

ENGENHARIA: SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME XI



EDITORAS CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento

11^a ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

11^a ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento
/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2024

215 f.: il

DOI: 10.37423/2024.edcl979

ISBN: 978-65-5367-538-4

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. projeto 2. construção 3. melhorias I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2024.edcl979>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	6
ESTRATÉGIAS DE APRENDIZADO BASEADO EM OPOSIÇÃO INSERIDAS NO ALGORITMO DE POLINIZAÇÃO DAS FLORES	
Fábio A. P. Paiva	
Cácio L. N. A. Bezerra	
Fábio G. B. C. Costa	
Lucas V. Bazante	
Pedro V. M. Carvalho	
DOI 10.37423/240709137	
CAPÍTULO 2	22
TOXICIDADE DE LODO AGROINDUSTRIAL ORIUNDO DO BENEFICIAMENTO DA ACEROLA	
MIRIAM CLEIDE CAVALCANTE DE AMORIM	
Sheila Ferreira Santos	
Acácio Figueirêdo Neto	
DOI 10.37423/240709155	
CAPÍTULO 3	35
EFEITO DE BIOESTIMULANTES COMERCIAIS NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE PASSIFLORA EDULIS	
CARLOS HENRIQUE MILAGRES RIBEIRO	
RONI PETERSON CARLOS	
Thatyelle Cristina Bonifácio	
Lucas Ferreira Costa	
Gilson Gustavo Lucinda	
Carmelia Maia Silva	
Gustavo Silva Freire	
Nazaro Cavalcante Bandeira Neto	
Denny Oswaldo Paéz Piñango	
Jucimar Moreira de Oliveira	
DOI 10.37423/240709164	
CAPÍTULO 4	48
MODERNIZAÇÃO E GERENCIAMENTO DE ESTOQUES: UMA PESQUISA-AÇÃO EM UMA METALÚRGICA	
Alexsandra Matos Romio	
Virginia Thomasi	
DOI 10.37423/240709165	

CAPÍTULO 5 55

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUAL GERADA A PARTIR DO PROCESSO DE DESTILAÇÃO EM LABORATÓRIOS DA UFERSA CARAÚBAS

Jeandson Matheus da Silva

Daniel Freitas Freire Martins

DOI 10.37423/240709177

CAPÍTULO 6 79

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO CONTROLE NÃO LINEAR E VARIANTE NO TEMPO APLICADO À DINÂMICA DO MULTIFUNCIONAL T3-401S SYNTHIS ROBÔ SCARA, FABRICANTE EPSON

Gabriele Vilas Boas Takano

Flávio Luiz Rossini

DOI 10.37423/240709180

CAPÍTULO 7 98

ESTUDO DE CASO: ANÁLISES DE PATOLOGIAS EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL EM SÃO LUÍS – MA

Gracineto Rodrigues do Nascimento Vieira

André Pinto Morais

Gustavo Yoshio Matsubara

Felipe Ferreira Oliveira

DOI 10.37423/240709181

CAPÍTULO 8 114

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE GRANITO PRETO SÃO GABRIEL EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO GRAÚDO

Igor Goytacaz dos Santos

André Pinto Morais

Gustavo Yoshio Matsubara

Felipe Ferreira Oliveira

DOI 10.37423/240709182

CAPÍTULO 9 134

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS NA REGIÃO DE ROSÁRIO-MA DE ACORDO COM A NORMA NBR 15270:2023

João Paulo Nazar Sousa

André Pinto Morais

Gustavo Yoshio Matsubara

Felipe Ferreira Oliveira

DOI 10.37423/240709183

CAPÍTULO 10	163
ESTUDO DE CASO DE PATOLOGIAS EM ESTUTURAS DE CONCRETO ARMADO	
ANDRE PINTO MORAIS	
Gustavo Yoshio Matsubara	
Felipe Ferreira Oliveira	
DOI 10.37423/240709184	

CAPÍTULO 11	183
AVANÇOS NA UTILIZAÇÃO DE RFID NO CONTROLE DE QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA	
Emili Everz Golombiéski	
Maria Salete Marcon Gomes Vaz	
Alaine Margarete Guimarães	
DOI 10.37423/240709186	

CAPÍTULO 12	200
ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE DISPERSÃO DO CANAL RÁDIO MÓVEL NAS FAIXAS DE 2,5 GHZ E 5,86 GHZ EM ALTA VELOCIDADE	
Fabiano Assumpção	
Leonardo Gonsioroski	
Pedro Castellanos	
Leni Matos	
DOI 10.37423/240709194	

Capítulo 1



10.37423/240709137

ESTRATÉGIAS DE APRENDIZADO BASEADO EM OPOSIÇÃO INSERIDAS NO ALGORITMO DE POLINIZAÇÃO DAS FLORES

Fábio A. P. Paiva

*Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte*

Cácio L. N. A. Bezerra

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Fábio G. B. C. Costa

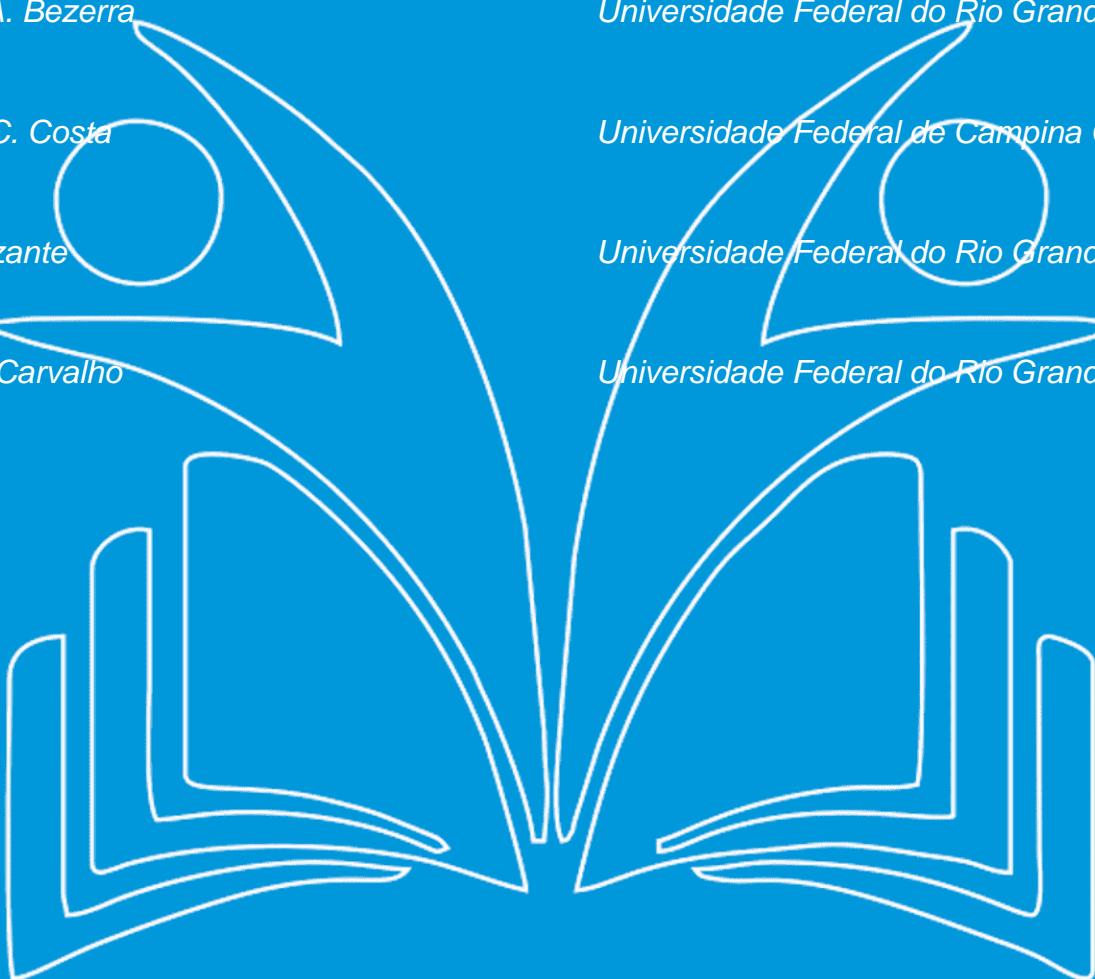
Universidade Federal de Campina Grande

Lucas V. Bazante

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Pedro V. M. Carvalho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte



Resumo: O Algoritmo de Polinização das Flores (FPA) vem sendo bastante utilizado para resolver problemas de otimização. Porém, ele enfrenta o problema da estagnação em ótimos locais. Diversas abordagens foram propostas para lidar com esse problema. Para melhorar o desempenho do FPA, este trabalho apresenta uma nova variante que combina FPA e duas variantes da Opposition Based Learning (OBL): Quasi OBL (QOBL) e Elite OBL (EOBL). Para avaliar esta proposta, foram usadas 10 funções de referências. Ademais, o algoritmo proposto foi comparado com o FPA original e com outras 3 variantes: FA–EOBL, SBFPA e DE–FPA. A proposta apresentou resultados significativos.

1. INTRODUÇÃO

Otimização é um área que, invariavelmente, é usada na tomada de decisões em quase todos os domínios do mundo real [Shareef et al. 2015], inclusive ciência e engenharia. As circunstâncias e as necessidades nas tomadas de decisão aumentaram ainda mais a complexidade dos problemas de otimização.

O Algoritmo de Polinização das Flores (FPA – Flower Pollination Algorithm) [Yang 2012] é um método meta-heurístico, inspirado no processo de reprodução das flores, que tem sido usado para otimizar problemas de engenharia [Saxena and Kothari 2016, Meng et al. 2017]. No entanto, assim como muitas meta-heurísticas, o FPA enfrenta um problema quando estagna em ótimos locais, o que faz com que a busca global não seja bem sucedida.

Vários trabalhos, com diferentes abordagens, já foram apresentados a fim de melhorar o desempenho do FPA. O Differential Evolution–Flower Pollination Algorithm (DE–FPA) [Chakraborty et al. 2014] combina o algoritmo de Evolução Diferencial com o FPA. A variante Serendipity–Based Flower Pollination Algorithm (SBFPA) [Paiva et al. 2017] utiliza Aprendizagem Baseada em Oposição (OBL) como uma alternativa para implementar a dimensão acaso, um conceito específico de serendipidade. FPA também foi combinado com o algoritmo Busca Tabu (TS – Tabu Search) para implementar a variante TS–FPA [Hezam et al. 2016].

Este trabalho propõe uma variante FPA a partir da combinação de duas estratégias de Aprendizagem Baseada em Oposição: Quasi Opposition–Based Learning (QOBL) e Elite Opposition–Based Learning (EOBL). O objetivo da variante proposta é aumentar a capacidade do algoritmo original em gerar novas soluções e, como resultado, melhorar o seu desempenho. Ao fim das simulações, observou-se que a nova proposta superou o FPA e, em muitos experimentos, ela também superou algumas variantes da literatura.

O trabalho está organizado como segue: na Seção 2, é apresentada uma breve introdução sobre a meta-heurística FPA e a aprendizagem baseada em oposição; na seção 3, a nova variante que se propõe a melhorar a performance do FPA é apresentada. Na seção 4, os experimentos computacionais são apresentados e os resultados são discutidos. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões e os trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta algumas informações úteis para o entendimento da variante que será apresentada, como o Algoritmo de Polinização das Flores, Quasi Opposition-Based Learning e Elite Opposition-Based Learning.

2.1. ALGORITMO DE POLINIZAÇÃO DAS FLORES

Uma classe dos algoritmos meta-heurísticos que tem recebido muita atenção são os bioinspirados. Um desses algoritmos é inspirado no processo de polinização das flores e, por isso, é chamado de algoritmo de polinização das flores (FPA – Flower Pollination Algorithm) [Yang 2012]. FPA assume que cada planta possui apenas uma flor e que cada flor produz somente um gameta. O algoritmo implementa dois tipos de polinização: a global e a local. Na polinização global, os agentes carregam o pólen ao longo de grandes espaços de busca e o comportamento dos polinizadores pode ser modelado pelo voo de Lévy, em que é obedecida a distribuição de probabilidade de Lévy [Tran et al. 2014]. A flor mais saudável é representada por g_* . Matematicamente, a polinização global pode ser representada por:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + L(g_* - x_i^t), \quad (1)$$

onde x_i^t é o pólen i (ou o vetor solução x_i) na iteração t . Já g_* é a melhor solução encontrada entre todas, até o momento. O parâmetro L é a força de polinização, que é um valor gerado pela distribuição de Lévy. O voo de Lévy é descrito na Equação 2:

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \operatorname{sen}(\pi \lambda / 2)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}}, \quad (s \gg s_0 > 0), \quad (2)$$

Onde Γ é a função gama padrão, cuja distribuição é válida para grandes passos $s > 0$ e $\lambda = 1.5$, como definido em [Yang 2012].

A geração de tamanhos de passos pseudoaleatórios que obedecem, corretamente, a Equação 2 não é uma tarefa trivial [Yang 2012]. Existem alguns métodos para geração de números aleatórios e o mais eficiente é o algoritmo de Mantegna [Mantegna 1994], o qual usa duas distribuições gaussianas U e V, conforme equação a seguir: de números aleatórios e o mais eficiente é o algoritmo de Mantegna [Mantegna 1994], o qual usa duas distribuições gaussianas U e V, conforme equação a seguir:

$$s = \frac{U}{|V|^{1/\lambda}}, \quad (3)$$

Com

$$U \sim N(0, \sigma^2), \quad V \sim N(0, 1), \quad (4)$$

onde $U \sim N(0, \sigma^2)$ significa que as amostras são geradas a partir de uma distribuição normal gaussiana, com média zero e variância σ^2 , calculada por

$$\sigma^2 = \left[\frac{\Gamma(1 + \lambda)}{\lambda \Gamma((1 + \lambda)/2)} \cdot \frac{\sin(\pi\lambda/2)}{2^{(\lambda-1)/2}} \right]^{1/\lambda}. \quad (5)$$

Já a polinização local pode ser representada pela Equação 6, como segue:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \varepsilon(x_j^t - x_k^t), \quad (6)$$

Onde x_j^t e x_k^t são os pólens de diferentes plantas da mesma espécie, na mesma iteração.

Por fim, ε corresponde a uma distribuição normal uniforme $\in [0,1]$.

O Algoritmo 1 apresenta o pseudocódigo do FPA. Ele é iniciado com a geração aleatória da população de flores (linha 1). Na linha 2, a melhor solução da população inicial é selecionada. Na linha seguinte, a taxa de probabilidade é usada para escolher se a polinização a ser aplicada será a global ou a local.

Algoritmo 1 Pseudocódigo do FPA

- 1: Inicialize a população de flores com soluções aleatórias
 - 2: Encontre a melhor solução g_* dentro da população inicial
 - 3: Defina uma taxa de probabilidade $p \in [0, 1]$
 - 4: **enquanto** ($t \leq num_max_iter$) **faça**
 - 5: **para** $i \leftarrow 1$ **até** n **faça**
 - 6: **se** ($rand < p$) **então**
 - 7: Faça polinização global usando Equação 1
 - 8: **senão**
 - 9: Faça polinização local usando Equação 6
 - 10: **fim se**
 - 11: Avalie novas soluções
 - 12: Caso as novas soluções forem melhores, atualize-as
 - 13: **fim para**
 - 14: Seleciona a melhor solução atual g_*
 - 15: **fim enquanto**
-

Nas linhas 4–15, ocorre a evolução das flores ao longo do tempo e do espaço de busca. Na linha 6, a taxa de probabilidade p é comparada com um valor gerado aleatoriamente e, quando ele é menor que p , é realizada a polinização global (linha 7). Caso contrário, é realizada a polinização local (linha 9). Em seguida, as novas soluções são avaliadas e, se forem melhores, são atualizadas na população (linhas 11–12). Por fim, seleciona-se a melhor solução atual, g^* .

2.2. APRENDIZAGEM BASEADA EM OPOSIÇÃO

Em geral, os algoritmos meta-heurísticos são iniciados com soluções aleatórias e, ao longo do tempo, eles procuram melhorá-las seguindo em direção da solução ótima. É comum que essas soluções estejam distantes daquela considerada ótima e o pior caso ocorre quando elas estão na posição oposta à da solução ótima.

Uma alternativa para essa situação é buscar, simultaneamente, em todas as direções ou, simplesmente, na direção oposta. Para lidar com esta situação, Aprendizagem Baseada em Quase Oposição (QOBL – Quasi Opposition-Based Learning) [Rahnamayan et al. 2007] e Aprendizagem Baseada em Oposição Elite (EOBL – Elite Opposition-Based Learning) [Zhou et al. 2012] podem ser usadas.

Antes de introduzir QOBL e EOBL, o conceito de Aprendizagem Baseada em Oposição (OBL – Opposition-Based Learning) [Tizhoosh 2005] será explanado. Na área de Inteligência Computacional, OBL tem sido empregado com o objetivo de aumentar a eficiência dos algoritmos. Para um determinado problema, OBL avalia uma solução x e a sua respectiva solução oposta \tilde{x} possibilitando que uma solução candidata seja encontrada próxima à global.

O conceito de OBL pode ser aplicado não apenas para gerar soluções aleatórias iniciais, mas também a cada iteração do algoritmo no conjunto corrente de soluções [Rahnamayan et al. 2007]. A seguir, são definidos Número Oposto e Ponto Oposto.

Definição 1: Dado $x \in \mathbb{R}$, no intervalo $x \in [a, b]$, o número oposto \tilde{x} é definido na Equação 7:

$$\tilde{x} = a + b - x. \quad (7)$$

A mesma definição pode ser estendida, de forma similar, para problemas multidimensionais.

Definição 2: Dado $P = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ como sendo um ponto no espaço n-dimensional, com $x_1, x_2, \dots, x_n \in \mathbb{R}$ e $x_i \in [a_i, b_i], \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$. Assim, o ponto oposto é definido pelos seus componentes:

$$\tilde{x}_i = a_i + b_i - x_i. \quad (8)$$

Definição 3: Dado $x \in \mathbb{R}$, no intervalo $x \in [a, b]$, seu ponto quasi opposition-based learning, x_{qo} , é definido por

$$x_{qo} = rand(c, \tilde{x}_i), \quad (9)$$

Onde c é o centro do intervalo [a; b], calculado por $c = (a + b)/2$ e $rand(c, \tilde{x}_i)$ é um número aleatório uniformemente distribuído entre c e \tilde{x}_i .

Para explicar EOBL, um exemplo será usado. Neste artigo, a flor que representa a melhor solução é vista como o indivíduo elite. Supondo que o indivíduo elite seja $X_e = (x_{e1}, x_{e2}, \dots, x_{en})$, a solução baseada em oposição elite de $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ é definida como $\hat{X}_i = (\hat{x}_{i1}, \hat{x}_{i2}, \dots, \hat{x}_{in})$ e é obtida pela Equação 10:

$$\hat{x}_{ij} = \delta \cdot (da_j + db_j) - x_{ej}, \quad i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Onde N é o tamanho da população, n é a dimensão de X , $\delta \in (0, 1)$, (da_j, db_j) o limite dinâmico da j-ésima variável de decisão. O limite dinâmico é obtido pela seguinte equação:

$$da_j = \min(x_{ij}), \quad db_j = \max(x_{ij}) \quad (11)$$

O limite dinâmico pode fazer com que \hat{x}_{ij} saia para fora de (da_j, db_j) . Se isso acontecer, a Equação 12 será usada para reiniciar \hat{x}_{ij} :

$$\hat{x}_{ij} = rand(da_j, db_j), \quad \hat{x}_{ij} < da_j \text{ ou } \hat{x}_{ij} > db_j. \quad (12)$$

3. FPA COMBINADO COM QUASI OBL E ELITE OBL

O Algoritmo de Polinização das Flores é uma técnica capaz de encontrar bons resultados em um tempo de convergência rápido, porém ele pode não conseguir “escapar” de ótimos locais.

A variante apresentada, a qual combina Quasi OBL (QOBL) e Elite OBL (EOBL), tem como objetivo aumentar a velocidade de convergência do FPA e minimizar as possibilidades de ele “cair” em ótimos locais. Até onde esta pesquisa avançou, nenhuma variante FPA foi encontrada com a proposta de combinar QOBL e EOBL e, portanto, isso garante o ineditismo deste trabalho. A contribuição da pesquisa é apresentada nas linhas 5, 8, 9 e 10 do Algoritmo 2. Só serão comentadas as linhas que correspondem à contribuição apresentada, uma vez que as demais já foram comentadas na explicação do Algoritmo 1.

Na linha 5, é aplicado o processo de QOBL (ver equação 9) sobre a flor atual da iteração. Já na linha 8, após QOBL ter sido aplicada em todas as flores, aleatoriamente sorteia-se uma flor e, em seguida, na linha 9, aplica-se EOBL (ver equação 10). Por fim, na linha 10, a solução modificada por meio de EOBL é adicionada ao conjunto de soluções e o algoritmo segue o fluxo padrão.

Algoritmo 2 Pseudocódigo do FPA modificado

```

1: Idem às linhas 1 – 3 do Algoritmo 1
2: enquanto ( $t \leq num\_max\_iter$ ) faça
3:   para  $i \leftarrow 1$  até  $n$  faça
4:     Idem às linhas 6 – 10 do Algoritmo 1
5:      $flor_i \leftarrow QOBL(flor_i)$ 
6:     Idem às linhas 11 – 12 do Algoritmo 1
7:   fim para
8:    $flor_{sort} \leftarrow sorteiaFlorAleatoria()$ 
9:    $flor_{sort} \leftarrow EOBL(flor_{sort})$ 
10:  Adiciona  $flor_{sort}$  às soluções
11:  Selecione a melhor solução atual  $g_*$ 
12: fim enquanto

```

4. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Esta seção apresenta as funções de referência usadas para validar o algoritmo proposto e, em seguida, as simulações computacionais e a análise dos resultados.

4.1. FUNÇÕES DE REFERÊNCIA E CONFIGURAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

É comum o emprego de funções de referência com o pressuposto de que a dificuldade delas corresponde àquelas encontradas em aplicações reais. Para realizar os experimentos, foram escolhidas 10 funções de referência que são aplicadas em problemas de minimização e utilizadas em vários estudos de FPA [Kalra and Arora 2016, M Ramadas and Kumar 2016, Paiva et al. 2017] e são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Funções de referência.

Fórmula	Espaço de Busca	Ótima
$f_1(x) = \sum_{i=1}^d x_i^2$	$-100 \leq x_i \leq 100$	0
$f_2(x) = \sum_{i=1}^{d-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$	$-30 \leq x_i \leq 30$	1
$f_3(x) = \sum_{i=1}^d x_i^4$	$-100 \leq x_i \leq 100$	0
$f_4(x) = \sum_{i=1}^d x_i ^{i+1}$	$-500 \leq x_i \leq 500$	0
$f_5(x) = x_1^2 + \sum_{i=2}^d x_i^2$	$-10 \leq x_i \leq 10$	0
$f_6(x) = -20 \exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{d}\sum_{i=1}^d x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{d}\sum_{i=1}^d \cos(2\pi x_i)\right) + 20 + \exp(1)$	$-32 \leq x_i \leq 32$	0
$f_7(x) = \sum_{i=1}^d [x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i) + 10]$	$-5.12 \leq x_i \leq 5.12$	0
$f_8(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^d x_i^2 - \prod \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$	$-600 \leq x_i \leq 600$	0
$f_9(x) = 1 - \cos\left(2\pi\sqrt{\sum_{i=1}^d x_i^2}\right) + 0.1\sqrt{\sum_{i=1}^d x_i^2}$	$-100 \leq x_i \leq 100$	0
$f_{10}(x) = \sum_{i=1}^d x_i \operatorname{sen}(x_i) + 0.1x_i $	$-10 \leq x_i \leq 10$	0

As funções de referência avaliadas nos experimentos são classificadas em dois grupos distintos.

Abaixo, eles são apresentados e as funções agrupadas dentro deles:

1. Grupo 1 – formado por funções unimodais que, geralmente são usadas para testar a capacidade do algoritmo em buscas locais. As funções unimodais usadas nos experimentos são: Esfera (f_1), Rosenbrock (f_2), Schumer Steiglitz (f_3), Powell Sum (f_4) e Cigar (f_5).
2. Grupo 2 – formado por funções multimodais que possuem vários mínimos locais. Elas são usadas para verificar a habilidade do algoritmo para “escapar” de ótimos locais. São elas: Ackley (f_6), Rastrigin (f_7), Griewank (f_8), Salomon (f_9) e Alpine (f_{10}).

Todas as rotinas foram implementadas na linguagem de programação MATLAB R2014b. Os experimentos foram executados em um computador que utiliza processador Intel Core i7 com 2,4 GHz de frequência, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Windows 10 Home Single Language, 64 bits. Não foram utilizadas técnicas de multiprocessamento.

Os experimentos computacionais foram realizados para 20 execuções independentes. Em cada execução, foram fixados a dimensão em 30D, o número de iterações em 2.000 e o número de flores em $n = 30$.

4.2. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para validar o algoritmo proposto, ele é comparado com o FPA original, SBFPA e FA–EOBL [Leite et al. 2018], uma variante do Algoritmo do Vagalume combinada com EOBL. A Figura 1 apresenta o comportamento de convergência dos algoritmos. A Tabela 2 mostra os resultados numéricos dos experimentos, enquanto a Tabela 3 apresenta os resultados do Teste de Wilcoxon.

As subfiguras 1(a)–(e) mostram os resultados dos algoritmos durante a otimização das funções unimodais. Apenas na figura 1(b), a variante proposta não conseguiu superar SBFPA, que foi a variante que apresentou o melhor comportamento neste experimento.

Apesar disso, os gráficos das subfiguras 1(a), 1(c) – 1(e) mostram claramente a superioridade do algoritmo proposto quando comparado aos demais algoritmos. A nova variante apresenta uma taxa de convergência mais ativa que os outros algoritmos. Vale destacar que, na subfigura 1(c), a nova variante encontra a solução ótima perto da iteração de número 1.100, enquanto os demais algoritmos não encontram a solução ótima.

Já as subfiguras 1(f)–(j) apresentam o comportamento médio dos algoritmos para otimizar as funções multimodais. Novamente, percebe-se que a velocidade de convergência da nova variante supera as demais, exceto na subfigura 1(i). A subfigura 1(g) mostra que FA–EOBL e o algoritmo proposto

encontraram a solução ótima, entretanto a velocidade de convergência da variante proposta é maior. Na subfigura 1(h), também é mostrado que o algoritmo proposto encontrou a solução ótima, ao passo que os demais algoritmos não encontraram o ótimo global da função.

Na Tabela 2, para cada uma das funções avaliadas, são apresentados a média das soluções e o desvio padrão. Os valores em negrito representam os melhores resultados.

Na Tabela 3, são apresentados os p-values do Teste de Wilcoxon resultantes da comparação entre a) algoritmo proposto x FPA, b) algoritmo proposto x FA–EOBL e c) algoritmo proposto x SBFPA.

O Teste de Wilcoxon, com nível de significância de 0.05, foi aplicado a fim de comparar os resultados das soluções encontradas pelo algoritmo proposto, SBFPA e FA– EOBL. O teste é usado para verificar se os resultados da proposta apresentada são, estatisticamente, significativos quando comparados aos das outras duas variantes, isto é, se o p-value é menor que o nível de significância determinado.

Tabela 2. Comparação de desempenho entre FPA, FA–EOBL, SBFPA e o Algoritmo Proposto.

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}
FPA	5.98e+00 (3.12)	6.97e+02 (9.27e+02)	1.85e+02 (3.14e+02)	1.79e-11 (7.66e-11)	5.66e+04 (3.97e+04)	4.01e+00 (0.81e+00)	08.04e+01 (01.75e+01)	1.04e+00 (7.16e-02)	3.12e+00 (0.60e+00)	6.68e+00 (2.39e+00)
FA–EOBL	8.33e-16 (2.80e-15)	2.87e+01 (5.06e-04)	1.10e-30 (3.28e-30)	4.48e-14 (9.34e-14)	9.13e-12 (2.95e-11)	1.64e-09 (3.76e-09)	0 (0)	2.53e-15 (1.12e-14)	4.99e-03 (2.23e-02)	1.01e-09 (4.06e-09)
SBFPA	1.22e-17 (1.45e-17)	6.19e+00 (2.86e+00)	2.00e-34 (4.29e-34)	3.40e-45 (1.52e-44)	1.18e-13 (1.30e-13)	1.36e-09 (1.27e-09)	2.84e-15 (1.27e-14)	2.16e-16 (8.42e-16)	9.98e-02 (4.27e-09)	4.64e-07 (7.29e-07)
Alg. Proposto	2.19e-319 (0)	28.81e+01 (3.57e-02)	0 (0)	1.48e-60 (5.63e-60)	2.27e-242 (0)	8.88e-16 (0)	0 (0)	0 (0)	4.43e-02 (2.85e-02)	4.29e-161 (1.49e-160)

Tabela 3. Teste de Wilcoxon entre o Algoritmo Proposto e os outros algoritmos

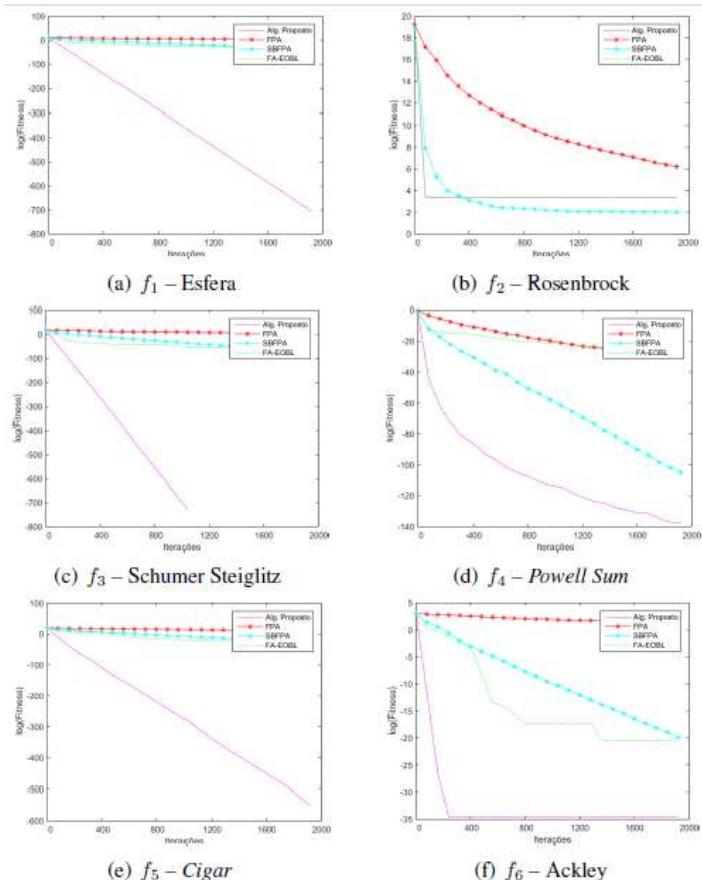
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}
FPA	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06						
FA– EOBL	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	9.76e-04	1.00e+00 0	5.00e-01	2.09e-04	1.90e-06
SBFPA	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	1.90e-06	1.00e+00 0	1.00e+00 0	2.67e-05	1.90e-06

Os resultados da nova variante também foram comparados com a variante DE– FPA [Chakraborty et al. 2014] e também com o algoritmo de Evolução Diferencial (DE).

Esses dois algoritmos não foram implementados em nossas simulações e, portanto, os seus resultados foram extraídos diretamente de [Chakraborty et al. 2014]. Das dez funções de referência usadas para validar a proposta apresentada, Chakraborty et al. (2014) realizaram simulações com apenas quatro dessas funções: Esfera (f_1), Rosenbrock (f_2), Rastrigin (f_7) e Griewank (f_8). Por esse motivo, a comparação considera apenas essas quatro funções. Para que nenhum algoritmo se beneficie de uma configuração que possa vir a ser a mais adequada, é usada a mesma configuração definida em [Chakraborty et al. 2014]: 30 flores, 30D e 2.000 iterações. A Tabela 4 apresenta a média das soluções e o desvio padrão encontrados.

Tabela 4. Comparação de desempenho entre DE, DE-FPA e o Alg. Proposto.

Função	DE	DE-FPA	Alg. Proposto
f_1	3.69e-11 (9.01e-11)	1.34e-14 (2.35e-14)	2.19e-319 (0)
f_2	42.35e+00 (28.09e+00)	2.72e+01 (2.09e+01)	2.88e+01 (3.57e-02)
f_7	6.95e-12 (1.24e-11)	3.74e+01 (3.12e+00)	0 (0)
f_8	40.63e+00 (4.73e+00)	0 (0)	0 (0)



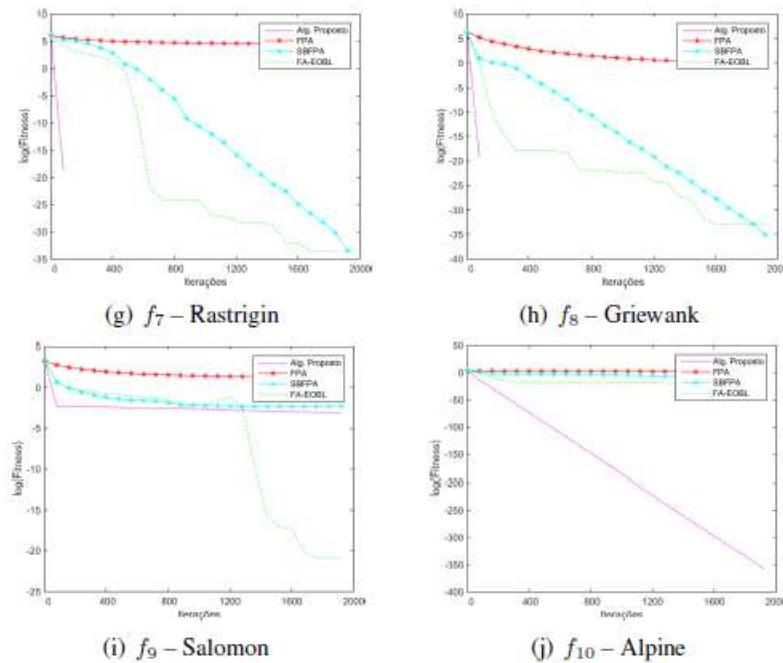


Figura 1. Convergência média de FPA, FA–EOBL, SBFPA e Alg. Proposto.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs uma nova variante para o Algoritmo de Polinização das Flores (FPA) a partir de duas estratégias de aprendizagem baseada em oposição: Quasi Opposition– Based Learning (QOBL) e Elite Opposition–Based Learning. Observou-se que o algoritmo proposto reduziu o tempo de convergência do FPA e que as estratégias de aprendizagem baseada em oposição contribuíram para o algoritmo “escapar” das frequentes estagnações em ótimos locais.

