, determinado em CaCl<sub>2</sub>, é 4,3, indicando uma condição ácida. A matéria orgânica (M.O.) do solo está em 2,0%. Os teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) são, respectivamente, 1,0 mmol/dm<sup>3</sup>, 1,0 mmol/dm<sup>3</sup> e 9,0 mmol/dm<sup>3</sup>. O teor de alumínio (Al) é de 36,0 mmol/dm<sup>3</sup>, com o alumínio trocável representando 2,4 mmol/dm<sup>3</sup>. O solo apresenta 25% de argila, o que indica sua textura. O enxofre (S) tem uma concentração de 3 mg/dm<sup>3</sup>.

Quanto ao teor de fósforo residual (P-res), ficou em 3,0mg/dm<sup>3</sup>. A soma das bases (S.B.) é de 11,0 mmol/dm<sup>3</sup>, enquanto a capacidade de troca catiônica (C.T.C.) é de 47,0 mmol/dm<sup>3</sup>. A saturação de bases (V) é de 23,4%. Os micronutrientes analisados indicam os seguintes resultados: boro (B) 0,12 mg/dm<sup>3</sup>, cobre (Cu) 0,9 mg/dm<sup>3</sup>, manganês (Mn) 1,8 mg/dm<sup>3</sup> e zinco (Zn) 0,6 mg/dm<sup>3</sup>.

Os extratores utilizados para a análise de fósforo foram o Mehlich-1, enquanto os micronutrientes como cobre, manganês e zinco foram extraídos por DTPA, e o boro foi extraído por água quente.

**Figura 1 - Análise química inicial do solo utilizado no experimento.****RESULTADOS ANALÍTICOS DO SOLO**

pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. %	Ca mmol/dm <sup>3</sup>	Mg mmol/dm <sup>3</sup>	K mmol/dm <sup>3</sup>	H + Al mmol/dm <sup>3</sup>	Al mmol/dm <sup>3</sup>	Na %	Argila %	S mg/dm <sup>3</sup>
4,3	2,0	1,0	1,0	9,0	36,0	2,4		25	3
P mg/dm <sup>3</sup>	P-rem mg/dm <sup>3</sup>	P-res. mg/dm <sup>3</sup>	S.B. mmol/dm <sup>3</sup>	C.T.C. mmol/dm <sup>3</sup>	V %	B mg/dm <sup>3</sup>	Cu mg/dm <sup>3</sup>	Mn mg/dm <sup>3</sup>	Zn mg/dm <sup>3</sup>
		3,0	11,0	47,0	23,4	0,12	0,9	1,8	0,6

Extratores: - P: Mehlich-1 - Cu: DTPA - Mn: DTPA - Zn: DTPA - B: Água quente

Fonte: pela autora, 2024.

A recomendação para a correção do solo foi elaborada com base no perfil do solo de 0-20 cm e em uma área de amostra de 1 hectare. A saturação desejada de bases (V%) é de 80%. Para a correção do solo, foi indicada a aplicação de calcário dolomítico, contendo 38,0% de CaO e 12,0% de MgO, com um PRNT de 85, em uma dose total de 3.129 kg/ha. Além disso, não há necessidade de adubação corretiva de potássio. Para a adubação corretiva de fósforo, foi recomendada a aplicação de 200 kg/ha de Monoamônio Fosfato (MAP), totalizando uma dose de 200 kg.

## Avaliações

Após o período médio de 15/30/45 dias foram avaliados a maturidade das plantas, a altura das plantas (cm), medições de diâmetro do colmo (um paquímetro digital será utilizado para aferir o diâmetro do colmo a 5 cm da superfície do solo) e questionários (serão aplicados questionários aos técnicos do viveiro sobre a percepção do crescimento das plantas).

A análise dos dados será realizada utilizando software estatístico DBC (Design-Based Classification), que é um programa utilizado principalmente para análise e classificação de dados em diversas áreas, especialmente em estatísticas amostrais e amostragem complexa. O tempo previsto para a coleta e apuração dos dados será de 1-3 meses, considerando o período de crescimento das plantas e a análise dos resultados. Após a coleta dos dados, serão realizadas interpretações comparativas entre os tratamentos, com o objetivo de determinar a eficácia das doses de gel e bioestimulantes na promoção do crescimento vegetativo das mudas de caféiro.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1, houve diferença significativa nos resultados observados para mortalidade com os diferentes tratamentos de gel e bioestimulantes. O valor de  $P_v > F_c$  para este parâmetro foi de 0,0002, indicando uma resposta estatisticamente significativa ao efeito dos tratamentos sobre o índice de mortalidade.

No entanto, quando avaliados os parâmetros de altura e diâmetro do colmo, não se observou diferença significativa, com  $P_v > F_c$  de 0,0875 e 0,3822, respectivamente.



Isso sugere que os diferentes tratamentos não tiveram impacto significativo sobre esses parâmetros, indicando que os bioestimulantes e as doses de gel influenciaram principalmente o índice de mortalidade, mas não afetaram a altura das plantas ou o diâmetro do colmo.

Já o coeficiente de variação (CVC%) para a altura foi de 7,46% e para a mortalidade foi de 0%, o que mostra pouca variação nos dados, enquanto o CVC% para o aumento do colmo foi de 16,43%, sugerindo maior dispersão nas respostas observadas, ou seja, sugere uma variação moderada em relação à média, uma vez que os coeficientes de variação estão abaixo de 20%, o que demonstra o nível de confiança do experimento.

**Tabela 1 - Demonstrativo dos resultados conforme análise de variância (ANOVA).**

		PvzFc	PcvFc	Pv>Fc
FV	GL	ALTURA	MORTALIDADE	AUMENTO DO COLMO
TRATAMENTO	8	0,0875 n.s	0,0002*	0,3822
BLOCO	2			
ERRO	16			
TOTAL	26			
CVC%		7,46	0,00	16,43

**Fonte: pela autora, 2024.**

Após o demonstrativo da tabela acima, podemos observar que no teste de altura do cafeeiro, realizado como parte do experimento para avaliar o efeito de diferentes doses de gel e bioestimulantes, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos. Isso pode ser atribuído a dois fatores principais: o tempo limitado de duração do experimento e as características da cultura perene, como o cafeeiro.

O tempo de avaliação pode não ter sido suficiente para que as diferenças nos tratamentos se manifestassem de forma clara no parâmetro de altura. Em cultivos perenes como o cafeeiro, o crescimento das plantas ocorre de forma mais gradual e em ciclos mais longos, o que pode dificultar a observação de efeitos significativos em um período curto de avaliação. Além disso, os cafeeiros tendem a apresentar um desenvolvimento mais lento nos estágios iniciais, e qualquer alteração provocada pelos tratamentos poderia exigir mais tempo para ser evidenciada (Silva, 2018).

Para experimentos em culturas perenes, é comum que os efeitos de tratamentos, como a aplicação de gel de plantio e bioestimulantes, se tornem visíveis após períodos mais longos de acompanhamento. Nesse sentido, a literatura existente recomenda que, para se avaliar o impacto de insumos em culturas perenes, o tempo do experimento deve ser ampliado para permitir uma análise mais completa e precisa do desenvolvimento vegetativo das plantas (Silva, 2018).

Já o teste de diâmetro de colmo, realizado durante o experimento de avaliação dos efeitos de diferentes doses de gel e bioestimulantes no cafeeiro, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. A falta de significância nesse parâmetro pode ser atribuída a vários fatores, incluindo a natureza gradual do crescimento do cafeeiro e o tempo relativamente curto de duração do experimento. O diâmetro de colmo é um parâmetro que, frequentemente, está mais relacionado ao desenvolvimento estrutural da planta, o que pode exigir períodos mais longos para que variações causadas por gel de plantio, bioestimulantes e outros tratamentos se tornem evidentes (Costa *et al.*, 2022).

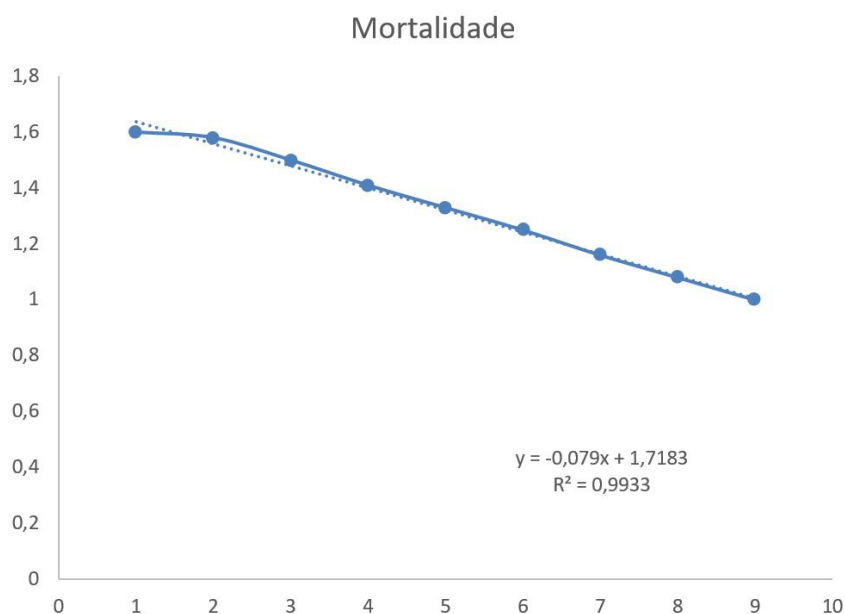
Além disso, como o cafeeiro é uma cultura perene, seu desenvolvimento é mais lento, especialmente nos primeiros estágios, o que pode justificar a ausência de mudanças significativas no diâmetro de colmo dentro do período de avaliação. Segundo Costa *et al.* (2022) a medição de parâmetros como o diâmetro de colmo em cultivos perenes deve ser acompanhada por experimentos de maior duração para que os efeitos de tratamentos, como o uso de gel de plantio e bioestimulante, sejam devidamente observados. Portanto, a ausência de diferença significativa neste experimento pode ser, em grande parte, devido à limitação temporal do estudo e às características próprias de crescimento do cafeeiro.

Ao analisar o gráfico 1 apresentado abaixo, pode-se observar uma relação inversa entre o tratamento e a mortalidade. A equação da linha de tendência é dada por  $y = -0,079x + 1,7183$ , onde  $y$  representa a mortalidade e  $x$  representa o número do tratamento. A inclinação negativa da linha de tendência (-0,079) indica que, à medida que o número do tratamento aumenta, a mortalidade tende a diminuir. Isso sugere que tratamentos mais avançados ou eficazes estão associados a taxas de mortalidade mais baixas.

O valor de  $R^2$  (alto coeficiente de determinação -  $R^2 = 0,9933$ ) próximo de 1 indica que a maior parte da variação na mortalidade pode ser explicada pelo número do tratamento. Isso sugere uma forte correlação entre as variáveis, reforçando a ideia de que o tratamento tem um impacto significativo na mortalidade.

Os dados mostram que a mortalidade varia de 1,6 (para o tratamento 1) até 1 (para o tratamento 9). Essa redução contínua nos valores de mortalidade à medida que os tratamentos progredem sugere que os tratamentos são cada vez mais eficazes. Ou seja, a análise dos dados sugere que a implementação de tratamentos mais eficazes pode levar a uma redução significativa nas taxas de mortalidade. Isso pode ser um indicativo da importância de investir em melhores práticas de tratamento e na pesquisa de novas abordagens terapêuticas.

**Tabela 2 - Demonstrativo do índice de mortalidade x tratamento.**



**Y: mortalidade; X: número do tratamento; e  $R^2$ : alto coeficiente de determinação.**  
**Fonte: pela autora, 2024.**

A mortalidade das plantas no experimento, avaliada como parte do efeito de diferentes doses de gel e bioestimulantes no cafeeiro, apresentou diferença significativa (1% de significância no teste F). Esse resultado sugere que os tratamentos influenciaram de maneira significativa a taxa de sobrevivência das plantas, com uma clara resposta à quantidade de gel de plantio e bioestimulante utilizada.

A mortalidade foi mais acentuada nas plantas que receberam menores doses de gel de plantio e bioestimulante, o que pode ter levado à deficiência no desenvolvimento radicular ou à dificuldade de absorção de água e nutrientes. Por outro lado, as plantas que receberam doses mais altas de gel de plantio e bioestimulante apresentaram maior taxa de sobrevivência, provavelmente devido ao efeito positivo do tratamento na retenção de água e no aumento da disponibilidade de nutrientes, condições que favorecem o crescimento e a resistência das plantas ao estresse. Esse comportamento pode ser explicado pela capacidade do gel e do bioestimulante de formar uma espécie de reserva hídrica no solo, o que ajuda as plantas a suportarem períodos de déficit hídrico, fator crucial para o cafeeiro, especialmente em ambientes controlados como o ambiente protegido (Garcia *et al.*, 2011).

Esses achados estão em concordância com estudos que relatam que doses intermediárias e altas de gel e bioestimulantes, quando corretamente aplicadas, podem melhorar a sobrevivência de plantas, enquanto doses muito baixas resultam em maior mortalidade devido à insuficiência de retenção de água e nutrientes no solo (Marques *et al.*, 2013). A mortalidade observada pode, portanto, ser um reflexo direto da interação entre a quantidade de gel aplicada e as condições de crescimento das plantas.

Portanto, após a análise do gráfico 1, entende-se que existe uma relação positiva entre o avanço nos tratamentos e a redução da mortalidade, destacando a importância de continuar a pesquisa e a implementação de tratamentos eficazes para melhorar os resultados de saúde.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no experimento de avaliação vegetativa para a implantação de diferentes doses de gel e bioestimulantes no cafeeiro em ambiente protegido, pode-se concluir que os tratamentos influenciaram de maneira diferenciada os parâmetros avaliados. A análise do aumento do caule revelou uma diferença significativa, indicando que os bioestimulantes e o gel tiveram efeito positivo sobre o crescimento vegetativo do cafeeiro, principalmente no desenvolvimento do caule. No entanto, para os parâmetros de altura e diâmetro de colmo, não foi observada diferença significativa, o que pode ser explicado pela natureza perene da cultura e pelo tempo limitado do experimento, que pode não ter sido suficiente para que diferenças nos tratamentos fossem evidenciadas nesses parâmetros.