O desempenho da variante proposta foi validado com o emprego de funções de referência, partindo do pressuposto de que elas se aproximam da complexidade de aplicações reais. Foram escolhidas dez funções de referência que possuem características de unimodalidade e de multimodalidade, aplicadas a problemas de minimização. Após a experimentação, a variante proposta mostrou 100% de superioridade em relação ao FPA e 95% em relação às outras variantes como DE–FPA, SBFPA e FA–EOBL.

Ainda realizaram-se outros experimentos que não foram reportados neste trabalho.

As simulações consideraram QOBL e EOBL combinadas, individualmente, com o algoritmo FPA original. Depois de aplicar o Teste de Wilcoxon sobre as amostras apresentadas, observou-se que, em 100% dos experimentos, a contribuição da QOBL superou a da EOBL no resultado final do FPA.

Os resultados apresentados pela variante proposta são promissores. Como trabalhos futuros, pretende-se implementar as mesmas estratégias de Aprendizagem Baseada em Oposição, utilizadas neste trabalho, em uma outra meta-heurística inspirada no comportamento coletivo de cardumes de peixes conhecida como Fish School Search.

REFERENCES

- Chakraborty, D., Saha, S., and Dutta, O. (2014). De-fpa: A hybrid differential evolutionflower pollination algorithm for function minimization. In International Conference on High Performance Computing and Applications (ICHPCA), pages 1–6. IEEE.
- Hezam, I. M., Abdel-Baset, M., and Hassan, B. M. (2016). A hybrid flower pollination algorithm with tabu search for unconstrained optimization problems. *Inf. Sci. Lett.*, 5:29–34.
- Kalra, S. and Arora, S. (2016). Firefly algorithm hybridized with flower pollination algorithm for multimodal functions. In Proceedings of the International Congress on Information and Communication Technology, pages 207–219. Springer.
- Leite, I. V., Marcone, M. H., and Paiva, F. A. (2018). Meta-heurística inspirada na bioluminescência dos vaga-lumes usando aprendizagem baseada em oposição elite. *Anais do Computer on the Beach*, pages 880–889.
- Mantegna, R. N. (1994). Fast, accurate algorithm for numerical simulation of levy stable stochastic processes. *Physical Review E*, 49(5):4677.
- Meng, O. K., Pauline, O., Kiong, S. C., Wahab, H. A., and Jaffer, N. (2017). Application of modified flower pollination algorithm on mechanical engineering design problem. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 165.
- Paiva, F. A. P., Silva, C. R. M., Leite, I. V. O., Marcone, M. H., and Costa, J. A. F. (2017). Uma nova abordagem do conceito de serendipidade como base para a metaheurística inspirada no processo de polinização das flores. In XIII Congresso Brasileiro em Inteligência Computacional (CBIC2017).
- Rahnamayan, S., Tizhoosh, H. R., and Salama, M. M. (2007). Quasi-oppositional differential evolution. In IEEE Congress on Evolutionary Computation, pages 2229–2236.
- Ramadas, M. and Kumar, S. (2016). An efficient hybrid approach using differential evolution and flower pollination algorithm. In Cloud System and Big Data Engineering (Confluence), 2016 6th International Conference, pages 59–64.
- Saxena, P. and Kothari, A. (2016). Linear antenna array optimization using flower pollination algorithm. *SpringerPlus*, 5(1):306.
- Shareef, S. S., Mohideen, E. R., and Ali, L. (2015). Directed firefly algorithm for multimodal problems. In Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), pages 1–6.
- Tizhoosh, H. R. (2005). Opposition-based learning: a new scheme for machine intelligence. In Int. Conf. on Computational intelligence for modelling, control and automation and Int. Conf. on intelligent agents, web technologies and internet commerce, volume 1, pages 695–701.
- Tran, T., Nguyen, T. T., and Nguyen, H. L. (2014). Global optimization using $\tilde{A} @ vy$ flights. arXiv preprint arXiv:1407.5739.
- Yang, X.-S. (2012). Flower pollination algorithm for global optimization. In International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation, pages 240–249. Springer.

Zhou, X., Wu, Z., and Wang, H. (2012). Elite opposition-based differential evolution for solving large-scale optimization problems and its implementation on gpu. In 13th Int. Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT), pages 727–732.

Capítulo 2



10.37423/240709155

TOXICIDADE DE LODO AGROINDUSTRIAL ORIUNDO DO BENEFICIAMENTO DA ACEROLA

MIRIAM CLEIDE CAVALCANTE DE AMORIM

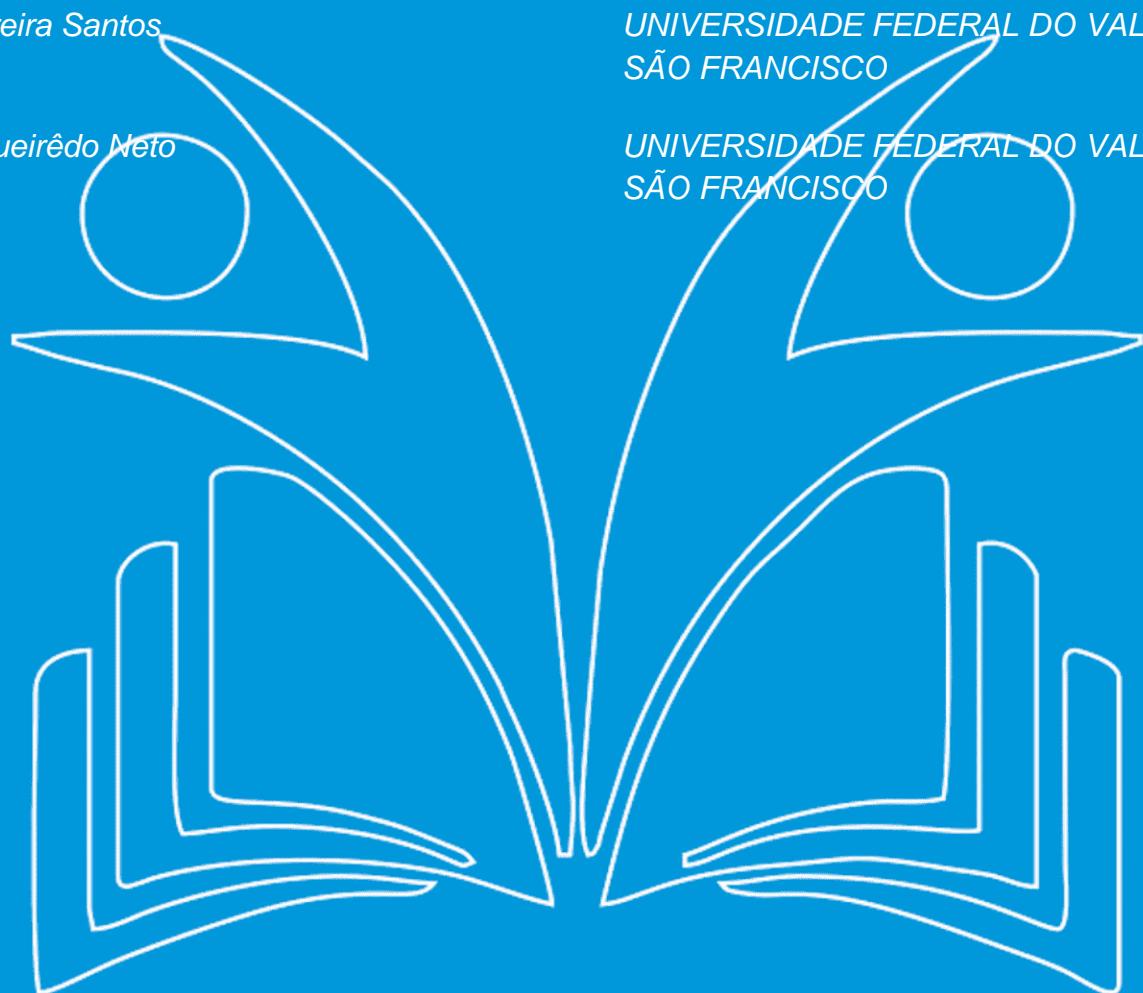
Sheila Ferreira Santos

Acácio Figueirêdo Neto

*UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO
SÃO FRANCISCO*

*UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO
SÃO FRANCISCO*

*UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO
SÃO FRANCISCO*



Resumo: A gestão dos lodos agroindustriais resultantes do processo de tratamento de efluentes é desafiadora, e estudos têm sido desenvolvidos para avaliar seu potencial como fonte de energia e matéria-prima para outros processos. No entanto, há limitações devido a possíveis efeitos tóxicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade do lodo agroindustrial (acerola), a partir de testes com sementes de alface (*Lactuca sativa*), baseados nas diretrizes OCSP 850.4100 USEPA. O experimento foi desenvolvido no viveiro da Universidade Federal do Vale do São Francisco, em Juazeiro, BA. Os testes foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto de quatro tratamentos com diferentes proporções de lodo agroindustrial adicionado ao substrato comercial Maxfértil® nas proporções de 50%, 25% e 10%, com quatro repetições, tendo como unidade amostral 88 sementes. Foram realizadas avaliações referentes ao número de germinações diariamente no período de 7 dias, coletados número de folhas, comprimento de radícula e comprimento da plântula. A composição e concentração do lodo influenciaram na germinação e nas características morfológicas das plântulas. As sementes mostraram sensibilidade a concentrações superior a 10% do lodo, apontando para riscos de toxicidade. A testemunha com o substrato Maxfértil® apresentou os melhores resultados.

Palavras-chave: Fitotoxicidade; Germinação; *Lactuca sativa*.

INTRODUÇÃO

Os processos agroindustriais que transformam produtos agrícolas e agropecuários em novos produtos, geram resíduos em diversas etapas dos diferentes processos de produção. Tais resíduos devem ser destinados corretamente, após passarem por operações e processos de tratamentos, que sejam adequados a sua natureza e suas características físico químicas e biológicas.

Resíduos sólidos de natureza orgânica podem ser submetidos a processos de compostagem ou de digestão anaeróbia os quais, darão origem a novos produtos que podem ter valor agregado, por serem ricos em nutrientes e por elevado teor de material orgânico. A exemplo do biocomposto, também chamado de biofertilizante, oriundo da compostagem de bagaço da uva (Barros et al., 2021). Já resíduos líquidos também chamados de efluentes, podem ser submetidos a tratamentos biológicos, como lagoas de estabilização e lodos ativados. Ambos proporcionam a ação de microrganismos aeróbios na transformação da matéria orgânica ($C_6H_{12}O_6$) em novos produtos, tais como sais minerais, água e novas bactérias ou material celular ($C_5H_7O_2N$). Esse material celular produzido, costuma-se chamar de “lodo”. Lorencetti (2022) cita que um dos aspectos relevantes no tratamento de resíduos da agroindústria é a produção de lodo, nas estações de tratamento de efluentes.

Quando esse lodo é oriundo de estações de tratamento de esgotos domésticos ou sanitários, ele é tratado e recebe o nome de biossólido, sendo normatizado pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020 (Brasil, 2020), que define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Porém, para lodos originários de processos agroindustriais, esta normatização não se aplica, visto que em grande parte são lodos classificados como perigosos de acordo com as normas brasileiras vigentes (Brasil, 2020), a exemplo da Norma Brasileira ABNT 10004:2004 (ABNT, 2004) que classifica resíduos sólidos como perigosos, principalmente em função da sua toxicidade, como característica de sua periculosidade.

A gestão adequada desses resíduos é um desafio, uma vez que, se manejados de forma inadequada, podem trazer riscos ambientais e à saúde pública. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida pela Lei Federal 12.305 de 2010 (Brasil, 2010), é importante priorizar ações que envolvam o tratamento e reutilização dos resíduos sólidos, em detrimento da disposição final em aterros sanitários, que deve ser a última opção a ser utilizada. Nesse contexto, os lodos agroindustriais têm sido alvo de estudos para avaliar sua viabilidade como fonte de energia e matéria-prima para outros processos, uma das possibilidades para a destinação final desse resíduo é a sua aplicação na

agricultura. Segundo Bettoli e De Camargo (2006), entre as diversas alternativas para a disposição final do lodo essa se apresenta como uma das mais convenientes, pois, o lodo é rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas.

Embora o lodo contenha toda a matéria orgânica e nutrientes que são benéficas às plantas, esse resíduo também pode conter substâncias tóxicas. O estudo dos efeitos de agentes tóxicos em organismos vivos é essencial para avaliar o impacto desses agentes na saúde humana e no meio ambiente. Para isso, são realizados testes de toxicidade, que são ensaios utilizados para determinar o grau ou nível de toxicidade de um produto químico ou composto. Esses testes podem ser realizados com vários organismos tais como sementes (Polleti et al., 2017).

As diretrizes ecológicas OCSPP 850.4100 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA), recomenda a utilização de sementes de alface (*Lactuca sativa*) para realização desse tipo de teste, por conta da alta sensibilidade da espécie perante agentes químicos. Ademais, trabalhos realizados avaliaram a eficiência da germinação de sementes com diferentes concentrações de lodo. Em Polleti et al. (2017), foi avaliado a sensibilidade de três variedades de sementes perante a diferentes proporções de adição de lodo de esgoto ao substrato de cultivo, a alface apresentou maior sensibilidade aos tratamentos. Tavares et al. (2019) avaliaram a fitotoxicidade de elutriato obtido a partir do lodo de ETA e ETE antes e após tratamento por vermicompostagem utilizando sementes de alface. Bitencourt et al. (2021) avaliaram a germinação de alface sob diferentes concentrações de lodo de curtume como substrato.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a toxicidade de lodo agroindustrial, oriundo de processo de lodos ativados tratando efluentes do beneficiamento da acerola, na germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa* L.), com o intuito de fornecer informações relevantes sobre os riscos associados ao uso desse lodo na agricultura e no meio ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no viveiro da área experimental da Universidade Federal do Vale do São Francisco, em Juazeiro, BA. O lodo utilizado para o teste de toxicidade foi originado do sistema de Lodos Ativados tratando efluentes de uma agroindústria do beneficiamento de acerola (*Malpighia emarginata*), cuja caracterização físico-química encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização físico-química do lodo agroindustrial oriundo do tratamento de efluente por lodos ativados.

Componentes	Lodo agroindustrial
pH	7,40
Umidade (%)	13,00
Cálcio (mg/L)	13,30
Magnésio(mg/L)	3,56
Alumínio(mg/L)	0,66
Sódio (mg/L)	76,20
Potássio (mg/L)	52,30
Fosfóro(mg/L)	122,33
Nitrogênio Total (mg/L)	0,92
Carbono Total	38,40
Zinco (mg/L)	4,663
Cobre (mg/L)	0,739
Ferro (mg/L)	49,79
Cromo (mg/L)	0,033
Níquel (mg/L)	0,175
Chumbo (mg/L)	0,056

O teste de toxicidade do lodo agroindustrial baseou-se nas diretrizes ecológicas da Norma USEPA Ecological Effects Test Guidelines OCSPP 850.4100 – Seed Germination (USEPA, 2012), na qual, recomenda-se a utilização de sementes de alface (*Lactuca sativa L.*) para realização do teste. Foram selecionadas 352 sementes de alface e separadas em quatro grupos com 88 sementes cada. A semeadura foi realizada em bandejas plásticas contendo 128 células, utilizando-se como substrato lodo agroindustrial com substrato comercial Maxfétil® contendo 85% de Casca e Pinus compostada, 10% Vermiculita, 5% Cascas carbonizadas (Arroz) aditivado com NPK, conhecido por apresentar uma alta taxa de germinação, em diferentes proporções.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro tratamentos e diferentes proporções de lodo agroindustrial adicionado ao substrato comercial conforme (Tabela 2) e, com quatro repetições, tendo como unidade amostral 88 sementes. O tratamento T0 foi a testemunha.

Tabela 2: Proporções de lodo agroindustrial e de substrato utilizadas em cada tratamento.

Tratamentos	Lodo Agroindustrial	Substrato Comercial
T0	0	100%
T1	10%	90%
T2	25%	75%
T3	50%	50%

A irrigação do experimento foi realizada com sistema automático, no qual, foi estabelecido três horários diários para aplicação das lâminas:

- horário 1 de 09h40 à 09h43
- horário 2 de 12h30 à 12h33
- horário 3 de 15h0 às 15h03.

Este processo repetiu-se diariamente até o sétimo dia após a semeadura das sementes.

A avaliação do experimento iniciou-se após a semeadura, com a contagem diária das sementes germinadas durante o período de sete dias, para determinar: Índice de germinação geral - GI (%) e Germinação das sementes - G (%).

Após o sétimo dia da semeadura foi realizada avaliação morfológica das plântulas com auxílio de um paquímetro, determinando-se: Comprimento das raízes – L (mm) Comprimento da plântula – CP (mm) Número de folhas por plântulas – NF.

Por fim foram calculados: Percentual de Inibição da germinação das sementes – IG (%) equação (1); Percentual de Inibição do comprimento das raízes – IR (%), equação (2) e Índice de germinação geral – GI, conforme a equação (3).

$$IG (\%) = \left(\frac{AG - BG}{AG} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que, IG - Inibição da germinação das sementes; AG - Germinação média das sementes no tratamento testemunha e BG - Germinação média das sementes no tratamento teste. As variáveis AG e BG foram calculadas a partir da soma de sementes germinadas por dia, dividida pelo período de dias.

$$IR (\%) = \left(\frac{AR - BG}{AR} \right) * 100 \quad (2)$$

Em que, IR - Inibição do comprimento das raízes; AR - Comprimento das raízes no tratamento testemunha; BR - Comprimento das raízes no tratamento teste

$$GI(%) = \left(\frac{GS*LS}{GT*LT} \right) * 100 \quad (3)$$

Em que, GI – Índice de germinação geral GS - Germinação das sementes em (%) no tratamento teste; LS - Comprimento das raízes em (mm) no tratamento teste; GT – Germinação das sementes em (%) no tratamento testemunha; LT - Comprimento das raízes em (mm) no tratamento testemunha.

Por fim, a última etapa do teste de toxicidade consiste em classificar o grau ou nível de toxicidade do tratamento conforme seu índice GI: GI \leq 70% Tóxico. 70% < GI \leq 100% possuem alguma inibição. GI > 100% são estímulos de crescimento, o lodo é fertilizante. Os dados coletados foram submetidos à análise de média e dispostos a discussão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No gráfico da Figura 1, demonstra-se o número de sementes de alface germinadas nas diferentes concentrações de lodo agroindustrial (T0 – testemunha, T1 – 10%, T2 – 25% e T3 50% de lodo industrial).

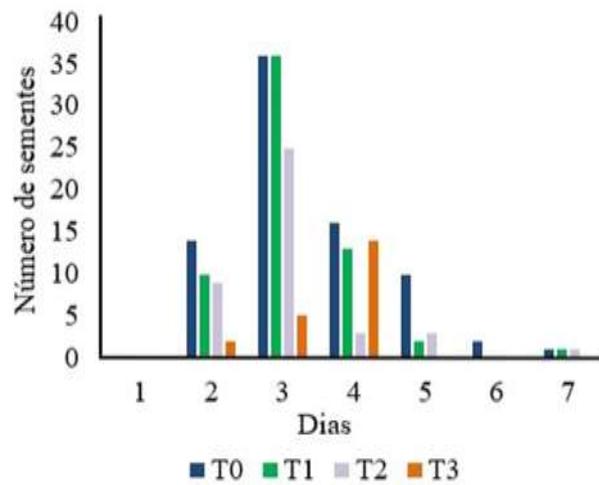


Figura 1: Número de sementes de alface germinadas no período de sete dias em diferentes concentrações de lodo agroindustrial: T0 – testemunha, T1 – 10%, T2 – 25% e T3 50% de lodo industrial.

Com base na análise dos resultados apresentados no referido gráfico, pode-se observar um efeito negativo do aumento das concentrações de lodo agroindustrial na germinação das sementes de alface ao longo dos sete dias do experimento. Para todos os tratamentos a germinação iniciou-se no segundo

dia. A média de germinação mais elevada foi registrada no terceiro, destacando-se os tratamentos T0, T1 e T2, enquanto o tratamento T3 apresentou a maior germinação apenas no quarto dia. Ou seja, os tratamentos que proporcionaram maior quantidade de sementes germinadas foram aqueles com menor concentração de lodo agroindustrial, demonstrando o efeito do aumento das concentrações de lodo na germinação das sementes.

O retardo na germinação das sementes do tratamento T3 pode estar associado à presença de sais no substrato de cultivo, como pode ser observado na composição química do lodo agroindustrial (Tabela 1). O lodo utilizado apresenta uma concentração de sódio igual a 76,20 ppm, o que pode causar estresse salino e prejudicar a absorção de água pelas sementes, afetando negativamente sua germinação (De Almeida et al., 2017).

A porcentagem de germinação para cada um dos tratamentos está expressa na (Figura 2). O gráfico mostra um efeito negativo das concentrações de lodo agroindustrial na porcentagem de germinação (G) das sementes de alface (*Lactuca sativa*).

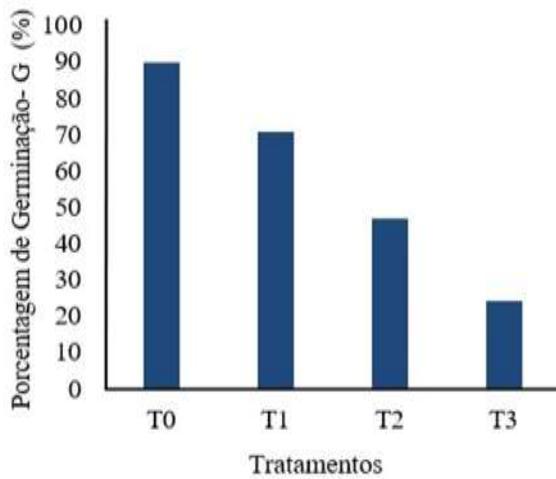


Figura 2: Porcentagem de germinação de sementes de alface submetidas a diferentes tratamentos.

Verificou-se uma redução da porcentagem de germinação das sementes nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, em relação ao lodo agroindustrial adicionado. À medida que aumentou a concentração de lodo, houve um decréscimo na variável de germinação. O grupo controle, que não recebeu adição do lodo agroindustrial, apresentou uma germinação de 90% das sementes de alface, enquanto nos tratamentos T1 e T2 foi observada uma redução significativa na germinação, com valores de 70% e 46%, respectivamente. No tratamento T3, foi observada a menor média de germinação entre os tratamentos, alcançando apenas 23,86%. Esse resultado sugere uma possível

associação com os compostos presentes no lodo utilizado, uma vez que este apresenta uma alta concentração de sais e um pH acima de 7,4, conforme indicado na Tabela 1. Resultados convergentes com esse trabalho, em relação a redução da germinação de sementes alface, foram descritos por Bitencourt et al. (2021), ao avaliarem a germinação em função de diferentes concentrações de lodo agroindustrial oriundo de curtume, verificaram a redução da germinação em função de altas concentração de sais, e pH de 7,8.

Os resultados das variáveis morfológicas da plântulas, descritos na Tabela 3, como era de se esperar, revelam que a testemunha apresentou um desempenho superior em relação aos demais tratamentos para as variáveis morfológicas avaliadas, como a média do comprimento de radícula – L (mm); média do número de folhas – NF e média do comprimento das plântulas – CP (mm). Enquanto que, os tratamentos T2 e T3, que contêm 25% e 50% de lodo agroindustrial, respectivamente, apresentaram as menores médias observadas para L.

Tabela 3: Valores médio para as variáveis morfológicas das plântulas de alface nos tratamentos com diferentes concentrações de lodo agroindustrial.

Tratamento	IG (%)	IR (%)	GI (%)
T0	0	0	100
T1	21,52	23,27	60,21
T2	48,10	32,07	35,25
T3	91,14	52,83	4,17

Um estudo realizado por Polleti et al. (2017), sobre a sensibilidade de sementes em diferentes doses de aplicação de lodo de esgoto em solo, relatou que o aumento da dose de lodo aplicada se mostrou menos eficiente no crescimento de raízes de alface. Esses resultados são semelhantes aos encontrados neste estudo para as sementes de alface, o que infere que o lodo agroindustrial afeta negativamente o crescimento da raiz e desenvolvimento das plantas. Com relação ao número de folhas por plântula (NF), apesar de a maior média ter sido observada na testemunha T1, não houve diferença significativa entre os demais tratamentos.

Ao analisar as variáveis apresentadas na Tabela 4, observa-se que os tratamentos T2 e T3 obtiveram os maiores valores para as variáveis IG e IR em relação ao tratamento T1 (testemunha). Isso indica que as maiores concentrações de lodo no substrato de cultivo (25% e 50%) resultaram em uma maior inibição da germinação e do comprimento das raízes das plântulas de alface. Por outro lado, os

resultados para a variável GI foram inversamente proporcionais, onde o tratamento com 50% de lodo apresentou o menor resultado em relação ao tratamento testemunha.

Tabela 4: Inibição da germinação das sementes (IG), Inibição do comprimento das raízes (IR) e Índice de germinação geral (GI) das sementes de alface em diferentes concentrações de lodo agroindustrial.

Tratamento	IG (%)	IR (%)	GI (%)
T0	0	0	100
T1	21,52	23,27	60,21
T2	48,10	32,07	35,25
T3	91,14	52,83	4,17

Portanto, é possível observar que o uso de maiores concentrações de lodo agroindustrial afeta negativamente o crescimento das plântulas de alface.

Outras pesquisas semelhantes foram descritas por outros autores, como por exemplo, o estudo de Liebl E Schoen (2022), que ao avaliarem a fitotoxicidade de lodos de ETE constataram que altas concentrações prejudicaram o crescimento radicular e o IG das sementes de alface. Franco et al. (2017), que verificaram a inibição na germinação das sementes de alface ao utilizar lixiviado de aterro sanitário bruto. Para Belo (2011), valores de GI iguais ou inferiores a 60% são considerados como indicadores de inibição moderada de germinação, enquanto valores superiores a 80% indicam ausência de toxinas no composto.

Dessa forma, pode-se observar que os tratamentos T1 e T2 apresentaram toxicidade, pois o GI foi igual e inferior a 60%. O tratamento T3 foi considerado altamente tóxico, com GI de 4,17% para as sementes de alface. É importante ressaltar que o aumento das concentrações de lodo agroindustrial tende a aumentar a toxicidade aos organismos expostos. Avaliando-se conforme USEPA (2012), confirma-se a classificação atribuída ao lodo agroindustrial, visto que em todos os tratamentos o GI foi menor que 70%, classificando o lodo em estudo como tóxico. Considerando que alface (*Lactuca sativa L.*) é uma das plantas terrestres, utilizadas como bioindicadoras de toxicidade de solo, quando se avalia a germinação e alongamento de raiz da planta (Priac; Badot; Crini, 2017) pode afirmar que o uso deste lodo na agricultura apresenta riscos de impactos negativos no solo e no ambiente.

CONCLUSÃO

Os resultados da presente pesquisa corroboram que a composição e a concentração de lodo agroindustrial têm influência sobre a germinação e sobre as propriedades das plântulas. As sementes

utilizadas foram mais sensíveis às maiores concentrações de lodo agroindustrial, indicando a toxicidade e riscos do uso desse lodo na agricultura e no meio ambiente, mesmo com proporção de 10%. O uso do teste de toxicidade com sementes apresentou-se como uma opção simples e acessível para a avaliação preliminar da viabilidade do reaproveitamento do lodo agroindustrial na agricultura, bem como para uma disposição adequada deste resíduo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BARROS, E. S. C.; AMORIM, M. C. C.; OLSZEVSKI, N.; SILVA, P. T. S. Composting of winery waste and characteristics of the final compost according to Brazilian legislation, Journal of Environmental Science and Health, Part B, v. 56, n.5, p. 447 - 457, 2021. Doi: 10.1080/03601234.2021.1900694

BELO, S. R. S. Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra, 2011.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A de. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 25-35.

BITENCOURT, G. de A.; DUARTE, L. A.; LAURA, V. A. Teste de toxicidade do lodo de curtume na germinação de alface. Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 24, n.2, p.112-119, 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: seção 1: Atos do Poder Legislativo, Brasília, DF, ano 147, n.147, p. 3-7, 3ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: abr. 2023.

BRASIL.MMA. CONAMA. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define os critérios e procedimentos para produção e aplicação de bioossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: Seção 1, Atos do Poder Executivo, Brasília, DF, ano 158, n. 161, p. 265- 269, 21 ago. 2020. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=749>. Acesso em: abr. 2023.

DE ALMEIDA, R. N.; FERRAZ, D. R; SILVA, A. S.; CUNHA, E. G.; VIEIRA, J. C.; SOUZA, T. S.; BERILLI, S. S. Utilização de lodo de curtume em complementação ao substrato comercial na produção de mudas de pimenta biquinho. Scientia agraria, v. 18, n. 1, p. 20-33, 2017.

FRANCO, H.Á.; MARTINS, G. M. de O.; MUSSEL, Y.L.; MORENO, S. C.; THODE FILHO, S.; MARQUES, M. R. da C. Ecotoxicidade de Lixiviado de Aterro Sanitário na Germinação de Sementes de Alface (*Lactuca sativa L.*) e Pepino (*Cucumis sativus L.*). Revista de Estudos Ambientais, v. 19, p. 36-43, 2017.

LIEBL, D.; SCHOEN, C. Avaliação da toxicidade de lodos de estação de tratamento de água (ETA) e de estação de tratamento de esgoto (ETE) através de bioensaios com sementes de alface (*Lactuca sativa*) e cebola (*Allium cepa*). Revista de Estudos Ambientais, v. 23, n. 2, p. 64-74, 2022.

LORENCETTI, G. A. T. Lodo de ETE agroindustrial: uso agrícola e produção de biochar. 2022. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

POLLETTI, E. C. C.; SILVA J. P. P.; AMORIM M. F.; FILHO J. L.P.; PIRES M. S. G. Análise de sensibilidade e de efeitos toxicológicos da aplicação de lodo de esgoto em sementes. Revista Ibero Americana De Ciências Ambientais, v. 8, n. 2, p. 130- 137, 2017.

PRIAC, A.; BADOT, P.; CRINI, G. Treated wastewater phytotoxicity assessment using *Lactuca sativa*: Focus on germination and root elongation test parameters. *Comptes Rendus Biologies*, [s.l.], v. 340, n. 3, p.188-194, 2017.

TAVARES, R. G.; SOBRINHO, M. M. C.; PEREIRA, L. J. R.; CÔRREA, M. M. C.; ARRUDA, V. C. M.; MELO, R. R. C. Avaliação da toxicidade do lodo de estação de tratamento de água e esgoto, antes e após vermicompostagem, usando teste de germinação com semente de alface (*Lactuca sativa*). *Revista DAE*, v. 67, p.156-167, 2019.

USEPA. United States of America USA. Environmental Protection Agency EPA. Ecological Effects Test Guidelines OCSPP 850.4100: Seedling Emergence and Seedling Growth. Washington, EPA 712c012, January, 2012. Disponível em: <https://www.regulations.gov/document?D=EPA-HQOPPT-2009-0154-002>

Capítulo 3



10.37423/240709164

EFEITO DE BIOESTIMULANTES COMERCIAIS NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE PASSIFLORA EDULIS

CARLOS HENRIQUE MILAGRES RIBEIRO

Universidade Federal de Lavras

RONI PETERSON CARLOS

IF Sudeste MG – campus Barbacena.

Thatyelle Cristina Bonifacio

IF Sudeste MG – campus Barbacena.

Lucas Ferreira Costa

IF Sudeste MG – campus Barbacena.

Gilson Gustavo Lucinda

Universidade Federal de Lavras.

Carmelia Maia Silva

Universidade Federal de Lavras.

Gustavo Silva Freire

Universidade Federal de Lavras.

Nazaro Cavalcante Bandeira Neto

Universidade Federal de Lavras.

Denny Oswaldo Paéz Piñango

Universidade Federal de Lavras.

Jucimar Moreira de Oliveira

Universidade Federal de Lavras.