A mortalidade apresentou uma diferença significativa, com maior taxa de sobrevivência nas plantas que receberam doses mais altas de gel, corroborando estudos que indicam que o gel pode favorecer a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes no solo, fatores importantes para a resistência das plantas ao estresse hídrico. Por outro lado, doses menores de gel resultaram em maior mortalidade, indicando que a falta de uma

quantidade adequada de gel pode prejudicar o desenvolvimento e a sobrevivência das plantas.

Os resultados indicam que, para o cafeeiro em ambiente protegido, o uso de gel de plantio e bioestimulantes em doses adequadas pode ser uma prática benéfica para a redução da mortalidade das plantas.

Portanto, os resultados indicam que, para o cafeeiro em ambiente protegido, o uso de gel em doses adequadas pode ser uma prática benéfica para o crescimento vegetativo e a redução da mortalidade das plantas. No entanto, novos estudos com maior duração e acompanhamento mais detalhado são necessários para uma avaliação mais precisa dos efeitos dos tratamentos ao longo do ciclo de vida da cultura.

## REFERÊNCIAS

COSTA, C. E. M. *et al.* **Efeito de bioestimulantes no crescimento de cafeeiros esqueletados.** Research, Society and Development, v. 11, n. 5, 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/rapha/Downloads/Efeito\\_de\\_bioestimulantes\\_no\\_crescimento\\_de\\_cafeei.pdf](file:///C:/Users/rapha/Downloads/Efeito_de_bioestimulantes_no_crescimento_de_cafeei.pdf). Acesso em: 20 out. 2024.

GARCIA, A. L. A.; PADILHA, L.; DIAS, A. S. **Uso de polímero hidroretentor no plantio de cafeeiros em ambiente protegido.** VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/904265/1/Usodepolimero.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MARQUES, P. A. A.; CRIPA, M. A. M.; MARTINEZ, E. H. **Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro.** Cienc. Rural, v. 43, n. 1, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/nPjqMt9k75cC3x3jRjQSZcv/#>. Acesso em: 23 nov. 2024.

SILVA, M. H. **Uso de bioestimulante no desenvolvimento do cafeeiro.** Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do grau de bacharel em Tecnologia em Cafeicultura, pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio – UNICERP, 2018. Disponível em: <https://www.unicerp.edu.br/public/docs/e7161a5a99a5-81ad.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.

ALIXANDRE, F. T. *et al.* **Cafeicultura sustentável: boas práticas agrícolas para o café arábica.** Vitória, ES: Incaper, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3995/1/cartilha-cafeicultura-sustentavel-Incaper.pdf>. Acesso em: 19 set. 2024.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SILVA, L. X. da. **Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas.** R. Tecnol. Soc. Curitiba, v. 13, n. 29, p. 146-161, 2017. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/viewFile/4755/4395>. Acesso em: 17 out. 2024.

BARROS, N. Q. **Aplicação do bioestimulante arbolina no cultivo de melão amarelo sob diferentes manejos de irrigação.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, 2023. Disponível em: [https://portais.univasf.edu.br/ppgea/pesquisa/publicacoes1/arquivos/DISSERTAO\\_NICOLLYQUIRINOBARROS\\_PDF.pdf](https://portais.univasf.edu.br/ppgea/pesquisa/publicacoes1/arquivos/DISSERTAO_NICOLLYQUIRINOBARROS_PDF.pdf). Acesso em: 26 set. 2024.

BRAINER, M. S. C. P., XIMENES, L. F. **PRODUÇÃO E MERCADO DO CAFÉ. Caderno Setorial ETENE**, v. 6, n. 207, 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2879/1981>. Acesso em: 19 set. 2024.

CASTRO, P. R. C.; CARVALHO, M. E. A. Aminoácidos e suas aplicações na agricultura. **ESALQ - Divisão de Biblioteca**, 2014. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR57.pdf>. Acesso em: 23 set. 2024.

COSTA, C. E. M. *et al.* **Efeito de bioestimulantes no crescimento de cafeeiros esqueletados**. Research, Society and Development, v. 11, n. 5, 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/rapha/Downloads/Efeito\\_de\\_bioestimulantes\\_no\\_crescimento\\_de\\_cafeei.pdf](file:///C:/Users/rapha/Downloads/Efeito_de_bioestimulantes_no_crescimento_de_cafeei.pdf). Acesso em: 20 out. 2024.

DEMINSKI, L. H. **Aplicação de hidrogel com doses de sulfato de potássio no desenvolvimento da soja**. Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2022. Disponível em: [https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6365/5/Leonardo\\_Deminski.2022.pdf](https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/6365/5/Leonardo_Deminski.2022.pdf). Acesso em: 15 nov. 2024.

FELIX, D. V. **Diferentes níveis de irrigação e doses de hidrogel na produção da couve-chinesa (Brassica pekinensis) em ambiente protegido**. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Irrigação no Cerrado) -- Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2018. Disponível em: [https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos\\_6/2019-02-14-02-08-05DANILO%20F%C3%89LIX.pdf](https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_6/2019-02-14-02-08-05DANILO%20F%C3%89LIX.pdf). Acesso em: 24 out. 2024.

FERREIRA, W. P. M. **Boas práticas agrícolas aplicadas à lavoura cafeeira para o estado de Minas Gerais**. 21 ed. Brasília, DF: Embrapa Café, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/rapha/Downloads/Sistemas-de-Producao-1-Cafe.pdf>. Acesso em: 29 set. 2024.

FRASCA, L. L. DE M.; NASCENTE, A. S.; LANNA, A. C.; CARVALHO, M. C. S.; COSTA, G. G. **Bioestimulantes no crescimento vegetal e desempenho agrônômico do feijão-comum de ciclo superprecoce**. Agrarian, v. 13, p. 27-41, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/8571>. Acesso em: 30 set. 2024.

GARCIA, A. L. A.; PADILHA, L.; DIAS, A. S. **Uso de polímero hidroretentor no plantio de cafeeiros em ambiente protegido**. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/904265/1/Usodepolimero.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MARQUES, P. A. A.; CRIPA, M. A. M.; MARTINEZ, E. H. **Hidrogel como substituto da irrigação complementar em viveiro telado de mudas de cafeeiro**. Cienc. Rural, v. 43, n. 1, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/nPjqMt9k75cC3x3jRjQSZcv/#>. Acesso em: 23 nov. 2024.

NAVROSKI, M. C. *et al.* **Influência do hidrogel no crescimento e no teor de nutrientes das mudas de Eucalyptus dunnii**. Floresta, v. 45, n. 2, p. 315 - 328, 2015. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20153393521>. Acesso em: 14 set. 2024.

OLIVEIRA, C. T. **Monitoramento da maturação dos frutos e de doenças do cafeeiro utilizando modelos de deep learning**. Trabalho de M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, 2021. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/14148/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 out. 2024.

SANTINATO, F. **Inovações tecnológicas para cafeicultura de precisão**. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal), 2016. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/precisao/livros/INOVACOES%20TECNOLOGICAS%20PARA%20CAFEICULTURA%20DE%20PRECISAO.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2024.

SANTOS, J. B. **Viabilidade do uso de hidrogéis hidroretentores no cultivo da alface elisabeth**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Multidisciplinar de Angicos - CMA da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para graduação e Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/57b8c8e2-cbdc-4789-8bc6-8679b79ed5d5/content>. Acesso em: 10 nov. 2024.

SILVA, F. A.; NONNENBERG, M. J. B. **Normas Voluntárias de Sustentabilidade (NVS) e implicações sobre as exportações de produtos do agronegócio – Café**. Rio de Janeiro: Ipea, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12121/2/TD\\_2911\\_web.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12121/2/TD_2911_web.pdf). Acesso em: 19 out. 2024.

SILVA, J. B. C.; PINTO, P. A. L. **Impactos socioeconômicos das mudanças climáticas na produção do café: uma revisão sistemática da literatura**. Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 35, n. 20, p. 155–178, 2024. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/17626>. Acesso em: 10 nov. 2024.

SILVA, M. H. **Uso de bioestimulante no desenvolvimento do cafeeiro**. Trabalho de Conclusão de Curso para a obtenção do grau de bacharel em Tecnologia em Cafeicultura, pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio – UNICERP, 2018. Disponível em: <https://www.unicerp.edu.br/public/docs/e7161a5a99a5-81ad.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2024.

SOARES, W. O.; FERREIRA, W. P. M.; RIBEIRO, S. M. N. F.; FONSECA, H. P. **Influência das mudanças climáticas na produção cafeeira segundo a percepção das cafeicultoras**. Formação (Online), v. 27, n. 52, p. 77 -100, 2020. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1139131/1/Influencia-das-mudancas-climaticas-da-producao-cafeeira.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

STADNIK, M. J.; FREITAS, M. B.; ASTOLFI, P. **I simpósio latino-americano sobre bioestimuladores na agricultura**. CCA/UFSC, 2017. Disponível em: <http://www.bioestimulantes.ufsc.br/files/2017/11/Anais-I-Simp%C3%B3sio-Latino-Americano-sobre-Bioestimulantes-na-Agricultura-SLABA-2017.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.

VIÇOSI, D. B. **Importância da melhoria da qualidade do café arábica para a sustentabilidade de propriedades agrícolas**. Incaper em Revista, v. 13 e 14, p. 57-70, 2023. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4505/1/Importancia-da-melhoria-da-qualidade-do-cafe-arabica.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.

ZAGO, D. **Efeito da aplicação de bioestimulantes na qualidade dos frutos e respetivos azeites da cv. Cobrançosa**. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/28175/1/Daniele%20Zago.pdf>. Acesso em: 25 set. 2024.

## Explorando Interações Fundamentais: Aplicação Inédita de Equações de Maxwell, Klein-Gordon e Yang-Mills com Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs)

### *Exploring Fundamental Interactions: Novel Application of Maxwell, Klein-Gordon and Yang-Mills Equations with Physics-Informed Neural Networks (PINNs)*

Celso Luciano Silva Araujo

#### RESUMO

Este projeto propõe uma abordagem computacional inovadora para estudar interações fundamentais, com foco na simulação de comportamentos em regimes onde múltiplas forças fundamentais interagem. Em vez de tentar uma unificação completa das forças, concentramo-nos em simular e prever comportamentos em cenários onde interações como a gravidade, o eletromagnetismo, as forças fortes e fracas se manifestam de maneira distinta. Para isso, utilizamos Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs, na sigla em inglês) para resolver equações diferenciais acopladas, fornecendo previsões úteis para experimentos futuros. Essa abordagem oferece um caminho prático para avanços graduais na compreensão das interações fundamentais, respeitando as limitações teóricas e computacionais atuais. Equação de Maxwell-Ampère em Espaço Curvo:  $\nabla\nu\mathbf{F}_{\mu\nu} = 4\pi\mathbf{J}\mu$ .

**Palavras-chave:** redes neurais; equação de Maxwell-Ampère; eletromagnetismo; gravidade.



## ABSTRACT

This project proposes a novel computational approach to study fundamental interactions, focusing on simulating behaviors in regimes where multiple fundamental forces interact. Rather than attempting a complete unification of forces, we focus on simulating and predicting behaviors in scenarios where interactions such as gravity, electromagnetism, and the strong and weak forces manifest themselves differently. To do so, we use Physics-Informed Neural Networks (PINNs) to solve coupled differential equations, providing useful predictions for future experiments. This approach offers a practical path for gradual advances in the understanding of fundamental interactions, while respecting current theoretical and computational limitations. Maxwell-Ampère Equation in Curved Space:  $\nabla_\nu F_{\mu\nu} = 4\pi J_\mu$ .

**Keywords:** neural networks; Maxwell-Ampère equation; electromagnetism; gravity.

## INTRODUÇÃO

A busca pela unificação das forças fundamentais — gravitação, eletromagnetismo, interações fortes e fracas — continua sendo um dos maiores desafios da física teórica. Embora uma teoria unificada seja o objetivo final, é possível estudar problemas específicos envolvendo a interação de duas ou mais forças de forma mais prática. Este projeto visa explorar essas interações em regimes específicos, como a gravidade e o eletromagnetismo em buracos negros, ou a interação entre o campo de Higgs e a gravidade em altas energias.

Exemplos de problemas a serem investigados incluem:

- A interação gravitacional e eletromagnética em buracos negros (relatividade geral + radiação de Hawking).
- Transições de fase em plasmas quark-gluon (força forte + eletromagnetismo).
- Conexões entre energia de vácuo quântico e campos gravitacionais fracos (campo de Higgs + gravidade).

## BASE TEÓRICA

### Modelos Reduzidos

Para simular as interações fundamentais, utilizaremos modelos simplificados baseados em equações bem estabelecidas da física:

-\*\*Eletrodinâmica em Contextos Relativísticos:\*\* As equações de Maxwell, acopladas à métrica de Schwarzschild, serão usadas para estudar interações de campos elétricos e magnéticos em campos gravitacionais intensos. A equação de Maxwell em espaço-tempo curvo é dada por:

$$\nabla_\nu F_{\mu\nu} = 4\pi J_\mu$$

Em que  $F_{\mu\nu}$  representa o tensor de campo eletromagnético e  $J_\mu$  é a corrente elétrica.



-\*\*Campos Escalares e Higgs:\*\* O comportamento de partículas massivas será estudado com o potencial de Higgs em um espaço-tempo curvo. A equação de Klein-Gordon para o campo escalar  $\phi$  em um ambiente curvo é dada por:

$$\square\phi - \lambda(\phi^2 - v^2)\phi = 0$$

onde  $\square$  é o operador d'Alembertiano em espaço curvo e  $\lambda$  é o parâmetro de acoplamento, com  $v$  representando o valor esperado do campo de Higgs.

-\*\*Teoria de Yang-Mills:\*\* Para investigar as interações fortes e fracas, utilizaremos as equações de Yang-Mills em regimes de transição de alta densidade de energia. A equação de Yang-Mills é dada por:

$$D_\mu F_{\mu\nu} = J_\nu, F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + g[A_\mu, A_\nu]$$

onde  $A_\mu$  é o campo de gauge,  $g$  é a constante de acoplamento e  $D_\mu$  é a derivada covariante.

## Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs)

As **Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs)** são redes neurais projetadas para resolver equações diferenciais parciais (PDEs) que governam fenômenos físicos. Essas redes incorporam diretamente o conhecimento físico — como condições de contorno, simetrias e leis de conservação — no processo de aprendizado. Isso as torna eficazes em contextos onde dados experimentais são limitados ou difíceis de obter.

PINNs podem ser aplicadas para resolver as equações diferenciais acopladas que descrevem as interações entre as forças fundamentais. A principal vantagem dessa abordagem é a capacidade de obter soluções de sistemas complexos de equações, mantendo a consistência com as leis físicas.

## FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Nosso foco será a resolução de sistemas de equações diferenciais acopladas que descrevem as interações entre as forças fundamentais. A seguir, apresentamos algumas dessas equações, que servirão como modelo para o nosso estudo:

- **Equação de Maxwell-Ampère em Espaço Curvo:**

$$\nabla_\nu F_{\mu\nu} = 4\pi J_\mu$$

- **Campo de Higgs em Curvatura Fraca:**

$$\square\phi - \lambda(\phi^2 - v^2)\phi = 0$$

- **Equações de Yang-Mills em Regimes de Alta Densidade:**

$$D_\mu F_{\mu\nu} = J_\nu, F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + g[A_\mu, A_\nu]$$

## IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

### Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs)

Para resolver as equações diferenciais acopladas mencionadas acima, utilizaremos redes neurais que incorporam as leis físicas. O modelo de rede neural será treinado para minimizar uma função de erro que leva em consideração tanto a solução das equações diferenciais quanto as condições de contorno.

### Ferramentas Computacionais

Utilizaremos a biblioteca **DeepXDE** em Python para implementar as PINNs. O DeepXDE é uma biblioteca de código aberto para resolver PDEs utilizando redes neurais. A seguir, apresentamos um protótipo de código para resolver a equação de Maxwell-Ampère em espaço curvo:

```
```python
import deepxde as dde
import numpy as np

# Define a equação de Maxwell-Ampère simplificada
def pde(x, y):
    dy_t = dde.grad.jacobian(y, x, i=0, j=0)
    dy_x = dde.grad.jacobian(y, x, i=0, j=1)
    return dy_t - dy_x - np.sin(x)

# Condições de contorno
geom = dde.geometry.Interval(0, 1) # Espaço 1D para simplicidade
bc = dde.DirichletBC(geom, lambda x: 0, lambda x, _: x == 0)

# Definindo o modelo da rede neural
data = dde.data.PDE(geom, pde, bc, num_domain=10, num_boundary=2)
net = dde.maps.FNN([1] + [50] * 3 + [1], 'tanh', 'Glorot uniform')
model = dde.Model(data, net)