Resumo: O método de propagação da cultura do maracujazeiro é via sementes, porém, pode ocorrer uma desuniformidade na emergência das plantas e desenvolvimento lento inicial das mudas. Uma solução para este fato seria a utilização de bioestimulantes. O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito da aplicação via solo dos bioestimulantes comerciais Forth®, Nitro10®, Vitaplan®, na emergência e desenvolvimento inicial de mudas do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis*). Foi realizado o semeio de 2 sementes em sacos de polietileno composto pelo substrato, terra de barranco, esterco bovino e areia (2:1:1). Em seguida foi feita a aplicação dos tratamentos dos diferentes bioestimulantes comerciais, conforme a recomendação dos rótulos dos produtos. Durante o período experimental, foram avaliadas a porcentagem de emergência, o índice de velocidade de emergência e tempo médio de emergência das sementes. Já aos 60 e 75 dias após o semeio avaliou-se altura das plantas, número médio de folhas, comprimento da maior raiz, diâmetro do caule e taxa de sobrevivência de mudas. O delineamento experimental foi inteiramente Casualizado com 4 tratamentos por 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias ao teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, realizadas pelo SISVAR. De posse dos resultados, observa-se que a utilização dos bioestimulantes não influenciam na porcentagem de germinação, apenas no índice de velocidade de germinação e tempo médio de germinação, sendo o tratamento Forth®, apresentou melhor resultado, já o controle para estes parâmetros, resultado inferior aos demais. Já para os parâmetros altura das plantas, número médio de folhas, comprimento da maior raiz, diâmetro do caule e taxa de sobrevivência de mudas os tratamentos Forth® obteve resultados superiores aos demais tratamentos. A realização da aplicação via solo de Forth® proporciona uma maior velocidade de emergência e desenvolvimento inicial de mudas do maracujazeiro amarelo.

Palavras-chave: Maracujazeiro redondo amarelo; propagação sexuada; produção de mudas.

INTRODUÇÃO

O maracujazeiro (*Passiflora edulis* L.), pertencente à família *Passifloraceae*, originária da América tropical e Subtropical, é uma frutífera tipicamente cultivada em regiões de clima tropical, sendo o Brasil o maior produtor mundial, respondendo por uma produção de 683.993 toneladas no ano de 2020 (Silva et al., 2019; IBGE, 2022).

A cultura do maracujazeiro, apresenta uma importância econômica, ao auxiliar na geração de empregos no campo, como também importância nutricional, pois seus frutos além de serem aceitos pela população pelo seu formato, sabor, coloração, são fontes de vitaminas A e C, carotenoides e polifenóis, podendo ser consumidos *in natura* ou industrializados (He et al., 2020; RAMLI et al., 2020).

Segundo Dias et al. (2022), um dos principais problemas na cultura do maracujazeiro está relacionada com a produção de mudas, dado que o método de propagação mais utilizado é via sementes, porém há uma variação no período de germinação das sementes, por apresentarem dormência, interferindo assim na germinação e ocasionando produção de mudas desuniformes (Welter et al., 2011; Kato et al., 2018; Miranda et al., 2019). Sendo de grande importância pesquisas que auxiliem na melhoria do poder germinativo nas espécies de passiflora.

Visando contornar este fato, a utilização de bioestimulantes via solo, pode ser uma prática viável para melhoria da germinação e desenvolvimento inicial de mudas, pois nestes produtos apresentam hormônios vegetais, nutrientes que possam ativar reações químicas, como também a presença de produtos a base de estratos de algas (Binsfeld et al., 2014; Ribeiro; Viol, 2021; Gupta et al., 2022).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação via solo dos bioestimulantes comerciais Forth®, Nitro10®, Vitaplan®, na germinação e desenvolvimento inicial de mudas do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis*).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda das Abóboras (distrito, Costas da Mantiqueira) pertencente ao município de Barbacena, Minas Gerais (21°22'64"S, 43°77'42"W, altitude 1173 m). O clima, segundo a classificação de Köppen do tipo Cwb, clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno, temperatura média, anual de 18 °C e precipitação em torno de 1400 milímetros (Climadate, 2022). Os dados climáticos do período experimental estão mostrados na Figura 1.

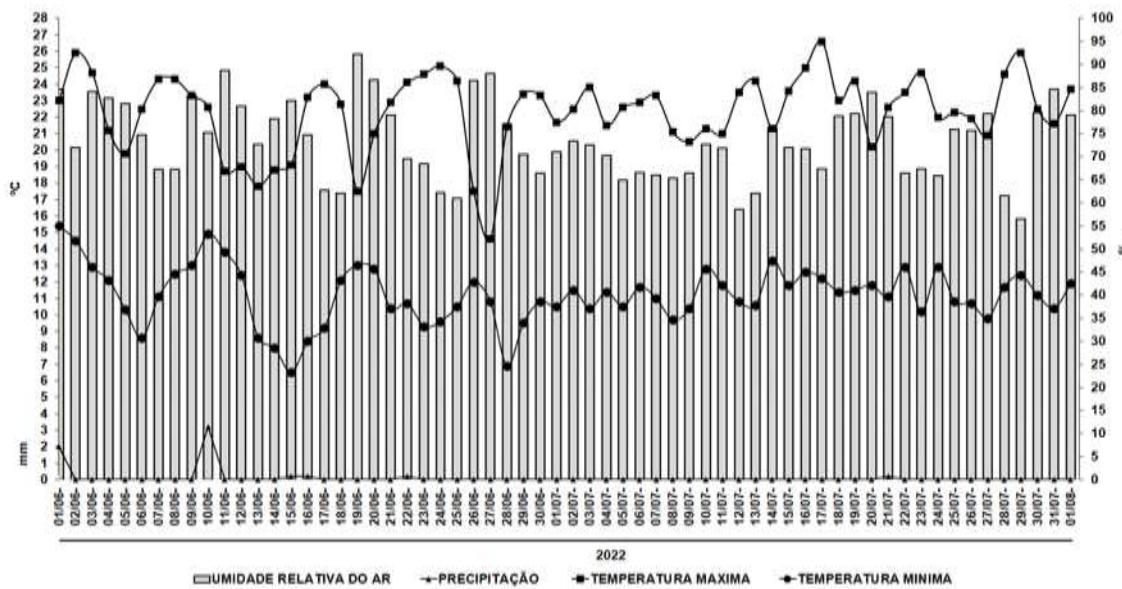


Figura 1. Dados meteorológicos coletados durante a execução do experimento.

Antes da instalação do experimento, realizou-se o preparado do substrato, composto por terra de barranco, misturado a ele, esterco bovino, e areia fina, na proporção 2:1:1. Foi feita a análise química do substrato, cujo resultado pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do substrato, utilizado para o semeio e formação de mudas do maracujazeiro redondo amarelo. Barbacena, MG. 2022.

pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T
- mg dm ⁻³ cmolc dm ⁻³			
4,4	59,18	0,61	-	1,08	0,20	0,53	6,52	1,43	1,96	7,95
M.O	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B				S
dag kg ⁻¹	mg L mg dm ⁻³								
2,95	10,0	0,72	71,27	43,75	3,05	0,06				20,24

As sementes utilizadas no presente estudo foram do maracujazeiro amarelo, obtidas de uma empresa produtora e fornecedora de sementes, sendo semeadas há 1 cm de profundidade 2 sementes em sacos de polietileno preto com dimensões de 24 cm de altura e 18 cm de diâmetro, sendo aplicado após o semeio via solo diferentes estimulantes comerciais presente na Tabela 2, seguindo as recomendações do rótulo de cada produto, com relação à dose e o tempo de aplicação, sendo as doses medidas com auxílio de seringa graduada de 10 ml, sendo todos os tratamentos padronizados para 1000 mL de água.

Tabela 2. Descrição e formulação química dos enraizadores comerciais utilizados para a formação de mudas de maracujazeiro redondo amarelo.

Enraizadores comerciais	Doses utilizados conforme a informação dos produtos	Dias de aplicação após o semeio
Controle	1000 mL Água	0, 7, 14, 21, 27, 28
FORTH®	5 mL para 995 mL de água	0, 7, 14, 21, 27, 28
Vitaplan®	5 mL para 995 mL de água	0, 7, 14, 21, 27, 28
Nitro 10®	3 mL para 997 mL de água	0, 14, 28, 42 e 56

Com relação à informação do rótulo dos produtos utilizados, observa-se que o enraizador comercial FORTH® apresenta em sua formulação de 2% de Nitrogênio (N); 5% de fósforo (P₂O₅), 5% de potássio (K₂O), 0,25% de boro (B), 1% de enxofre (S), 1% de molibdênio (Mo), 1% de zinco (Zn) e 6% de carbono orgânico.

Já o produto Vitaplan® apresenta em sua composição química, 15% de extrato de algas marinhas, 2% de nitrogênio (N), 8% de fósforo (P₂O₅), 1% de cálcio (Ca), 1% de magnésio (Mg) e 0,2% de cobre (Cu).

Sobre o enraizador comercial Nitro 10®, segundo o fabricante, ele apresenta 10% de nitrogênio (N), 10% de fósforo (P₂O₅), e 10% de potássio (K₂O).

A irrigação foi realizada diariamente com objetivo de manter a umidade do substrato, na capacidade de campo do tipo de substrato, evitando falta ou excesso de água, e as mudas foram mantidas em viveiro sob sombrite 50%.

Após o início da emergência das sementes, realizou-se a diariamente a contagem de sementes germinadas, sendo avaliadas após a estabilização da germinação a porcentagem de sementes germinadas conforme orientações das Regras para análise de sementes (Brasil, 2009), calculada pela fórmula:

$$PSE = \frac{N}{100} \times 100 \quad (1)$$

PSG = Porcentagem de sementes emergidas

N = número de sementes germinadas ao final do teste, sendo este resultado expresso em porcentagem

Foi avaliado o IVE (índice de velocidade de emergência), calculado segundo a equação de Maguire (1962), em que:

$$IVE = \frac{G_1}{D_1} + \frac{G_2}{D_2} + \dots + \frac{G_n}{D_n} \quad (2)$$

IVE= Índice de Velocidade de Germinação

G₁, G₂, ..., G_n= nº de plântulas normais computadas na contagem, observadas no intervalo da 1^a, 2^a, ..., última contagem;

D₁, D₂, ..., D_n= nº de dias da contagem em relação à semeadura à 1^a, 2^a, ..., última contagem.

Calculou-se também, o tempo médio de germinação (TME) expresso em dias, onde o resultado é obtido através da utilização da fórmula:

$$TME = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (3)$$

TME= Tempo médio de Emergência

n_i = número de sementes germinadas por dia

t_i = tempo de incubação (dias)

O delineamento experimental foi inteiramente Casualizado (DIC) com 4 tratamentos por 4 repetições por 20 sementes. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias ao teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade, realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR versão 5.8 (Ferreira, 2011).

Aos 60 e 75 dias após o semeio, foram avaliadas a taxa de sobrevivência das mudas, com auxílio de uma régua graduada foram medidas em cm a altura das mudas e o comprimento da maior raiz, a 1 cm do substrato o diâmetro do caule (mm) acima de 5 cm do substrato, número de folhas.

O delineamento experimental foi inteiramente Casualizado (DIC) com 4 tratamentos por 4 repetições por 15 mudas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias ao teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR versão 5.8 (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da curva de germinação descrita na Figura 2, observa-se que houve variação entre os dias de germinação após semeadura entre os tratamentos. Sendo observado que o tratamento com a utilização do Forth®, foi o que começou a germinar primeiro aos 7 dias após o semeio, já os

tratamentos com bioestimulantes Vitaplan® e Nitro 10® aos 8 dias, e o tratamento controle apresentou um atraso em sua germinação sendo as sementes iniciou a germinação aos 9 dias. Houve variação na estabilização de emergência entre os tratamentos, ocorrendo aos 18 dias após o semeio dos tratamentos que utilizou o bioestimulante Forth® e Nitro 10®, já o tratamento com Vitaplan® e aos 19 dias e o tratamento controle, e aos 20 dias após o semeio.

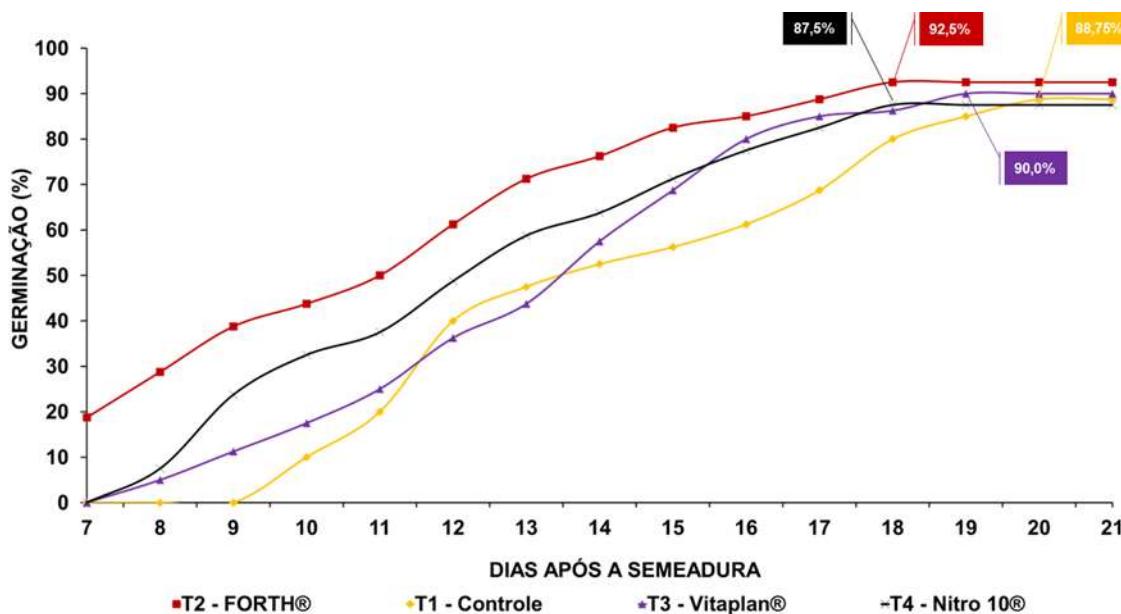


Figura 2. Curva de emergência do maracujazeiro redondo amarelo com relação a aplicação dos diferentes bioestimulantes comerciais via solo.

Fonte: elaborado pelo autor.

No trabalho objetivando a germinação de sementes de maracujá amarelo em diferentes tratamentos térmicos (Welter et al., 2011), os autores observaram o início da germinação das sementes aos 7 dias após o semeio, como no presente estudo. Já no trabalho observando o efeito de bioestimulantes aplicados às sementes e folhas de mudas do maracujazeiro amarelo (Foelkel et al., 2015) a germinação iniciou-se apenas aos 16 dias após o semeio.

Conforme Alexandre et al. (2004), o período de germinação das sementes de maracujá é irregular, pois pode variar de 10 dias até 3 meses. O fato no presente estudo da ocorrência da germinação antes destes dias, está relacionada desdá qualidade da semente, condição climática favorável, além dos bioestimulantes poderem auxiliar e potencializar processos fisiológicos que irá influenciar na germinação (Pierezan et al., 2012; Faleiro et al., 2016; Gupta et al., 2022).

Conforme os dados dispostos na Tabela 3, observa-se que não houve diferença no parâmetro porcentagem de sementes emergidas nos tratamentos testados, já com relação ao índice de velocidade de emergência (IVE) e o tempo médio de emergência (TME), houve variação entre os

tratamentos utilizados, sendo que sementes que utilizaram o produto Forth® apresentou maior média aos demais tratamentos.

Tabela 3. Porcentagem de sementes germinadas (PSG), índice de velocidade de emergência (IVE) e tempo médio de germinação (TMG) de sementes de maracujazeiro amarelo com aplicação dos diferentes bioestimulantes comerciais via solo.

Tratamentos	Porcentagem de sementes emergidas (PSE)*	Índice de velocidade de emergência (IVE)	Tempo médio de emergência (TME)
Controle	88,75 a	1,40 b	1,80 b
Forth®	92,50 a	1,85 a	2,30 a
Vitaplan®	90,00 a	1,55 b	1,85 b
Nitro 10®	87,50 a	1,52 b	2,02 ab
CV (%)	6,59	7,57	7,17

*Médias seguidas de mesma letra em minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

No trabalho realizado por Foelkel et al. (2015), utilizando diferentes concentrações dos bioestimulantes, Acadian® e Biozyme TS®, os autores observaram nos parâmetros porcentagem e índice de velocidade de emergência, do maracujazeiro amarelo, que não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo a porcentagem de emergência variando de 68,5 a 71% e o IVE de 20,5 a 21,0.

Resultado oposto encontrado por Ferraz et al. (2014), com o maracujazeiro ‘Roxinho de Kênia’ com aplicação de diferentes doses do bioestimulante Stimulate®, os autores observaram que houve uma maior porcentagem de emergência maior que 95%, foi com a utilização do produto em maiores doses.

Uma das justificativas para não ter ocorrido diferença entre a porcentagem de germinação das sementes de maracujazeiro no presente estudo, é a disponibilidade de água diária durante o período do experimento, pois um dos principais fatores que afetam a emergência do maracujazeiro é relacionado à falta de irrigação no semeio das sementes (Fernandes et al., 2015; Araujo et al., 2016).

Os resultados de IVE e TMG, são parâmetros importantes quando se objetiva um desenvolvimento acelerado da germinação de sementes em condições de campo, e quanto maior esses parâmetros, resultará em uma maior capacidade de resistência a estresses que podem influenciar no desenvolvimento inicial da planta (Dan et al., 2010; Ribeiro et al., 2016).

No presente estudo, observa-se que a aplicação do Forth® apresentou uma melhoria na velocidade e tempo de emergência das sementes, de acordo Rouphael e Colla (2020), em alguns casos, os

bioestimulantes podem aumentar a captação de nutrientes e estimular nos processos metabólicos em sementes.

Com relação aos parâmetros analisados aos 60 e 75 DAS, verifica-se na Figura 2, que houve diferença significativa entre os tratamentos utilizados. O produto Forth®, proporcionou melhor resultado na altura das plantas, número médio de folhas, comprimento da maior raiz, diâmetro do caule e taxa de sobrevivência. Já o tratamento controle, obteve menor resultado comparado aos demais tratamentos.

Tabela 4. Altura das plantas (cm), número médio de folhas, comprimento da maior raiz (cm), diâmetro do caule (cm) e taxa de sobrevivência de mudas do maracujazeiro amarelo com aplicação dos diferentes bioestimulantes comerciais via solo, aos 60 e 75 dias após o semeio.

Bioestimulantes Comerciais	Altura das Plantas (cm)		Número Médio de Folhas	
	60 dias após o semeio	75 dias após o semeio	60 dias após o semeio	75 dias após o semeio
Controle	12,9 c	20,3 c	7,8 c	13,0 c
Forth®	26,1 a	33,2 a	13,3 a	18,0 a
Vitaplan®	18,1 b	25,6 b	9,1 b	14,6 bc
Nitro 10®	18,6 b	25,8 b	10,6 b	16,5 b
CV (%)	6,20	3,05	5,98	4,98
Bioestimulantes Comerciais	Comprimento da Maior Raiz (cm)		Diâmetro do Caule (mm)	
	60 dias após o semeio	75 dias após o semeio	60 dias após o semeio	75 dias após o semeio
Controle	19,1 c	28,5 c	3,0 c	3,1 c
Forth®	27,5 a	30,2 b	4,5 a	4,6 a
Vitaplan®	21,8 b	30,3 b	3,3 b	3,3 b
Nitro 10®	23,0 b	33,0 a	3,9 ab	4,0 ab
CV (%)	3,96	1,96	3,6	2,5
Bioestimulantes Comerciais	Taxa de Sobrevivência (%)			
	60 dias após o semeio		75 dias após o semeio	
Controle	77,5 c		77,5 c	
Forth®	97,5 a		97,5 a	
Vitaplan®	87,5 b		87,5 b	
Nitro 10®	87,5 b		87,5 b	
CV (%)	7,38		7,38	

*Médias seguidas de mesma letra em minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de

Tukey ($P < 0,05$).

No trabalho realizado por Foekel et al. (2015), utilizando os bioestimulantes comerciais Biozyme TS® e de Acadian®, ambos também em sua composição apresentam alga *Ascophyllum nodosum*, os autores observaram que não houve diferença entre eles com relação à altura da planta, número de folhas, porém com relação ao comprimento da maior raiz quando se variou as doses de 0 a 6 mL L⁻¹ houve comprimento variando de 6 a 12 cm.

Já no experimento de Miranda et al. (2019), avaliando a produção de mudas de maracujazeiro sob aplicação de diferentes bioestimulantes a base de algas marinhas de *Ascophyllum nodosum* (L.) em diferentes doses de 0 a 4 mL L⁻¹, os autores constaram não ocorrer diferença significativa com a altura da planta, comprimento da maior raiz, número de folhas.

Uma das respostas que pode estar relacionado ao tratamento que se utilizou o produto Forth® sobressair aos demais, pode ser devido o produto apresentar em sua composição desde N, P, K, S, B, Mo, Zn, carbono orgânico, (PAZ et al., 2021), que ocasionou um balanço hormonal e nutricional a planta, e com isso estimulou resposta no desenvolvimento da parte aérea, número de folhas, como também induzir a formação e comprimento de raízes que conseguiram uma maior captação de água em nutrientes no solo (Taiz et al., 2017; Gomes-Simeoni et al., 2018; Ronga et al., 2019; Wozniak et al., 2020; Patel; Mukherjee, 2021).

CONCLUSÃO

A aplicação via solo de bioestimulantes não induz na porcentagem de germinação das sementes;

O bioestimulante comercial Forth®, influência em um maior índice de velocidade e tempo médio de germinação, como também na maior taxa de sobrevivência, comprimento da maior raiz, altura e número médio de folhas das mudas.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, R. S.; WAGNER JÚNIOR, A.; NEGREIROS, J. R. D. S.; PARIZZOTTO, A.; BRUCKNER, C. H. Germinação de sementes de genótipos de maracujazeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 39, p. 1239-1245, 2004.
- ARAUJO, M. M. V.; FERNANDES, D. Á.; CAMILI, E. C. Emergência e vigor de sementes de maracujá amarelo em função de diferentes disponibilidades hídricas. *Uniciências*, v. 20, n. 2, p. 82-87, 2016.
- BINSFELD, J. A.; BARBIERI, A. P. P.; HUTH, C.; CABRERA, I. C.; HENNING, L. M. M. Uso de bioativador, bioestimulante e complexo de nutrientes em sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, p. 88-94, 2014
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 399 p. 2009.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima Barbacena (Brasil). Disponível: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/lavras-24957/>>. Acesso em: 15 out.2022.
- COLLA, G.; ROUPHAEL, Y. Microalgae: new source of plant biostimulants. *Agronomy*, v. 10, n. 9, p. 1240, 2020.
- DAN, L. G. D. M.; DAN, H. D. A.; BARROSO, A. L. D. L.; BRACCINI, A. D. L. Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, p. 131-139, 2010.
- DIAS, D. R.; DO VALE, B. S. C.; DO VALE SANTANA, J. A.; JUNIO, J. R. S. Produção de mudas de maracujazeiro-amarelo em diferentes níveis de irrigação e formulações de substrato. *Nativa*, v. 10, n. 1, p. 102-108, 2022.
- FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; FABIO GELAPE FALEIRO, C. P. A. C.; JUNQUEIRA, N. T. V. Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde, 2016. 1ed
- FERNANDES, D. A.; ARAUJO, M. M. V.; CAMILI, E. C. Crescimento de plântulas de maracujazeiro-amarelo sob diferentes lâminas de irrigação e uso de hidrogel. *Revista de Agricultura*, v. 90, n. 3, p. 229-236, 2015.
- FERRAZ, R. A.; SOUZA, J. M. A.; SANTOS, A. M. F.; GONÇALVES, B. H. L., REIS, L. L. D.; LEONEL, S. Efeitos de bioestimulante na emergência de plântulas de maracujazeiro'Roxinho do Kênia'. *Biosci. j.(Online)*, p. 1787-1792, 2014.
- FERREIRA, D F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FOELKEL, E.; MATEUS, M. A. F.; MÓGOR, Á. F.; BRUGNARA, E. C. Bioestimulantes aplicados às sementes e folhas de mudas de maracujazeiro-amarelo. *Revista Cultura Agronômica*, v. 24, n. 2, p. 135-148, 2015.

GUPTA, S.; DOLEŽAL, K.; KULKARNI, MG, BALÁZS, E.; VAN STADEN, J. Role of non-microbial biostimulants in regulation of seed germination and seedling establishment. *Plant Growth Regulation*, v. 97, n. 2, p. 271-313, 2022.

HE, X.; LUAN, F.; YANG, Y.; WANG, Z.; ZHAO, Z.; FANG, J.; LI, Y. An insight into current researches on phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in pharmacology*, v. 11, p. 617, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção agrícola municipal: maracujá*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOREOLOGIA DO BRASIL – INMET. *Banco de Dados Meteorológicos*. Disponível: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 15 out. 2022.

KATO, D. S.; DA SILVA, C. M.; HIGUCHI, M. T.; BAUCHROWITZ, I. M.; DOS SANTOS NETO, J.; SHIMIZU, G. D.; DE OLIVEIRA, A. F. Produção de mudas de maracujá amarelo submetidas a doses crescentes de adubação de liberação lenta. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, v. 34, n. esp., p. 310-320, 2018.

MAGUIRE, J.D. Velocidade de germinação-Ajuda na seleção e avaliação para emergência e vigor de plântulas 1. *Crop science*, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MIRANDA, J. B. F.; MATIAS, S.; BORGES, I. V.; DE SOUZA FERREIRA, M. D.; DA SILVA, T. F.; JUNIOR, E. D. S. C. Mudas de maracujazeiro amarelo produzidas com bioestimulante a base de algas marinhas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 2, p. 354-358, 2019.

PATEL, J. S.; MUKHERJEE, A. Seaweed and associated products: Natural biostimulant for improvement of plant health. *Emerging trends in plant pathology*, p. 317-330, 2021.

PAZ, J. I. V.; SOUZA, M. M.; RIBEIRO, C. H. M.; CARLOS, R. P.; BONIFÁCIO, T. C.; FRANÇA, G. S.; TAVARES, Q. G. Efeito de estimulantes comerciais na aclimatização de orquídeas *Cattleya caulescens* (Lindl.) Van den berg (Orchidaceae). In: MEDEIROS, J. *Produção Animal e Vegetal: Inovações e Atualidades*. (pp. 72-82) Agron Food Academy, 2021.

PIEREZAN, L.; SCALON, S. D. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Emergência de plântulas e crescimento de mudas de jatobá com uso de bioestimulante e sombreamento. *Cerne*, v. 18, p. 127-133, 2012.

RAMLI, A.N.M.; MANAP, N.W.A.; BHUYAR, P.; AZELEE, N.I.W. Passion fruit (*Passiflora edulis*) peel powder extract and its application towards antibacterial and antioxidant activity on the preserved meat products. *SN Applied Sciences*, v. 2, p. 1-11, 2020.

REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L.F.; ALVES, M.A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015.

RIBEIRO, A. A.; MOREIRA, F.J.C.; SEABRA FILHO, M.; MENEZES, A.S. Emergência do maracujazeiro-amarelo sob estresse salino em diferentes substratos. *Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas*, v. 10, n. 1, pág. 27-36, 2016.

RIBEIRO, C. H.; VIOL, R. E. Controle Hormonal no enraizamento e brotação adventícios: Revisão. In: MEDEIROS, J. *Produção Animal e Vegetal: Inovações e Atualidades*. (pp. 185-195) Agron Food Academy. 2021.

RONGA, D.; BIAZZI, E.; PARATI, K.; CARMINATI, D.; CARMINATI, E.; TAVA, A. Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, v. 9, n. 4, p. 192, 2019.

ROUPHAEL, Y., & COLLA, G. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, v. 11, p. 40, 2020.

SILVA, L. G. F.; DE SALES, R. A.; ROSSINI, F. P.; DA VITÓRIA, Y. T.; DA SILVA BERILLI, S. Emergência e desenvolvimento de plântulas de maracujá-amarelo em diferentes substratos. *Energia na agricultura*, v. 34, n. 01, p. 18-27, 2019.

SIMEONI, A. K. G.; JUNIOR, L. A. Z.; DAL CANTON, D.; DE ANDRADE, E. A.; MIOLA, V. Efeito de enraizadores em sementes de milho. *Revista Cultivando o Saber*, v. 1, n. 4, p. 119-126, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora, 2017.

WELTER, M. K., SMIDERLE, O. J., UCHÔA, S. C. P., CHANG, M. T., & DE PAULA MENDES, E. Germinação de sementes de maracujá amarelo azedo em função de tratamentos térmicos. *Revista Agro@mbiente on-line*, v. 5, n. 3, p. 227-232, 2011.

WOZNIAK, E.; BLASZCZAK, A.; WIATRAK, P.; CANADY, M. Biostimulant Mode of Action: Impact of Biostimulant on Whole-Plant Level. *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*, p. 205-227, 2020.

Capítulo 4



10.37423/240709165

MODERNIZAÇÃO E GERENCIAMENTO DE ESTOQUES: UMA PESQUISA-AÇÃO EM UMA METALÚRGICA

Alexsandra Matos Romio

Universidade Federal de Santa Maria

Virginia Thomasi

Universidade Federal de Santa Maria



1. INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial e com a evolução dos processos fabris, surgiram as linhas de produção contínua, permitindo a padronização e intercambiabilidade de peças, com isso, foi possível elevar o volume de produção, tornando a produção massiva de itens industrializados (Ferroli et al., 2002). Essa melhoria na produtividade trouxe consigo o surgimento de níveis de estoques e a necessidade de um armazenamento gerenciado.

O conceito de estocagem começou com o homem, que ao deixar de ser nômade, passou a produzir excedentes. Sendo assim, a industrialização e o aumento do volume de produção, tornaram necessário o controle da produção e gerenciamento dos estoques de maneira eficaz (Veraszto et al., 2008; Ferroli et al., 2002; Navarro, 2006). Tendo em vista o constante processo de modernização, a tecnologia e a informatização evoluíram os gerenciamentos de produção, de estoque e de processos. Estes, passaram a ser feitos com o auxílio de ferramentas computacionais. A competitividade decorrente da globalização tornou esses sistemas vitais para a manutenção e sobrevivência das pequenas indústrias no mercado (Ferroli et al., 2002).

O uso de técnicas específicas é importante, pois envolvem atividades fundamentais da organização, operando nas rotinas administrativas. Para além disso, com a evolução tecnológica e digital, a maioria dessas rotinas passaram a ser feitos com auxílio de ferramentas computacionais, e, posteriormente, devido a competitividade em função da globalização, os sistemas passam a ser necessários para manter as pequenas indústrias no mercado. No entanto, há dificuldades na implementação e compreensão de todos os detalhes da integração de rotinas (Haberkorn, 2007; Ferroli et al., 2002).

No caso das indústrias metalúrgicas, os estoques devem ser suficientes para suprir os pedidos, sem ultrapassar a capacidade de armazenagem, evitando investimentos imobilizados e espaços físicos ocupados. Esse gerenciamento é facilitado com ferramentas informatizadas e profissionais capacitados (Rogers et al., 2004; Bremer e Lenza, 2000). Lustosa et al. (2008) defendem que a produção deve atender à demanda do mercado de forma eficaz, enquanto Corrêa et al. (2010) e Costa (2002) destacam o estoque como elemento fundamental para a gestão empresarial e a manutenção da competitividade. Romio (2011) destaca que, embora pequenas indústrias metalúrgicas possam implementar sistemas informatizados de gestão de estoques, há riscos significativos. Entre os riscos, faz falhas na escolha do sistema adequado podem resultar em custos superiores aos estimados e

informações incorretas, comprometendo o planejamento e causando prejuízos contábeis (Arozo, 2006; Lima, 2003; Padilha e Martins, 2005).

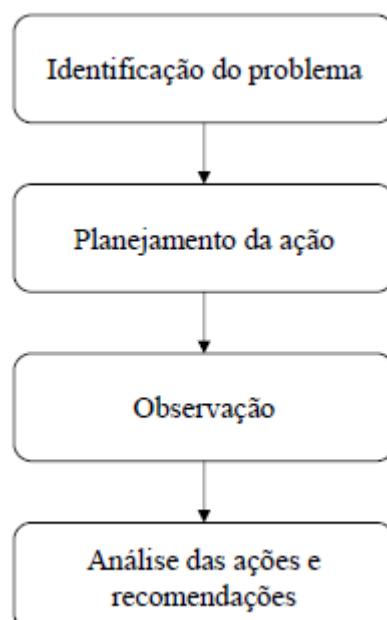
Para enfrentar esses desafios, muitas empresas têm adotado sistemas informatizados de controle de estoques, visando obter resultados precisos e confiáveis. Entretanto, a incerteza nos investimentos, especialmente para metalúrgicas de pequeno porte com recursos limitados, permanece uma incógnita. Esta pesquisa realizou uma pesquisa-ação em uma metalúrgica no interior do estado do Rio Grande do Sul para identificar os motivos pelos quais a informatização no gerenciamento de estoques não tem obtido resultados positivos.

O estudo adota a seguinte estrutura organizacional: o Capítulo 2 detalha a metodologia utilizada, o Capítulo 3 aborda os resultados e discussões, e o Capítulo 4 apresenta as considerações finais.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa empregou a metodologia de pesquisa-ação, caracterizada pela integração de ação prática e investigação científica de maneira colaborativa (Tripp, 2005). Nesta abordagem, pesquisadores e participantes atuam em conjunto, combinando elementos da prática cotidiana com os princípios da pesquisa científica, com o objetivo de resolver problemas concretos enquanto se gera conhecimento teórico. A eficácia da pesquisa-ação é otimizada pela colaboração, uma vez que as ações de um indivíduo isolado impactam toda a organização, tornando essencial a participação conjunta de todos os *stakeholders* no processo investigativo. A Figura 1 apresenta as etapas da pesquisa.