# Compilando e treinando o model
model.compile('adam', lr=0.001)
losshistory, train_state = model.train(epochs=10000
...`
```

## Treinamento da Rede Neural

A rede neural será treinada para aprender a solução das equações diferenciais, com base nas condições iniciais e de contorno. A função de perda será composta por um termo que penaliza a diferença entre a solução numérica obtida pela rede e a solução analítica ou experimental.

## RESULTADOS ESPERADOS

- Simulações eficientes de interações específicas entre forças fundamentais.
- Identificação de padrões emergentes que podem guiar teorias futuras de unificação.
- Validação dos métodos computacionais para resolver sistemas físicos complexos usando aprendizado de máquina.

As equações apresentadas no artigo são baseadas em equações conhecidas da física teórica, como as equações de Maxwell, Klein-Gordon e Yang-Mills. No entanto, ao apresentá-las em um contexto de “modelos reduzidos” e ao conectá-las com a abordagem de **Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs)**, elas estão sendo aplicadas de maneira inovadora para resolver sistemas complexos e descrever interações fundamentais entre forças.

Vamos passar por algumas das equações que foram destacadas:

### Equação de Maxwell-Ampère em Espaço Curvo

Esta é a forma da equação de Maxwell para descrever campos eletromagnéticos em um espaço-tempo curvo, que é uma extensão da teoria da eletrodinâmica para incluir a relatividade geral.

$$\nabla_{\nu} F^{\mu\nu} = 4\pi J^{\mu}$$

Onde:

- $F_{\mu\nu}$  é o tensor de campo eletromagnético.
- $J^{\mu}$  é a corrente elétrica.
- $\nabla_{\nu}$  é o operador de derivada covariante.

Essa equação é fundamental para estudar as interações eletromagnéticas em regimes gravitacionais, como em buracos negros, e poderia ser útil para a modelagem de radiação de Hawking.

### Equação de Klein-Gordon para o Campo de Higgs em Espaço Curvo

O campo de Higgs descreve partículas massivas e sua interação com o campo de Higgs, sendo uma equação crucial para a física de partículas. A forma da equação de Klein-Gordon, adaptada para um espaço-tempo curvo, é dada por:

$$\square\phi - \lambda(\phi^2 - v^2)\phi = 0$$

Onde:

- $\square$  é o operador d'Alembertiano (relacionado à propagação de ondas).
- $\lambda$  é o parâmetro de acoplamento.
- $v$  é o valor esperado do campo de Higgs.
- $\phi$  é o campo escalar de Higgs.
- Esta equação é usada para descrever como o campo de Higgs se comporta em um ambiente curvo, essencial para investigar interações como a quebra espontânea de simetria.

## Equações de Yang-Mills em Regimes de Alta Densidade

As equações de Yang-Mills descrevem as interações entre partículas fundamentais no modelo padrão da física de partículas, como a interação forte (mediada por glúons). As equações em um regime de alta densidade são dadas por:

$$D_\mu F^{\mu\nu} = J^\nu$$

Onde:

- $D_\mu$  é a derivada covariante.
- $F_{\mu\nu}$  é o tensor de campo de Yang-Mills.
- $J^\nu$  é a corrente associada ao campo de gauge.
- $A_\mu$  é o campo de gauge.
- Este conjunto de equações é utilizado para modelar as interações fortes e fracas, especialmente em condições extremas de densidade, como no interior de estrelas de nêutrons ou em colisões de partículas de alta energia.

## Inovação e Aplicação com PINNs

- O aspecto inédito do artigo é a **aplicação de Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs)** para resolver essas equações, algo que não é convencional em muitos modelos tradicionais de física. O uso de redes neurais para resolver sistemas acoplados de equações diferenciais complexas, enquanto integra explicitamente as leis físicas no treinamento da rede, é uma aplicação inovadora.
- Essas redes são projetadas para incorporar tanto as equações diferenciais quanto as condições de contorno, garantindo que a solução obtida pela rede respeite as leis da física, sem depender totalmente de dados experimentais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo explorou a aplicação de modelos reduzidos e Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs) para simular interações fundamentais da física teórica, com foco em equações diferenciais parciais complexas, como as de Maxwell, Klein-Gordon e Yang-Mills, em contextos de espaço-tempo curvo. A abordagem proposta demonstrou ser uma alternativa promissora para a solução de sistemas acoplados de equações diferenciais, mantendo a consistência com as leis físicas fundamentais.

Ao longo do estudo, foi possível observar que as PINNs apresentam vantagens significativas, como a capacidade de integrar diretamente o conhecimento teórico e as condições de contorno no processo de aprendizado. Essa integração permite uma abordagem mais robusta e interpretável para resolver sistemas de alta complexidade matemática, especialmente em contextos onde dados experimentais são escassos ou inviáveis.

Os resultados esperados incluem a simulação eficiente de interações específicas entre forças fundamentais, a identificação de padrões emergentes e a validação do uso de redes neurais em problemas complexos de física teórica. A flexibilidade das PINNs, aliada ao uso de ferramentas computacionais avançadas como o DeepXDE, reforça seu potencial como uma ferramenta inovadora para a modelagem de sistemas físicos complexos.

Como continuidade deste trabalho, recomenda-se a exploração de arquiteturas de PINNs mais profundas e a aplicação em problemas multidimensionais e não lineares, além de testes comparativos com métodos numéricos clássicos. A combinação de aprendizado de máquina com formulações matemáticas rigorosas pode abrir novos caminhos para a pesquisa em física teórica e computacional, contribuindo para o avanço do entendimento das interações fundamentais do universo.

## REFERÊNCIAS

EDDINGTON, A. S. **The total eclipse of 1919**. *Nature*, v. 104, n. 2611, p. 441-444, 1919.

EINSTEIN, A. **Die Feldgleichungen der Gravitation**. *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, p. 844, 1915.

JACKSON, J. D. **Classical Electrodynamics**. 3. ed. Wiley, 1999.

## Logística Estratégica na Amazônia: a Engenharia de Produção com Ênfase em Recursos Produtivos, Transformando Gestão Militar

### *Strategic Logistics in the Amazon: Production Engineering With an Emphasis on Productive Resources, Transforming Military Management*

**Paulo Ricardo Batista dos Santos**

*Administração pela Universidade Luterana de Manaus Ulbra, 2005. Especialização em Engenharia de Produção com ênfase em recursos produtivos pela Universidade Estadual do Amazonas (UEA, 2012). <http://lattes.cnpq.br/6178284993612842>*

#### RESUMO

A formação proporcionada por um Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção com Ênfase em Recursos Produtivos oferece um conjunto robusto de ferramentas teóricas e práticas que podem transformar significativamente a gestão e os processos internos de organizações complexas, como as Seções de Aquisições, Licitações e Contratos (SALC) e Almoxarifado do Comando Militar da Amazônia (CMA). Em um cenário logístico desafiador e único como o da Amazônia, onde variáveis como isolamento geográfico, restrições de transporte e sazonalidade climática impactam diretamente a eficiência operacional, as competências adquiridas nesse curso assumem um papel estratégico. Por meio de abordagens focadas na otimização de recursos, análise de riscos, gestão de cadeia de suprimentos e melhoria contínua de processos, os profissionais formados estão capacitados para enfrentar e solucionar problemas específicos dessa realidade, além de propor inovações alinhadas às necessidades institucionais e à missão da organização. A seguir, foram destacadas algumas áreas em que esses conhecimentos foram ou podem ser aplicados, promovendo avanços na eficiência e nos resultados das atividades logísticas e administrativas do CMA.

**Palavras-chave:** gestão; processamento de dados; licitação.



## ABSTRACT

The training provided by a Postgraduate Course in Production Engineering with Emphasis on Productive Resources offers a robust set of theoretical and practical tools that can significantly transform the management and internal processes of complex organizations, such as the Acquisitions, Bidding and Contracts Sections (SALC) and Warehouse of the Amazon Military Command (CMA). In a challenging and unique logistics scenario such as that of the Amazon, where variables such as geographic isolation, transportation restrictions and climate seasonality directly impact operational efficiency, the skills acquired in this course assume a strategic role. Through approaches focused on resource optimization, risk analysis, supply chain management and continuous process improvement, the professionals trained are able to face and solve specific problems of this reality, in addition to proposing innovations aligned with the institutional needs and the organization's mission. Below, we will highlight some areas in which this knowledge has been or can be applied, promoting advances in the efficiency and results of the CMA's logistics and administrative activities.

**Keywords:** management; data processing; bidding.

## INTRODUÇÃO

A constituição federal do Brasil tem pressionado o Estado brasileiro a ser guiado pelo princípio da eficácia em suas decisões e funcionamento em geral. Compreende-se que este preceito se refere ao princípio da igualdade.

Alcance das metas com o mínimo de recursos requeridos tornando esse conceito essencial em períodos de crise e restrições. Orçamento. Entre as várias tarefas realizadas nas empresas, estão as seguintes: públicas, devemos levar em conta o princípio da eficiência. Este estudo focou nas questões que impactam a administração do patrimônio, bens móveis, que representam a quantidade significativa de bens (móvel, por exemplo), dispositivos, instrumentos...) que as entidades públicas precisam possuir para desempenhar corretamente suas funções. Este conjunto de itens representa uma quantidade significativa de capital, o qual precisa ser adequadamente gerenciado e controlado, de modo a garantir a eficácia, ser um alicerce para a elaboração de futuros investimentos (expansões, por exemplo), reformas, ajustes...), além do conhecimento apropriado sobre reformas (entender exatamente a condição e a situação de seus bens) cada elemento). Assim, com a intenção de auxiliar no aprimoramento da educação. Para otimizar a administração do patrimônio, optou-se pela incorporação de conceitos de gestão patrimonial de rastreamento nas tarefas comuns da administração desses recursos. De acordo com a perspectiva de Alter (1991), o Sistema de Rastreabilidade apresenta falhas caracteriza-se pela presença de vários componentes de uma cadeia (indivíduos, máquinas, tecnologias, etc.), e sua finalidade é registrar obtendo potenciais benefícios em um determinado processo setor produtivo através desses dados armazenados. Dessa. Portanto, neste estudo, optou-se por utilizar esse conceito no âmbito da educação administração do patrimônio de bens móveis.

O curso de pós-graduação em Engenharia de Produção oferece conhecimentos em **gestão de processos, otimização de recursos e melhoria contínua**. Tais competências podem ser aplicadas diretamente na **SALC** e no **almoxarifado**, com foco em:

- **Mapeamento e Análise de Processos:** A Engenharia de Produção permite identificar gargalos, ineficiências e redundâncias nos processos de aquisição, licitação e gestão de contratos. Ao mapear esses processos, é possível propor soluções para agilizar e tornar mais transparentes as atividades, promovendo maior eficiência e menores custos.
- **Melhoria de Fluxos Logísticos:** O **almoxarifado** é uma área crítica em termos de **gestão de estoques** e **logística de materiais**. Com base em métodos de gestão da produção, como o **Just-in-Time (JIT)** ou **Teoria das Restrições (TOC)**, é possível reduzir desperdícios, melhorar o controle de inventário e otimizar os processos de recebimento e distribuição de materiais.

## PLANEJAMENTO E GESTÃO DE PROJETOS

No curso de Engenharia de Produção, são desenvolvidas habilidades de **planejamento e controle de projetos**, que podem ser aplicadas na gestão de aquisições e contratos militares. A aplicação dessas metodologias pode incluir:

- **Planejamento de Aquisições e Contratos:** Utilizando ferramentas de planejamento estratégico, como **Análise SWOT**, **Matriz GUT** (Gravidade, Urgência e Tendência), e **PMSO (Planejamento de Material e Serviços Operacionais)**, com o conhecimento da especialização, auxilia-se na gestão de aquisições, otimizando a escolha de fornecedores e o cumprimento de prazos e orçamentos estipulados.
- **Gestão de Riscos:** O gerenciamento de riscos em projetos de compras e contratos é uma competência essencial que pode ser aplicada para minimizar problemas durante o processo de aquisição de materiais, desde a licitação até a entrega dos produtos. A avaliação de riscos pode prevenir imprevistos que afetem a logística e a operação.

## TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E AUTOMAÇÃO

A Engenharia de Produção também aborda a **automação de processos** e o uso de **tecnologias de informação** para otimização de recursos. Para a **SALC** e o **almoxarifado**, isso pode significar futura implementação:

- **Implementação de Sistemas de Informação:** Utilização de **Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP)**, como o **SAP** ou **TOTVS**, para integrar os processos de compras, almoxarifado, estoque e distribuição. Esses sistemas permitem um controle mais preciso, o que é fundamental em uma operação militar onde a acuracidade e a rapidez de decisão são vitais.
- **Automação de Estoques e Armazenagem:** Com o uso de tecnologias de automação, como **RFID (identificação por radiofrequência)** e **códigos de barras**, o controle do almoxarifado pode ser significativamente aprimorado. A Engenharia de Produção proporciona as ferramentas para aplicar essas



tecnologias e reduzir erros humanos, melhorar a rastreabilidade e otimizar a reposição de materiais.

## GESTÃO DE QUALIDADE E COMPLIANCE (CONFORMIDADE COM AS LEIS)

Em processos licitatórios e contratuais, a **qualidade** e o **cumprimento de normas legais e regulatórias** são cruciais. A pós-graduação em Engenharia de Produção proporciona uma base sólida para implementar **programas de qualidade** e **auditorias internas**. Isso pode ser aplicável na SALC da seguinte maneira:

- **Padronização e Melhoria Contínua:** Aplicação de metodologias de **gestão da qualidade**, como **Six Sigma** ou **Lean**, para eliminar desperdícios, melhorar os processos de compras e a execução de contratos. A melhoria contínua também pode ser aplicada na gestão de almoxarifado, garantindo a qualidade e eficiência do serviço prestado.
- **Auditoria e Compliance:** A formação pode ajudar na implementação de práticas de auditoria, garantindo que as aquisições e contratos cumpram com as exigências legais e normativas. A Engenharia de Produção tem uma forte vertente na **gestão de conformidade**, o que é fundamental em qualquer operação pública ou militar.

Simultaneamente, Alter (1991) amplia a teoria mencionada anteriormente. Para ele, este sistema de informação é o resultado da combinação de vários sistemas de diversos elementos. Entre eles, estão as práticas laborais, as informações e os procedimentos individuais que utilizam o sistema e a tecnologia de informação (hardware e software).

## SUSTENTABILIDADE E RESPONSABILIDADE SOCIAL

Considerando o contexto do **Comando Militar da Amazônia**, diante das particularidades ambientais e sociais, a pós-graduação em Engenharia de Produção também pode fornecer ferramentas para implementar práticas de **sustentabilidade** e **responsabilidade social**. Isso se reflete em:

- **Gestão Sustentável de Recursos:** A aplicação de práticas de **gestão sustentável** nos processos de aquisições e armazenagem ajudam a minimizar o impacto ambiental, especialmente considerando as questões ambientais críticas da região amazônica.
- **Fornecimento Responsável:** A formação pode capacitar para a seleção de fornecedores que sigam critérios de responsabilidade social e ambiental, além de otimizar a logística para minimizar impactos negativos na região.

## METODOLOGIA MÉTODO

A execução deste projeto inicialmente exigiu um extenso esforço. Análise literária, realizada por meio de pesquisa direta em anais de eventos. Periódicos e obras literárias específicas. Depois, foram feitas posteriores alterações. Diversas visitas técnicas ao Departamento de Patrimônio da Instituição em estudo foram realizadas.

Para compreender de forma mais eficaz o processo de movimentação de cargas, é necessário dos seus ativos financeiros. Para isso, foram realizadas uma série de entrevistas. Foi realizada uma série de reuniões estruturadas com os encarregados deste departamento. Através deste contato, conseguimos ampliar esta pesquisa, uma vez que um importante fator foi considerado.

Material bibliográfico ligado às atividades do órgão, incluindo: lei específica para as tarefas realizadas no setor, manuais de procedimentos específicos para as atividades realizadas no setor entre outras atividades; foram amáveis e gentilmente oferecidas.

Provenientes da parte da Instituição envolvida no estudo. Assim, tais como segue: Essas informações permitiram um melhor entendimento do sistema de rastreabilidade da organização, suas principais dificuldades, bem como sugerir uma nova solução procedimento de registro de movimentação para este material por meio do uso de rastreadores codificação numérica, simbolizando o objetivo principal desta pesquisa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contribuição do curso de **Pós-Graduação em Engenharia de Produção para a Seção de Aquisições, Licitações e Contratos (SALC)** e o **Almoxarifado do Comando Militar da Amazônia** é resultado de 6 anos de atuação técnica do administrador, 1º Tenente Paulo Ricardo Batista dos Santos que possui a especialização em destaque e utilizou os conhecimentos em ambas seções. A aplicação dos conhecimentos adquiridos resultou em processos mais eficientes, redução de custos, maior controle logístico, implementação de tecnologias inovadoras, e maior conformidade com as normas e regulamentos. Além disso, pode contribuir para a melhoria da qualidade dos serviços e futuras implementações para melhoras e otimizar a gestão de recursos em um contexto desafiador e estratégico dentro do Comando Militar Amazônia.

## REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

BERTAGLIA, P. R. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2018.

CHRISTOPHER, M. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Criando Redes que Agregam Valor**. 5. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. **Gerenciamento de Projetos: Princípios e Práticas**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

HEIZER, J.; RENDER, B.; MUNSON, C. **Administração da Produção**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2020.

LACERDA, D. P.; SLACK, N.; FILHO, M. G. **Planejamento e Controle da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

LEITE, P. R. **Transportes, Logística e Cadeias de Abastecimento: Planejamento e Gestão**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

VARGAS, R. V. **Gerenciamento de Projetos: Estabelecendo Diferenciais Competitivos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2018. Disponível em: <https://ricardo-vargas.com/pt/books/gerenciamento-de-projetos-9a-edicao>. Acesso em: 13 out. 2024.

# Patologias em Estrutura de Concreto Armado: Novos Processos para Soluções em Ambiente Industrial

## *Pathologies in Reinforced Concrete Structures: New Processes for Solutions in Industrial Environments*

**Kayron Lima da Silva Rabelo**

*Docentes do IEMA PLENO DR JOÃO BACELAR PORTELA*

**Evandro Martins Araújo Filho**

*Docentes do IEMA PLENO DR JOÃO BACELAR PORTELA*

**Jhonatan Peres de Sousa**

*Docentes do IEMA PLENO DR JOÃO BACELAR PORTELA*

**Wallesson Alexandre de Sousa Lima**

*Docentes do IEMA PLENO DR JOÃO BACELAR PORTELA*

**José Ribamar Ribeiro Silva Júnior**

*Docentes do IEMA PLENO DR JOÃO BACELAR PORTELA*

**Geysa Helena Guimarães Chaves**

*Docentes do IEMA PLENO DR JOÃO BACELAR PORTELA*

**William Marinho dos Santos**

*Docentes do IEMA PLENO DR JOÃO BACELAR PORTELA*

**Igor Felipe Cutrim Costa**

*Egresso do Centro Universitário Dom Bosco - UNDB*

**Mateus Charles Saraiva Madeira**

*Egresso do ISL WYDEN*

### RESUMO

As estruturas de concreto armado em determinado momento da sua vida útil apresentarão uma deterioração, seja devido ao processo de envelhecimento natural ou pelo envelhecimento precoce. As patologias formadas por alteração química são exemplos de anomalias precoces na estrutura e são bastantes comuns em ambientes agressivos como o ambiente industrial, devido ao processo de reação do cimento com o componente químico agressivo. O presente trabalho teve como objetivo analisar as manifestações patológicas em uma refinaria localizada na cidade de São



Luís-MA. A metodologia da pesquisa foi pautada na pesquisa de campo posterior a pesquisa bibliográfica, onde, se obteve informações sobre o tema abordado através de teses, dissertações e artigo científico. Os resultados e discussões mostraram as principais manifestações patológicas na refinaria, com destaque para fissuras, delaminação do concreto e desgaste a abrasão, sempre decorrentes da presença da soda cáustica. Além disso, foi proposto uma forma de recuperação da estrutura de concreto comprometida. Logo, conclui-se que o estudo foi considerado satisfatório, pois respondeu os objetivos com eficácia e buscou mostrar as patologias existentes em um ambiente industrial por alterações químicas.

**Palavras-chave:** concreto armado; patologias; soda cáustica.

## ABSTRACT

Reinforced concrete structures will deteriorate at a certain point in their useful life, either due to the natural aging process or premature aging. Pathologies formed by chemical alteration are examples of early anomalies in the structure and are quite common in aggressive environments such as the industrial environment, due to the reaction process of the cement with the aggressive chemical component. The present work aimed to analyze the pathological manifestations in a refinery located in the city of São Luís-MA. The research methodology was based on field research following bibliographical research, where information was obtained on the topic covered through theses, dissertations and scientific articles. The results and discussions showed the main pathological manifestations in the refinery, with emphasis on cracks, concrete delamination and abrasion, always resulting from the presence of caustic soda. Furthermore, a way of recovering the compromised concrete structure was proposed. Therefore, it is concluded that the study was considered satisfactory, as it met the objectives effectively and sought to show the pathologies existing in an industrial environment due to chemical changes.

**Keywords:** reinforced concrete; pathologies; caustic soda.

## INTRODUÇÃO

A utilização do concreto é algo crescente no mundo e que está presente em praticamente tudo que rodeia uma sociedade. Entretanto, à medida que esse produto vem crescendo, as manifestações patológicas que incidem sobre ele também vêm se desenvolvendo. No início o concreto já chegou a ser divulgado como um produto de durabilidade ilimitada entretanto, ao passar do tempo, foi se descobrindo que isso era uma inverdade.

Assim, com a grande frequência em que essas manifestações patológicas vêm se desenvolvendo nas estruturas de concreto, seja de forma física, mecânica ou química, torna-se dessa forma um estudo mais intenso sobre as causas e formas de manifestação. Como citado acima, existem diversos processos de deterioração do concreto, tendo como uma das principais, a ação química. Essa ação é uma das grandes responsáveis pela redução de durabilidade e conseqüente envelhecimento precoce de elementos de concreto (Silva, 2019).

Essas reações químicas acabam se formando devido a interação entre agentes agressivos do ambiente externo e os elementos que compõe a pasta cimentícia. Ainda, podem se manifestar através de efeitos físicos agressivos a estrutura, como pode se destacar o aumento da permeabilidade e porosidade, que acabam facilitando a fissuração concreto, além da diminuição de resistência mecânica e do destacamento do mesmo (Mehta e Monteiro, 2014).

A relevância para o estudo das manifestações patológicas provenientes das reações químicas é a necessidade de contribuir para entender e evitar que esses tipos de degradação do concreto armado continuem, principalmente naqueles que funcionam como estrutura da edificação. Além disso, esse estudo é necessário visando o ponto de vista financeiro, sendo que um dos maiores custos da engenharia é voltado para as etapas de recuperação e reforço estrutural dos elementos afetados.

Sabendo disso, surge a seguinte indagação: É possível realizar um estudo das manifestações patológicas e propor soluções de recuperação em um ambiente industrial?

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar as manifestações patológicas em uma refinaria localizada na cidade de São Luís-MA. Os objetivos específicos são apresentados a seguir: apresentar as principais manifestações patológicas na refinaria; Identificar as manifestações patológicas causadas por reações químicas; Levantar métodos preventivos para evitar a sua formação; Propor soluções para os locais afetados pela manifestação patológica em questão.

## **GENERALIDADES DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

As estruturas de concreto devem por obrigação atender a três requisitos mínimos, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), sendo eles: durabilidade, desempenho e capacidade resistente. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), “Consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.”

Conforme Mehta e Monteiro (2014), a durabilidade das estruturas de concreto pode ser conceituada como a tendência de resistir a ação de intempéries ao qual a estrutura estará exposta ao longo de sua vida útil. A durabilidade das estruturas está intrinsicamente relacionada ao ambiente em que o elemento estrutural está inserido, em função de sua classe de agressividade e a sua utilização. Diante disto a norma estabelece as classes de agressividades de acordo com o ambiente, sendo o meio marinho um dos mais agressivos, devendo ser respeitadas as características referentes ao cobrimento nominal e a classe do concreto. A figura 1 refere-se a classe de agressividade em função do ambiente e o grau de deterioração que a estrutura está sujeita.

Figura 1 – Classe de agressividade.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014).

Nota-se que os ambientes mais agressivos são o industrial e o ambiente marinho. Estes possuem risco de deterioração do concreto elevado, muito devido a presença de íons de cloreto, sulfato e reações químicas dos compostos utilizados nesses ambientes.

O ambiente industrial, por exemplo, é bastante degradante no que tange às estruturas de concreto. Isso ocorre pelo fato de possuir vários ramos de atividade industrial, onde cada um desses, devido à natureza dos processos, emite diversos fatores de degradação, onde a grande maioria lança na atmosfera diversas substâncias como: monóxidos, dióxidos, partículas sólidas e derivados de sulfatos. Estas substâncias ao entrar em contato por exemplo com a água de chuva são absorvidas pelas estruturas de concreto dando origem as patologias (Mehta e Monteiro, 2014).

Outro fator que contribui para a deterioração do concreto e afetando a sua durabilidade é o fato de que a durabilidade está muito mais relacionada com a permeabilidade e a capacidade de absorção que dependem da porosidade do concreto (Brandão, 1998).

## Generalidade sobre Patologias e Degradações do Concreto Armado

O surgimento de patologias em uma construção de concreto armado se dá por uma série de combinação de erros que são resultantes das fases da obra, sendo a concepção, a eficiência da estrutura, e o uso dos métodos construtivos, entre outros. Porém, uma parcela de culpa pode vir das pessoas que usam a edificação, pela falta de manutenção da mesma (CBIC, 2013).

Mesmo sabendo que o concreto armado é considerado um material durável, a ação de agentes naturais e artificiais causará em determinado momento a perda progressiva de seu desempenho, causando o que se chama de deterioração do concreto.

Os principais fatores que acabam diminuindo a resistência do concreto e provocando a deterioração são: a alta permeabilidade e porosidade, o uso de cimento não condizendo

com a estrutura, a cura insuficiente, alta temperatura imposta, ciclos de molhagem e secagem, cobrimento insuficiente das armaduras, entre outros. As intempéries têm também grande influência sobre a degradação do concreto, principalmente quando está relacionada no exterior das estruturas, sendo: temperatura, água das chuvas, radiação solar, vento (Da Silva, 2018).

Já para Machado (2017), a degradação das características do concreto armado provém geralmente de uma ação conjunta que envolve ações externas e internas, em que em relação a ação externa, o processo está relacionado ao meio inserido. Já em relação a ação interna, o processo é mais complexo e envolve as reações físico-químicas do concreto. Estes fatores internos ressaltam a qualidade do concreto, isto é, como foi realizada a mistura, lançamento e cura, enquanto que os fatores externos estão relacionados a retração, efeito térmico e fluência do concreto.

São diversas as causas relacionadas a degradação das estruturas de concreto e que podem ser classificadas como: mecânicas, físicas e químicas. Sendo que as mesmas podem ocorrer de forma isolada ou simultânea, dependendo da rapidez em propagação do meio em que a estrutura está inserida.

#### a) Causas mecânicas

Para Matildes (2022), esse tipo de deterioração está vinculado aos esforços mecânicos que a estrutura de concreto armado acaba sendo submetida a impactos e choques, recalque diferencial e até mesmo por acidentes como explosões, tempestades ou abalos sísmicos por exemplo.

#### b) Causas físicas

As causas físicas estão relacionadas a desgastes na estrutura envolvendo abrasão, erosão, cavitação e também por variações de pressão, temperatura e umidade, além de variações de carga estrutural (Matildes, 2022).

#### c) Causas químicas

Em relação as causas químicas, sabe-se que várias reações químicas acabam provocando a degradação do concreto, sendo que elas podem ser provenientes de fatores externos ao qual o concreto armado está exposto e também devido a própria pasta dos cimentos e as reações da mesma como a hidratação retardada (Ca e MgO) e a reação álcali-agregada (Matildes, 2022).

### **Degradação do concreto por alterações químicas**

A degradação do concreto armado por reações químicas pode ser descrita segundo Ribeiro (2014, p.96), que diz que “A degradação do concreto por ações químicas é um fenômeno extremamente complexo, envolvendo muito parâmetros, nem sempre fáceis de serem isolados e que atuam em diferentes graus”. Eles ocorrem no interior da estrutura pelos agentes agressivos que acabam adentrando por meio de poros constantes que existem na estrutura de concreto. Esses ataques ocorrerem por meio de líquidos, gases e vapores, além da umidade que essas substâncias podem carregar e elementos nocivos para a composição do concreto e o aço da estrutura.



Existem diversos meios de deterioração do concreto por reações químicas, mesmo sabendo que quase sempre ocorre através de agentes agressivos do meio ambiente e os constituintes da pasta do cimento. As demais maneiras são por meio de reações álcali-agregado (relação entre o álcalis que existe na pasta cimentícia e alguns minerais reativos no agregado), hidratação retardada nos elementos CaO e MgO cristalinos, quando em grande proporção no cimento e, por fim, a corrosão eletroquímica existente na armadura do concreto (Figueredo, 2018).

Os agentes químicos ambientais principais que são responsáveis pelo processo de deterioração do concreto armado são: gás carbônico, ácidos, cloretos, sulfatos e a água. Vale ressaltar que a ação do hidrogênio também pode ser maléfica para a estrutura, principalmente aquela que é originário dos ácidos.

“Os mecanismos de deterioração química agem por meio de substâncias químicas sobre os componentes não metálicos do concreto, e entre as substâncias mais agressivas que agem sobre esses componentes destacam-se os ácidos clorídrico e sulfídrico” (Ribeiro, 2014, p.19). A ação desses ácidos na estrutura de concreto armado acaba causando a degradação da sua estrutura porosa, gerando efeitos inesperados na pasta cimentícia endurecida, tem como consequência redução da seção do concreto e perda de massa.