Figura 1 – Metodologia da pesquisa



Identificação do problemaPlanejamento da açãoObservaçãoAnálise das ações e recomendações

O estudo foi conduzido em uma metalúrgica localizada no estado do Rio Grande do Sul, escolhida devido à sua representatividade no setor metalúrgico regional. O objetivo principal foi identificar problemas no gerenciamento de estoque da empresa. Para isso, foram utilizadas técnicas de observação direta dos processos de estoque e análise de documentos internos, como relatórios de estoque e políticas de armazenamento. Além disso, foram confrontadas as ações realizadas no sistema informatizado com a realidade física fabril. Este método possibilitou a análise e proposição de ações que poderiam ser implementadas na rotina operacional da empresa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A metalúrgica estudada produz itens específicos para cada cliente, resultando em estoques volumosos, somente um dos produtos gera mais de 5 mil itens para sua montagem final. A demanda por produtos personalizados frequentemente supera a oferta, relegando o planejamento a uma prioridade secundária. Este cenário destaca uma desestruturação decorrente da expansão de mercados sem o devido planejamento interno, forçando a empresa a acelerar a produção sem a infraestrutura necessária. A falta de qualificação da mão-de-obra, a centralização das decisões e a limitação de pessoal para planejamento foram identificados como os principais fatores contribuintes para esse problema.

A expansão produtiva, impulsionada pela globalização e pela introdução de novas tecnologias, intensificou a necessidade de mudanças internas urgentes. Essa expansão impactou negativamente o horizonte de planejamento estratégico, o plano mestre de produção e a administração de materiais. Como resultado, os níveis de estoque passaram a diferir significativamente dos estoques de segurança e reposição habituais. No entanto, devido ao desalinhamento ou à inexistência de um planejamento adequado, a situação tornou-se preocupante. A combinação da rápida expansão e a falta de planejamento estruturado criou um ambiente onde a produção foi acelerada sem a infraestrutura e suporte necessários.

3.1 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE ESTOQUES

A empresa inicialmente utilizava planilhas do *Microsoft Excel* para o gerenciamento de estoques, migrando para um Sistema Integrado de Gestão Empresarial (*Enterprise Resource Planning - ERP*) em 2004. Esse sistema visava integrar o gerenciamento de materiais com faturamento, recebimento, fiscal e contabilidade, prometendo um dinamismo na produção. Contudo, o *software ERP*, denominado Alfa,

estava em fase de desenvolvimento. O sistema não atendia aos requisitos mínimos, gerando erros nos saldos de peças e conjuntos, resultando na decisão de substituí-lo.

Em 2006, a empresa decidiu trocar para o sistema *Beta*, que só começou a ser usado efetivamente em 2008. Três problemas críticos emergiram:

- I **Falhas de cálculo de impostos:** O sistema apresentava falhas e não permitia novas variáveis em configurações existentes, gerando falta de comunicação com a fornecedora do *software*.
- II **Falta de treinamento:** A equipe não foi adequadamente treinada, resultando em operação lenta e subutilização do sistema.
- III **Aspectos organizacionais:** A cultura de almoxarifado acessível a todos os funcionários resultava em divergências entre o estoque físico e o sistema, agravando os custos devido aos erros no planejamento de materiais (MRP e MRP II).

Em 2010, foi adquirido o sistema *Gama*, implementado em abril de 2011 devido à urgência imposta pela falta de atualizações no sistema *Beta*. Problemas de comunicação com os fornecedores do *software* e a ausência de um sistema de gestão de mudança contribuíram para uma implementação problemática.

3.2 ANÁLISE E RECOMENDAÇÕES

Através da análise da situação atual, do levantamento de dados e da visualização dos pontos críticos, observou-se que a indústria fez investimentos significativos para inserção tecnológica e otimização do gerenciamento de estoque. Os sistemas *Alfa*, *Beta* e *Gama*, amplamente conhecidos no mercado e com alcance mundial, foram contratados com o objetivo de aumentar a competitividade e responder rapidamente às demandas. No entanto, esses sistemas não atenderam às expectativas. Essa situação não ocorreu devido a falhas intrínsecas, mas devido à má gestão de implementação e planejamento inadequado.

A gestão de projetos deveria incluir documentação clara, prazos, metas e objetivos bem definidos. Entretanto, a empresa falhou na gestão da implementação, resultando em um processo desorganizado e repleto de falhas. O planejamento deveria ter analisado os custos do projeto de implementação de *software* e estruturado um horizonte de planejamento com prazos e sub-prazos, além de prever lançamentos financeiros e indicadores de sucesso. A falta de um planejamento sólido resultou em uma implementação ineficaz.

A cultura organizacional, com colaboradores executando múltiplas atividades sem orientação precisa, também contribuiu para o insucesso. A implementação dos sistemas foi feita de forma urgente, sem

a fase de testes piloto. Em alguns momentos, devido à falta de prazos, o sistema recebia a manutenção direto na base de produção, sem que houvesse rodado a base de testes. A falta de funcionários qualificados para analisar e corrigir erros durante os testes, além de problemas na infraestrutura física, dificultou ainda mais a transição.

A integração entre todos os módulos do sistema deve ocorrer antes do início das atividades. No entanto, alguns módulos não estavam integrados mesmo após um ano de uso, causando erros nos custos e atrasos nas informações, com muitos dados sendo inseridos manualmente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As falhas apresentadas na implementação do sistema de gestão de estoque provocaram insucesso no investimento em *softwares* de gestão integrada. A falta de planejamento, gestão de mudança, treinamento adequado e testes piloto foram fatores críticos. Os desajustes nos *layouts* das ordens de produção e a falta de especificações geraram erros nas montagens e nos cálculos de valorização da estrutura final. A insatisfação dos colaboradores e a resistência às mudanças resultaram em atividades manuais e sistemas paralelos. A lógica do sistema só foi percebida após a prática, destacando a importância de um planejamento e implementação bem estruturados.

Em conclusão, a experiência da metalúrgica com a implementação de sistemas de gerenciamento de estoque evidencia a necessidade de uma gestão de projetos robusta, planejamento adequado, treinamento dos colaboradores e testes piloto para garantir a eficácia e eficiência dos investimentos em tecnologia.

REFERÊNCIAS

- AROZO, R. *Monitoramento de desempenho na gestão de estoques*. In: Centro de Estudos em Logística COOPEAD - UFRJ. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.kuehne.com.br/artigos/indicadores.PDF>. Acesso em: 11 jul.2011.
- BREMER, C. F.; LENZA, R. P. *Um modelo de referência para gestão da produção em sistemas de produção Assembly to Order – ATO e suas múltiplas aplicações*. Revista Gestão e Produção v.7, n.3, p.269-282, dez. 2000.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção: MRPII/ERP: Conceitos, uso e implantação*. São Paulo: Atlas, 2010.
- FERROLI, P. C. M; LIBRELOTTO, L. I.; FERROLI, R. H.; FIOD Neto, M. *Discussão conceitual dos possíveis desdobramentos dos processos de fabricação de produtos*. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba. PR, 23 a 25 de outubro de 2002.
- HABERKORN, E. Um bate-papo sobre gestão empresarial com ERP: *Tudo que você gostaria de saber sobre o ERP e a tecnologia da informação, mas fica encabulado de perguntar*. São Paulo: Saraiva, 2007.
- PADILHA, T. C. C.; MARINS, F. A. S. *Sistemas ERP: características, custos e tendências*. Revista Produção. São Paulo, Vol. 15, nº 1, Abr. 2005.
- ROGERS, P.; RIBEIRO, K. C. S.; ROGERS, D. *Avaliando o risco na gestão financeira de estoques*. Anais do VII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais - SIMPOI 2004 - FVG - EAESP
- ROMIO, A. M. *Análise crítica dos investimentos em gestão de estoques*. XI Semana de Engenharia de Produção Sul Americana, Novembro de 2011, RS, Brasil.
- TRIPP, D., 2005. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. Educ. e Pesqui. 31, 443–466. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000300009>
- VERASZTO, E. V.; SILVA, D.; MIRANDA, N. A.; SIMON F. O. *Tecnologia: Buscando uma definição para o conceito*. PRISMA.COM nº7 2008. ISSN: 1646 - 3153

Capítulo 5



10.37423/240709177

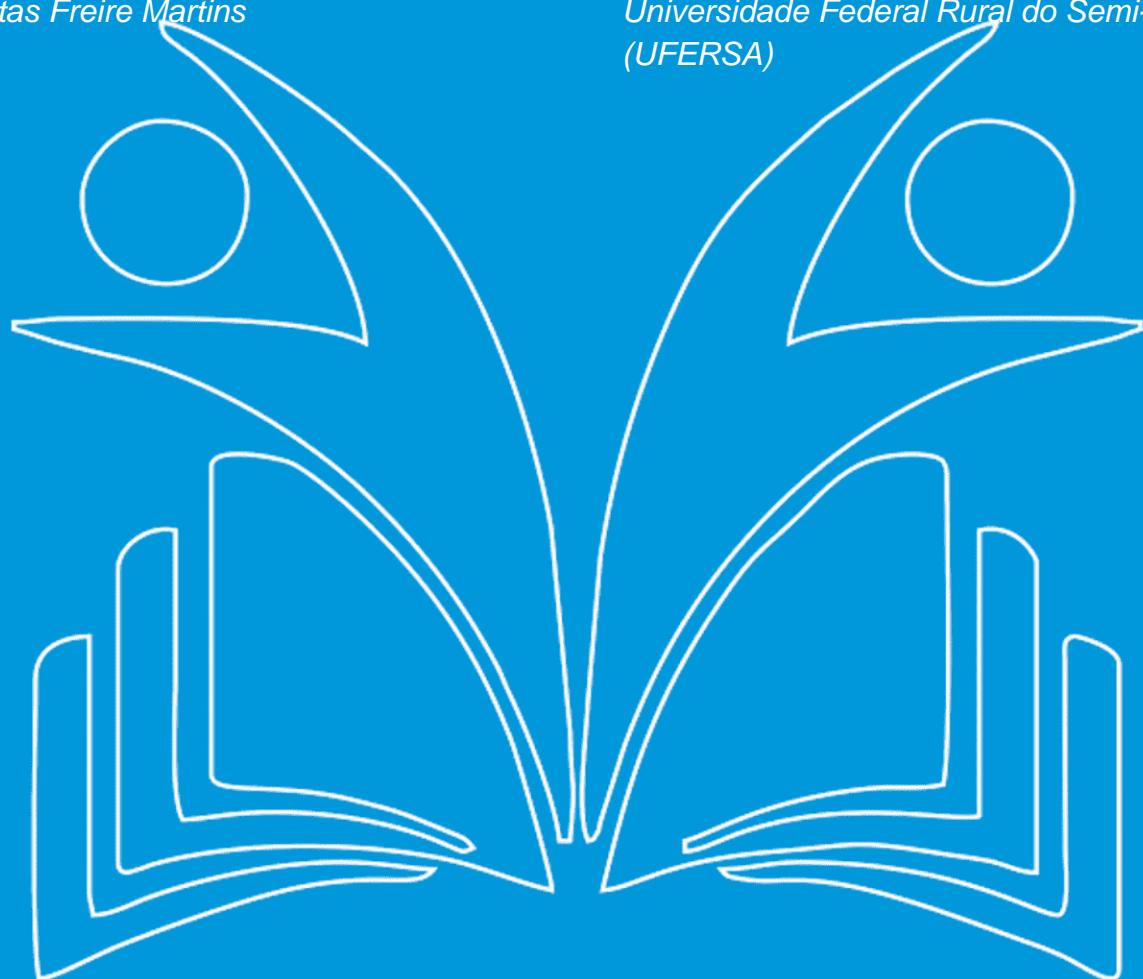
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUAL GERADA A PARTIR DO PROCESSO DE DESTILAÇÃO EM LABORATÓRIOS DA UFERSA CARAÚBAS

Jeandson Matheus da Silva

Daniel Freitas Freire Martins

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA)*

*Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA)*



Resumo: É de conhecimento amplo a importância da água para a subsistência do ser humano, bem como de todo ser vivo. Trata-se de um bem essencial para o homem, bem como às ações que o acompanham. Os que mantêm ou mantiveram contato com a pesquisa científica sabem que a água é um dos solventes mais utilizados em laboratórios, o que atrai um olhar especial para os laboratórios mantidos em universidades no que se refere ao desperdício, bem como a incorreta destinação da água residual gerada. Diante do cenário atual de escassez hídrica no Brasil e no mundo, a presente pesquisa buscou avaliar a qualidade da água gerada no processo de destilação e a viabilidade de seu uso na irrigação. De início, foi realizada a coleta das amostras nos laboratórios de química da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa). Os laboratórios contam com um total de 2 (dois) destiladores, um da marca Quimis e outro da marca Solab Científica; após a coleta, as amostras foram encaminhadas para análise. Foram avaliados 10 (dez) parâmetros, a saber: pH, salinidade, condutividade, cloreto, dureza total, cálcio, magnésio, sódio, potássio e sólidos dissolvidos totais (SDT). Todas as análises seguiram a metodologia prescrita no Standard Methods of APHA. As amostras foram nomeadas da seguinte forma: água de abastecimento (A1), água residual Quimis (A2), água destilada Quimis (A3), água residual Solab (A4) e água destilada Solab (A5). Após as análises foi possível observar que apenas os parâmetros pH e potássio se mostraram um pouco acima do limite tido como ideal para a irrigação, no entanto, isto não configura um impedimento do emprego desta água na irrigação, pois trata-se de uma diferença pequena com relação ao limite considerado ideal.

Palavras-chave: reuso; semiárido; sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

É notório que a água é crucial para a sobrevivência humana, bem como para o desenvolvimento das atividades que acompanham o homem. Além disso, ela desempenha um papel fundamental como a força propulsora que impulsiona o funcionamento do mundo. A utilização indiscriminada da água e a negligência em relação aos resíduos produzidos, tanto pela indústria, quanto pela sociedade, juntamente com o crescimento populacional global e o aumento da demanda econômica, acarretam e continuarão trazendo graves consequências para o planeta.

A disponibilidade hídrica é um fator que traz a mente, além da importância da água, sua limitação no que se refere à quantidade. Sabe-se que essa limitação é descomunal na região semiárida do Nordeste.

No Brasil, as leis que tratam do tema, como a lei nº 9.433 de 1997, regulamentam o gerenciamento dos recursos hídricos no que tange ao seu uso e emprego nas mais diversas áreas. Tratam-se de meios de expor a importância deste recurso para a sociedade, bem como seu correto uso e destinação.

No que se refere ao uso, dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) indicam que no Brasil a água é empregada principalmente na irrigação de lavouras, abastecimento público, atividades industriais, geração de energia, extração mineral, aquicultura, navegação, turismo e lazer (ANA, 2017). Estes diversos meios de emprego interferem na disponibilidade de água. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), 93 trilhões de litros de água são extraídos anualmente de fontes superficiais e subterrâneas para atender aos usos consuntivos múltiplos e setoriais (SINIRH, 2022). O volume de água extraído tende a aumentar cada vez mais, haja visto que estudos indicam um aumento populacional nas próximas décadas. Neste cenário de apreensão, medidas de contingenciamento de consumo de água se fazem necessários.

Sobre o reuso da água, tratam-se de técnicas utilizadas para reaproveitamento e que objetivam, dentre outras coisas, o seu contingenciamento. Deve-se encarar a prática de reutilização da água como um complemento aos diversos métodos que visam a preservação e utilização responsável desse recurso, incluindo a utilização ponderada e eficaz, o controle de perdas e desperdícios, a redução da produção de resíduos líquidos e do consumo. Entre as abordagens de reutilização, destacam-se, conforme indicado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB): a reutilização planejada indireta da água, a reutilização planejada direta da água, a aplicação da água reciclada e a captação da água da chuva (CETESB, 2013).

Dentro do contexto de reutilização, a presente pesquisa realizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa), visou a aplicação da técnica de reuso de água com foco na preservação ambiental, na obtenção de economia financeira, na redução do descarte de efluentes e na salvaguarda da água potável. Do ponto de vista técnico, a pesquisa abordou aspectos como a mensuração do volume de água residual gerado em destiladores presentes nos laboratórios de química e algumas análises físico-químicas relevantes para avaliar a viabilidade do aproveitamento desse resíduo na irrigação. Portanto, o estudo se concentrou na relação entre o consumo e reuso de água, especialmente na Ufersa Caraúbas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DISPONIBILIDADE E FONTES DE ÁGUA

As fontes de água disponíveis para uso humano podem ser categorizadas em duas formas principais: as superficiais, que incluem águas de rios, lagos e canais, e as subterrâneas, provenientes de lençóis subterrâneos. É importante observar que essas fontes mencionadas nem sempre permanecem separadas. A dinâmica natural da água faz com que, em determinados pontos, ela se torne superficial, enquanto em outros trechos de seu percurso, ela se torna subterrânea (Guimarães, Carvalho e Silva, 2007).

Conforme destacado por Guimarães, Carvalho e Silva (2007), devido à sua acessibilidade, as águas superficiais são as mais empregadas para o consumo humano. No entanto, é importante notar que menos de 5% da água doce global está prontamente disponível na superfície, enquanto o restante encontra-se armazenado em reservatórios subterrâneos.

É amplamente reconhecido que a maior parte da superfície terrestre é coberta por água; além disso, é sabido que a maior parte desse recurso não é adequada para o consumo humano. Segundo dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2020), 97,5% da água presente no planeta é salgada. Dos 2,5% de água doce restante, uma parcela significativa é de difícil acesso, distribuindo-se principalmente em geleiras (69%), águas subterrâneas (30%) e rios (1%).

No que diz respeito às águas subterrâneas, os aquíferos desempenham um papel crucial no armazenamento de uma quantidade significativa de água doce. A relevância dos aquíferos é tão marcante que há inúmeros estudos conduzidos anualmente sobre o tema. Um artigo publicado em 2022 na revista "Sociedade & Natureza" investigou a vulnerabilidade à poluição antropogênica no sistema aquífero Dunas/Barreiras, situado na região metropolitana de Natal/RN. Conforme indicado

por Madroñero *et al.* (2022), as características naturais típicas dos aquíferos na região metropolitana de Natal/RN, em sua maioria, certificam uma vulnerabilidade média de 63,48% e um nível alto de 11,75%. O método empregado na pesquisa foi o método GODS, que consiste no cálculo da vulnerabilidade intrínseca do aquífero por meio da avaliação numérica de parâmetros geológicos e hidrológicos, incluindo grau de confinamento hidráulico, ocorrência do substrato subjacente, distância ao nível da água subterrânea e tipo de solo.

Conforme mencionado pelos autores, os corpos de água não se enquadram em uma classificação de vulnerabilidade, uma vez que não são formações geológicas. No entanto, é viável avaliar a qualidade química dessas águas, de modo que a carga poluente exercida será determinada pela ameaça predominante de contaminação dos aquíferos.

As pesquisas supramencionadas têm em comum a busca por meios de mitigação e conservação de água, o que ratifica a importância do tema.

2.2 USOS DE ÁGUA

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) identifica dois tipos principais de utilização da água: consuntivo e não consuntivo. De acordo com a agência, qualquer atividade humana que altere as condições naturais da água é considerada uma forma de uso. O uso consuntivo envolve a retirada da água de seu ambiente e seu direcionamento para fins específicos, como irrigação, manufatura e uso doméstico. Em contraste, o uso não consuntivo refere-se a situações em que a água é aproveitada em seu curso sem ser consumida diretamente, incluindo atividades como lazer, pesca e navegação (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019).

Continuando o assunto sobre a utilização da água, é importante mencionar a quantidade de água que é consumida devido à evaporação nos reservatórios artificiais. Esse consumo, identificado como uso consuntivo pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, torna-se especialmente relevante em situações de escassez de água e crises energéticas (região semiárida). Avaliar esse tipo de uso, como a evaporação, é crucial, especialmente em cenários onde a disponibilidade hídrica é limitada. Essa informação é fundamental, por exemplo, para reconstruir as séries de vazões naturais nas bacias que contêm esses reservatórios (Agência Nacional de Água e Saneamento Básico, 2019).

2.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Dada a relevância dos recursos hídricos, torna-se imprescindível avaliar a qualidade da água por meio de parâmetros estabelecidos pelas normas nacionais. No caso das águas superficiais, a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aborda a classificação dos corpos d'água, diretrizes ambientais para seu enquadramento e condições para o lançamento de efluentes. O documento define tipos de água, como água doce, salina e salobra, com critérios específicos de salinidade. A classificação das águas em diferentes classes, conforme detalhado nas Seções 1, 2 e 3 do documento, orienta a destinação adequada.

No contexto de águas subterrâneas, a Resolução nº 396/2008 do CONAMA estabelece a classificação e diretrizes ambientais para seu enquadramento. Define água subterrânea e aquífero, oferecendo diretrizes detalhadas sobre esses recursos.

Abordando a qualidade da água no Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA) como principal indicador qualitativo. Este índice, calculado com base em diversos parâmetros, avalia a qualidade da água para abastecimento após o tratamento.

Investir em saneamento básico é crucial para mitigar riscos aos ecossistemas e reduzir a exposição da população aos impactos da poluição hídrica. Dados de 2017 indicam a urgência desse investimento, com grande volume de esgoto gerado diariamente, falta de tratamento para 45% da população e apenas 55% com esgotamento sanitário adequado. Minimizar esses impactos é essencial para otimizar o uso da água e promover seu uso sustentável.

2.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA

A análise físico-química desempenha um papel crítico na caracterização da água. Dada a presença de diversos componentes químicos na água, sua qualidade é indicada por meio de parâmetros que revelam suas características distintas. Esses parâmetros abrangem tanto aspectos químicos, quanto físicos. No contexto deste trabalho, os parâmetros físico-químicos em foco incluem pH, condutividade, salinidade, dureza total, cálcio, magnésio, cloreto, sódio, potássio e sólidos dissolvidos totais (SDT).

O guia Standard Methods of APHA (2005) foi utilizado na pesquisa como documento norteador da avaliação das amostras, abordando uma variedade de parâmetros e nutrientes relevantes para a avaliação da qualidade da água.

3. METODOLOGIA

3.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Inicialmente, realizou-se a coleta de amostras de água de abastecimento e dos destiladores presentes nos laboratórios de química da Ufersa, localizados no campus de Caraúbas/RN. Esses destiladores pertencem às marcas Quimis (Figura 1) e Solab (Figura 2). A coleta foi categorizada em cinco classes distintas: água de abastecimento (A1), água residual Quimis (A2), água destilada Quimis (A3), água residual Solab (A4) e água destilada Solab (A5). Após a coleta, as amostras foram submetidas à filtração utilizando papel de filtro quantitativo e em seguida foram transportadas para análise.

Figura 1 – Destiladores utilizados nos laboratórios de química: (A) Destilador Quimis (B) Destilador Solab.



Fonte: Silva (2023).

3.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Em um segundo momento deu-se início as análises físico-químicas das amostras, sendo avaliados os parâmetros tendo-se como guia o Standard Methods of APHA (2005). Os procedimentos de como ocorreram as análises, bem como os devidos cálculos, estão descritos a seguir.

3.2 PH, CONDUTIVIDADE E SALINIDADE

A determinação do pH, condutividade e salinidade foi realizada utilizando uma sonda multiparâmetro da Akso, modelo AK88 – Figura 7, previamente calibrada conforme manual do equipamento utilizando-se soluções padrão.

3.4 DUREZA TOTAL

Foi determinada por titulação complexométrica utilizando solução padrão de EDTA 0,01 mol.L⁻¹. O procedimento para determinação da dureza total, bem como a equação utilizada na determinação da mesma (Equação 1) seguem descritos.

- Transferiu-se 20 mL de amostra para um erlenmeyer, sendo acrescentado 2 mL de trietanolamina 1:4 em seguida;
- Verificou-se o pH da solução, utilizando-se papel indicador;
- Logo após foi acrescentada 10 mL de solução tampão NH₄Cl/NH₄OH;
- Acrescentou-se o indicador negro de Eriocromo T;
- Logo após, iniciou-se a titulação acrescentando-se o EDTA 0,01 mol.L⁻¹;
- Ao se atingir o ponto de viragem, notou-se a mudança de cor da solução de rosa para azul.

$$DT \text{ (mg.L}^{-1}) = \frac{V_{gasto} \text{EDTA} \times f_{CaCO_3} \times 1000}{V_{amostra}} \quad (1)$$

Onde,

DT: Dureza Total;

f_{CaCO_3} : Molaridade do EDTA x MM CaCO₃;

V_{gasto} : Volume gasto de EDTA;

$V_{amostra}$: Volume da amostra (mL).

3.5 CÁLCIO

Foi determinado por titulação complexométrica utilizando como titulante solução padrão de EDTA 0,01 mol.L⁻¹. A Equação 2 utilizada na determinação do cálcio, pode ser verificada logo a seguir.

- Colocou-se o mesmo volume da amostra utilizado na determinação da Dureza Total em um erlenmeyer;
- Acrescentou-se 2 mL de Trietanolamina 1:4;
- Acrescentou-se 3 mL de NaOH 0,2 N;
- Acrescentou-se uma pequena quantidade do indicador calcon;

- Por fim, iniciou-se a titulação acrescentando-se o EDTA 0,01 mol.L⁻¹ até o ponto de viragem.

$$Ca \text{ (mg.L}^{-1}) = \frac{V_{gasto\ EDTA} \times fCa \times 1000}{V_{amostra}} \quad (2)$$

Onde,

Ca: Cálcio;

V_{gasto EDTA}: Volume gasto de EDTA;

f_{Ca}: Molaridade do EDTA x MM do Ca;

V_{amostra}: Volume da amostra.

3.6 MAGNÉSIO

Foi determinado através da diferença do volume gasto de EDTA na análise da dureza total pelo volume gasto de EDTA na determinação do cálcio, sendo calculado sua quantidade em mg.L⁻¹ através da Equação 3.

$$Mg \text{ (mg.L}^{-1}) = \frac{(V_{gasto\ EDTA\ DT} - V_{gasto\ EDTA\ Ca}) \times fMg \times 1000}{V_{amostra}} \quad (3)$$

Onde,

Mg: Magnésio;

V_{gasto EDTA DT}: Volume gasto de EDTA na determinação da Dureza Total;

V_{gasto EDTA Ca}: Volume gasto de EDTA na determinação do Cálcio;

f_{Mg}: Molaridade do EDTA x MM do Magnésio;

V_{amostra}: Volume da amostra em (mL).

3.7 CLORETO

O cloreto foi determinado através de titulação por precipitação, utilizando como titulante solução padrão de nitrato de prata (AgNO₃) 0,1 N, e como indicador uma solução de cromato de potássio (K₂CrO₄). A Equação 4 foi utilizada no cálculo do teor de cloreto.

- Colocou-se 100 mL de água deionizada no erlenmeyer para avolumar;
- Acrescentou-se 10 mL da amostra de água;

- Acrescentou-se 15 gotas do cromato de potássio;
- Iniciou-se a titulação com acréscimo do titulante (AgNO_3 0,1N). O ponto final da titulação foi detectado pelo aparecimento do precipitado de cromato de prata (Ag_2CrO_4) avermelhado (cor de telha).

$$Cl^- = \frac{(V_{gasto} - V_{branco}) \times f_{Cl^-} \times 1000}{V_{amostra}} \quad (4)$$

Onde,

Cl^- : Teor de Cloreto;

V_{gasto} : Volume gasto de AgNO_3 na titulação da amostra;

V_{branco} : Volume do branco em (mL);

f_{Cl^-} : Normalidade AgNO_3 x Eq Cl^- ;

$V_{amostra}$: Volume da amostra (mL).

3.8 SÓDIO E POTÁSSIO

Os teores de sódio e potássio foram determinados através da fotometria de chama, utilizando um fotômetro de chama previamente calibrado com solução padrão de Na e K nas concentrações de 140 mmol.L^{-1} e 5 mmol.L^{-1} , respectivamente.

3.9 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS

Foram determinados por gravimetria utilizando uma balança analítica e estufa para evaporação completa da água a 105°C.

- De início, foram lavados os cadinhos;
- Em seguida os cadinhos foram aquecidos em uma mufla à temperatura de 600° C por 2 horas;
- Os cadinhos foram resfriados na própria mufla até 100° C e em seguida foram transferidos para o dessecador que continha sílica gel para que fossem resfriados até obterem temperatura ambiente (sem contato com a atmosfera externa);
- Pesou-se os cadinhos em uma balança analítica obtendo-se a massa do cadinho vazio (M_c);
- Transferiu-se 50 mL de água que seria analisada para o cadinho;

- Transferiu-se os cadinhos para a estufa com o auxílio de uma pinça, onde se manteve a uma temperatura de 105° C até a completa evaporação do líquido (o que levou aproximadamente 12 horas);
- Em seguida, transferiu-se os cadinhos com o uso de uma pinça para o dessecador, onde permaneceram até atingir a temperatura ambiente (sem contato com o ar);
- Pesou-se na mesma balança citada anteriormente obtendo-se a massa final do cadinho (M_f) após a evaporação da água a 105° C;
- A Equação 5 foi utilizada na determinação dos sólidos dissolvidos totais.

$$SDT = (M_f - M_c) \times 20 \quad (5)$$

Onde,

SDT: Sólidos Dissolvidos Totais;

M_f : Massa final;

M_c : Massa do cadinho vazio.

3.10 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e posteriormente o teste de Tukey – a um nível de 5 % de significância, através do programa OriginPro 2018, para a diferenciação das médias obtidas nas análises.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das análises feitas durante a pesquisa. A discussão será dividida em duas etapas: inicialmente, os resultados de cada parâmetro serão analisados em relação a cada amostra; posteriormente, haverá uma comparação com os dados da literatura, visando avaliar a viabilidade do uso de água residual para irrigação.

Para iniciar a parte experimental, foram coletadas amostras de água - Figura 3, nos laboratórios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA (Campus Caraúbas). O objetivo era obter amostras para a caracterização físico-química e determinação do volume de água residual gerado no processo de destilação. Os laboratórios da Universidade estão equipados com dois destiladores: o destilador da marca Quimis, modelo Q341-25, e o destilador da marca Solabcientífica, modelo SL-71/10. Após a

coleta das amostras, deu-se início à caracterização físico-química, seguindo as orientações do manual Standard Methods of APHA (2005).

Os volumes de água residuais produzidos a cada 100 mL de água destilada também foram determinados e podem ser verificados na Tabela 1.

Figura 3 - Amostras de água coletadas.



Fonte: Silva (2023).

Tabela 1 - Volumes mensurados de água destilada e residual.

Destilador	Volume de água destilada (mL)	Volume de água residual (mL)
Quimis	100	1226,70 ± 7,60
Solab	100	2548,00 ± 46,00

Fonte: Autoria própria (2024).

Ao analisar os dados da Tabela 1, nota-se que a quantidade de água residual gerada pelo destilador da marca Solab é significativamente superior à do destilador da marca Quimis. Conforme informações fornecidas por Quimis (2021), o destilador modelo Q341-25 possui uma produção de 5 L/h e consome aproximadamente 200 L/h. Já de acordo com Solabcientífica (2022), o destilador modelo SL-71/10 tem uma produção de 10 L/h e um consumo de 100 L/h.

Ao confrontar esses dados com os resultados da pesquisa, observa-se que o destilador Solab produziu um volume de água residual maior do que o especificado pelo fabricante. Uma possível razão para esse aumento pode ser a falta de manutenção do destilador, pois é sabido que a ausência de manutenção pode levar à formação de incrustações no interior do aparelho, impactando negativamente em seu desempenho.

Um estudo conduzido na Universidade Federal Fluminense (UFF), semelhante ao presente trabalho, examinou a otimização do tratamento da água residual proveniente de laboratórios e concluiu que a

falta de manutenção dos destiladores afeta significativamente seu desempenho. Conforme observado por Moraes e Moraes (2015), a eficiência dos destiladores pode ser incrementada em até 18% por meio de manutenção regular. As autoras destacaram que a eliminação de incrustações resultou em um aquecimento mais eficiente da água no sistema, pois a remoção das obstruções permitiu um contato direto aprimorado com a serpentina, resultando em uma evaporação mais eficaz.

A análise das autoras evidencia que a presença de incrustações no destilador prejudica seu desempenho, impactando diretamente nos parâmetros da água residual gerada. Atualmente, todo o resíduo líquido dos laboratórios da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Campus Caraúbas, é descartado no esgoto, resultando em um desperdício considerável de água. Isso reforça a relevância deste estudo na perspectiva da conservação e correta destinação da água residual na região semiárida.

Os resultados das análises dos parâmetros como pH, condutividade, salinidade, cloreto, dureza total, cálcio, magnésio, sódio, potássio e sólidos dissolvidos totais estão apresentados na Tabela 2. De maneira geral, ao examinar os dados, observa-se que a água residual do destilador Quimis exibiu concentrações semelhantes à água de abastecimento, enquanto a água residual do destilador Solab demonstrou níveis ligeiramente elevados na maioria dos parâmetros avaliados incluindo pH, salinidade, condutividade, cloreto, dureza total, cálcio, sódio, potássio e sólidos dissolvidos totais, quando comparada ao destilador Quimis. Essa discrepância pode ser atribuída à possível falta de manutenção do destilador, resultando no acúmulo de sais na forma de incrustações, que são dissolvidos durante o aquecimento, elevando assim a concentração salina.

Quanto à água destilada, os resultados revelaram níveis extremamente baixos da maioria dos parâmetros, conforme esperado, devido ao próprio processo de destilação. Neste processo, a água é aquecida até atingir a ebulação completa (100°C), onde é condensada, eliminando os sais que requerem temperaturas mais elevadas de ebulação. Esses sais são descartados junto com a água residual, resultando em uma água destilada com teor reduzido de sais e uma água residual com teor de sais mais elevado. Isso se reflete nas concentrações observadas.

Tabela 2 - Análises físico-químicas das amostras de água.