É importante mencionar que a resistência do concreto em relação a essas ações químicas como as dos ácidos, geralmente acabam se alterando com o cimento empregado. “Aqueles que melhor resistem a presença de ácidos e cloretos são em ordem decrescente: cimento aluminoso, cimento super sulfatado, cimento Portland resistente aos sulfatos ou pozolânico, cimento Portland de alto forno ou de baixo calor de hidratação, cimento Portland de alta resistência inicial e cimento Portland comum” (Figueredo, 2018, p. 32).

Pode-se dizer que a deterioração das estruturas de concreto na sua grande maioria está relacionada a ataque de ácidos, sulfatos e por reações álcali-agregado, além das corrosões de armadura.

De acordo com os estudos de Ribeiro (2014), os processos químicos de deterioração do concreto armado são divididos em três tipos: Reações que envolve a lixiviação da pasta endurecida e a hidrólise; Reações de troca entre componentes de pasta endurecida e fluido agressivo; Reações que envolvem a formação de produtos considerados expansivos. A Figura 2 retrata de forma esquemática essas três categorias mencionadas acima.

Figura 2 - Deterioração do concreto por reações químicas.



Fonte: Ribeiro (2014).

## Patologias por Alteração Química do Concreto Armado

São diversas as patologias apresentadas no concreto armado devido a processos de reações químicas, agindo como mecanismos de deterioração. Entre elas podem se destacar: carbonatação, ataques por ácidos, ataques de íons de cloreto, ataque por sulfatos e reações álcali-agregados.

### Carbonatação

A carbonatação é um processo proveniente da ação do gás carbônico que acaba reduzindo o pH da estrutura, provocando a despassivação da armadura, levando a corrosão. Vale ressaltar que quando o concreto se apresenta em boas condições, a carbonatação não consegue atingir profundidades superiores a 1 mm, independente do tipo de cimento empregado. Logo, se pensar que esse valor somente é nocivo quando a carbonatação chega até a armadura, pode-se dizer que o processo apresenta como limite de segurança o próprio cobrimento (Da Silva, 2018).

A consequência imediata da carbonatação é a perda da alcalinidade do concreto, devido ao processo de lixiviação dos compostos cimentícios, que acabam reagindo com os componentes ácidos presentes no meio ambiente, reduzindo dessa forma o pH para 9, sendo que os valores de pH em condições normais variam entre 12,5 e 13,5 (Ribeiro, 2014).

A carbonatação de forma geral acaba não prejudicando o concreto, ocorrendo em alguns casos apenas uma pequena retração, ocorrendo de forma contraditória a diminuição da permeabilidade e tornando a penetração de agentes agressivos mais escassos se comparado a concretos não carbonatados. Na Figura 6 pode-se observar a degradação de uma estrutura de concreto armado em um ambiente industrial afetada pelo processo de carbonatação que acabou levando a ação da corrosão.

## Ataques por ácidos

O ataque ácido é formado a partir de uma reação entre os compostos de cimento e uma solução agressora, formando assim compostos secundário que são lixiviados pelo concreto ocasionando uma perda de resistência. Como principal consequência do ataque dos ácidos é a desintegração da pasta cimentícia, deixando assim os agregados expostos. Além disso, esses ataques costumam ocorrer em ambientes úmidos com grande presença do CO<sub>2</sub>, de SO<sub>2</sub> e outros gases ácidos que estão presentes no meio ambiente externo que atacam o concreto. Geralmente o hidróxido de cálcio é considerado o elemento dos compostos do cimento Portland que mais é atingido pelo ataque ácido (Trindade, 2015).

O ataque por ácidos costuma acontecer mais em ambientes urbanos e industriais devido a grande quantidade de agentes agressivos presentes na atmosfera. Vale ressaltar que ambientes fechados também são propícios ao desgaste da estrutura por não existir com frequência renovação do ar, como é o caso da ação do ácido sulfúrico, que é comum na deterioração do concreto. Este ácido ao se reagir por exemplo com o hidróxido de cálcio da pasta cimentícia acaba gerando o sulfato de cálcio que é disposto como gesso (Ferreira, 2000).

Assim, como medidas preventivas em relação aos ataques por ácido, destaca-se: Uso de proteção superficial da estrutura, como é o caso das tintas epóxis e pinturas a base de borracha e betuminosas; Uso do cimento de alto forno e de pozolanas, ajudando o desempenho do concreto.

## Íons de cloreto

Os íons cloretos (Cl<sup>-</sup>) são formados a partir do sal marinho (NaCl) e são incorporados na atmosfera pelos aerossóis que são veiculados pelas fortes rebentações oceânicas e influência dos ventos, apresentando uma maior concentração quanto mais próximo for da orla. As maiores partículas de aerossol marinho apresentam um diâmetro >10 µm e permanecem por um curto período de tempo na atmosfera. Quanto maior a partícula, mais curto vem ser esse período de tempo. Entretanto as partículas com um diâmetro <10 µm podem fazer grandes viagens no ar semocorrer sua sedimentação (Araujo, 2016).

Em ambientes considerados muito agressivos, a quantidade de íons de cloreto (Cl<sup>-</sup>) tende a ser incrementada de forma gradual, podendo atacar toda a superfície do aço desenvolvendo assim corrosões intensas e perigosas, diminuindo sensitivamente a vida útil. Esses íons geralmente ingressam na estrutura de concreto armado através de transporte por meio da porosidade, sendo expostos assim a um meio agressivo como a atmosfera marinha (maresia), a água do mar (off shore) e pelos processos industriais (etapa de branqueamento de indústrias de celulose) (Figueredo, 2018).

## Ataque por sulfatos

O ataque por sulfatos é um fenômeno que está relacionado a formação de produtos expansivos que acabam gerando danos a estrutura do concreto armado. Esses ataques são idealizados a partir da interação entre os íons de sulfato e a pasta cimentícia hidratada, podendo se manifestar tanto intern quanto externamente na estrutura (Trindade, 2015).

Com o efeito dessa interação vem ser formada a gipsita e a etringita, que são produtos que se formam em regiões próximas a superfície da estrutura e resultam em fissuras nas primeiras camadas de revestimento, reduzindo a proteção do aço e gerando a expansão da pasta cimentícia.

Outro composto que ao entrar em contato com os íons de sulfato pode ocorrer uma interação é o hidróxido de sódio. A reação entre esses componentes converte ambos os hidratos em etringita. Figueredo (2018, p.56) cita que “da mesma forma, tanto o hidróxido de sódio quando o C·S·H presentes na pasta de cimento hidratada, a depender do tipo de cátion associado a solução de sulfato ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ou  $\text{Mg}^{2+}$ ), se convertem em gipsita”.

Como principais resultados da degradação do concreto por íons de sulfatos, estão a perda de resistência mecânica, além da perda de massa em função da perda de coesão. Além disso é notório dizer que existem alguns fatores que influenciam na degradação do concreto por íons de sulfato, são eles: Porosidade e permeabilidade, concentração do cimento; pH do concreto; Quantidade sulfato presente; geometria da seção.

### **Reações álcali-agregado**

Em relação a reação álcali-agregado (RAA) é importante dizer que trata-se de uma reação química que ocorre dentro do concreto e parte de minerais reativos do agregado e os íons alcalinos ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) e os íons hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) presentes em solução na pasta de cimento. Logo, pode-se afirmar que diferente de outros processos patológicos, as reações álcali-agregados não ocorre sobre a influência de meio externo agressivo. Trata-se de uma reação que se forma sem a presença de água, mesmo que o concreto apresente agregados reativos e álcalis com alta mobilidade na pasta, sendo assim importante a exposição da estrutura a uma determinada umidade podendo ser de no mínimo 80% (Ribeiro, 2014).

O resultado de todo esse processo de reação, gera um gel expansivo que acaba provocando movimentações, expansões e fissuração na estrutura, além de exsudação e redução da resistência a compressão e tração. Segundo Figueredo (2018, p.57) “as expansões e fissurações devidas à RAA podem comprometer o concreto, resultando em perda de resistência, elasticidade e durabilidade”.

## **METODOLOGIA**

### **Tipo de Pesquisa**

A pesquisa bibliográfica se faz presente na coleta de informações retiradas em teses, artigos, livros e demais publicações, servindo de embasamento para desenvolvimento do trabalho, permitindo ao autor retirar conclusões a respeito dos resultados do tema abordado.

A pesquisa de campo se faz posterior a pesquisa bibliográfica, onde, após total domínio do tema estudado, o autor terá a função de analisar, identificar e coletar informações do objeto de estudo.

## Local de Estudo

Trata-se de um estudo realizado em ambiente industrial localizado na cidade de São Luís, capital do estado do Maranhão. O local é uma refinaria que tem como objetivo transformar a bauxita em alumina para posteriormente ser utilizada na fabricação do alumínio. Atualmente, a capacidade de produção de alumina é de 3.850.000 ton/ano segundo fontes da própria refinaria. A empresa atua no Maranhão desde 1980 e está dividida num complexo industrial composto pela Refinaria de alumina, Redução de alumínio, Porto e Parque Ambiental, integrando a indústria à proteção e conservação dos recursos naturais.

## Coleta de Dados

A coleta de dados ocorreu a partir de visitas e verificações visuais na refinaria com a ajuda de um auxiliar para a retirada de medidas e por critérios de segurança. O relatório fotográfico foi feito de forma abrangente com fotos que ilustrem com qualidade os setores mais importantes da estrutura em análise e suas patologias eventualmente encontrados. Por fim, as patologias devem ser examinadas e registradas para apontar a causa e encontrar uma solução para recomposição da estrutura.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foi identificada as características do piso de concreto armado na refinaria, com suas dimensões, tipo de estrutura e tempo de utilização, seguida da avaliação das reformas já executadas. Como já mencionado, as patologias foram registradas por meio de câmera fotográfica e mapeadas em todo o piso da refinaria.

Nos registros fotográficos é possível analisar a dimensão das manifestações patológicas e seu grau de severidade. Em seguida, foi demonstrado por meio de fotos uma solução para recuperação da estrutura afetada pelas patologias. O Quadro 1 mostra as características do piso industrial implantado na refinaria em estudo.

**Quadro 1 – Detalhe do projeto e traço de concreto usado no piso da refinaria.**

SISTEMA	CARACTERÍSTICA
Fundação	Fundação direta com reforço de Subleito, sub-base composta por camada granular e camada de BGTC
Barreira de vapor	Filme de polietileno (lona preta) de 200 µm.
Classificação estrutural do piso	Piso estruturalmente armado - tela dupla
Espessura do piso	150mm
Tipo de acabamento de projeto	Acabamento polido (vítreo)
Planicidade e nivelamento de projeto	FF 40/30 e FL 20/15
Área média de lançamento (por etapa)	930m <sup>2</sup>
Equipamento de lançamento	Bomba lança
Resistência do concreto	fck 35,0 MPa, fctm,k 4,5 MPa.
Abatimento (slump)	100+-20 mm
Fator a/c	0,48
Cimento	CP V ARI
Aditivo	Plastificante Polifuncional a 0,45%

SISTEMA	CARACTERÍSTICA
Agregados miúdos	Areia fina e areia industrial
Agregados graúdos	Brita 1
Fibra	Fibra de polipropileno (600g/m <sup>3</sup> )
Equipamento de adensamento e nivelamento	Régua vibratória treliçada, vibradores de imersão
Equipamento de acabamento	Float (discão) e acabadoras duplas

Fonte: Autor (2024).

## Manifestações Patológicas após Inspeção Visual

Inicialmente é necessário entender que as patologias identificadas na refinaria é fruto das atividades realizadas para a transformação da bauxita em alumina. Esse processo é caracterizado o nome de processo BAYER. Trata-se de uma sequência criada pelo químico Karl Joseph Bayer em 1887, onde inicialmente ocorre a moagem da bauxita para posteriormente ocorrer a adição de hidróxido de sódio, que também pode ser chamada de soda cáustica. A soda cáustica tem uma função fundamental pois por meio dela e com auxílio de reatores sob determina pressão, acontece a formação de aluminato de sódio. Essa etapa também é conhecida como digestão. Após essa etapa, as impurezas permanecem em fase sólida, sendo conhecidas como lama vermelha e são depositadas separadas do aluminato de sódio, que por sua vez passa por uma filtragem e se precipita na forma de hidróxido de alumínio.

Entretanto, apesar desse processo bayer ser considerado bastante eficaz, existem falhas no sistema que faz com que essa soda cáustica vaze e se deposite nos pisos de concreto armado da refinaria. A Figura 3 mostra uma delaminação do concreto armado, ou seja, um deslocamento do concreto devido a ação agressiva da soda cáustica. Vale ressaltar que ainda não existe um concreto capaz de suportar essa ação agressiva por muito tempo e dessa forma acaba formando a patologia mencionadas.

Figura 3– Delaminação do concreto armado.



Fonte: Autor (2024).

Essas patologias são formadas devido ao processo de reação química que ocorre entre o hidróxido de sódio e a pasta de cimento hidratada do concreto. A reação entre esses componentes converte ambos os hidratos em etringita. Além disso, da mesma forma, tanto o hidróxido de sódio quando o C·S·H presentes na pasta de cimento hidratada, a depender do tipo de cátion associado a solução de sulfato (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ou Mg<sup>2+</sup>), se convertem em gipsita.

A gipsita e a etringita, que são produtos que se formam em regiões próximas a superfície da estrutura e resultam em fissuras nas primeiras camadas de revestimento, reduzindo a proteção do aço e gerando a expansão da pasta cimentícia. A Figura 4 mostra outra parte do piso industrial que também se apresenta com degradações do concreto, com fissuras mapeadas.

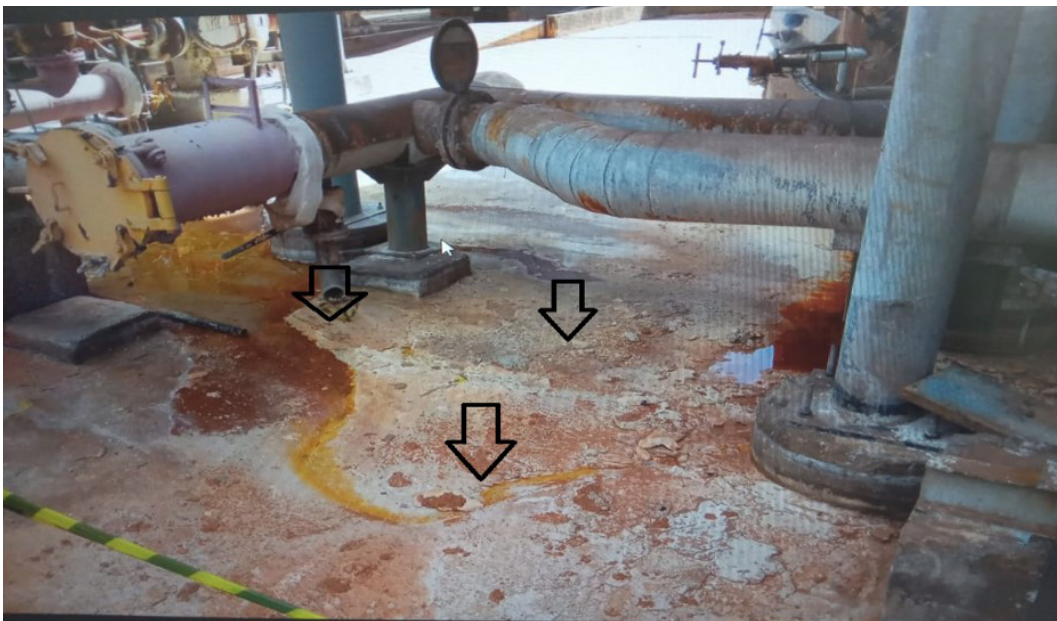
**Figura 4 – Degradação do concreto e fissuras mapeadas.**



Fonte: Autor (2024).

A soda cáustica por ter um alto poder corrosivo, se ficar em contato por muito tempo com as estruturas de concreto armado pode promover um desgaste por abrasão. Essa patologia ocorre por excesso de produtos químicos na estrutura, no caso o excesso de soda cáustica que acaba vazando do processo de transformação da bauxita na alumina. A Figura 5 mostra como fica o piso de concreto com um desgaste a abrasão.

**Figura 5 – Desgaste a abrasão.**



Fonte: Autor (2024).

## Processo de Recuperação do Piso de Concreto Armado

O processo de recuperação do piso de concreto armado da refinaria se dá por meio de diversas etapas. A primeira etapa consiste na retirada das partes do piso industrial que apresentam as anomalias detectadas por meio de martelo rompedor elétrico. Após essa etapa é realizada a limpeza do local afetado por meio de hidrojateamento que consiste em utilizar jatos de água com alta velocidade e pressão para remover a sujeira. A Figura 6 mostra como ocorre esse hidrojateamento na refinaria.

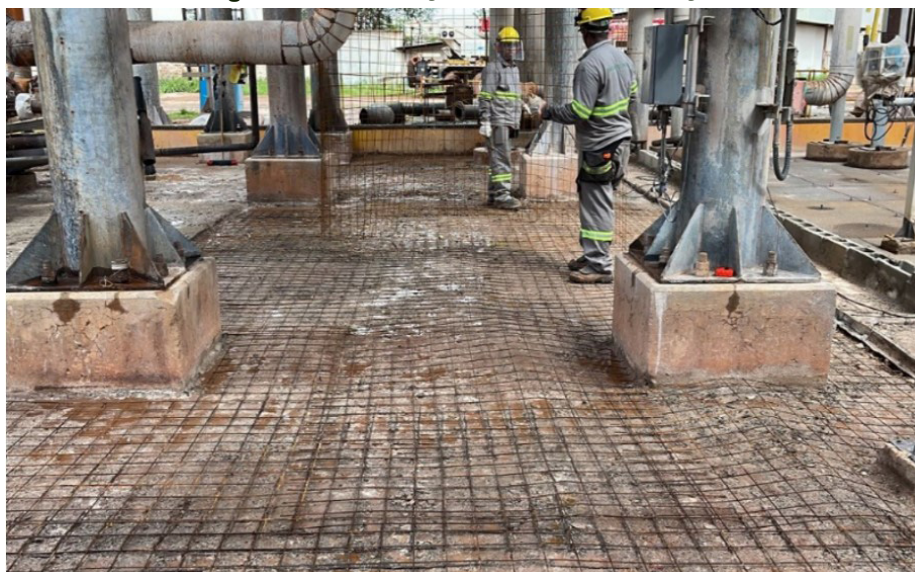
**Figura 6 – Hidrojateamento para retirada de sujeira do concreto.**



Fonte: Autor (2024).

A etapa seguinte é a colocação das armaduras, onde a armadura superior usada foi a tela soldada de fios de aço CA-60 do tipo Q92 (malhas quadradas) apresentando diâmetro (longitudinal e transversal) de 4,2 mm e malhas de (15x15) cm. Essa malha foi posicionada a 2,7 cm da face superior do piso com o auxílio de espaçadores próprios, como se observa na figura 7.

**Figura 7 – Colocação das malhas de aço.**



Fonte: Autor (2024).



A próxima etapa é a colocação de Sikadur 32 que é um adesivo estrutural a base de resina epóxi com fluidez e que possibilita a colagem de concreto velho em concreto novo, ou seja, fundamental para a realização da nova concretagem. Em seguida é realizada a concretagem com concreto fck 35 Mpa. A Figura 8 mostra o espalhamento desse concreto novo para finalizar o piso da refinaria.

**Figura 8- Concretagem.**



**Fonte: Autor (2024).**

Por fim espera-se esse concreto ter o seu tempo de cura para colocar placas metálicas que atuarão como reforço para que a soda cáustica chegue com menor intensidade na estrutura de concreto, ou seja, a soda cáustica terá mais uma barreira e dessa forma diminuirá o contato com o piso de concreto armado e como consequência diminuirá a presença de patologias. Essas placas são fixadas com parabolt (chumbadores), que são utilizados como fixadores de estruturas. A Figura 9 mostra como essas placas estão dispostas.