Parâmetros	A1	A2	A3	A4	A5
pH	8,60±0,04 a*	8,41±0,05 ab	8,37±0,22 ab	8,66±0,09 a	7,78±0,58 b
Salinidade (ppt)	0,27±0,01 a	0,27±0,00 a	0,01±0,00 b	0,47 ±0,00 c	0,01±0,00 b
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	513,33±1,16 a	508,33±3,06 b	2,07±0,06 c	872,00±1,53 d	3,70±0,17 c
Cloreto (mg.L^{-1})	2,98±0,27 a	3,13±0,27 a	0,00±0,00 b	6,27 ±0,27 c	0,00±0,00 b

Dureza total (mg.L ⁻¹)	231,60±9,01 a	275,84±4,51 b	0,00±0,00 c	359,11± 7,81 d	0,00±0,00 c
Cálcio (mg.L ⁻¹)	78,15±3,13 a	76,07±6,51 a	0,00±0,00 b	116,71 ±1,81 c	0,00±0,00 b
Magnésio (mg.L ⁻¹)	8,85±1,10 a	18,96±0,00 b	0,00±0,00 c	16,43± 2,19 b	0,00±0,00 c
Sódio (mg.L ⁻¹)	337,19±13,27 a	367,84±0,00 b	0,00±0,00 c	666,71± 0,00 d	0,00,00±0 c
Potássio (mg.L ⁻¹)	178,75±2,26 b	170,73±2,26 a	0,00±0,00 c	390,98±0,00 d	0,00±0,00 c
SDT (mg.L ⁻¹)	379,00±4,24 a	433,00±4,24 a	37,00±4,24 b	719,00±69,30 c	45,00±1,41 b

SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; A1: Água de Abastecimento; A2: Água Residual Quimis; A3: Água Destilada Quimis; A4: Água Residual Solab; A5: Água Destilada Solab.

* Os resultados de cada parâmetro que apresentam letras iguais não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

A seguir, serão apresentados os dados relativos a cada parâmetro quantificado nas amostras de água, seguido por uma comparação com a literatura. O objetivo é avaliar a viabilidade do uso da água residual na irrigação.

4.1 PH

No decorrer das análises, observou-se que os valores de pH de todas as amostras apresentaram padrões semelhantes, com apenas a amostra (A5) - água destilada do destilador Solab, registrando o menor valor. Porém, considerando o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, há diferença desta amostra apenas quando comparada com as amostras A1 e A4.

Conforme apontado por Marisco et al. (2014), em um estudo sobre o reuso de efluentes de destiladores, o pH médio nos efluentes analisados foi de 7,6, resultado este que é inferior aos obtidos para as águas residuais de ambos os destiladores considerados no presente trabalho. Essa diferença se deve, provavelmente, devido a composição da própria água de abastecimento ser diferente, bem como a realização ou não de manutenções nos equipamentos considerados.

Já o estudo de Medeiros, Stork e Volpatto (2017) revelou médias de 7,87, 8,01 e 8,11 para o pH da água nos três laboratórios utilizados na pesquisa. Em comparação com o presente trabalho, verifica-se que as médias obtidas pelos autores se assemelham mais às médias obtidas nesta pesquisa.

De acordo com Ayers e Westcot (1994), o pH da água deve estar no intervalo de 6 a 8,5 para ser considerado ideal para irrigação. Ao avaliar os resultados obtidos considerando as águas residuais, nota-se que a amostra A4 está ligeiramente acima do recomendado. No entanto, essa pequena

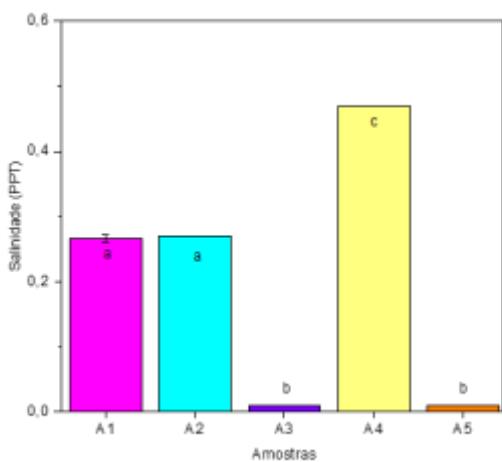
variação não inviabiliza o uso da água, pois pode ser atribuída ao erro experimental associado à medida.

4.2 SALINIDADE

Ao examinar as amostras com base no parâmetro da salinidade – Figura 4, observa-se que as amostras de água de abastecimento (A1) e água residual Quimis (A2) são estatisticamente equivalentes de acordo com o teste de Tukey. Por outro lado, as amostras de água destilada dos destiladores Quimis (A3) e Solab (A5) exibiram valores baixos, resultado da remoção de sais durante o processo de purificação da água. No caso da amostra de água residual Solab (A4), mais uma vez, seus valores superaram os das demais amostras, possivelmente devido à falta de manutenção do destilador, conforme explicado anteriormente.

Um artigo publicado por Sousa et al. (2022) buscou avaliar a qualidade da água de descarte dos destiladores nos laboratórios da Universidade de Gurupi (UNIRG) por meio de análises físico-químicas, incluindo o parâmetro de salinidade. As amostras analisadas incluíram águas de abastecimento e de descarte (residual). Segundo os autores, a salinidade foi registrada em 0,03 ppt para a água de abastecimento e para a água residual gerada no processo de destilação. Ao analisar os dados, observa-se que as amostras (A1), (A2) e (A4) demonstraram salinidades superiores às apresentadas pelo autor do referido estudo.

Figura 4 - Valores médios da Salinidade.



Colunas com letras iguais não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

4.3 CONDUTIVIDADE

A variação na condutividade, seguiu a seguinte tendência: a amostra 2 (A2), proveniente da água rejeitada pelo destilador Quimis, mostrou-se semelhante à amostra de água de abastecimento (A1), mas com diferenças estatisticamente significantes a um nível de 5% de significância, conforme indicado pelo teste de Tukey. A proximidade nos valores entre essas amostras pode ser atribuída à semelhança na concentração de sais presentes na água, uma vez que a condutividade elétrica está diretamente relacionada à presença de íons, predominantemente sais dissolvidos.

As águas destiladas dos destiladores Quimis (A3) e Solab (A5) apresentaram valores baixos, como era esperado devido ao processo de destilação, que remove sais da água. No entanto, o destilador Solab destacou-se com um valor significativamente elevado de $872,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$ na água residual (A4), possivelmente devido à falta de manutenção, resultando em incrustações de sais que podem ter se solubilizado durante o aquecimento, provocando um aumento substancial na concentração de sais na água residual.

Um estudo conduzido por Simões et al. (2020) avaliou a qualidade da água de resfriamento dos destiladores nos laboratórios do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Esse estudo analisou parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água descartada pelos destiladores nos laboratórios de Química (LAQAM) e Engenharia Ambiental e Sanitária (LEAS). Entre esses parâmetros, a condutividade foi avaliada, resultando em médias de $11,7 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para o LAQAM e $10,0 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para o LEAS. Em comparação, os resultados da presente pesquisa para a condutividade foram de $508,33 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para a amostra (A2) da água residual Quimis e $872,00 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para a amostra (A4) da água residual Solab. Nota-se que as amostras (A2) e (A4) excederam significativamente os valores encontrados no estudo de Simões et al. (2020).

Conforme mencionado por Ayers e Westcot (1994), a qualidade da água para irrigação, em termos de condutividade, é considerada adequada quando está na faixa de 0 a 3 dS.m^{-1} . Ao converter essa unidade para $\mu\text{S.cm}^{-1}$, a unidade utilizada nesta pesquisa, o limite estabelecido é de $3000 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Nesse contexto, os valores de condutividade da água residual de ambos os destiladores estão dentro da faixa considerada aceitável.

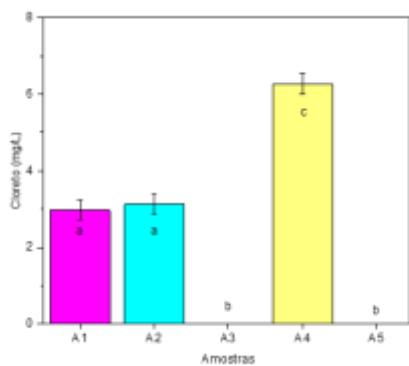
4.4 CLORETO

Os resultados referentes ao cloreto – Figura 5, demonstraram o seguinte padrão: as amostras de água de abastecimento (A1) e residual Quimis (A2) são estatisticamente equivalentes ao nível de significância de 5%. Por outro lado, as amostras de água destilada dos destiladores Quimis (A3) e Solab (A5), apresentaram um teor de cloreto igual a zero, devido à eliminação de sais durante o processo de destilação, incluindo o íon cloreto. Quanto à amostra (A4) residual Solab, mais uma vez, assim como no parâmetro condutividade, destacou-se em relação às outras amostras. Isso possivelmente se deve à falta de manutenção do destilador, o que criou uma camada de incrustação no equipamento que, ao se dissolver, foi descartada juntamente com a água residual.

Na pesquisa de Pinheiro (2017), foram apresentados valores relativos ao parâmetro cloreto. Segundo o autor, esse parâmetro obteve uma média de $4,4 \text{ mmolc.L}^{-1}$, que, ao ser convertida para a unidade utilizada neste estudo (mg.L^{-1}), resulta no valor de $155,99 \text{ mg.L}^{-1}$. As médias obtidas para as amostras (A2) da água residual Quimis e (A4) da água destilada Solab foram de $3,13 \text{ mg.L}^{-1}$ e $6,27 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente.

Ao comparar a média apresentada pelo autor com os resultados desta pesquisa, observa-se que a média do autor ficou consideravelmente acima das médias obtidas neste estudo. Ayers e Westcot (1994) afirmam que, para estar em uma escala considerada leve/moderada, o parâmetro cloreto deve estar dentro de uma faixa que varia de 0 a 30 meq.L^{-1} . Convertendo o limite máximo (30) de meq.L^{-1} para mg.L^{-1} , o limite máximo para o cloreto passa a ser $1.063,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Diante disso, todas as amostras residuais encontram-se abaixo do limite estabelecido.

Figura 5 - Valores médios do Cloreto.



Colunas com letras iguais não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

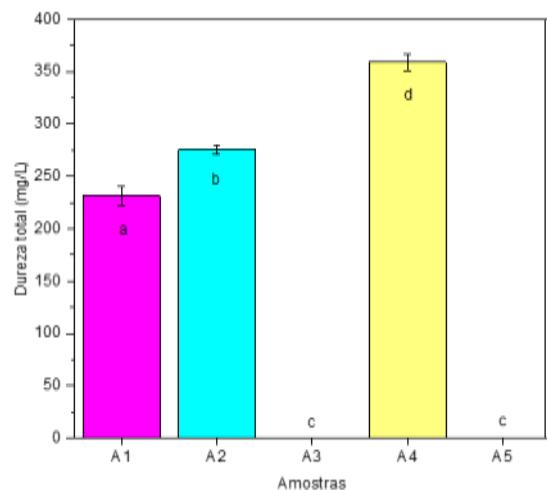
4.5 DUREZA TOTAL, CÁLCIO E MAGNÉSIO

Os parâmetros mencionados anteriormente demonstraram o seguinte padrão: a dureza – Figura 6, apresentou valores próximos, mas estatisticamente diferentes a um nível de significância de 5%, nas amostras de água de abastecimento (A1) e residual Quimis (A2). As amostras de água destilada dos destiladores Quimis (A3) e Solab (A5), registraram valor zero. Uma explicação para esse comportamento da água destilada, de ambos os destiladores, está relacionada à remoção dos sais de cálcio e magnésio durante o processo de destilação. Em contrapartida, a amostra (A4) água residual do destilador Solab, conforme antecipado pelas análises até o momento, apresentou-se superior às demais amostras.

Conforme Novais e Queiroz (2022), os valores padrão para a dureza são os seguintes: < 75 (mole), 75–150 (moderada), 150–300 (dura) e > 12300 (muito alta), com a unidade em mg.L⁻¹. Ao comparar os valores obtidos nesta pesquisa com os fornecidos pelo autor, nota-se que tanto a água de abastecimento quanto as amostras da água residuais se enquadram na categoria dura.

Conforme Ayers e Westcot (1994), no contexto da aplicação da água para irrigação, os valores ideais para a espécie cálcio devem seguir a seguinte faixa: o cálcio deve estar no intervalo de 0 a 20 meq.L⁻¹. Ao converter o limite máximo de 20 meq.L⁻¹ para mg.L⁻¹ (unidade utilizada nesta pesquisa), obtém-se o valor de 400,78 mg.L⁻¹. Com base nessas diretrizes, pode-se inferir que todas as amostras estão dentro do limite considerado ideal pelos autores.

Ainda segundo Ayers e Westcot (1994), os níveis ideais para o parâmetro magnésio devem estar dentro da faixa de 0 a 5 meq.L⁻¹. Ao converter o limite máximo, que é 5 meq.L⁻¹, para mg.L⁻¹, obtém-se o valor de 60,76 mg.L⁻¹. Essa conversão sugere que o teor de magnésio também está dentro da faixa considerada normal de acordo com os critérios estabelecidos pelos autores.

Figura 6 - Valores médios da Dureza Total.

Colunas com letras iguais não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

4.6 SÓDIO

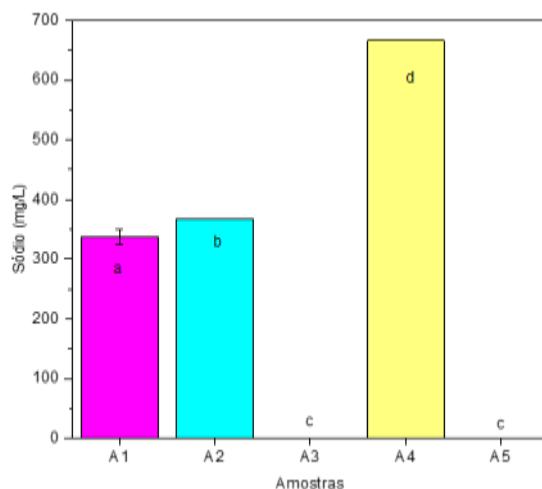
As análises do teor de sódio – Figura 7, seguiram padrão semelhante aos parâmetros previamente discutidos, onde as amostras de água de abastecimento (A1) e residuais Quimis (A2) apresentaram semelhanças, mas diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% de significância, conforme indicado pelo teste de Tukey. As amostras de água destilada dos destiladores Quimis (A3) e Solab (A5), devido ao processo de destilação, apresentaram uma média de 0,00 (zero), como era esperado, enquanto a amostra residual Solab (A4) mais uma vez mostrou-se superior às demais amostras. Para evitar repetições, as explicações sobre os resultados do sódio serão resumidas apenas ao fato de que são as mesmas explicações dos parâmetros anteriores.

Pinheiro (2017) incluiu o sódio entre os parâmetros avaliados em sua pesquisa. Segundo o autor, o teor de sódio obteve uma média de $5,94 \text{ mmolc.L}^{-1}$ nas análises. Ao converter essa unidade para mg.L^{-1} (unidade utilizada neste estudo) obtemos o valor de $136,50 \text{ mg.L}^{-1}$.

As médias obtidas nesta pesquisa para o parâmetro de sódio foram de $367,84 \text{ mg.L}^{-1}$ para a amostra (A2) - água residual Quimis e $666,71 \text{ mg.L}^{-1}$ para a amostra (A4) - água residual Solab. Ao comparar essas médias com a média de Pinheiro (2017), observa-se que as amostras (A2) e (A4) ficaram acima da média apresentada pelo autor, destacando-se especialmente a amostra (A4).

O intervalo de classe estabelecido por Ayers e Westcot (1994) para o parâmetro sódio, quando do seu emprego na irrigação, estar entre 0 e 40 meq.L⁻¹. Convertendo o limite máximo de 40 meq.L⁻¹ para mg.L⁻¹, obtém-se um limite máximo de 919,6 mg.L⁻¹. Diante disso, observa-se que as amostras de águas residuais de ambos os destiladores estão dentro do limite máximo estabelecido.

Figura 7 - Valores médios do Sódio.



Colunas com letras iguais não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2024).

4.7 Potássio

Nas análises realizadas, os níveis de potássio se apresentaram da seguinte forma: a amostra (A1) água de abastecimento, registrou uma média de 178,55 mg.L⁻¹; a amostra (A2) água residual Quimis, obteve uma média de 170,73 mg.L⁻¹; a amostra (A3) água destilada Quimis, apresentou uma média de 0,00 mg.L⁻¹; a amostra (A4) água residual Solab, alcançou uma média de 390,98 mg.L⁻¹ e a amostra (A5) água destilada Solab, obteve uma média de 0,00 mg.L⁻¹.

No que diz respeito ao potássio, Ayers e Westcot (1994) estabelecem que, no contexto da avaliação desse parâmetro para a irrigação, os níveis da espécie devem estar dentro da faixa de 0 a 2 mg.L⁻¹ para serem considerados leves/moderados.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que, para utilização na irrigação, seria necessário realizar um tratamento visando a redução dos níveis de potássio. Uma abordagem possível seria a adição de água com baixo teor de sais, promovendo a diluição da espécie.

4.8 Sólidos Dissolvidos Totais

Ao avaliar os sólidos dissolvidos totais (SDT), observamos que as amostras de águas residuais provenientes dos destiladores apresentaram valores elevados em comparação com as demais amostras, destacando-se a amostra (A4) com o maior valor registrado ($719,0 \text{ mg.L}^{-1}$). A amostra (A1) registrou uma média de $379,00 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto a amostra (A2) apresentou $433,00 \text{ mg.L}^{-1}$. As amostras restantes, (A3) e (A5), exibiram valores bastante próximos, sendo $37,00 \text{ mg.L}^{-1}$ e $45,00 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente, nas amostras de água destilada Quimis e Solab.

Um estudo publicado na revista CIATEC – UPF, intitulado "Reúso de efluentes provenientes de aparelhos destiladores", avaliou os equipamentos que geram efluentes, como destiladores de laboratórios, e realizou a caracterização físico-química das águas residuais. De acordo com Marisco et al. (2014), em suas análises, os sólidos dissolvidos totais obtiveram uma média de $107,00 \text{ mg.L}^{-1}$.

Os resultados da presente pesquisa para o parâmetro sólidos dissolvidos totais foram os seguintes: a amostra da água residual Quimis (A2) apresentou uma média de $433,00 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto a amostra de água residual Solab (A4) registrou uma média de $719,00 \text{ mg.L}^{-1}$. Ao comparar esses valores com os dados fornecidos por Marisco et al. (2014), observa-se que as amostras (A2) e (A4) ficaram acima da média apresentada pelo autor.

Simões et al. (2020) apresentaram em seu trabalho a média dos sólidos dissolvidos totais provenientes da análise da água de resfriamento descartada do Laboratório de Química – LAQAM e do Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária – LEAS, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Segundo o autor, a média obtida foi de $95,5 \text{ mg.L}^{-1}$ para o LAQAM e $108,2 \text{ mg.L}^{-1}$ para o LEAS. Ao comparar os resultados desta pesquisa com os dados obtidos por Simões et al. (2020), observa-se que as amostras (A2) e (A4) ficaram consideravelmente acima.

Conforme Ayers e Westcot (1994), o limite máximo para irrigação, no que se refere aos sólidos dissolvidos totais (SDT), é de 2000 mg.L^{-1} . Ao comparar esses valores, constata-se que todas as amostras estão dentro do limite considerado ideal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises realizadas e dos resultados obtidos, foi observado que as amostras de água destilada (A3) e (A5), como era esperado devido ao processo de destilação/purificação, apresentaram índices mínimos em quase todos os comparativos. No entanto, dado o enfoque do trabalho na reutilização da água residual, que busca a destinação apropriada dessa água descartada inadequadamente no esgoto, os dados que demandam maior atenção são os relativos às águas residuais (A2) e (A4).

Com relação a essas águas residuais, observou-se que, em praticamente todas as análises, os parâmetros avaliados permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela literatura. Isso é altamente positivo, pois indica que essa água residual gerada pode ser utilizada na irrigação.

Adicionalmente, notou-se que a falta de manutenção do destilador Solab modelo SL-71/10 impactou negativamente em seu desempenho, resultando em um aumento exponencial nos índices referentes ao destilador. Esse fato fez com que a amostra da água residual do destilador Solab (A4) se destacasse dos demais parâmetros na maioria das análises.

Durante as análises, verificou-se que o pH da amostra da água residual do destilador Solab (A4) obteve uma média acima do limite considerado ideal por Ayers e Westcot (1994). Além disso, observou-se que o potássio apresentou uma média de 170 mg.L⁻¹ para a amostra (A2) e 390 mg.L⁻¹ para a amostra (A4), o que o classifica fora do intervalo considerado ideal para irrigação.

Concluiu-se então que os parâmetros pH e potássio, necessitam de ajustes para evitar problemas futuros relacionados ao desenvolvimento das plantas e à salinização do solo. Esses ajustes podem envolver a mistura da água residual com uma água de maior pureza, diluindo os sais presentes e aumentando a eficácia da água em sua destinação. É importante ressaltar que o fato destes parâmetros terem excedido os limites estabelecidos pela literatura não configura, neste caso, um impedimento para o uso da água residual na irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. Washington: APHA. 2005.

(ANA), Agência Nacional de Água e Saneamento Básico. ATLAS ESGOTOS: despoluição das bacias hidrográficas. Despoluição das bacias hidrográficas. 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br> Acesso em: 14 dez. 2022.

BRASÍLIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Água no mundo: situação da água no mundo. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo> Acesso em: 07 dez. 2022.

(ANA), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Manual de usos consuntivos de água no Brasil. 2019. Disponível em: file:///C:/Users/mathe/Downloads/ANA_Manual_de_Usos_Consuntivos_da_Agua_no_Brasil.pdf. Acesso em: 16 dez. 2022.

BRASIL. Constituição (1988). Lei nº 9.433, de 1997. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Brasília, DF, 1997.

BRASIL. Resolução nº 053, de 2005. Resolução N° 357, de 17 de Março de 2005: Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, pág. 58-63. v. 27, n. 053, p. 1-27.

BRASIL. Resolução nº 396, de 2008. Resolução Conama N° 396. Brasília, DF: Dou N° 66, 03 abr. 2008. Seção 1, p. 64-68.

(CETESB), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Reuso de água: águas interiores. Águas Interiores. 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/informacoes-basicas/tipos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 20 dez. 2022

GUIMARÃES; CARVALHO e SILVA. Saneamento básico. Disponível em: Microsoft Word - Cap 1.doc (ufrrj.br). Acesso em: 18 out. 2023.

MADROÑERO, Felix David Rivera; OLIVEIRA, Felipe Silva; SOUZA, Raquel Franco; NAVONI, Júlio Alejandro. Vulnerabilidade à Poluição Antropogênica no Sistema Aquífero Dunas/Barreiras da Região Metropolitana de Natal. Sociedade & Natureza, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 1-15, 2 jun. 2022. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v34-2022-63867>. Disponível em: <https://www.periodicosdeminas.ufmg.br/periodicos/revista-sociedade-natureza/>. Acesso em: 02 fev. 2023.

MARISCO, Lenisa Veiga; FERNANDES, Vera Cartana; CAVAGNI, Marcos Vinicius; FERNANDES, Luiza Cartana; FERNANDES, Júlia Cartana. Reúso de efluentes provenientes de aparelhos destiladores. Ciatec – UFP, [s. l], p. 1-11, 22 set. 2014.

MEDEIROS, Raphael Corrêa; STORCK, William Rosso; VOLPATTO, Fernanda. Gestão da água de descarte de destiladores de água em laboratórios de um IES. In: 8 CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, ., 2017, Campo Grande/Ms. Anais [...]. Campo Grande/MS: Ibeas - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2017. p. 1-4.

MORAES, Alanna Silveira de; MORAES, Anelize de Oliveira. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR: estudo de caso do sistema de destilação da escola de engenharia da uff. 2015. 77 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, 2015.

NOVAIS, Cleidiane Moraes; QUEIROZ, Tadeu Miranda de. Caracterização físicoquímica dos 5 primeiros milímetros da precipitação obtida de um amostrador para uso na irrigação da agricultura urbana em Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, [S.L.], v. 27, n. 5, p. 957-966, out. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220210165>.

PINHEIRO, Mariana Kummer da Rocha. Proposição de um sistema de purificação de água para fim laboratorial, visando uso mais eficiente de água e energia. 2017. 80 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, De - Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2017.

QUIMIS. Destilador de Água tipo Pilsen - Q341. 2021. Disponível em: <https://www.quimis.com.br/produtos/detalhes/destilador-de-agua-tipo-pilsen>. Acesso em: 12 set. 2023.

SIMÕES, Francisca Adriana Fernandes; FREITAS, Cley Anderson Silva de; FEITOSA, Robson Gonçalves Fechine; COSTA, Yannice Tatiane dos Santos; Laisa Daiana Alcântara; PINHO, Camilla de Oliveira; SILVA, Maria Lucilene Queiroz da; SANTOS, Suélho Pereira dos. Potencial de reuso das águas de resfriamento de destiladores laboratoriais. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (Gesta), Juazeiro do Norte/Ce, v. 8, p. 1-14, 29 abr. 2020.

(SNIRH), Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Boletim do SNIRH: panorama dos usos de água no Brasil. PANORAMA DOS USOS DE ÁGUA NO BRASIL. 2022. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/files/5146c9ec-5589-4af1-bd64-d34848f484fd/ANA_Boletim-SNIRH_1a-Ed_Web.pdf Acesso em: 14 dez. 2022.

SOLABCIENTIFICA. Destiladores de Água Tipo Pilsen 5 e 10 litrosor de Água tipo Pilsen - Q341. 2022. Disponível em: www.solabcientifica.com.br. Acesso em: 12 set. 2023.

SILVA, Jeandson Matheus da. Determinação da qualidade da água de rejeito proveniente do processo de destilação: estudo de caso da Ufersa campus Caraúbas. 2023. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa), Caraúbas/Rn, 2023.

WESTCOT, D.W.; AYERS, R.S. Water quality for agriculture. 1994. Disponível em: <https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm>. Acesso em: 03 ago. 2023.

Capítulo 6



10.37423/240709180

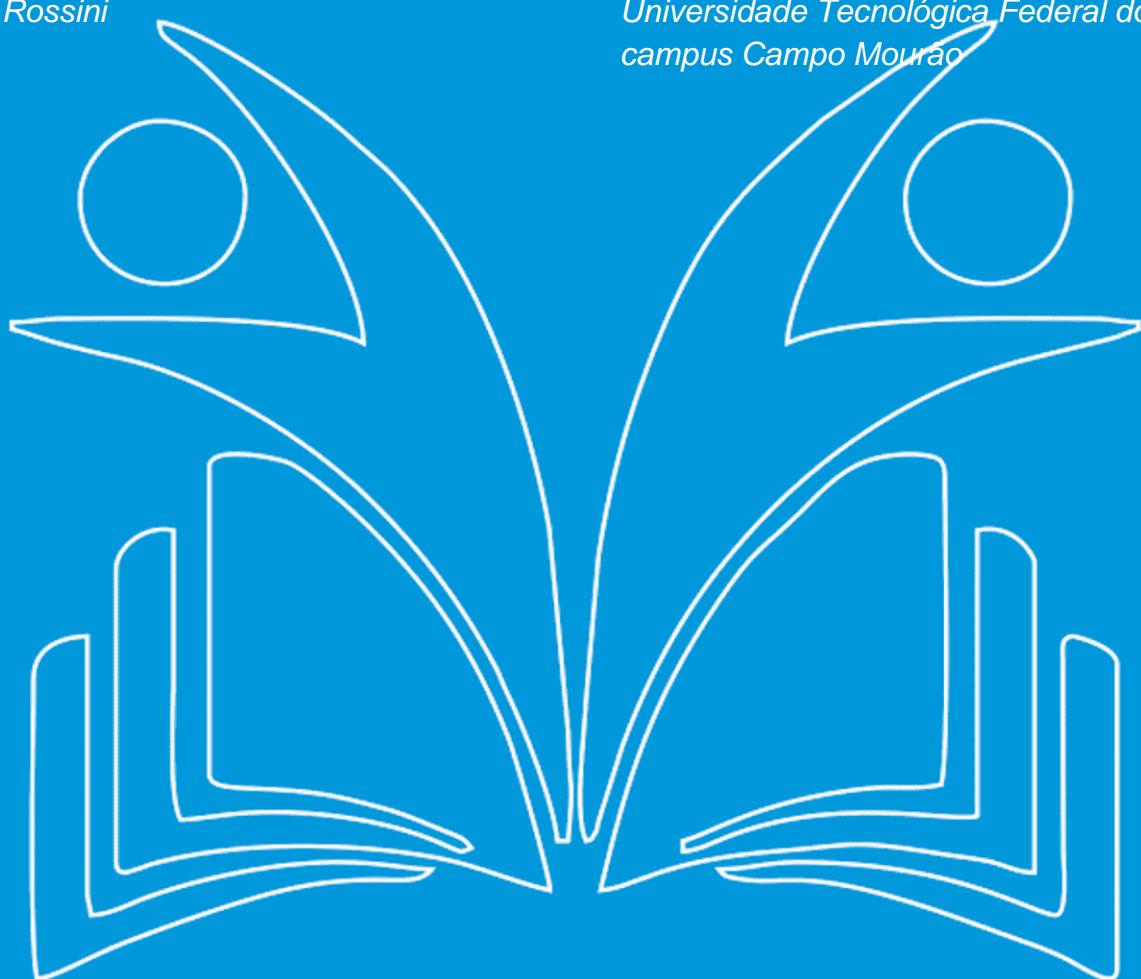
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO CONTROLE NÃO LINEAR E VARIANTE NO TEMPO APLICADO À DINÂMICA DO MULTIFUNCIONAL T3-401S SYNTHIS ROBÔ SCARA, FABRICANTE EPSON

Gabriele Vilas Boas Takano

Flávio Luiz Rossini

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão



Resumo: É evidente que o aumento do uso da robótica em diversos segmentos industriais em todo o mundo é uma busca por cada vez mais eficiência, economia e precisão nos processos produtivos. Dessa forma, o presente artigo propõe a modelagem e a simulação do controle não linear e variante no tempo aplicado à dinâmica do Robô Multifuncional (SCARA - *Selective Compliance Assembly Robot Arm*) T3-401S *Synthis* da fabricante Epson, largamente utilizado para a automação em ambientes industriais. Primeiramente, desenvolveu-se a cinemática direta seguida da geração de trajetória e dinâmica do manipulador. Por fim, implementou-se a etapa essencial para garantir movimentos precisos e suaves ao robô através da lei de controle particionado, para cancelar as não linearidades e ser criticamente amortecido. Obtiveram-se os resultados matemáticos e gráficos através da implementação no software Matlab®.

Palavras-chave: Controle não linear; Modelagem cinemática e dinâmica; Simulação computacional.

INTRODUÇÃO

Ao longo das revoluções industriais e tecnológicas, novas formas de trabalho, cada vez mais eficientes e precisas, surgiram para suprir a alta demanda de produtos em inúmeros setores, sejam eles de alimentos, vestuário, equipamentos eletrônicos ou automóveis. Com isso, à medida que a mão de obra humana se tornou cada vez mais especializada e, consequentemente mais custosa. A partir da década de 1990, a industria de robôs vem otimizando recursos ao mesmo tempo em que se tornam cada vez mais rápidos, precisos, flexíveis e econômicos [1].

Apesar do crescente número de robôs em diversos setores da indústria mundial, no Brasil o número cresce lentamente: enquanto que em países como México e Canadá houve um crescimento de 13% e 24%, respectivamente, em 2022 em comparação com o ano anterior, o crescimento foi de 4% no Brasil. Contudo, há um alto potencial de automação no país, devido à larga produção de veículos automotores e peças automotivas. Dessa forma, a marca de 600 mil unidades instaladas por ano em todo o mundo deverá ser alcançada em 2024 [2].

Diante do exposto, o estudo da robótica, sobretudo da modelagem matemática de comportamentos, bem como o controle de movimentos, são tópicos essenciais e de grande interesse industrial para a utilização de robôs na execução de tarefas cada vez mais especializadas em contextos que exigem cada vez mais rapidez, qualidade e excelência [3]-[21].

DESENVOLVIMENTO

Para o presente estudo, selecionou-se o Robô Manipulador SCARA Epson T3-401S (Epson, 2024) devido à alta demanda por este tipo de sistema, sobretudo em setores industriais, como o caso de serviços *pick and place* e embalagem de produtos. Este robô suporta tem uma capacidade de carga de *3kg*, *40cm* de tamanho de braço, *15cm* de curso da junta prismática e atua em ambientes padrões (*Standard*). Na Figura 1, ilustra-se a estrutura do robô manipulador.

Figura 1 - Robô manipulador SCARA Epson T3-401S

Fonte: [22].

Em termos de modelagem matemática robótica, este manipulador possui 4 graus de liberdade (DoF – *Degrees of Freedom*), sendo três eixos rotativos e um eixo prismático, cujas características físicas são apresentadas abaixo no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros do robô

Eixos	Comprimento	Máx. amplitude de movimento
1	192,3 mm	Fixo
2	225 mm	$\pm 132^\circ$
3	175 mm	$\pm 141^\circ$
4	150 mm (máx.)	$\pm 360^\circ$

Fonte: [22].

Com o objetivo de realizar o controle de um robô, inicialmente torna-se necessário conhecer as características e o modelo matemáticos. Dessa forma, realizou-se a modelagem matemática estática e dinâmica do robô. Usou-se a cinemática direta para geração de trajetória e a modelagem dinâmica para realização do controle sobre os movimentos das juntas. Na etapa do controle, essa essencial em qualquer campo da engenharia e da ciência, como em veículos espaciais, sistemas robóticos e operações industriais, com o objetivo de garantir movimentos suaves e a execução plena das tarefas [6], [7], [13], [16], [20], [21].

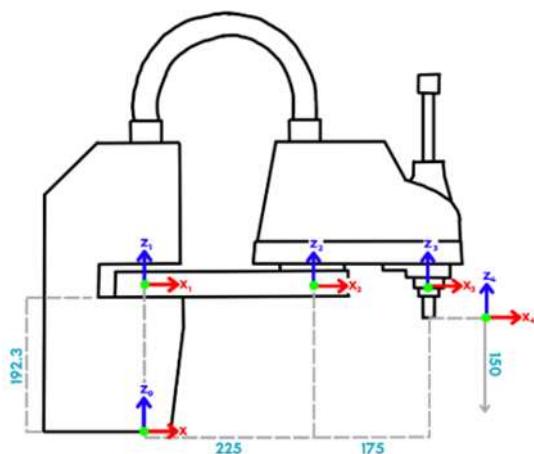
CINEMÁTICA DIRETA

A cinemática é essencial para descrever os movimentos sem considerar as forças que os causam. Através dela, é possível analisar a posição, velocidade e aceleração dos corpos com relação ao tempo ou qualquer outra variável [1]. Com isso, a cinemática possibilita a localização da ferramenta robótica

em qualquer ponto do seu espaço de trabalho e, consequentemente, o planejamento de trajetória do robô [3], [4], [6], [7], [9], [10], [11]-[21].

No presente estudo, a cinemática direta foi desenvolvida a partir do espaço de juntas, o qual baseia-se em três etapas: definição dos sistemas de referência (SRs), orientação dos SRs e obtenção da matriz de transformação geral [3], [9], [12]-[15], [19]. Os SRs são eixos cartesianos necessários para orientar cada junta do robô no espaço tridimensional. Para realizar tal orientação, são escolhidos lugares estratégicos para a fixação de cada SR, como na extremidade de cada junta, com o objetivo de facilitar as análises e obtenção precisa das coordenadas de cada parte do robô. A localização dos SRs para o robô de estudo é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Eixos e dimensões (mm).



Fonte: [3].

Em termos matemáticos, a posição de cada SR é representada em relação ao seu SR anterior, através da sua respectiva matriz de posição P , sendo o primeiro SR $\{0\}$ o fixo na base. Assim, a seguir são apresentadas as matrizes ${}^{i-1}P_i$ do SR $\{i\}$ em relação ao SR $\{i-1\}$, com $i = 0, \dots, 4$, a distância entre eles em seu respectivo eixo rotativo é representada por d_i e para o eixo prismático por d_p :

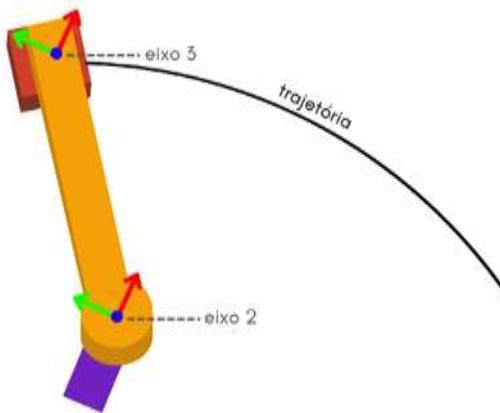
$${}^0P_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d_1 \end{bmatrix} \quad {}^1P_2 = \begin{bmatrix} d_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad {}^2P_3 = \begin{bmatrix} d_3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad {}^3P_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

Em seguida, definiu-se a orientação de cada SR através da projeção do SR $\{i\}$ em relação ao SR $\{i-1\}$, representada por sua respectiva matriz de rotação ${}^{i-1}{}_iR = [{}^{i-1}\hat{X}_i \quad {}^{i-1}\hat{Y}_i \quad {}^{i-1}\hat{Z}_i]$, conforme apresentadas abaixo:

$${}^0_1R = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^1_2R = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^2_3R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} {}^3_4R = \begin{bmatrix} c\theta_p & -s\theta_p & 0 \\ s\theta_p & c\theta_p & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

representou-se o cosseno e seno por $c\theta_i$ e $s\theta_i$, respectivamente, para cada ângulo de rotação da junta i . Como pode ser observado, os ângulos de rotação em \hat{Z} são zero, uma vez que a projeção ocorre em torno do eixo Z. Além disso, é possível observar que 2_3R , trata-se de uma matriz identidade pois, independentemente da rotação do eixo 2, o eixo 3 acompanhará igualmente, uma vez que ambos estão conectados por um eixo fixo, logo, o ângulo de rotação entre eles será de 0º, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Representação do movimento linear do eixo 3 em relação ao eixo 2.



Fonte: [3].

Na terceira etapa do desenvolvimento da cinemática direta, obtiveram-se as equações de transformação para cada junta, a partir da concatenação entre as posições cartesianas Eq.(1) e as matrizes rotacionais Eq.(2), representadas pela matriz ${}^{i-1}_iT$, conforme apresentadas abaixo:

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} {}^0_1R & {}^0_1P_1 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} {}^1_2T = \begin{bmatrix} {}^1_2R & {}^1_2P_2 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} {}^2_3T = \begin{bmatrix} {}^2_3R & {}^2_3P_3 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} {}^3_4T = \begin{bmatrix} {}^3_4R & {}^3_4P_4 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Por fim, obteve-se a matriz de transformação geral do último SR em relação ao primeiro, 0_4T , ou seja, da ponta da ferramenta em relação à sua base, através do produto entre as matrizes T descritas na Eq.(3). O resultado é apresentado abaixo:

$${}^0_4T = {}^0_1T \left({}^1_2T \left({}^2_3T {}^3_4T \right) \right) = \begin{bmatrix} {}^0_4R & {}^0_4P_4 \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_{12p} & -s\theta_{12p} & 0 & d_3c\theta_{12} + d_2c\theta_1 \\ s\theta_{12p} & c\theta_{12p} & 0 & d_3s\theta_{12} + d_2s\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 + d_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

sendo $c\theta_{12p} = \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_p)$, $s\theta_{12p} = \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_p)$. Como observado na Eq.(4), a matriz geral de transformação segue a mesma disposição da Eq.(3): as três primeiras colunas com as informações da orientação do manipulador e a última coluna com as informações da posição.

GERAÇÃO DE TRAJETÓRIA

A geração de trajetória torna-se primordial no âmbito da robótica industrial, uma vez que, através dela, é possível definir as rotas de trabalho de um robô, ponto a ponto no espaço, a partir de suas características físicas, matemáticas e limitações [3], [4], [6], [7], [9], [10], [11]-[21].

Justamente por se tratar de um histórico de posição, velocidade e aceleração em função do tempo para cada grau de liberdade, no desenvolvimento da geração de trajetória utilizou-se dois métodos. O primeiro foi o método do esquema de espaços de juntas, no qual as formas de percurso (no espaço e no tempo) são descritas em termos de funções dos ângulos das juntas. O segundo foi o método do polinômio cúbico, o qual conecta qualquer posição inicial de ângulo de junta com qualquer posição final desejada, além de garantir a geração de uma função suave [1].

Nesta abordagem, há quatro restrições na trajetória, as duas primeiras em que a posição dos ângulos das juntas no tempo inicial e final sejam, respectivamente, sua posição inicial e final (θ_0 e θ_f), e as outras duas em que deve a velocidade deve ser contínua, ou seja, a velocidade no tempo inicial e final (0 e t_f) são zero. Tais restrições são apresentadas matematicamente abaixo:

$$\theta(0) = \theta_0 \quad \theta(t_f) = \theta_f \quad \dot{\theta}(0) = 0 \quad \dot{\theta}(t_f) = 0 \quad (5)$$

Assim, para que as quatro restrições sejam satisfeitas, utiliza-se o polinômio cúbico para representação da posição θ :

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (6)$$

com a velocidade e aceleração obtidos através da derivada de primeira e segunda ordem ($\dot{\theta}$ e $\ddot{\theta}$), respectivamente, e os coeficientes definidos da seguinte forma:

$$a_0 = \theta_0 \quad a_1 = 0 \quad a_2 = \frac{3}{t_f^2} (\theta_f - \theta_0) \quad a_3 = -\frac{2}{t_f^3} (\theta_f - \theta_0) \quad (7)$$

Por fim, para cada junta do manipulador, utilizou-se as Eq.(5) a Eq.(7) em conjunto através da implementação no *software Matlab®*, onde obtiveram-se as informações de posição, velocidade e aceleração, dada uma posição inicial e final desejada, ao longo do tempo.

DINÂMICA

Como apresentado, é de suma importância o conhecimento da orientação e posição do robô ao longo do tempo para que seja possível programá-lo para a execução de tarefas que envolvem movimentos repetitivos, mas que também necessitam de precisão. Mas além desses parâmetros, também é preciso conhecer as forças necessárias para os movimentos para que, de fato, as tarefas possam ser realizadas. Por isso, para a obtenção das equações da dinâmica, realizou-se a distribuição de massa e o cálculo dos torques de cada junta através do Algoritmo Dinâmico Iterativo de Newton-Euler [1], [6], [7], [13], [16], [20], [21].

Para a distribuição de massa, utilizou-se o método dos tensores de inércia em conjunto do teorema dos eixos paralelos. O teorema dos eixos paralelos relaciona o tensor de inércia em um sistema de referência com origem no centro de massa, com o tensor de inércia em relação a outro sistema de referência, portanto, neste caso, sua forma generalizada está expressa na Eq. (8) apresentada abaixo, sendo d_x , d_y e d_z as dimensões do corpo em seus respectivos eixos e m a massa de cada um [1].

$$I = \begin{bmatrix} \frac{m}{12} * (d_y^2 + d_z^2) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m}{12} * (d_x^2 + d_z^2) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m}{12} * (d_x^2 + d_y^2) \end{bmatrix} \quad (8)$$

A seguir, implementou-se o Algoritmo Dinâmico Iterativo de Newton-Euler, o qual é utilizado para o cálculo das forças que atuam em cada junta do robô. Na primeira etapa, realizou-se as iterações de $i = \{0 \rightarrow n - 1\}$, ou seja, do primeiro ao último elo, para os cálculos da velocidade rotacional ω , Eq.(9), da aceleração rotacional $\dot{\omega}$, Eq.(10), da aceleração linear \dot{v} , Eq.(11) e da aceleração do centro de massa \ddot{v}_C , Eq.(12), para, finalmente, o cálculo da força F , Eq(13), e do torque N , Eq.(14), aplicados em cada junta. Para as juntas prismáticas, apenas as Eq.(10) e Eq.(11) foram substituídas pelas Eq.(15) e Eq.(16), respectivamente. As equações são apresentadas abaixo para o SR*{i + 1}*.

$${}^{i+1}\omega_{i+1} = {}^{i+1}{}_iR \cdot {}^i\omega_i + \dot{\theta}_{i+1} \cdot {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (9)$$

$${}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} = {}^{i+1}{}_iR \cdot {}^i\dot{\omega}_i + {}^{i+1}{}_iR \cdot {}^i\omega_i \times \dot{\theta}_{i+1} \cdot {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} + \ddot{\theta}_{i+1} \cdot {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (10)$$

$${}^{i+1}\dot{v}_{i+1} = {}^{i+1}{}_iR \cdot [{}^i\dot{\omega}_i \times {}^iP_{i+1} + {}^i\omega_i \times ({}^i\omega_i \times {}^iP_{i+1}) + {}^i\dot{v}_i] \quad (11)$$

$$\begin{aligned} {}^{i+1}\dot{v}_{C_{i+1}} &= {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} \times {}^{i+1}P_{C_{i+1}} \dots \\ &\dots + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times ({}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{i+1}P_{C_{i+1}}) + {}^{i+1}\dot{v}_{i+1} \end{aligned} \quad (12)$$

$${}^{i+1}F_{i+1} = m_{i+1} \cdot {}^{i+1}\dot{v}_{i+1} \quad (13)$$

$${}^{i+1}N_{i+1} = {}^C_{i+1}I_{i+1} \quad {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^C_{i+1}I_{i+1} \quad {}^{i+1}\omega_{i+1} \quad (14)$$

$${}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} = {}^{i+1}_iR \quad {}^i\omega_i \quad (15)$$

$${}^{i+1}\dot{v}_{i+1} = {}^{i+1}_iR \left({}^i\dot{\omega}_i \times {}^iP_{i+1} + {}^i\omega_i \times ({}^i\omega_i \times {}^iP_{i+1}) + {}^i\dot{v}_i \right) \dots$$

$$\dots + 2 \quad {}^{i+1}\omega_{i+1} \times \dot{d}_{i+1} \quad {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} + \ddot{d}_{i+1} \quad {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (16)$$

Por fim, na segunda etapa do algoritmo, realizou-se as iterações de $i = \{n - 1 \rightarrow 0\}$, para o cálculo das forças f , Eq.(17), e torques n , Eq.(18), necessários para o cálculo do torque τ de cada junta, Eq.(19), o qual, de fato, gera as forças das Eq.(13) e Eq.(14).

$${}^i f_i = {}_{i+1}{}^i R \quad {}^{i+1}f_{i+1} + {}^i F_i \quad (17)$$

$${}^i n_i = {}^i N_i + {}_{i+1}{}^i R \quad {}^{i+1}n_{i+1} + {}^i P_{C_i} \times {}^i F_i + {}^i P_{i+1} \times {}_{i+1}{}^i R \quad {}^{i+1}f_{i+1} \quad (18)$$

$$\tau_i = {}^i n_i \quad {}^i \hat{Z}_i \quad (19)$$

Após a aplicação do algoritmo, adequou-se as equações obtidas do torque (τ_i), a fim de obter a equação dinâmica matricial da forma geral, no espaço de estados, conforme a Eq.(20), a qual também será utilizada na etapa do controle.

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) \quad (20)$$

sendo $M(\theta)$ a matriz de massa de ordem n , $V(\theta, \dot{\theta})$ um vetor $n \times 1$ de termos centrífugos e de Coriolis e $G(\theta)$ um vetor de ordem $n \times 1$ de termos de gravidade, dependentes da θ (posição), $\dot{\theta}$ (velocidade) e $\ddot{\theta}$ (aceleração) de seu respectivo corpo.

Por fim, para possibilitar a simulação ponto a ponto da dinâmica do robô, isolou-se a aceleração ($\ddot{\theta}$) da Eq. (20) e obteve-se a Eq. (21), seguida das integrações representadas na Eq.(22) com o objetivo de obter a velocidade e posição do corpo, respectivamente, junto da discretização no tempo pela taxa de amostragem T_x .

$$\ddot{\theta} = M(\theta)^{-1}(\tau - V(\theta, \dot{\theta}) - G(\theta)) \quad (21)$$

$$\dot{\theta} = \dot{\theta} + T_x \ddot{\theta} \quad \theta = \theta + T_x \dot{\theta} \quad (22)$$

CONTROLE NÃO LINEAR

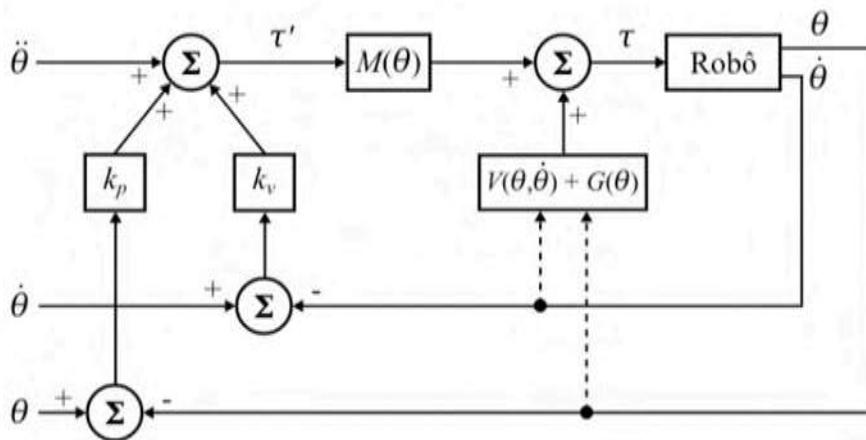
Até a modelagem matemática da dinâmica do manipulador, torna-se possível realizar movimentos dado os pontos iniciais e finais do robô. Entretanto, para aplicações práticas, inclusive em escala industrial, é necessário um controle mais sofisticado desses movimentos, por isso aqui será

apresentado o controle realizado para um sistema não linear e variante no tempo, o qual será aplicado aos torques de cada junta, de modo a evitar movimentos abruptos e garantir suavidade e precisão.

No caso em questão, aplicou-se a lei de controle particionada, a qual lineariza o modelo, ao se computar o controle não linear, um de seus termos é capaz de cancelar a não linearidade do sistema de controle de forma que o sistema de malha fechada seja linear e criticamente amortecido [1].

Na Figura 4, apresenta-se o diagrama de controle em malha fechada do manipulador de estudo, no qual θ , $\dot{\theta}$ e $\ddot{\theta}$ referem-se às condições iniciais do robô para a posição, velocidade e aceleração das juntas, respectivamente, enquanto que θ e $\dot{\theta}$ após o bloco do robô, na prática, referem-se à dados coletados através de sensores, os quais são utilizados na realimentação do sistema.

Figura 4 – Diagrama de controle em malha fechada do manipulador.



Fonte: [6], [13], [16].

A Eq.(20) apresentada anteriormente representa o sistema em malha aberta, as Eq.(23) e Eq.(24) representam a partição do controle baseada em modelo e a partição do servo, respectivamente, essas duas últimas são resultantes da análise em malha fechada do sistema conforme a Figura 4 e são de suma importância para a implementação do controle.

$$\tau = \alpha\tau' + \beta \quad (23)$$

$$\tau' = \ddot{\theta} + k_v\dot{\theta} + k_p e \quad (24)$$

sendo $\alpha = M(\theta)$, $\beta = V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta)$, k_p o ganho de posição e k_v o ganho de velocidade.

Além disso, também foram definidos os erros de posição e e velocidade \dot{e} , dados com base na diferença entre a posição final θ_f e a posição atual θ_a , e entre a velocidade final $\dot{\theta}_f$ e velocidade atual $\dot{\theta}_a$, respectivamente, representados na Eq.(25).

$$e = \theta_f - \theta_a \quad \dot{e} = \dot{\theta}_f - \dot{\theta}_a \quad (25)$$

Dessa forma, para a implementação da lei de controle, isolou-se a aceleração $\ddot{\theta}$ da Eq.(20) e obteve-se a posição θ , seguida das integrações de primeira e segunda ordem necessárias, assim como na etapa da dinâmica ao realizar a discretização no tempo, para obtenção da velocidade e aceleração, respectivamente, conforme apresentado na Eq. (26).

$$\theta = \theta + T_x \dot{\theta} \quad \dot{\theta} = \dot{\theta} + T_x \ddot{\theta} \quad \ddot{\theta} = \alpha^{-1}(\tau - \beta) \quad (26)$$

PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

A partir da modelagem matemática desenvolvida para a compreensão das características estáticas e dinâmicas do robô de estudo, bem como para a sua manipulação através de técnicas modernas e sofisticadas de controle não linear, realizou-se a implementação e simulação no *software Matlab®*. A seguir, encontram-se os parâmetros numéricos e premissas utilizadas neste processo e os resultados serão apresentados na seção seguinte.

A começar pela geração de trajetória do robô, como o objetivo é visualizar ponto a ponto do caminho calculado para ir de uma posição de origem até outra de destino e consequentemente a velocidade e aceleração de cada junta, foi necessário definir a posição inicial e final de cada uma, ou seja, a origem e destino da ferramenta do manipulador, as quais foram escolhidas arbitrariamente, além do tempo de simulação, o qual representa o intervalo de tempo para o robô realizar a trajetória, no caso definido para 10s com um passo de 0,2s, totalizando 50 pontos amostrados da trajetória. Os parâmetros numéricos utilizados para cada junta estão definidos no Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Parâmetros numéricos para simulação da geração de trajetória

Parâmetros	Junta 1 ($i = 1$)	Junta 2 ($i = 2$)	Junta 3 ($i = 3$)
θ_i inicial (rad)	0	0	0
θ_i final (rad)	0,7854	1,5708	5

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Na etapa da dinâmica, o objetivo é observar o comportamento do sistema considerando suas dimensões, massas e forças do meio, como a gravidade, sem nenhuma geração de trajetória intencional. Por isso, a partir dessa etapa, as características físicas de cada junta passam a ser extremamente relevantes para os cálculos, sobretudo dos centros de massa para os tensores de inércia, além da sua posição, velocidade e aceleração iniciais de cada uma. Ainda, para computo dos cálculos, são necessárias algumas definições iniciais, como é o caso para a velocidade angular,

aceleração angular, força e torque iniciais e a taxa de amostragem, conforme apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros numéricos para simulação da dinâmica

Parâmetros	Junta 1 ($i = 1$)	Junta 2 ($i = 2$)	Junta 3 ($i = 3$)
m_i (kg)	12	1	3
d_{xi} (m)	0,145	0,225	0,175
d_{yi} (m)	0,140	0,120	0,1295
d_{zi} (m)	0,1923	0,035	0,1765
θ_i inicial (rad)	0	0	0
$\dot{\theta}_i$ inicial (rad/s)	0	0	0
$\ddot{\theta}_i$ inicial (rad/s ²)	0	0	0
ω	0	0	0
$\dot{\omega}$	0	0	0
\ddot{v}	0	0	g
g (m/s ²)	9,8	9,8	9,8
T_{xi}	0,001	0,001	0,001

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Por fim, para a simulação do controle não linear aplicado às juntas do robô, os parâmetros numéricos definidos foram: o ganho de posição e velocidade, definidos após testes e refinamentos, além da posição, escolhida arbitrariamente, velocidade e aceleração escolhidos a fim de garantir que o robô volte ao seu estado inicial de repouso, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros numéricos para simulação do controle

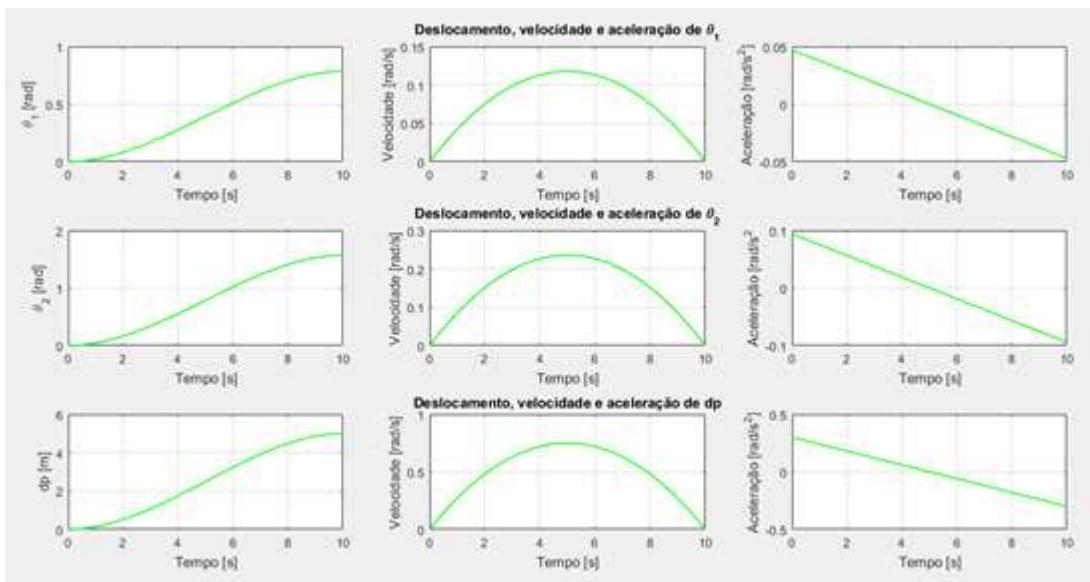
Parâmetros	Junta 1 ($i = 1$)	Junta 2 ($i = 2$)	Junta 3 ($i = 3$)
k_p	1	1	1
k_v	2	2	2
θ_i desejado (rad)	0,7854	1,5708	5
$\dot{\theta}_i$ desejado (rad/s)	0	0	0
$\ddot{\theta}_i$ desejado (rad/s ²)	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Os gráficos obtidos em cada simulação, bem como as análises relevantes serão apresentadas na seção seguinte.

RESULTADOS

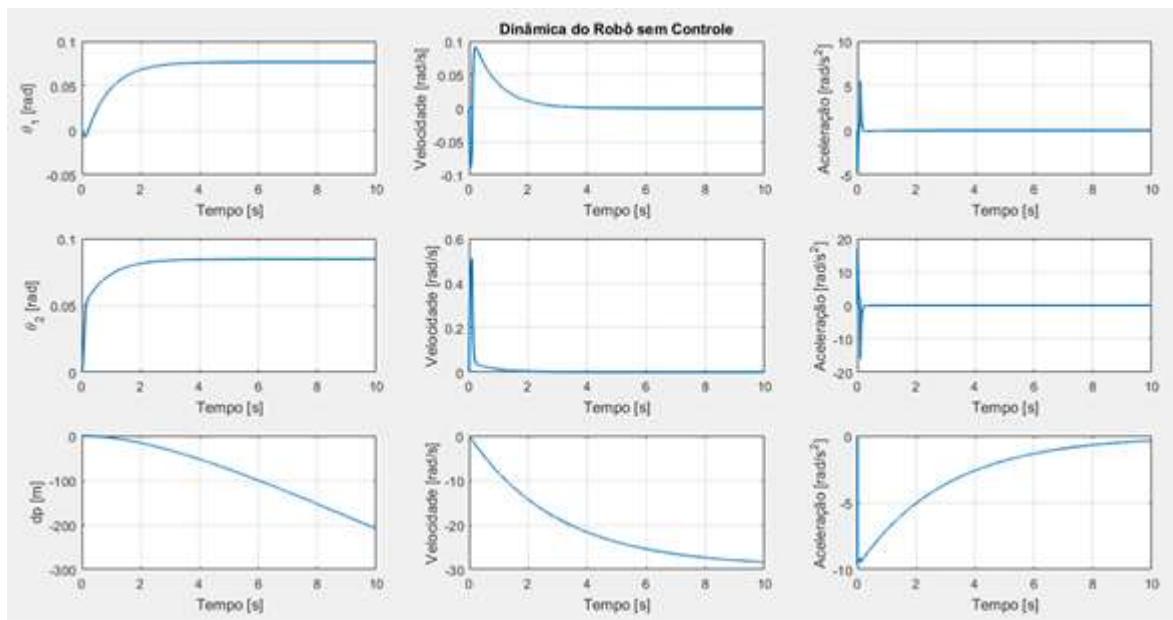
Na Figura 5, apresenta-se o resultado da simulação para a geração de trajetória.

Figura 5 – Resposta gráfica das Eq.(5) a Eq.(7).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Como observado, todos os deslocamentos partem da posição inicial até a final, definidas no Quadro 2, através dos valores de cada ângulo de junta. Além disso, as velocidades possuem uma curva que perdura por todo o tempo de simulação estabelecido, com um aumento inicial e uma diminuição da metade para o final do movimento, onde, paralelamente, a aceleração cruza o zero após um valor máximo inicial. É possível notar que as juntas são desaceleradas ao longo do tempo, porém sem um controle desses movimentos elas atingem valores negativos, além de não ser possível controlar todo o processo da trajetória ao longo da simulação.

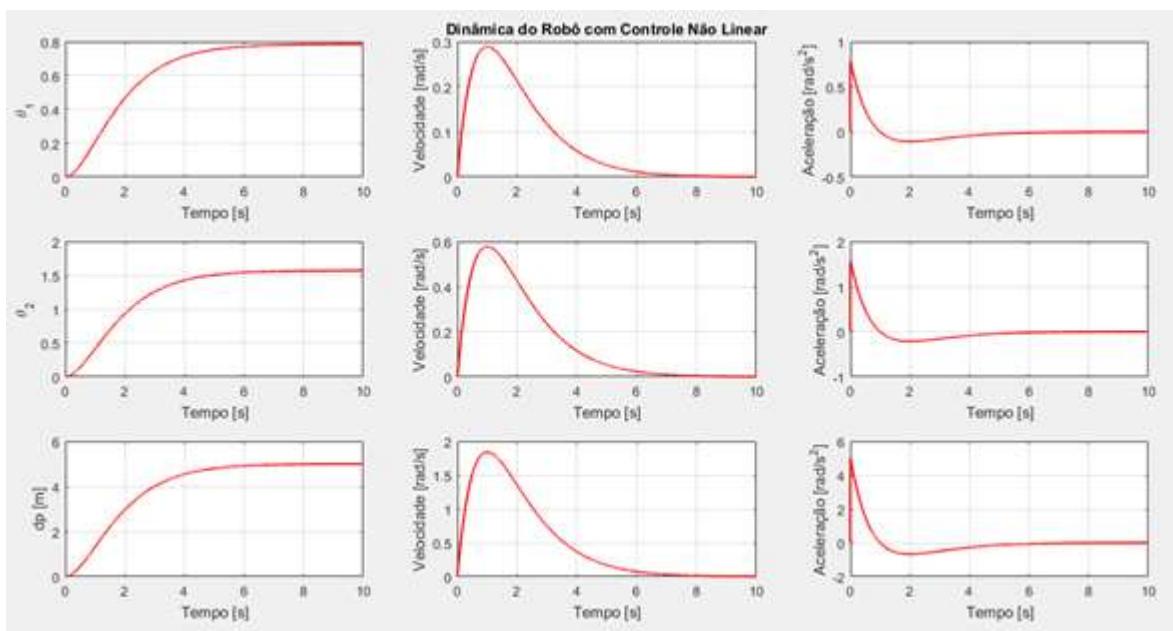
A seguir, o comportamento na etapa da dinâmica de cada uma das juntas é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Resposta gráfica das Eq.(8) a Eq.(22).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Nesta simulação, adicionou-se o comportamento dinâmico do manipulador, ou seja, as características físicas de cada junta, bem como a força da gravidade que o meio exerce sobre cada uma delas. Em relação ao comportamento dos gráficos de deslocamento (posição) das juntas rotativas (θ_1 e θ_2), é possível notar que elas possuem a origem nos pontos pré-estabelecidos no Quadro 3 e suas velocidades e acelerações possuem picos logo no instante inicial dos movimentos, seguidos de um decaimento abrupto. Já para a junta prismática a análise do gráfico de deslocamento demonstra um objeto em queda livre, como se a ferramenta do manipulador estivesse caindo infinitamente, pois não há um controle dos movimentos, assim a força externa, neste caso a gravidade, impacta totalmente o resultado obtido, refletindo também nos resultados obtidos para a velocidade e aceleração da junta.

Por fim, na Figura 7 se apresenta a resposta dinâmica do sistema com a aplicação do controle não linear desenvolvido no projeto.

Figura 7 –Resposta gráfica das Eq.(23) a Eq.(26).

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Após a implementação do controle sobre as juntas do robô, o primeiro resultado que chama a atenção é o gráfico referente à junta prismática, antes em queda livre, agora realiza o deslocamento até a posição de destino definida, conforme o Quadro 4, e permanece estável devido, justamente, ao controle aplicado. Para as demais juntas, o deslocamento tornou-se menos abrupto nos instantes iniciais como consequência do controle da velocidade e aceleração apresentada nos demais gráficos, em que antes possuíam picos extremamente estreitos, nessa etapa são mais suaves, o que na prática garante maior precisão e segurança na realização das tarefas.

CONCLUSÃO

Como apresentado, desenvolveu-se a modelagem cinemática e dinâmica seguida do desenvolvimento e simulação do controle não linear e variante no tempo para o Robô Multifuncional T3-401S *Synthesis*, amplamente utilizado na indústria desde setores alimentícios à eletrônica. A implementação de cada etapa, mostrou-se relevante para potencializar a utilização de robôs industriais, uma vez que permite a programação para diversos tipos de tarefas de modo a atender as demandas de cada setor, seja pela rapidez, economia e/ou precisão.

A utilização do *software Matlab®* foi essencial para o desenvolvimento de cada etapa do estudo. Primeiramente, com a implementação da cinemática direta, essa possibilitou a realização da geração de trajetória, fundamental para a programação de tarefas de um robô. Contudo, mostrou-se

insuficiente quanto a aplicação prática, uma vez que não apresenta a totalidade das informações, como a gravidade e massa do próprio robô. Dessa forma, desenvolveu a dinâmica, na qual considerou-se tais aspectos e obteve-se uma resposta coerente com a realidade, mas ainda impraticável em ambientes profissionais devido aos movimentos abruptos e indesejados. Portanto, na última etapa, aplicou-se o controle ao comportamento dinâmico do robô, onde observou-se uma melhora significante, com movimentos suaves e precisos, fundamentais em aplicações reais.

Deste modo, a compreensão aprofundada dos conceitos torna-se essencial para a implementação eficaz de estratégias de controle e programação de movimentos de robôs em diversas aplicações industriais. Além disso, este trabalho contribui para o campo da robótica, sobretudo em relação à modelagem matemática estática e dinâmica, ao fornecer uma base sólida para estudos futuros sobre manipuladores robóticos e sistemas similares.

REFERÊNCIAS

- [1] CRAIG, J. J. Robótica. Tradução: Heloísa Coimbra de Souza. 3. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.
- [2] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. World Robotics 2023 Report: Asia ahead of Europe and the Americas. Disponível em: <<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/world-robotics-2023-report-asia-ahead-of-europe-and-the-americas#:~:text=Frankfurt%2C%20Sep%202026%2C%202023%20%E2%80%94>>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- [3] TAKANO, G. V. B.; TANK, J. S.; SILVA, L. A. S.; ROSSINI, F. L.. Modelagem e Simulação da Cinemática Direta do Multifuncional T3-401S Synthesis Robô SCARA, Fabricante Epson. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <<https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1238-7e7c319b5b15be5b653a4cc91d8e32a6d5ecd49ea2c7d2b3e6f1864d1066d620.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2024
- [4] REZENDE, L. G.; ROSSINI, F. L.. Comparação de Algoritmos por Métodos Numéricos para Obtenção da Cinemática Inversa de Robô Manipulador SCARA. In: BARBOSA, F.C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro - Vol. IX. 9ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2024. p. 48-64. ISBN 9786553674998. Disponível em: <https://api.conhecimentolivre.org/ecl-api/storage/app/public/L.932-2024.pdf>. Acesso em: 1 jul. 2024.
- [5] FERREIRA, L. A.; ROSSINI, F. L.; BROLIN, L. C.. Modelagem e Análise de Estabilidade de um Drone Terrestre de Duas Rodas com Acionamento Diferencial. In: SOARES, A. M. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos – Vol. 11. Ponta Grossa: Aya Editora, 2024. p. 24-42. ISBN 9786553795150. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/livros/L627.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- [6] ROSSINI, F. L.; SILVA JUNIOR, P. R. M.; ALCANTARA, C. V. B.. Modelagem Dinâmica e Simulação do Sistema de Controle Não Linear do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi. In: BARBOSA, F.C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 17ª Ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p. 173-194. ISBN 9786553674240. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/231208504>. Acesso em: 1 fev. 2024.
- [7] BARROZO, Y. R.; ROSSINI, F. L.. Modelagem Matemática e Lei de Controle para o Robô Manipulador Puma 560. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1396-b59fad92f9135c91a83a846309bcf932497a1424a6d7eae826994ff7772de78.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2024.
- [8] BARBOSA, R. F. S.; GARCIA, L. R.; CUNHA, M. R.; ROSSINI, F. L.. Modelagem e Simulação da Cinemática Direta de um Robô Móvel de Três Rodas com Tração Diferencial. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1103-4319d5d6514993af9a1f90540918b99cd1746e145f6cf690b5e0c0f62ece771c.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2024.