**Figura 9 – Placas metálicas por cima do piso de concreto.**



**Fonte: Autor (2024).**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As manifestações patológicas são problemas comuns que acabam aparecendo em toda estrutura de concreto. Isso não seria diferente nos ambientes industriais que são considerados os mais agressivos juntamente com o ambiente marinho segundo a NBR 6118.

A partir da análise e estudos que envolvem a deterioração do piso de concreto armado por causa química conclui-se que as manifestações patológicas que se desenvolvem como as fissuras, desgaste a abrasão e principalmente a delaminação do concreto se dá pela presença do agente agressivo soda cáustica.

A soda cáustica tem função fundamental na obtenção da alumina, entretanto devido ao vazamento do sistema acaba sendo o principal vilão para a formação dessas manifestações patológicas nos pisos industriais.

Logo, por meio do estudo de caso foi proposto pela própria refinaria um método de recuperação do piso que envolve a execução de um piso novo de concreto armado revestido por placas metálicas com o intuito de reter a presença da soda cáustica na estrutura de concreto armado.

Dessa forma, a presente pesquisa satisfaz os seus objetivos, ao demonstrar as manifestações patológicas na refinaria, suas causas e a forma de recuperação da estrutura afetada, contribuindo assim para futuras pesquisas a respeito das patologias causadas por reações químicas.

## REFERÊNCIAS

ARAUJO, J.M. **Avaliação dos Efeitos Deletérios de Íons Sulfato em Estruturas de Concreto Armado de uma Estação de Tratamento de Esgoto**. Trabalho de conclusão de curso: Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto protendido. Rio de Janeiro, 2014.

BRANDÃO, Ana Maria da Silva. **Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Aspectos Relativos ao Projeto**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1998.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de Edificações Habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

DA SILVA, E.D.C. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado: Estudo de Caso em Edificações do Campus I da Universidade Federal da Paraíba**. Trabalho de conclusão de curso: Universidade federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

FERREIRA, Rui Miguel. **Avaliação dos Ensaios de Durabilidade do Betão**. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

FIGUEREDO, T.D. **Manifestações Patológicas por Alterações Químicas no Concreto**. Trabalho de conclusão de curso: Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

MACHADO, E.P. **Uso de Armaduras Protegidas em Estruturas de Concreto Armado em Ambientes Agressivos**. Trabalho de conclusão de curso: Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MATILDES, C.M. CONCRETO ARMADO E SUAS PATOLOGIAS. **Revista Científica : Semana Acadêmica**, Fortaleza-CE. Edição 225. V.10. Ano 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 4a. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

RIBEIRO, Daniel Vêras (Coord.). **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria - Centro de tecnologia, Santa maria, Out 2015.

## Plantio Direto: Uma prática de desenvolvimento sustentável

### *Direct Planting: A sustainable development practice*

**Alexsander Silva Alves**

*Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), <http://lattes.cnpq.br/7284426770025620>*

**Ana Beatriz Ribeiro Nascimento**

*Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), <http://lattes.cnpq.br/2883670228138039>*

**Bruno de Souza Ribeiro Sebastiani**

*Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), <http://lattes.cnpq.br/0631064874424427>*

**Juliana Karla Bialeski da Costa**

*Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), <https://lattes.cnpq.br/4172918252658709>*

**Lúcia de Paula Zelenski**

*Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), <https://lattes.cnpq.br/1519248860630276>*

**Maria de Fátima Goveia da Silva**

*Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), <https://lattes.cnpq.br/9402602915069744>*

**Tiago Silva Durigon**

*Estudante de Graduação em Bacharelado em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), <https://lattes.cnpq.br/4200244936138093>*

## RESUMO

Em meio à necessidade de melhores práticas de conservação do solo, o Sistema de Plantio Direto (SPD) se mostrou uma alternativa de manejo exequível uma vez que está atrelado a princípios como o mínimo revolvimento, a rotação de culturas e a cobertura permanente do solo. Este trabalho teve como objetivo a realização de uma revisão de literatura sobre o SPD, destacando seus fundamentos, práticas e a relevância dessa técnica para o agronegócio atual. A metodologia utilizada compreende uma revisão de literatura de publicações acadêmicas. Quando comparado ao Plantio Convencional, o Plantio Direto apresenta menor perda de solo, favorece a atividade de microrganismos benéficos para a decomposição de matéria orgânica e aumenta a eficiência do uso de insumos agrícolas. O mínimo revolvimento do solo é uma alternativa viável para reter os nutrientes e a umidade, evitar a erosão e reduzir o tráfego de máquinas agrícolas, o que acarreta em uma menor compactação e, por consequência, melhor desenvolvimento radicular das plantas cultivadas. A rotação de culturas promove a diversificação da renda obtida pelo produtor rural tal qual reduz a incidência de pragas e doenças, bem como sua resistência aos



defensivos agrícolas. Outrossim, a cobertura permanente do solo desempenha importante papel para a atividade biológica do solo, facilita a ciclagem de nutrientes e contribui com a descompactação por meio do desenvolvimento radicular das plantas. O Plantio Direto se mostrou necessário diante da exigência de práticas mais sustentáveis na agricultura contemporânea e, por isso, deve ser visto como prioridade em políticas agrícolas e ambientais.

**Palavras-chave:** conservação, agricultura, solo.

## ABSTRACT

Amid the need for better soil conservation practices, the No-Tillage System (NTS) has proven to be a feasible management alternative since it is linked to principles such as minimum soil disturbance, crop rotation and permanent soil cover. This study aimed to conduct a literature review on NTS, highlighting its foundations, practices and the relevance of this technique for today's agribusiness. The methodology used includes a literature review of academic publications. When compared to Conventional Planting, No-Tillage presents less soil loss, favors the activity of beneficial microorganisms for the decomposition of organic matter and increases the efficiency of the use of agricultural inputs. Minimum soil disturbance is a viable alternative to retain nutrients and moisture, prevent erosion and reduce the traffic of agricultural machinery, which results in less compaction and, consequently, better root development of cultivated plants. Crop rotation promotes the diversification of income obtained by rural producers, as well as reducing the incidence of pests and diseases, as well as their resistance to agricultural pesticides. Furthermore, permanent soil cover plays an important role in the biological activity of the soil, facilitates the cycling of nutrients and contributes to decompaction through the development of plant roots. Direct Planting has proven necessary in view of the need for more sustainable practices in contemporary agriculture and, therefore, should be seen as a priority in agricultural and environmental policies.

**Keywords:** conservation, agriculture, soil.

## INTRODUÇÃO

No início da década de 70, houve a inclusão do Sistema de Plantio Direto (SPD) na Região Sul do Brasil, como uma técnica inovadora de preparo do solo, com o objetivo principal de mitigar a erosão que ocorria nas terras agrícolas submetidas à sucessão de plantios de trigo e soja (Kochhann; Denardin, 2000).

O SPD é caracterizado como um manejo conservacionista que consiste em um conjunto de práticas agrícolas que combinam diversas técnicas de manejo do solo afim de visar à sustentabilidade por meio de princípios como o mínimo revolvimento do solo, a cobertura permanente e a rotação de culturas (Salton, 1998).

O uso excessivo e contínuo de implementos agrícolas, como arados e grades de discos, para o preparo do solo no cultivo convencional fraciona e desorganiza os agregados do solo, o que os torna menores e mais instáveis, e acelera o processo de oxidação da matéria orgânica. Além de propiciar a redução da porosidade e elevar a densidade do solo,

tais consequências afetam diretamente a permeabilidade, tanto ao ar, à água e as raízes dos cultivos. Já na superfície, acarreta na presença de uma camada compactada, que contribui diretamente no aumento da suscetibilidade à erosão (Kochhann; Denardin, 2000).

A cobertura permanente do solo se caracteriza em uma camada de cobertura morta ou palha, normalmente derivados da cultura do ciclo anterior. Ela é fundamental para a eficiência do SPD por minimizar os efeitos climáticos, temperatura e umidade, deixando-os mais adequados à microbiota do solo e favorecendo a germinação dos cultivos. Além de minimizar ou eliminar o processo de erosão (Alvarenga *et al.*, 2001).

É essencial ressaltar a importância da rotação de culturas durante essa prática, ela não apenas rompe o ciclo de diversas pragas e doenças, como também promove alterações na composição e diversidade da microbiota do solo. Essas mudanças influenciam diretamente a fertilidade do solo, a produtividade das lavouras e a qualidade dos produtos agrícolas. A ausência de rotação de culturas pode comprometer significativamente os benefícios esperados do SPD, tornando-o menos eficiente e potencialmente prejudicial ao equilíbrio do sistema (Salton, 1998).

A perda de solo tem como principal motivo a erosão hídrica, é um fenômeno caracterizado pela remoção das camadas superficiais, que são fundamentais para o cultivo agrícola. Uma forma de minimizar a erosão é a partir da cobertura permanente, que reduz a desagregação das partículas do solo (Cogo, Levien, Schwarz, 2003). Manejos agrícolas que utilizam preparo com a grade aradora e não apresentam cobertura vegetal apresentam maior presença de erosão do que manejos, como o plantio direto, que possuem mínimo revolvimento do solo e cobertura permanente (Panachuki *et al.*, 2011).

É importante ressaltar que o princípio de mínimo revolvimento do solo do SPD é diferente do cultivo mínimo. Este último é sistema de preparo do solo que utiliza de equipamento de baixa intensidade quando realizam o revolvimento da área a ser cultivada, é utilizado como uma forma de evitar a compactação do solo (Pasqualetto *et al.*, 1999). Já o SPD, é realizado sem um preparo prévio, preserva a estrutura do solo e reduz a vulnerabilidade à erosão (Kochhann; Denardin, 2000).

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre o Sistema de Plantio Direto, destacando seus fundamentos, práticas e a relevância dessa técnica para o agronegócio atual.

## **MATERIAL E MÉTODO**

Este trabalho utiliza a metodologia de revisão de literatura, utilizando fontes como artigos, livros de referência e conteúdos produzidos pela Embrapa. Com o intuito de garantir a qualidade desse trabalho foram pesquisadas 18 fontes diferentes, entre livros que são referência na área de plantio direto, além de plataformas de qualidade como SCIELO. Por fim, elaborou-se este trabalho com 18 fontes, com a determinação do período de pesquisa de 1998 a 2024.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Mínimo Revolvimento do Solo

Normalmente o revolvimento do solo é realizado em países de clima temperado, utilizando grade e arado, após o inverno quando o solo está congelado. Assim, se inverte as camadas do solo, com o objetivo de expor a parte mais profunda ao sol, para derreter mais rapidamente (Six *et al.*, 2002). Essa prática foi inicialmente aplicada no Brasil, sendo ajustada às nossas necessidades e condições climáticas, tendo o objetivo de preparar o solo de maneira mais adequada para o plantio e simultaneamente para a eliminação das ervas daninhas.

Embora bastante eficaz, essa prática deixa o solo exposto para precipitações e outras intempéries, aumentando as chances de erosão, o que afeta negativamente a estrutura, os níveis de matéria orgânica e outros elementos do solo (Franzluebbers, 2010).

Sendo assim, o mínimo revolvimento do solo é importante para a preservação da estrutura do solo, favorecendo o crescimento das raízes e na retenção de nutriente, prevenção a erosão do solo, conservação da umidade e diminuição da evaporação da água, deixando ela mais tempo disponível para as plantas, beneficiando o aumento da biodiversidade do solo, proporcionando um ambiente ideal para os microrganismos benéficos a planta, além de reduzir os custos de combustível e manutenção do maquinário agrícola (Fernandes; Deborah, 2024).

Dessa forma, para o mínimo revolvimento do solo ser eficaz, é indicado utilizar subsoladores e escarificadores, mobilizar o solo apenas na linha de plantio, correção do solo com a utilização de fertilizantes.

### Rotação de Culturas

A rotação de culturas pode ser caracterizada como a alternância de espécies vegetais durante o decorrer de um tempo e em uma mesma área agrícola. Tendo uma sequenciação no cultivo, de forma planejada e com diferentes culturas agrícolas, de preferência com sistema radicular diferentes entre si. Como exemplo leguminosas e gramíneas, durante o inverno ou verão, no qual cada espécie terá um residual positivo para a cultura subsequente, para o solo e para o ambiente (Embrapa, 2021).

Nesse sentido, muitos produtores adotam a soja como cultura principal, isso se deve a fatores comerciais e econômicos. No entanto, para diminuir a vulnerabilidade dessa cultura, é de suma importância a presença de outras espécies que tornarão ao longo do tempo o sistema mais produtivo e autossustentável. Cabe ressaltar que as espécies conhecidas como adubos verdes ou plantas de cobertura, terão seu crescimento e desenvolvimento conforme as condições de clima, solo e época de plantio de cada região. Essas espécies são importantes para a produção de palhada e resíduos que ajudarão na prevenção de erosão do solo (Ageitec, 2021).

Espécies como milho, aveia, sorgo, girassol, guandu e nabo forrageiro são exemplos de culturas que podem ser utilizadas na rotação. Uma leguminosa que tem

importante capacidade de fixação de nitrogênio do ar é o tremoço. Entretanto, a aveia, uma gramínea, não possui tal capacidade, mas quando consorciada com ervilhaca, outra leguminosa, deixa ótimas condições no solo para as plantas subsequentes. A rotação de culturas se mostra importante à medida que provoca inúmeros benefícios ao solo e ambiente, tais como redução de pragas e doenças, conservação do solo, diversificação na renda da propriedade rural recuperação do solo, redução da resistência a pesticidas entre outros benefícios (Embrapa, 2021).

## **Cobertura permanente do solo**

O sistema de plantio direto é fundamentado em três princípios essenciais: minimizar o revolvimento do solo, garantir uma cobertura permanente e implementar a rotação de culturas, com o objetivo de promover um uso sustentável e eficiente da terra (Embrapa, 2018).

A presença constante de cobertura, seja ela viva ou morta, traz uma série de vantagens. Essa cobertura aumenta a quantidade de raízes no solo, tanto na superfície quanto em profundidade, variando conforme a espécie utilizada. Além disso, ela enriquece a atividade biológica do solo, devido à constante presença de raízes e à proteção que a cobertura fornece. Essa abordagem ajuda a diminuir a incidência de pragas e doenças, melhora a porosidade do solo com os canais deixados pelas raízes, facilita a ciclagem de nutrientes, aumenta o teor de matéria orgânica e contribui para a descompactação do solo de maneira relativamente rápida, dependendo da espécie escolhida. (Embrapa, 2024)

Ademais, a cobertura do solo desempenha um papel essencial na proteção contra a erosão, bem como nos efeitos da chuva, vento e radiação solar. (STROBEL, 2019). Essa cobertura também auxilia na conservação da umidade do solo, na regulação de sua temperatura, no aumento da biodiversidade e no controle de plantas daninhas, pragas e doenças que podem prejudicar o desenvolvimento das culturas futuras.