- [9] SILVA JUNIOR, P. R. M.; ALCANTARA, C. B. B.; ROSSINI, F. L.. Modelagem Cinemática e Simulação do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1242-5774dc898fc34571c5a99a2ce390c2fb2879ad8bbf64ce2679d20019d20ef389.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2024.
- [10] REZENDE, L. G.; ROSSINI, F. L.. Simulação da Cinemática Inversa de um Robô SCARA através da Implementação de Algoritmos por Métodos Numéricos. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1030-6e8692fec9f5f2ab4d8afc8731acc92f7728f53607852cc10cc16def5e9d3215.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2024.
- [11] LIMA, B. S.; ROSSINI, F. L. Proposta de modelagem da cinemática, implementação computacional da cinemática inversa quanto a posição e orientação de robô manipulador 6-DOF. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/961-8a5a4bf29c285d0131b3a0fdedcf0d351f814c1672861b2f6b5887301a6ef784.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2024.
- [12] ROSSINI, F. L.; ABREU, L. M.; OLIVEIRA, L. F. P.. Modelagem Cinemática, Planejamento e Geração de Trajetória para um Robô Modelo SCARA através de Aplicativo para Análise Gráfica. In: SOARES, A.M.. Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos, 7. Ponta Grossa: Aya, 2023. p. 43-58. ISBN 9786553792999. Disponível em: <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.211.4>. Acesso em: 13 mai. 2024.
- [13] ROSSINI, F. L.; LIMA, B. S.; CORRÊA, J. H. D.; LOPES, J. M. P.; BARBOSA, R. F. S.; BARROZO, Y. R.. Modeling, Simulation, Motion Trajectory Planning and Nonlinear Control in the Joint Space of the Manipulator Robot SCARA T3 401SS Manufacturer Epson. Seven Editora, [S. I.], 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1092>. Acesso em: 21 mai. 2024
- [14] ABREU, L. M.; ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.. Modelagem cinemática de um robô modelo SCARA e desenvolvimento de aplicativo para análise gráfica. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2022, UTFPR Santa Helena. Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Recife, Brasil: Even3, 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/1152426.1-2>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- [15] SOUZA, E. D.; ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.. Desenvolvimento de um Aplicativo no Ambiente App Designer do Software Matlab® para Planejamento de Trajetória do Robô Puma 560. In: FREITAS, L.C.. Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. Ponta Grossa: Atena, 2023. p. 87-109. ISBN 9786525809465. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- [16] ROSSINI, F. L.; LOPES, J. M. P.; ABREU, L. M.; BARBOSA, R. F. S.; OLIVEIRA, L. F. P.. Modelagem, Simulação e Controle de Trajetória do Robô Manipulador SCARA SR-6 IA através de um Aplicativo Matlab®. In: PERBICHE, J.P.. Ciências exatas estudos e desafios. São José dos Pinhais: Editora Brazilian

Journals, 2022. p. 248-278. ISBN 9786581028824. Disponível em: <https://doi.org/10.35587;brj.ed.0001995>. Acesso em: 13 jun. 2024.

[17] OLIVEIRA, L. F. P.; ROSSINI, F. L.; SILVA, M. F.; MOREIRA, A. P.. Modeling, Simulation and Implementation of Locomotion Patterns for Hexapod Robots.In: 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON), Resistencia, Argentina, 2020, p. 1-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/argencon49523.2020.9505570>. Acesso em: 13 jun. 2024.

[18] OLIVEIRA, L. F. P.; ROSSINI, F. L.. Modeling, Simulation and Analysis of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 2, p. 375-383, fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tla.2018.8327389>. Acesso em: 13 jun. 2024.

[19] LIMA, B. S.; ROSSINI, F. L.; CORRÊA, J. H. D.; LOPES, J. M. P.; BARBOSA, R. F. S.; BARROZO, Y. R.. Modelagem, Simulação e Análise de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS Fabricante EPSON. In: DALLAMUTA, J; HOLZMANN, H. A.. Engenharia Elétrica: Sistemas de energia elétrica e telecomunicações. Ponta Grossa: Atena Editora, 2022. p. 108-125. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217088>. Acesso em: 13 jun. 2024.

[20] ROSSINI, F. L.; LIMA, B. S.; CORRÊA, J. H. D.; LOPES, J. M. P.; BARBOSA, R. F. S.; BARROZO, Y. R.. Modelagem, Simulação, Planejamento de Trajetória e Controle Não Linear no Espaço de Juntas de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS - Epson. In: BARBOSA, F. C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 13^a edição. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN 9786553673106. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230407596>. Acesso em: 13 jun. 2024.

[21] SANCHES, H. E.; ROSSINI, F. L.. Modelagem e Controlador um Manipulador Robótico. Journal of Exact Sciences - JES, v. 9, n. 1, p. 5-13, 8 abr. 2016. Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20160728_073843.pdf. Acesso em: 13 jun. 2024.

[22] EPSON AMERICA. Robôs SCARA All-In-One Epson Synthis T3. Disponível em: <https://epson.com.br/Para-empresas/Rob%C3%B3tica/Rob%C3%B3s-SCARA/Rob%C3%B3s-SCARA-All-In-One-Epson-Synthis-T3/p/RT3-401SS>. Acesso em: 28 mar. 2024.

Capítulo 7



10.37423/240709181

ESTUDO DE CASO: ANÁLISES DE PATOLOGIAS EM UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL EM SÃO LUÍS – MA

Gracinet Rodrigues do Nascimento Vieira

Universidade CEUMA

André Pinto Morais

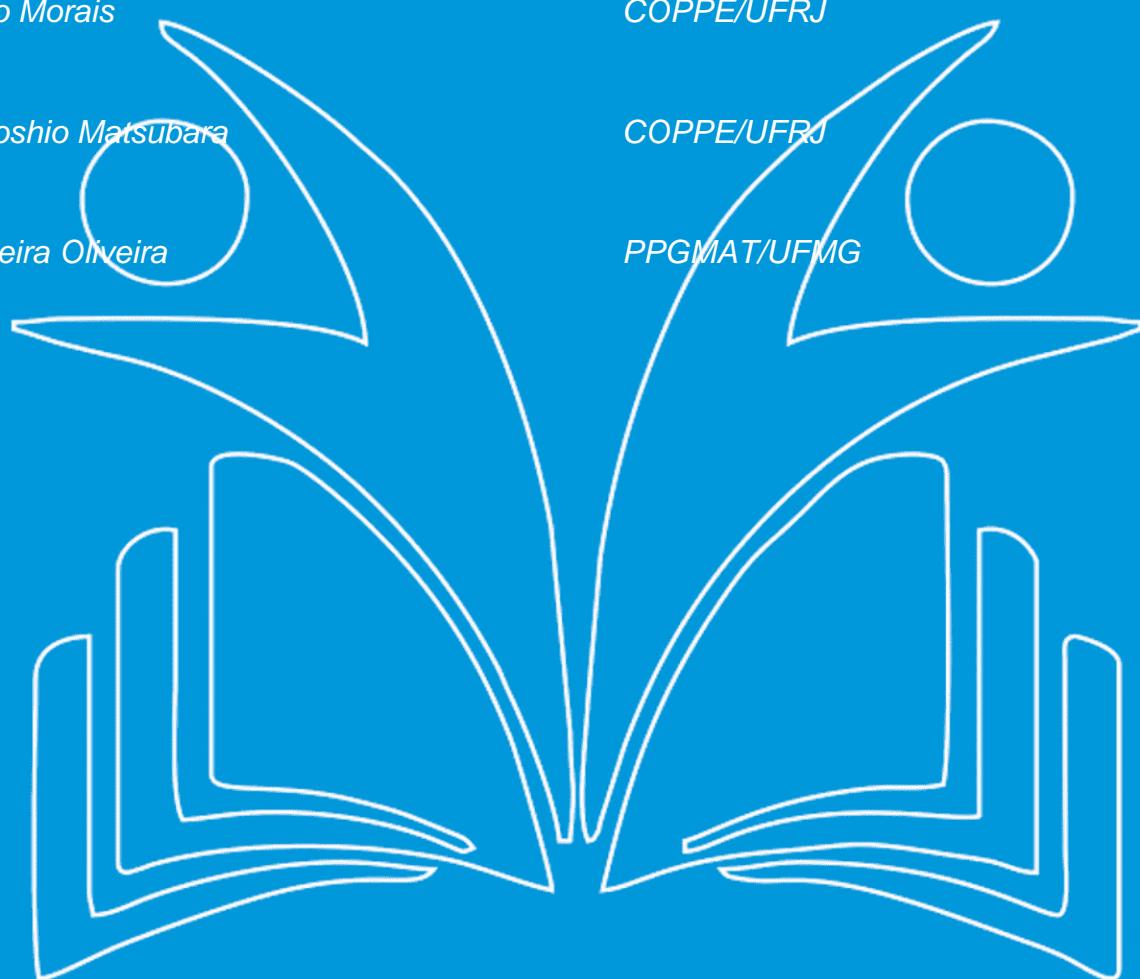
COPPE/UFRJ

Gustavo Yoshio Matsubara

COPPE/UFRJ

Felipe Ferreira Oliveira

PPGMAT/UFMG



Resumo: A construção civil engloba métodos e materiais que permitem uma execução eficiente das obras. No entanto, algumas construções ainda apresentam problemas patológicos que comprometem a durabilidade e segurança das edificações. Este artigo aborda as patologias em construções, caracterizando-se como um estudo de caso exploratório, descritivo e qualitativo. O objetivo foi analisar, através de um estudo de caso, uma edificação residencial em São Luís-MA, identificando as manifestações patológicas presentes, suas causas e as soluções para combatê-las. A metodologia de avaliação se baseou em uma visita técnica a uma edificação, onde foram realizados levantamentos e registros fotográficos das patologias apresentadas. Constatou-se a presença de patologias como infiltrações, fissuras e calcinação. As infiltrações decorrem de problemas de manutenção e defeitos construtivos, como a ausência de impermeabilizantes. As fissuras foram causadas pela falta de cinta de amarração, enquanto a calcinação resultou da utilização de tintas de baixa qualidade e materiais inadequados para o local. Para cada patologia detectada, foram sugeridas as seguintes soluções: uso de impermeabilizantes, reforço da estrutura com a implementação de cinta de amarração de concreto de 15 MPa com a implementação de barras de aço com bitolas de 10 mm (longitudinal) e 3,2 mm (transversal), e remoção do revestimento seguida de sua reconstrução. Concluiu-se que as patologias identificadas no estudo de caso estão relacionadas a todas as etapas do projeto, podendo indicar negligência no processo construtivo. Também se percebeu que as patologias listadas poderiam ter sido prevenidas.

Palavras-chave: Edificação; Patologias; Diagnóstico da construção.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma área que sempre está passando por transformações , uma vez que sempre são feitas descobertas de recursos e tecnologias que possibilitam o aprimoramento dos processos construtivos. Mesmo com essas transformações, ainda são recorrentes a presença de problemas que comprometem a qualidade e durabilidade de uma edificação, como por exemplo, as patologias.

Para Zuchett (2015) a ciência que analisa as patologias das edificações precisa ser abrangida como parte da engenharia, pelo qual analisa as origens das dificuldades construtivas que podem aparecer nas edificações, além de suas causas e efeitos.

Segundo Helene (2003) e Figueiredo Junior (2017), as patologias em edificações, na maioria dos casos, não são causadas por um único fator, mas por uma combinação de fatores ou uma sequência de eventos que resultam em danos significativos para todos os envolvidos na cadeia produtiva da construção civil, podendo levar a problemas graves na construção ou até mesmo a acidentes.

As patologias são problemas recorrentes em uma edificação, fator este que fundamenta o presente estudo, pois o conhecimento acerca desse problema, assim como de suas causas, pode minimizar a ocorrências desses erros. Portanto, é notório a relevância de estudos direcionados a esse tema, uma vez que através desses estudos, podendo servir de apoio para acadêmicos da área, pesquisa e extensão.

Sendo assim, o objetivo geral que norteou a pesquisa foi analisar as manifestações de patologias de uma edificação residencial, situada na cidade de São Luís - MA. E como objetivos específicos: descrever as dificuldades patológicas encontradas na obra; delinear os tipos de patologias e analisar as principais causas de patologias em residenciais, assim como propor soluções para combate-las. A metodologia abordada fez uso de pesquisas bibliográficas e organização dos dados coletados em campo, procurando incrementar a este estudo, através da catalogação das patologias obtidas por meio de relatórios fotográficos, formulação de diagnósticos e planos de intervenção para as manifestações patológicas encontradas.

2 PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

As causas do aparecimento das patologias nas construções podem ser as mais distintas, desde imprevistos, insensatez de profissionais que optam pelo uso de materiais fora das particularizações ou não realizam a conservação adequada da composição, muitas vezes por causas econômicas (SOUZA; RIPPER, 1998).

O estudo de patologias das construções é o ramo da engenharia civil que analisa o esboço das origens, configurações das manifestações, efeitos e estruturas de acontecimentos de falhas. Esses fatores trazem à tona a necessidade de uma apropriada sistematização das informações neste campo, a fim de tomar as medidas cabíveis para solucionar o problema.

A técnica utilizada no diagnóstico dessas dificuldades tem sido, muitas vezes, marcada pela falta de um método científico. Em diversas circunstâncias, prevalece o conhecimento profissional do engenheiro, adquirido ao longo dos anos (CARMO, 2003).

As manifestações patológicas que surgem durante a fase de construção geralmente resultam do mau uso e da falta de manutenção por parte do usuário. Segundo Pina (2013), as patologias causadas pelos usuários ocorre devido a sobrecargas não previstas no projeto, modificações estruturais indevidas durante reparos, uso de produtos químicos com agentes invasivos, ausência de programas de manutenção adequada, falta de inspeções regulares para detecção de sinais patológicos, danos estruturais por colisões, entre outros.

Vale ressaltar que não se pode eximir os empreendedores e os responsáveis técnicos pela obra de responsabilidade. A ausência de regulamentação sobre a ocupação muitas vezes impede a elaboração de manuais de uso e manutenção das construções, o que contribui para o aparecimento de problemas (DAL MOLIN, 1988).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Jesus (2019) menciona que as patologias de maior incidência na construção civil são fissuras, rachaduras, deterioração do concreto, corrosão das estruturas de aço e manchas. Exemplos dessas patologias são apresentados nas Figuras 1 a 5.

As fissuras (Figura 1) consistem na patologia com maior incidência no âmbito da construção civil, as quais podem ser provocadas por recalque de fundação e deterioração do concreto e, está diretamente relacionada a qualidade do material e execução serviço (JESUS, 2019).

Na Figura 2 é apresentada uma rachadura, que se diferencia das fissuras devido ao seu espaçamento, apresentando aberturas superiores a 3 mm. As causas de ambas são as mesmas, no entanto, as rachaduras são consideradas patologias mais graves e com um grau de comprometimento maior do que as fissuras (JESUS, 2019).



Figura 1 – Fissuras.
Fonte: Ferreira (2016).



Figura 2 – Rachaduras.
Fonte: Ferreira (2016).

Na Figura 3 é apresentada uma patologia devido à deterioração do concreto, provocada pela perda do poder aglutinador do cimento, o que favorece o desprendimento de partes do concreto. Essa patologia é causada por ações físicas, como vibrações e choques diversos. Além disso, essa deterioração facilita ataques químicos que podem acelerar o processo patológico. (JESUS, 2019).



Figura 3 - Deterioração do concreto.
Fonte: Ferreira (2016).

A corrosão é causada pela exposição inadequada do material ao ambiente, sendo ainda mais prejudicial em regiões costeiras, onde a forte ação da maresia acelera o processo de oxidação do aço devido ao oxigênio presente no ar, como pode ser visto na Figura 4. Essa anomalia pode ser evitada com o correto isolamento da estrutura metálica (JESUS, 2019).



Figura 4 - Corrosão da estrutura de aço.

Fonte: Ferreira (2016).

Na Figura 5 é apresentada a patologia denominada manchas, que é um indicativo de infiltrações. Essas infiltrações são provocadas pelo uso de materiais de baixa qualidade e/ou por erros de execução nas primeiras etapas da construção. A maneira mais eficaz de tratar essa anomalia consiste no uso de materiais de boa qualidade, cuidado na drenagem da água no início da execução da obra e na escolha correta dos materiais a serem aplicados no ambiente. (JESUS, 2019).



Figura 5 – Manchas na parede.

Fonte: Ferreira (2016)

Além disso, as patologias podem ser qualificadas conforme sua categoria, como citado por Roscoe (2008), em:

- i. Congênitas: naturais da etapa de método e idealização da obra, em que as dificuldades patológicas podem acontecer pelo detalhamento escasso ou deficiente dos métodos, em empenho da não observância das regras práticas ou de deslizes e deleções dos profissionais responsáveis;

- ii. Construtivas: incidem na etapa edificada da obra, onde tornam-se banais as abortas por antagonismo de método e implemento, uso de materiais impróprios ou de má característica, métodos impróprios de produção, domínio da argamassa e mão de obra desqualificada;
- iii. Adquiridas: nascem durante a vida benéfica dor-ecobrimento, carecido à deterioração dos materiais, esteja por mal uso dos utentes, devido à deficiência de manutenção antecipada, e/ou exibição a agentes exteriores, de mando adequado, decorrentes da agressividade do ambiente;
- iv. Acidentais: patologias naturais de determinado fato anormal, de categoria natural ou humana, esteja por ato de tremores, chuvas, ventos e incêndios com magnitude irregular, recalques estruturais, dentre outros.

Segundo Granato (2013), as etapas do diagnóstico incluem a coleta de informações sobre o ambiente, a inspeção para realização de um inquérito, a execução de um ensaio fotográfico da estrutura e de suas patologias, a aplicação de métodos de ensaio físico-químico em laboratório. Assim, o estudo do diagnóstico é um procedimento altamente complexo que reúne uma diversidade de informações. Para sua conclusão, deve-se elaborar um relatório pelo inspetor, detalhando as causas, consequências e soluções, com base em informações técnico-científicas obtidas por meio de uma inspeção metódica.

3. DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO ANALISADA

O presente estudo teve como objetivo analisar uma obra, detectar as patologias presentes, bem como identificar suas causas e soluções. O estudo incluiu a análise da planta baixa do edifício, a inspeção da obra para mapeamento das manifestações patológicas, a análise dos dados, a compilação dos resultados e a elaboração de um relatório fotográfico. Esse processo visou à definição do diagnóstico, prognóstico e proposta de recuperação das estruturas afetadas.

A residência possui 142,29 m² de área construída, incluindo 3 quartos, 2 banheiros, 2 cozinhas e 1 sala, conforme pode ser observado na planta baixa da Figura 6. A construção conta com uma laje e forro de gesso como revestimento. Edificada há 40 anos, a última manutenção ocorreu há 15 anos. Além disso, essa residência foi construída sem a elaboração de projetos arquitetônico, elétrico, hidráulico, entre outros, e sem o acompanhamento de um profissional de engenharia ou arquitetura.

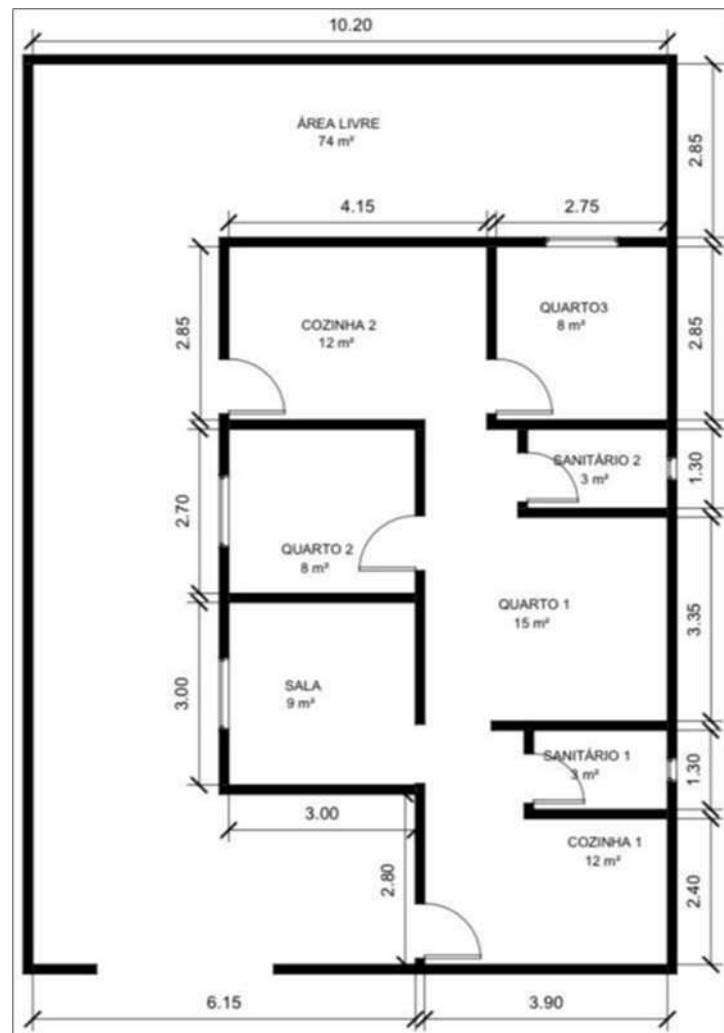


Figura 6 - Planta baixa da construção analisada.

Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As patologias da edificação surgiram após sua construção, apresentando tanto manifestações externas quanto internas. Ressalta-se que, quanto mais cedo os mecanismos de correção forem implementados, mais fácil será extinguir as patologias e menores serão os recursos financeiros necessários.

Na edificação analisada, foram constatadas infiltrações decorrentes de problemas de impermeabilização, especificamente em algumas alvenarias. Esse problema pode ser observado nas Figuras 7 e 8.



Figura 7 – Infiltração na alvenaria da área livre.

Fonte: Autor (2023).



Figura 8 – Infiltração na alvenaria da sala.

Fonte: autor (2023).

Os danos provenientes da umidade são patologias bastante recorrentes em edificações, sendo considerados os mais comuns. Eles ocorrem devido à penetração de água ou à formação de manchas de umidade nos elementos que compõem a edificação, principalmente em paredes. Esse problema é considerado muito grave e de solução complexa, além de provocar prejuízos funcionais, estruturais e estéticos (OLIVEIRA, 2013).

As infiltrações podem ser decorrentes de causas internas e externas. No estudo em questão, essas infiltrações são causadas tanto por problemas na própria edificação quanto pela umidade do solo, ou seja, de origens internas e externas, respectivamente.

De acordo com Gonzales (2020), alguns dos fatores que levam ao surgimento de problemas de infiltração podem estar relacionados à falta de impermeabilização de lajes e áreas externas, assim como à utilização de materiais porosos, como tijolos, argamassas e concretos. Esses materiais possuem canais capilares, o que facilita o fluxo de água.

Adicionalmente, as infiltrações podem ser agravadas por vazamentos na rede hidráulica. Heerdet (2016) ressalta que, nesses casos, é difícil identificar o local exato para a correção, pois os vazamentos, em sua maioria, costumam ficar encobertos pela construção, prejudicando o desempenho da edificação. Entretanto, na residência analisada, esse tipo de problema não foi constatado.

O controle do surgimento de infiltrações pode ser alcançado por meio das seguintes medidas: melhor escolha dos materiais que constituem as alvenarias (considerando higroscopidez, porosidade e absorção de água), análise da orientação das fachadas em relação à direção do vento e conhecimento das precipitações na região onde a edificação está localizada (VITÓRIO, 2003).

Os problemas identificados na obra não se limitaram apenas às infiltrações. As análises constataram que algumas alvenarias da construção também apresentaram fissuras, conforme pode ser verificado na Figura 9. A confirmação dessa patologia e sua classificação como fissura foram realizadas por meio da medição da abertura com o uso de um fissurômetro, conforme exposto nas imagens no Anexo A.



Figura 9 – Fissuras presentes no quarto 2.

Fonte: Autor (2023)

De acordo com Sotana (2012), as fissuras ocupam a segunda posição entre os defeitos mais comuns em construções, resultantes da movimentação dos materiais e componentes da construção civil ou de vibrações na área. Essas fissuras podem evoluir para problemas mais complexos, como rachaduras (OLIVEIRA, 2013).

Gonzales (2020) relata que os problemas de fissuração são majoritariamente decorrentes de recalques de fundação provocados por tensões de cisalhamento, movimentações térmicas que dilatam e contraem a estrutura devido à variação de temperatura e acúmulo de tensões. Às vezes, a estrutura excede a carga para a qual foi dimensionada, resultando no surgimento de aberturas.

Carvalho *et al.*, (2021) cita a importância da qualidade do material aplicado na construção, pois com materiais de boa qualidade e sua aplicação correta, respeitando as particularidades de cada construção é possível prevenir o surgimento de fissuras ao longo do tempo.

As intervenções na construção para eliminar patologias como fissuras, rachaduras, calcinação e infiltrações aumentam consideravelmente o valor final da obra, podendo representar um acréscimo de até 30% sobre o valor inicial. Isso se deve ao fato de que, em muitos casos, é necessário utilizar trocar as tubulações, tintas e argamassas que já foram aplicados inicialmente. Essa tentativa de economia imediata acaba resultando em um efeito contrário, encarecendo o preço final da obra (MATIAS; NUNES; CRUZ, 2018).

Uma solução apontada para a edificação analisada no presente estudo foi a confecção de cintas de amarração. O concreto empregado nesse procedimento possui uma resistência de 15 MPa. As barras de aço utilizadas têm bitolas de 10 mm de diâmetro na longitudinal e 3,2 mm na transversal.

Além das fissuras, outra patologia encontrada na edificação analisada foi a calcinação, como pode ser observado nas Figuras 10 e 11. Figueiredo Júnior (2017) afirma que essa patologia pode ser causada pela utilização de tintas de baixa qualidade ou pela aplicação de materiais inadequados para o local, como uma tinta para ambientes internos aplicada em uma parede externa. Além disso, a alta umidade do ar, especialmente na cidade de São Luís, no estado do Maranhão, pode ter agravado essa situação. Para resolver esses problemas, foi sugerida a implementação de medidas preventivas, como a aplicação de impermeabilizantes.



Figura 10 – Calcinação presente na alvenaria da área livre.

Fonte: Autor (2023).



Figura 11 – Calcinação presente na alvenaria da cozinha 1.

Fonte: Autor (2023).

Para uma melhor visualização das patologias encontradas, a Figura 12 apresenta a planta baixa da edificação com a indicação das patologias descritas neste trabalho.

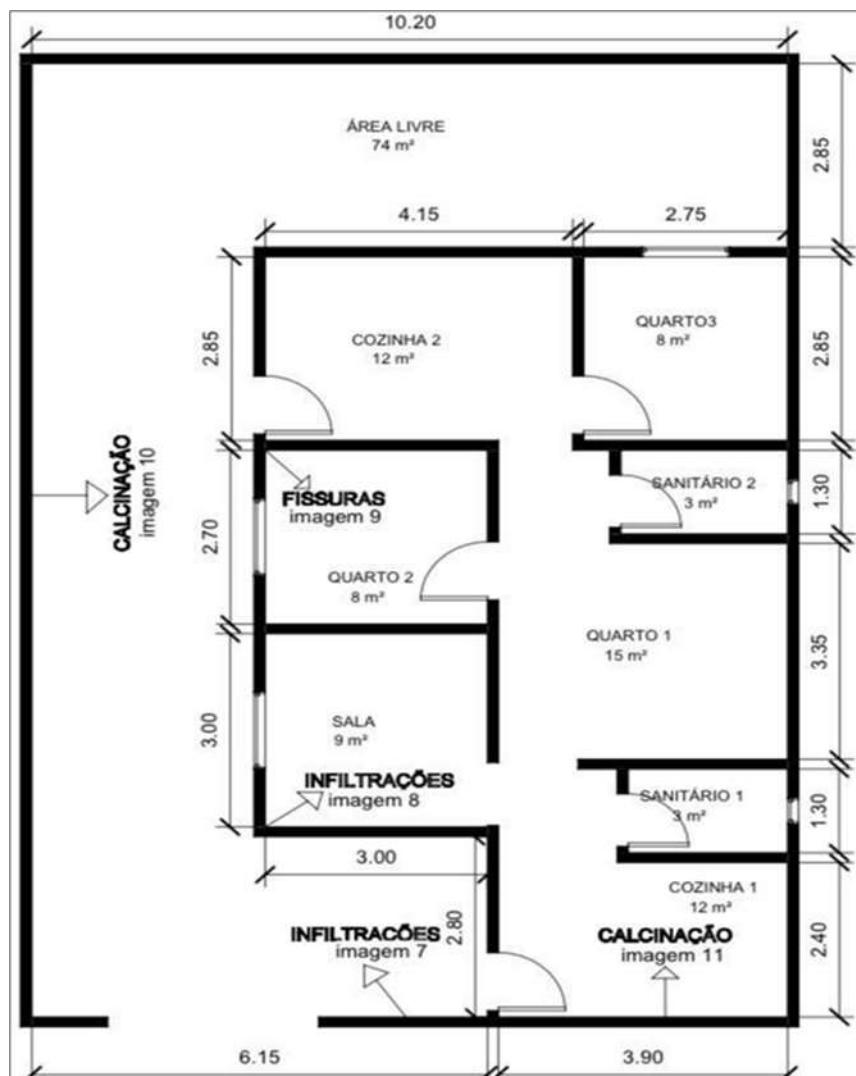


Figura 12 – Planta baixa da construção analisada com localização das patologias.

Fonte: Autor (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O apresentado se baseou em uma visita técnica à uma edificação com presença de patologias. Foram identificadas diversas patologias, tais como infiltrações, fissuras e calcinação. As infiltrações são provenientes de problemas de falta de manutenção e defeitos construtivos.

As fissuras foram causadas pela ausência de cintas de amarração, enquanto a calcinação resultou da utilização de tintas de baixa qualidade e aplicação de materiais inadequados para o local. Para cada uma das patologias detectadas, foram sugeridas as seguintes soluções: uso de impermeabilizantes; reforço da estrutura com emprego de cintas de amarração com concreto armado de 15 MPa, barras de aço com bitolas de 10 mm (longitudinal) e 3,2 mm (transversal); e remoção do revestimento seguida de sua reconstrução, respectivamente.

As patologias identificadas no estudo de caso analisado estão relacionadas às etapas construtivas. Pode ter havido negligência em relação a possíveis fontes de infiltração e falta de atenção ao isolamento de paredes e vigas. Da mesma forma, na fase de execução, pode ter sido utilizada mão-de-obra sem qualificação técnica adequada, resultando na aplicação de insumos inadequados e no uso de materiais de baixa qualidade.

As patologias listadas poderiam ter sido prevenidas, uma vez que existem soluções para cada um dos problemas identificados durante a etapa de construção. Apesar de existir um grande acervo literário, é de suma importância a elaboração de pesquisas futuras sobre o tema, visando sempre novas descobertas e melhorias na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575:Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

CARMO, Paulo Obregon do. Patologia das construções. Santa Maria, Programa de atualização profissional. CREA – RS, 2003

CARVALHO, Luis Henrique Duarte Vasconcelos et al. Fissuras em alvenaria estrutural: causas e soluções. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 6,n. 3, p. 91-91, 2021.

CRUZ, Rafael Barreto Castelo et al. Contribuições sobre Inspeções em Pontes e Viadutos Conforme NBR 9452:2016 – Vistoria de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto. 2017.

Engenharia Estudo e Pesquisa. ABPE, v. 17 - n. 1 - p. 18-29 - jan./jun. 2017.

DAL MOLIN, Denise C. Coitinho. Fissuras em estruturas de concreto armado: Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/15655> . Acesso em: 01 dez. 2022.

FERREIRA, Cláudio Roberto Alves. Análise de fissuras e trincas nas alvenarias de vedação: construção de casas em Minas Gerais. 2016. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

FIGUEIREDO JÚNIOR, Geraldo Josafá. Patologias em revestimentos de fechadas, diagnóstico, prevenção e causas. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Materiais de Construção, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

GONZALES, Fabio. Patologias na construção civil. [s. l.], 2020. GRANATO, José Eduardo. Diagnóstico das patologias. 2013. Disponível em:

<https://pt.slideshare.net/andreadesouza18/9-patologia-das-construcoes-diagnstico>. Acesso em:10mar. 2023.

HELENE, Paulo R. Do Lago. Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Red Rehabilitar, 2003.

HEERDET, Bruno Giordano. Principais patologias na construção civil. 2016. Disponível em: <https://www.webartigos.com/artigos/principais-patologias-na-construcao-civil/146527>. Acesso em: 28 abr. 2023.