Para elaborar uma cobertura de solo eficiente, o primeiro passo é escolher a planta mais adequada às condições locais e à realidade da produção. É fundamental ressaltar que nem todas as espécies são indicadas para atuar como cultivo de cobertura. A planta selecionada deve ter características de fácil estabelecimento, crescimento ágil e a capacidade de gerar uma cobertura eficaz do solo. Adicionalmente, a planta não deve ser portadora de doenças, pragas ou nematoides que possam comprometer as culturas que virão em seguida. No contexto ideal, a planta de cobertura deve ser capaz de produzir grãos, forragem ou frutos comercialmente viáveis, ter um sistema radicular forte e profundo que permita a descompactação do solo e gerar uma quantidade adequada de matéria seca que facilite o plantio direto. Depois de selecionar a planta de cobertura, é essencial preparar o solo de acordo com a espécie escolhida, realizar o plantio, manter um manejo apropriado e, finalmente, cortá-la e incorporá-la ao solo ou, alternativamente, apenas deixar a palhada como cobertura. (Fieldview, 2023)

Embora existam muitos benefícios, a cobertura contínua do solo pode ter efeitos adversos dependendo da forma como é manejada. Segundo a Embrapa (1999), existem várias desvantagens associadas, como o risco elevado de incêndios, maior vulnerabilidade a geadas, diminuição da oxigenação do solo, dificuldades nas colheitas, especialmente



em culturas perenes, e a necessidade de que as áreas destinadas à produção estejam próximas às de consumo, entre outros aspectos.

Vale destacar que certos tipos de palhadas podem, na verdade, favorecer o crescimento de determinadas espécies de plantas daninhas. Francisco *et al.* (2022) chegou à conclusão de que, embora o sorgo seja o mais eficaz no controle de plantas indesejadas, inibindo o crescimento de *U. decumbens* e *P. maximum*, ele não conseguiu conter a presença de *I. grandifolia*, podendo até potencializar seu desenvolvimento.

Sendo assim, apesar de haver alguns aspectos negativos, esses se apresentam quase nulos comparados com as vantagens que a cobertura permanente do solo oferece, já que os ganhos são muito maiores. No entanto, é necessário considerar a forma correta de sua consumação, pois sua má utilização ocorrerá apenas em déficits, de forma especial o financeiro (Embrapa, 1999).

## Comparação entre Plantio Direto e Plantio Convencional

A prática do plantio direto (PD) tem sido amplamente discutida como uma alternativa mais sustentável em comparação ao plantio convencional (PC). Uma das principais vantagens do PD é a conservação do solo. Segundo Cruz, Alvarenga e Filho (2006), o PD minimiza o revolvimento do solo, o que ajuda a preservar sua estrutura e fertilidade. Isso contrasta com o PC, que geralmente envolve aragem e gradagem, práticas que podem levar à degradação do solo e perda de nutrientes.

Além disso, o plantio direto se destaca na redução da erosão. Conforme aponta Cruz, Alvarenga e Filho (2006), áreas cultivadas com PD apresentam menor perda de solo em comparação com aquelas sob PC, devido à cobertura da palha que protege a superfície do solo dos impactos da chuva. Essa proteção é fundamental em regiões suscetíveis à erosão, contribuindo para a manutenção da qualidade do solo ao longo do tempo.

Outra vantagem significativa do PD é sua capacidade de promover a biodiversidade no solo. De acordo com Hernani *et al.* (2002), a adoção do plantio direto favorece a atividade de microrganismos benéficos, essenciais para a decomposição da matéria orgânica e a manutenção da fertilidade. O PC, ao reverter o solo regularmente, pode prejudicar essa biodiversidade, resultando em um ecossistema menos saudável.

O plantio direto também é associado a uma maior eficiência no uso de insumos. Conforme Hernani *et al.* (2002), indica que, ao reduzir a necessidade de insumos químicos, como fertilizantes e herbicidas, o PD não só diminui os custos operacionais para os agricultores, mas também minimiza os impactos ambientais associados ao uso excessivo de produtos químicos. Isso contribui para uma agricultura mais sustentável e menos dependente de insumos externos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O plantio direto é uma técnica agrícola que tem ganhado destaque nas últimas décadas, especialmente por suas características conservacionistas e benefícios ambientais. Essa prática consiste em semear as culturas diretamente sobre a palha da colheita anterior,

sem a necessidade de preparo do solo, o que traz uma série de vantagens que vão além da simples produção agrícola.

Um dos principais benefícios do plantio direto é a preservação da estrutura do solo. O não revolvimento minimiza a degradação da camada superficial, o que ajuda a manter a fertilidade natural e a biodiversidade do solo. A presença da palha atua como um protetor, reduzindo a compactação e permitindo que a água infiltre de forma mais eficiente, o que é especialmente crucial em períodos de estiagem.

Além disso, essa prática contribui para a redução da erosão. Em regiões onde o solo é suscetível a deslizamentos ou a perda de nutrientes, o plantio direto se mostra eficaz na proteção contra esses fenômenos. A cobertura permanente do solo também ajuda a controlar as ervas daninhas, diminuindo a necessidade de herbicidas e contribuindo para um manejo mais sustentável.

Outro aspecto importante é a mitigação das emissões de carbono. A prática do plantio direto favorece o sequestro de carbono no solo, ajudando a combater os efeitos das mudanças climáticas. Com a crescente preocupação em torno do aquecimento global, essa característica se torna um diferencial significativo na busca por uma agricultura mais sustentável.

O plantio direto também se alinha a uma gestão integrada de recursos naturais, promovendo a biodiversidade. A diversidade de plantas e organismos no solo é fundamental para a saúde do ecossistema agrícola. Com a adoção do plantio direto, muitos agricultores têm observado um aumento na presença de microrganismos benéficos, que atuam na decomposição de matéria orgânica e na promoção de um solo mais fértil.

Entretanto, é importante destacar que a transição para o plantio direto não é isenta de desafios. Os agricultores precisam de treinamento e apoio técnico para implementar essa prática de forma eficaz. Além disso, a adaptação das máquinas e o manejo adequado das culturas exigem um conhecimento especializado, o que pode ser um obstáculo para pequenos produtores.

Por fim, o plantio direto se apresenta como uma alternativa viável e necessária diante dos desafios enfrentados pela agricultura contemporânea. Ao equilibrar produção e conservação, essa prática não apenas melhora a produtividade das culturas, mas também protege os recursos naturais e assegura a sustentabilidade das gerações futuras. Portanto, a sua promoção e adoção devem ser vistas como uma prioridade nas políticas agrícolas e ambientais, visando um futuro mais equilibrado e sustentável para o setor agropecuário.

Por outro lado, o plantio convencional também apresenta alguns aspectos que se sobressaem sobre o plantio direto. Segundo Filho *et al.* (2021), o PC apesar de ter várias desvantagens, apresentam pontos importantes para avaliar o manejo que irá ser feito na área, pois ele beneficia em aspectos como aumento da aeração e da infiltração de água no solo, quebra o ciclo de plantas daninhas e pragas, realiza o processo de incorporação de corretivos e fertilizantes, descompacta o solo e também nivela o que facilita as operações.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, Ramon Costa *et al.* **Plantas de Cobertura de Solo para Sistema Plantio Direto**. 2001. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/45499527.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.
- CARNEVALLI, ROBERTA APARECIDA, *et al.* [S.I.]. Embrapa. **Plantas de Cobertura: Qual a Importância para sua Lavoura de Soja?** 2024. Disponível em: <file:///C:/Users/anabe/OneDrive/UFMT/5%20semestre/mobilidade/FOLDER-plantas-de-cobertura-online.pdf> . Acesso em: 23 de janeiro de 2025.
- COGO, Neroli Pedro; LEVIEN, Renato; SCHWARZ, Ricardo Altair. **Perdas de Solo e Água por Erosão Hídrica Influenciadas por Métodos de Preparo, Classes de Declive e Níveis de Fertilidade do Solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 743-753, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/rj/rbcs/a/JCtmNdm5N7LhFn3BfmqPbHG/?format=html>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.
- CRUZ, José Carlos; ALVARENGA, Hamon Costa; FILHO, Israel Alexandre Pereira. **Plantio Direto X Convencional**. Sete Lagoas, MG: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/74597/1/Plantio-direto.pdf>. Acesso em: 19 de janeiro de 2025
- DOS SANTOS, A. M. A. DOS P. R. C. A. F. C. **Sistema de Plantio Direto**. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1101765/1/Sistemaplantio.pdf>. Acesso em: 18 de janeiro de 2025.
- FERNANDES, D. **Cultivo Mínimo: O Que é e Quais são as suas Vantagens**. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/cultivo-minimo>. Acesso em: 18 de janeiro de 2025.
- FIELDVIEW [São Paulo]. **Como a Cultura de Cobertura Pode Beneficiar o Solo e Aumentar a sua Produtividade**. 2023. Disponível em: <https://blog.climatefieldview.com.br/cultura-de-cobertura>. Acesso em: 23 de janeiro de 2025.
- FRANCISCO, Paulo Roberto Megna; SILVA, Viviane Farias; SANTOS, Djail; RIBEIRO, George do Nascimento; AYRES, Gypson Dutra Junqueira; SILVINO, Guttemberg da Silva (organizadores). **Ciências Agrárias: Tecnologia & Inovação**. Campina Grande - PB: EPTEC, 2022. ISBN: 978-65-00-52790-2. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/28760> . Acesso em: 23 de janeiro de 2025.
- HERNANI, Luís Carlos; FREITAS, Pedro Luiz de; DENARDIN, José Eloir; KOCHHANN, Rainoldo Alberto; DE-MARIA, Isabella Clerici; LANDERS, John Nicolas. **Uma Resposta Conservacionista: O Impacto do Sistema Plantio Direto**. [s.l.]: [s.n.], 2002. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212696/1/Uma-resposta-conservacionista-o-impacto-do-sistema-plantio-direto-2002.pdf> . Acesso em: 19 de janeiro de 2025
- KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e Manejo do Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36p. (Embrapa Trigo. Documentos, 20). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/850206/1/CNPTDOCUMENTOS20IMPLANTACAOEMANEJODOSISTEMAPLANTIODIRETOFL13398.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.
- LOURENÇO, RIVAIL SALVADOR. [S.I.]. Embrapa. **Recomendação de uso de Cobertura Morta**

**em Erva-Mate**. 1999. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/290868>  
Acesso em: 23 de janeiro de 2025.

PANACHUKI, Elói *et al.* **Perdas de Solo e de Água e Infiltração de Água em Latossolo Vermelho sob Sistemas de Manejo**. Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 35, p. 1777-1786, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/HCFX9G366tJ6hgdvrfsvPd/?lang=pt>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

PASQUALETTO, Antônio *et al.* **Levantamento da Flora Emergente de Plantas Daninhas em Sistemas de Cobertura do Solo**. Pesquisa Agropecuária Tropical, p. 127-134, 1999. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/2861/2911>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

PORTAL EMBRAPA. **Sistema Plantio Direto** -. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto>. Acesso em: 18 de janeiro de 2025.

SALTON, Júlio César. **Sistema Plantio Direto: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde**. 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistemaplantiodireto.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

STROBEL, THIAGO (Condor, Rio Grande do Sul). Stobel Sementes. **Por Que Fazer a Cobertura Permanente de Solo?** 2019. Disponível em: <https://strobelsementes.com.br/por-que-fazer-a-cobertura-permanente-de-solo/#:~:text=Essa%20camada%20atua%20como%20prote%C3%A7%C3%A3o,raios%20solares%20e%20do%20vento> . Acesso em: 23 de janeiro de 2025.

FILHO, Manoel Ricardo de Albuquerque; VIANA, Joao Hebert Moreira; CRUZ, José Carlos; ALVARENGA, Hamon Costa; FILHO, Israel Alexandre Pereira. **Plantio Convencional**. [s.l.]: EMBRAPA Milho e Sorgo, migrado 2021. Disponível em <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-convencional>. Acesso em: 15 de janeiro de 2025.

SIX, J. *et al.* **Plant and Soil**, v. 241, n. 2, p. 155–176, 2002. Acesso em: 18 de janeiro de 2025.

---

Organizador

Jean Carlos Rodrigues

Engenheiro Industrial Mecânico pelo CEFET-MG, Físico licenciado pela UFMG, Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFMG e Doutorando em Engenharia Mecânica pela PUC. Além de especialista em metodologias ativas e tecnologias educacionais. Possui 14 anos de experiência na área educacional atuando como professor e coordenador no ensino superior.

# Índice Remissivo

## A

agrícolas 36, 37, 38, 44, 45, 46, 76, 77, 78, 79, 82  
agricultura 77, 81, 82  
agronegócio 76, 78  
alterações químicas 61, 64  
ambientais 11, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 27, 32,  
34, 36, 37, 38, 57, 77, 81, 82  
ambiente 11, 12, 13, 19, 20, 23, 28, 36, 37, 38, 39, 43,  
44, 45  
ambiente industrial 60, 61, 62, 63, 66, 69  
ambiente marinho 63, 74  
ativado 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35  
atividade biológica 77, 80  
atividade industrial 63  
atividades 20, 36, 54, 56, 58

## B

bioestimulantes 36, 37, 38, 40, 41, 43, 44, 45, 46  
brasileira 36, 37

## C

cafeeiro 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46  
cafeicultura 36, 37, 38, 44, 46  
carvão 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35  
civil 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24  
concreto 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71,  
72, 73, 74  
concreto armado 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70,  
71, 72, 73, 74  
conservação 76, 77, 79, 80, 81, 82  
construção 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22,  
23, 24  
construtivas 12, 24  
construtivo 12, 17, 20  
cultivo convencional 77

## D

dados 19, 21, 36, 38, 40, 41, 42, 49, 52, 53, 54, 55

---

desenvolvimento 11, 13, 19, 20, 28, 36, 37, 38, 41, 42,  
43, 44, 45, 46  
destinação 14, 17  
durabilidade 61, 62, 63, 68

## E

ecológico 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 23, 24  
efeitos climáticos 78  
efluentes 26, 27, 28, 29, 32, 34  
eletromagnetismo 47, 48  
engenharia 62  
envelhecimento 60, 61  
equações 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

## F

fabricação 11, 14, 17, 19, 21, 22, 23, 24

## G

gel 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44  
gerenciamento 13, 23, 56, 59  
gestão 17, 23, 54, 55, 56, 57, 58  
gravidade 47, 48

## I

impactos 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 27, 32, 57  
incorreta 17  
insumos agrícolas 76

## L

licitação 54, 56  
logísticas 54

---

# M

máquinas agrícolas 76  
materiais 12, 13, 14, 20, 21, 23, 27, 57, 29, 32  
material 11, 12, 14, 20, 27, 29, 34, 58  
matéria orgânica 76, 77, 79, 80, 81, 82  
meio 11, 12, 13, 19, 20, 23, 28, 58, 32, 36

# N

naturais 11, 12, 13, 14, 19, 20, 23, 26, 27  
neurais 47, 49, 50, 52, 53

# O

obra 12, 13, 15, 17, 18, 20

# P

patologias 60, 61, 63, 66, 69, 70, 73, 74  
plantios 77  
práticas 13, 23, 26, 36, 37, 38, 42, 44, 45, 54, 57  
preservação 13  
processamento 54  
processo 11, 12, 17, 20, 22, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 33,  
49, 53, 55, 56, 58  
produção 12, 15, 19, 20, 24, 27, 28, 29, 32, 33, 37, 38,  
44, 45, 46, 56  
produtividade 36, 37, 38  
produtivo 12, 17, 55  
protegido 36, 37, 38, 43, 44, 45

# R

reciclagem 13, 14, 15, 17, 19  
recursos 11, 12, 13, 14, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 54, 55,  
56, 58  
redes 47, 49, 50, 52, 53  
redução 13, 17, 19, 20, 30, 36, 42, 43, 44, 58



---

refinaria 60, 61, 62, 69, 70, 72, 73, 74  
resíduos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24  
reutilização 13, 14, 17, 20, 23, 27

## S

saúde 16, 20, 37, 38, 43  
sistema 6  
soda cáustica 61, 70, 71, 73, 74  
sólidos 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 23  
soluções 12, 29, 49, 56  
sustentabilidade 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 23  
sustentáveis 12, 13, 20, 23, 24, 26, 28, 38, 77  
sustentável 11, 12, 13, 19, 23, 34, 38, 44, 57

## T

tijolo 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24  
tratamento 27, 28, 32, 34

## V

vegetativo 36, 37, 38, 40, 41, 43, 44  
videira 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34





  
**AYA EDITORA**  
**2025**