JESUS, Victor Almeida de et al. Patologias na construção civil. Revista Pesquisa e Ação, v. 5, n. 4, p. 132-145, 2019.

MATIAS, Leandro; NUNES, Alane Fernandes; CRUZ, Rita de Cássia Alves Leal. Desperdícios na construção civil. Revista Campo do Saber, v. 4, n. 3, 2018.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. Levantamento de causas de patologias na construção civil. 2013. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopolis10007893.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023

PINA, Gregório Lobo de. Patologia nas habitações populares. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopolis10006577.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2023.

RIBEIRO, Emerson; VOLKWEIS, Fabiano José. Patologias em Fachadas Externas Devido a Movimentações Higrotérmicas. Revista Tecnológica, v. 5, n. 2, p. 151-162, 2016.

ROSCOE, M. T. Patologias em revestimento cerâmico de fachada. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

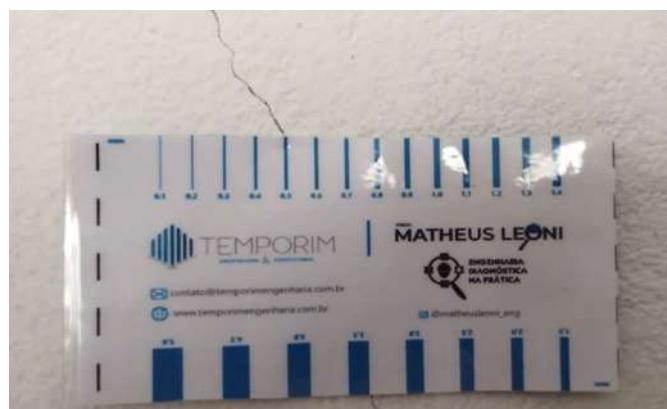
SILVA, Eliezer; et al. Análise das manifestações patológicas: um estudo de caso da ponte sobre a laguna de roteiro-AL. 2014. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/civil/22_admpuedcd.pdf. Acesso em: 01 maio 2023.

SOTANA, Adrian Felipe et al. Patologia das estruturas e pisos e concreto armado e revestimentos. 2012. 33 f. Trabalho apresentado à disciplina Construção Civil II, Chapecó/SC, 2012.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1998.

VITÓRIO, Afonso. Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de Engenharia., Recife: IBAPE, 2003.

ANEXO A –MEDIÇÃO DA ABERTURA COM USO DE FISSURÔMETRO



Capítulo 8



10.37423/240709182

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO CONCRETO PRODUZIDO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE GRANITO PRETO SÃO GABRIEL EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO GRAÚDO

Igor Goytacaz dos Santos

Universidade CEUMA

André Pinto Moraes

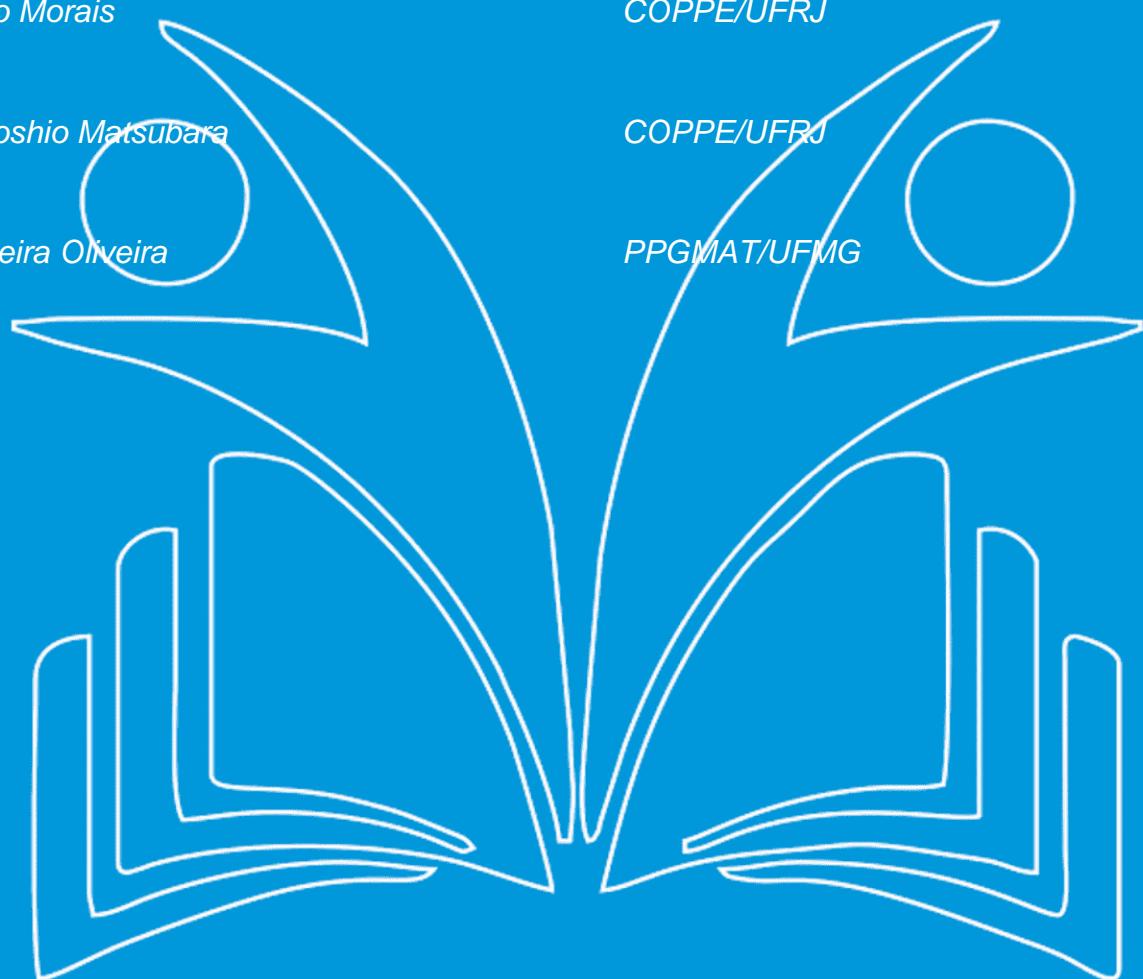
COPPE/UFRJ

Gustavo Yoshio Matsubara

COPPE/UFRJ

Felipe Ferreira Oliveira

PPGMAT/UFGM



Resumo: A construção civil desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de uma nação. Contudo, é um dos segmentos que mais impactam o meio ambiente, especialmente em relação aos resíduos sólidos, como as aparas de granito, que ainda tem baixo aproveitamento. Este estudo, realizado por meio de ensaios laboratoriais, visou avaliar o desempenho do concreto utilizando rejeitos de granito como substituição parcial do agregado graúdo (brita 1), tendo como referência a resistência à compressão simples de 25 MPa. Foram utilizados nove corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm para a moldagem do concreto e rompimento nas idades de 7, 14 e 28 dias. Comparações por meio de gráficos de resistência versus tempo evidenciaram que a substituição parcial do agregado graúdo por resíduo de granito, com traço do concreto em 1:1,41:1,88 e fator água/cimento de 0,47, no 28º dia, superou a resistência do traço de referência. Especificamente, a resistência à compressão simples foi 12,98% superior com a substituição de 25% do agregado graúdo e 14,49% inferior com a substituição de 50%. O desempenho superior do concreto com 25% de granito, em relação ao f_{ck} pretendido de 25 MPa, possivelmente deve-se às características intrínsecas da rocha, cuja resistência pode alcançar 176,4 MPa. Apesar do sucesso obtido, não foi possível identificar a razão pela qual a substituição de 50% do granito resultou em resistência inferior à obtida com a adição de 25%. Portanto, é necessário um estudo mais aprofundado sobre a influência da composição mineralógica e das características físico-mecânicas do granito preto São Gabriel.

Palavras-chave: Concreto; Resíduos de granito; Meio ambiente; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos segmentos industriais que mais impactam o meio ambiente, causando prejuízos incalculáveis devido ao uso desenfreado de materiais extraídos da natureza e à geração e descarte inadequados de resíduos de construção e demolição em volumes consideráveis.

O material mais empregado na construção civil é o concreto, cuja matéria-prima principal é o cimento. Além do cimento, a produção do concreto envolve o uso de outros materiais de fontes não renováveis, como água, agregado miúdo e agregado graúdo, com ou sem aditivos.

Devido à versatilidade de aplicações do concreto na indústria da construção civil, estima-se que sejam consumidos 11 bilhões de toneladas desse material compósito, com um consumo médio de cerca de 2 toneladas de concreto por habitante a cada ano, tornando-o o segundo material mais consumido no mundo, atrás apenas da água.

Uma das alternativas para reduzir os impactos ambientais e garantir a sustentabilidade para as gerações futuras é aproveitar a flexibilidade da produção do concreto, que permite a substituição dos materiais constituintes por componentes com características similares, capazes de proporcionar as mesmas propriedades físicas e mecânicas de resistência.

O resíduo do beneficiamento do granito (RBG) é decorrente do corte de blocos e placas de granito em chapas a serem utilizadas em diversos ramos da construção civil. As perdas no corte do granito variam em função do tipo de serra, do método empregado, do tipo de granito, entre outros parâmetros. Estudos apontam para uma perda total de 30% a 50% dos blocos processados, resultando na geração de 240.000 toneladas/ano desse resíduo no Brasil.

Os resíduos de granito incluem retalhos de rochas, pó de pedra, cal, água e granalha metálica. Devido aos novos e rígidos normativos legais de proteção do meio ambiente, que impõem destino apropriado para esses resíduos, as empresas do setor, ainda sem encontrarem uma aplicação definitiva, acumulam, em seus pátios industriais ou depósitos alugados, milhões de toneladas das “perdas” do beneficiamento do granito. Atualmente, entre 80% e 90% do total de resíduos gerados não têm aplicação definida no Brasil.

Neste estudo, o foco é a substituição parcial do agregado graúdo na produção de concreto pelo resíduo da indústria de beneficiamento de granito (RBG) no setor de mineração, proporcionando, assim, uma destinação ambientalmente correta para esse resíduo. Os ensaios serão baseados em corpos de provas sujeitos à compressão.

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os procedimentos deste estudo foram realizados na Universidade Ceuma em São Luís - MA, utilizando a infraestrutura do Laboratório de Materiais e Ensaios Mecânicos de Engenharia Civil.

Este estudo foi realizado de forma experimental, mediante a realização de ensaios com corpos de prova, utilizando resíduos de granito preto São Gabriel em substituição do agregado graúdo na produção de concreto, submetidos à compressão simples, para a geração de análises de resistência, tendo o concreto convencional como referência.

As seções seguintes apresentam todo o procedural metodológico observado para a realização da pesquisa.

2.1 SELEÇÃO DO MÉTODO DE ENSAIO A SER UTILIZADO – EQUIPAMENTOS, OPERADOR E PROCESSOS

Para a coleta de dados, foram realizados ensaios em conformidade com os procedimentos das normas ABNT NBR 5739: 2018 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos, para análise de resistência à compressão, e ABNT NBR 5738: 2015 – Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. A moldagem e cura dos corpos de prova foram feitas em cilindros. Todos os procedimentos dos ensaios contaram com o apoio de um técnico laboratorial.

Os materiais e instrumentos disponibilizados pelo laboratório de engenharia do CEUMA: areia, brita 1, granito preto São Gabriel, cimento Portland Poty CP IV Z32, bandejas, baldes, concha, colher de pedreiro, escova, 9 fôrmas de corpos de prova de 10 cm x 20 cm, frasco de Chapman, proveta graduada, pipeta, funil de vidro, balanças, haste metálica de adensamento, molde cilíndrico com placa metálica, prensa hidráulica, régua, conjunto de peneiras, base, paquímetro, tronco cônicoo e funil, sendo estes quatro últimos em aço zinkado.

Para o processo de moldagem dos corpos de prova, foram seguidas as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), segundo as quais as dimensões devem...

levar em conta diversos fatores, como o tamanho máximo do agregado inferior a 32mm, a relação a/c baixa, a resistência à compressão esperada devendo ser entre 20MPa a 60MPa, e o volume pequeno de produção de concreto, visando obter resultados mais representativos do comportamento do material em questão.

Os moldes e as bases utilizados foram internamente revestidos com desmoldante para concreto, fabricado pela Vedacit, de modo a evitar reações com o cimento Portland, conforme especificado na

NBR 5738 (ABNT, 2015). Além disso, as características dos instrumentos utilizados para a moldagem dos corpos de prova estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características dos instrumentos utilizados para a moldagem dos corpos de prova.

Corpos de prova	Tipo cilíndrico 10 cm x 20 cm	Três vezes maior do que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo.
Moldes	Laterais removíveis e base de aço.	Revestidos internamente com óleo desmoldante.
Haste de adensamento	Metálica, medindo 80 cm x 1,6 cm.	Extremos com forma semiesférica.

Fonte: Autor.

2.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS MATÉRIAS-PRIMAS PARA O ENSAIO

Para a classificação da matéria prima realizada no laboratório, foram determinadas a granulometria (propriedade física), a massa específica e a absorção de água de todos os agregados, assim como o índice de forma destes. Todos os ensaios para a caracterização dos agregados foram realizados três vezes, sendo o resultado final obtido pela média dos ensaios.

A descrição dos materiais utilizados para a realização da pesquisa foram:

2.2.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento Portland utilizado neste estudo foi o cimento pozolânico CP IV Z32, da marca Poty, com classes de resistência de 15, 20, 25 e 32 MPa, e material pozolânico variando de 15% a 50%. A massa específica foi de 3,15 g/cm³, destacando-se por sua alta resistência já nos primeiros dias de aplicação e por atender às especificações da NBR 5753: 2016 - Cimento Portland – Ensaios de pozolanicidade para cimento Portland pozolânico.

A composição do cimento pozolânico CP IV é normalizada pela NBR 5753 (ABNT, 2016). Abaixo, apresenta-se, na Tabela 2, a composição deste cimento.

Tabela 2: Composição do cimento.

Composição	% em massa
Clínquer + gesso	85-45
Escória granulada de alto-forno	-
Material pozolânico	15-50
Material carbomático	0-5

Fonte: Guia de utilização do cimento Portland, 2002.

2.2.2 AGREGADOS DO CONCRETO

2.2.2.1 AGREGADO MIÚDO

Utilizou-se a areia quartziza do tipo natural, de coloração branca, proveniente da Jazida Pindoba – Estrada Porto Grande, s/n Km 1, Vila Maranhão, São Luís - MA. Esta escolha deveu-se a facilidade de encontrar essa areia no mercado local. A areia apresenta granulometria com diâmetro máximo de 4,8 mm, massa específica de 2,62 g/cm³ e teor de materiais pulverulentos de 0,07%. A classificação foi realizada conforme a norma NBR 7211 (ABNT, 2022).

Para a determinação do módulo de finura (análise da granulometria) da areia, utilizou-se uma amostra de 500 g e as peneiras com aberturas de 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm. Após o peneiramento, realizado três vezes, e a remoção do material retido, o resultado médio obtido foi de 2,29.

A massa específica da areia foi determinada utilizando-se o método de Chapman de acordo com a norma NBR 9775 (ABNT, 2011), com o objetivo de verificar a relação entre a massa da areia e o volume de água, sem considerar os vazios permeáveis. A determinação da massa específica é fundamental para calcular o consumo dos materiais que compõem o traço do concreto.

O frasco de Chapman, disponível no laboratório onde foram realizados os ensaios, consiste em um frasco de vidro com dois bulbos e um gargalo graduado. O frasco possui uma graduação de 200 cm³ no estrangulamento entre os bulbos, com marcações de 375 cm³ e 450 cm³ no gargalo. A Figura 1 apresenta o frasco de Chapman utilizado.



Figura 01 - Frascos de Chapman.

Fonte: Autor.

Para a determinação da massa específica da areia, o frasco de Chapman foi preenchido com água até a marca de 200 cm³. Com o auxílio de um funil, 500 g de areia foram introduzidos no frasco. A mistura foi agitada com movimentos circulares para eliminar as bolhas de ar. Após um repouso de 10 minutos, foi realizada a leitura do nível final da água, observando-se o deslocamento causado pela introdução da areia. Os resultados obtidos foram 390 cm³ e 389 cm³ nos dois ensaios realizados. Aplicando-se a média dos valores obtidos pela Equação 1, a massa específica da areia foi determinada como 2,62 g/cm³.

$$\gamma = \text{volume areia/l} - \text{volume água} \quad (1)$$

$$\gamma = 500/\text{l} - 200 \text{ cm}^3$$

$$\gamma = 2,62 \text{ g/cm}^3$$

A densidade (massa unitária) da areia solta é determinada pelo quociente entre a massa do agregado e o volume do recipiente utilizado. O volume do cilindro utilizado para medir a densidade da areia foi de 0,98 dm³, obtido com a utilização de um paquímetro, que mediu uma altura de 127,17 cm, um diâmetro de 99,36 cm e um peso de 5,55 kg. Com o volume do cilindro definido, procedeu-se à determinação da densidade da areia solta. O cilindro foi preenchido com areia até o transbordamento, nivelando-se a superfície com a passagem de uma régua na borda do recipiente. Esse processo foi repetido três vezes. A pesagem das três amostras resultou em uma média de 1,63 kg.

A densidade compactada da areia corresponde à relação entre a massa do agregado e seu volume após a compactação. Para determinar essa densidade, metade da amostra de areia foi adicionada ao cilindro e, utilizando-se uma haste de adensamento, aplicaram-se 12 golpes iniciais para compactar o conteúdo. Em seguida, o cilindro foi completado com o restante da amostra de areia e a compactação foi repetida. A pesagem de cada amostra, realizada em três ensaios, resultou em uma média de 1,75 kg.

2.2.2.2 AGREGADO GRAÚDO

A brita utilizada foi de origem granítica, apresentando diâmetro máximo padronizado de 19 mm, massa específica de 2,65 g/cm³, módulo de finura de 4,8 e diâmetro máximo de 19 mm. A determinação do módulo de finura (granulometria) da brita 1 foi realizada utilizando-se 1000 g do agregado graúdo, peneirados em malhas com aberturas de 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm e 4,8 mm. O resultado médio de material retido foi de 2,33.

A determinação da massa específica da brita 1 foi realizada utilizando-se uma proveta graduada contendo 200 ml de água, à qual foram adicionados 500 g de brita. Nas pesagens realizadas após dois ensaios, obtiveram-se as leituras de 389 ml e 388 ml. O resultado médio apurado foi de 2,65 g/cm³.

Para determinar a densidade da brita solta, primeiramente aferiu-se o volume do cilindro disponível para o ensaio, utilizando-se um paquímetro que mediu 177,36 mm de altura e 152,14 mm de diâmetro, resultando em um volume de 3,22 dm³ e um peso de 7,47 kg. Em seguida, 500 g de brita 1 foram lentamente adicionados ao cilindro até o seu transbordamento, nivelando-se o agregado no cilindro com uma régua niveladora. As amostras obtidas nos três ensaios foram pesadas, resultando em uma média de 4,65 kg.

Para o cálculo da densidade compactada da brita 1, metade do agregado foi adicionado ao cilindro utilizado nos ensaios e submetida a 12 golpes de uma haste de adensamento. A seguir, a outra metade do agregado foi adicionada ao cilindro e compactada pelo mesmo método. As amostras dos três ensaios resultaram na média de 5,00 kg.

2.2.2.3 RESÍDUO DE GRANITO

O resíduo de granito foi utilizado no desenvolvimento desta pesquisa como o segundo agregado graúdo para a produção do concreto, juntamente com a pedra brita. O granito usado é proveniente da jazida Pedreira de Icaraí – Barra do São Francisco – ES e foi doado pela VOLPE Ltda, situada na MA 203, no município de Raposa (MA), a qual utiliza placas de mármore e granito em seu processo de beneficiamento.

O material foi coletado diretamente do pátio de rejeitos da empresa, armazenado em baldes plásticos para transporte e mantido por cinco dias em local arejado para secagem. Em seguida, os resíduos foram quebrados com uma marreta de 1 kg em peças com diâmetros variando de 19 mm a 4,8 mm, de modo a compatibilizá-los com a brita de 19 mm, uma vez que foram coletados em tamanhos variados. O volume coletado para a amostra foi de aproximadamente 5,69 kg, considerado suficiente, dos quais foram utilizados 3,255 kg.

Na sequência, os resíduos de granito foram peneirados em malhas de 19 mm a 4,8 mm, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2022). A Figura 2 ilustra os resíduos de granito utilizados na pesquisa.



Figura 2: Resíduos de granito durante a análise das características físicas.

Fonte: Autor.

As características físicas avaliadas do resíduo de granito consistiram em apuração da granulometria e da massa específica com 2,33 e 2,65, respectivamente.

A Tabela 3, abaixo apresentada, evidencia todos os resultados apurados pela caracterização dos agregados a serem utilizados na produção do concreto objeto deste artigo.

Tabela 3: Quantidade de materiais (em kg) para cada ensaio a ser realizado.

Mat. Concreto	Areia	Brita 1	Granito PSG	Cimento CP IV 32
Modulo Finura	2,29	2,33	2,33	3,30~
Massa Específica	2,62	2,6525	2,65	3,15
Densidade Solta	1,63	4,65	4,70	1,30~
Densidade compactada	1,75	5,00	5,07	1,65~

Fonte: Autor.

2.2.3 ÁGUA

A água utilizada para amassamento, lavagem dos materiais e limpeza das ferramentas foi a fornecida pela Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), não tendo recebido qualquer tratamento antecipado para os ensaios.

2.3 ESTUDO DE DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem do concreto de referência deste artigo foi baseada no método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o qual, para Bartholomeu (2013), utiliza menos cimento do que em outros métodos.

Com base nas características físicas dos materiais a serem utilizados na produção do concreto pretendido, foi determinado o traço com a seguinte dosagem: 1:1,4:1,88:0,47 (respectivamente, cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: fator água/cimento) e o abatimento de $90 \pm 10\text{mm}$, tendo sido definida uma resistência à compressão simples igual a 25 MPa, considerada a resistência mínima necessária para condições de agressividade moderada, conforme a NBR 6118. (ABNT, 2023).

O primeiro passo foi determinar a relação água/cimento, levando em consideração a resistência mecânica para a escolha do fator água/cimento, com aplicação na curva de Abrams, de acordo com o tipo de cimento definido para a pesquisa, na frequência aos 28 dias. Para tanto, foi utilizada a equação 2:

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (2)$$

$$f_{c28} = 25 + 1,65 \times 5,5$$

$$f_{c28} = 34\text{MPa}$$

Aplicado o Fator Cimento obtido (34 MPa), no eixo da resistência do gráfico da curva de Abrams (Figura 3), verificou-se o enquadramento do fator água/cimento na ordem de 0,47.

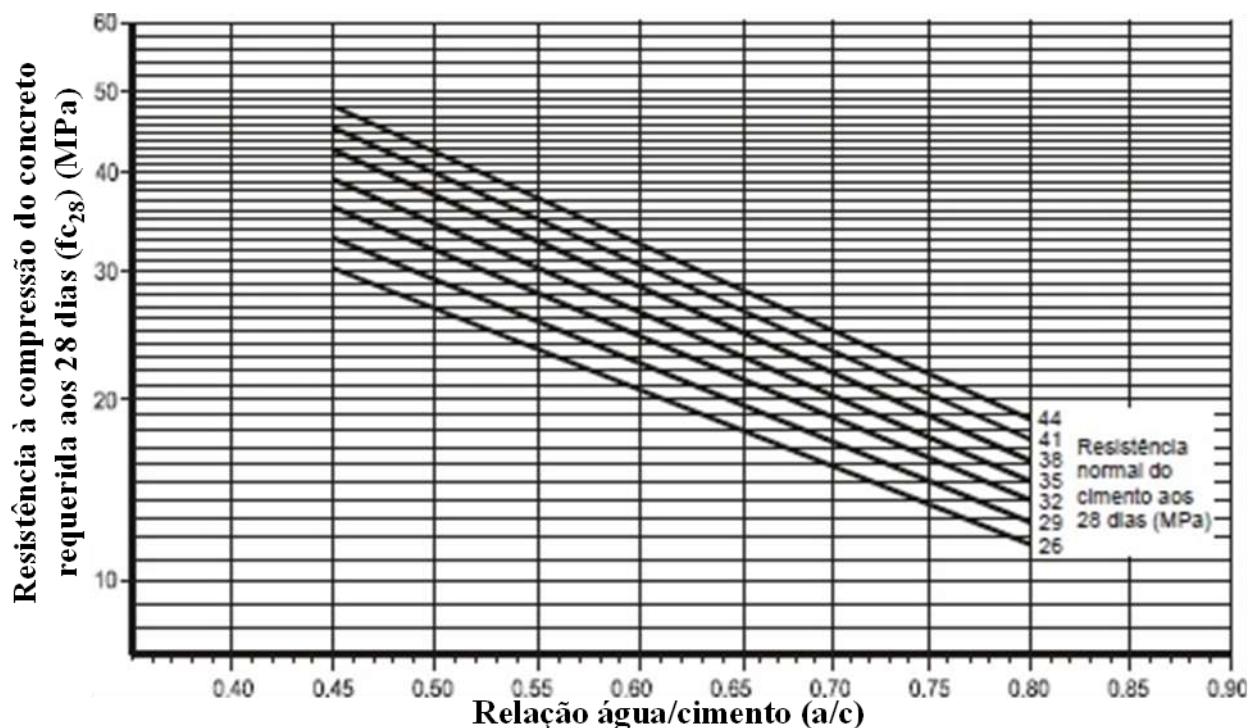


Figura 3 – Gráfico para a determinação da relação água/cimento (a/c) em função das resistências do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.

Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

A determinação do consumo dos materiais foi o segundo passo para definição da dosagem do concreto pretendido (o traço), abrangendo os consumos da água, do cimento, do agregado graúdo e do agregado miúdo, conforme segue.

Para a determinação do consumo de água, foi verificado na tabela do consumo água aproximado (Tabela 4) abaixo apresentada, o enquadramento da dimensão (9,5 mm) da brita com o abatimento de 90 mm, conforme definidos para a pesquisa, resultando no consumo de água igual a 230 litros.

Tabela 4: Consumo de água aproximado.

Abatimento(mm)	Consumo de água aproximado (l/m ³)				
	Dmáx agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 a 60	220	195	190	185	180
60 a 80	225	200	195	190	185
80 a 100	230	205	200	195	190

Fonte: ABCP, 2002.

O consumo do cimento (C_c) é determinado pela relação do consumo da água ($C_a = 230\text{ l}/\text{m}^3$) com o fator água/cimento obtido ($a/c = 0,47$). Assim, aplicando-se a equação 5 abaixo, ficou evidenciado que o consumo de cimento será de $489,35 \text{ kg}/\text{m}^3$.

$$Cc = \frac{Ca}{a/c} \quad (5)$$

$$Cc = \frac{230}{0,47}$$

$$Cc = 489,36 \text{ kg/m}^3$$

A determinação do consumo do agregado graúdo levou em conta dois parâmetros: o diâmetro máximo (9,5mm) da brita utilizada na pesquisa e seu módulo de finura (2,3), procedendo-se seu enquadramento na Tabela 5 abaixo apresentada.

Tabela 5: Consumo do agregado graúdo (brita).

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2,0	0,625	0,75	0,775	0,80	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3,0	0,525	0,65	0,675	0,70	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

Fonte: ABCP, 2002.

A seguir, foi calculado o consumo da brita (C_b), resultando em 923,91 kg/m³, mediante a aplicação da Equação 6. A massa compactada (y) foi resultante de ensaio laboratorial realizado na pesquisa.

$$C_b = V_b \times y \text{ compactada} \quad (6)$$

$$C_b = 0,595 \times 1552,79$$

$$C_b = 923,91 \text{ kg/m}^3$$

Determinados os consumos dos materiais (água, cimento e agregado graúdo), conforme evidenciados acima, restou calcular o volume da areia (V_a), agregado miúdo utilizado na pesquisa. Desta forma, na determinação do consumo da areia observou-se a sua própria participação na produção do concreto, juntamente com os demais componentes deste, tendo sido desenvolvidos os seguintes cálculos baseados na Equação 7.

$$V_a = 1 - \frac{\text{cimento}}{\delta \text{cimento}} + \frac{\text{brita}}{\delta \text{brita}} + \frac{\text{água}}{\delta \text{água}} \quad (7)$$

$$V_a = 1 - \left(\frac{489,36}{230} + \frac{923,91}{230} + \frac{230}{230} \right)$$

3100 2652,5 1000

$$V_a = 0,2639 \text{ m}^3$$

Obtido o volume de areia, e já sendo conhecida a sua massa específica (evidenciada anteriormente neste trabalho), o consumo de agregado miúdo foi revelado com a aplicação destes fatores (V_a e δ_a) na equação 8, resultando em 691,41 kg/m³.

$$C_a = V_a \times \delta_a \quad (8)$$

$$C_a = 0,2639 \times 2620$$

$$C_a = 691,41 \text{ kg/m}^3$$

Na sequência, o traço do concreto passa a ser definido, considerando o consumo de cada um dos componentes do concreto, resultante das análises realizadas previamente em laboratório, conforme já apresentadas nas seções anteriores deste artigo, obtendo-se os dados necessários à elaboração do traço do concreto.

Na pesquisa objeto deste artigo foram utilizadas as seguintes proporções: 1:1,4:1,88:0,47, respectivamente para o cimento, areia, brita e água, com definição de 25 MPa para a resistência à compressão simples a ser atingida.

Assim, tais proporções são obtidas dividindo-se o consumo de cada componente do concreto pelo consumo apurado para o cimento. Para esse fim, foi utilizada a Equação 9, que evidencia os cálculos resultantes na formulação do traço do concreto.

$$\text{Cimento : areia : brita : água/cimento} \quad (9)$$

$$\underline{C_c} : \underline{C_a} : \underline{C_b} : \underline{C_{ag}}$$

$$C_c : C_c : C_c : C_c$$

$$1 : \underline{691,41} : \underline{923,91} : \underline{230,00}$$

$$489,36 : 489,36 : 489,36$$

$$1 : 1,41 : 1,88 : 0,47$$

O cálculo do consumo do traço leva em conta o volume do cilindro que será utilizado para o molde dos corpos de prova (já especificado como sendo de 10 cm x 20 cm), o qual totaliza 1,57 dm³. Desta forma, o consumo do cimento do traço é medido pela razão entre o volume do cilindro e a relação de

cada massa específica dos componentes do concreto com as proporções do traço definido. Ou seja, seu consumo é obtido aplicando-se a seguinte Equação 10:

$$C = \frac{\text{Volume do cilindro}(dm^3)}{1_c + a_c + b_c + x} \quad (10)$$

$$y_c \quad y_a \quad y_b$$

$$C = \frac{1,57}{\frac{1}{3,15} + \frac{1,41}{2,62} + \frac{1,88}{2,65} + 0,47}$$

$$C = \frac{1,57}{0,317 + 0,538 + 0,709 + 0,47}$$

$$C = \frac{1,57}{2,034} = 0,77 \text{ kg}$$

O consumo total de cimento para o preenchimento dos nove corpos de prova da pesquisa foi de 6,946 kg. Em seguida, esse consumo total de cimento foi aplicado a todo o traço, conforme evidenciado na Equação 11.

$$1 : 1,41 : 1,88 : 0,47 \quad (11)$$

$$1 \times 6,946 : 1,41 \times 6,946 : 1,88 \times 6,946 : 0,47 \times 6,946$$

$$6,946 : 9,794 : 13,058 : 3,264$$

Considerando que foi utilizado o granito em substituição parcial do agregado graúdo (brita), nas proporções de 25% e 50%, foram preparadas dosagens com percentuais destas adições. Distribuindo-se o volume dos componentes por três corpos de prova para cada mistura dos três ensaios, obtém-se as quantidades informadas na Tabela 6.

Tabela 6: Quantidade de materiais (em kg) para cada ensaio a ser realizado.

Consumo traço 3 CP(kg)	Cimento	Areia	Brita	Granito PSG	Água
CP ref	2,31	3,25	4,34	-	1,08
CP 25%sub	2,31	3,25	3,255	1,085	1,08
CP 50%sub	2,31	3,25	2,17	2,17	1,08

Fonte: Autor.

A consistência do concreto foi determinada no ensaio pelo método Slump Test, em observância às especificações da norma técnica ABNT NBR 16889: 2020 – Concreto – Determinação de consistência pelo abatimento do tronco de cone. Para a execução do ensaio dividiu-se o concreto em três porções para colocação, em camadas, em um tronco de cone com altura de 30 cm, sendo aplicados 25 golpes

de haste após cada uma. Removido o excesso de concreto depositado no cone, este foi lentamente retirado para a verificação do abatimento obtido (medição por trena), resultando em 170 mm. A figura 04 revela o resultado do ensaio.



Figura 4: ensaio para avaliação da consistência do concreto (Slump test).

Fonte: Autor.

2.4 MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram produzidos observando as orientações dispostas na norma ABNT NBR 5738: 2015 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Para esta pesquisa, foram moldados três corpos de prova para cada uma das formulações, resultando em um total de nove corpos de prova, conforme retratado na Figura 05.



Figura 5: ensaio de moldagem e cura dos corpos de prova.

Fonte: Autor.

Esses corpos de prova possuem formato cilíndrico e dimensões de 10 cm x 20 cm. Assim caracterizados, foram utilizados nos ensaios com o concreto de referência (CREF) e com o concreto

com adição de resíduos de granito em substituição parcial ao agregado graúdo (brita), nas proporções de 25% e 50%.

Para a cura dos corpos de prova, foram estipuladas as idades de 7, 14 e 28 dias, durante as quais os corpos permaneceram sobre uma superfície plana, sem vibrações, a uma temperatura de 27ºC +/- 3ºC e umidade relativa acima de 95%.

Os corpos de prova desmoldados e submersos em um tanque de água podem ser observados na Figura 6.

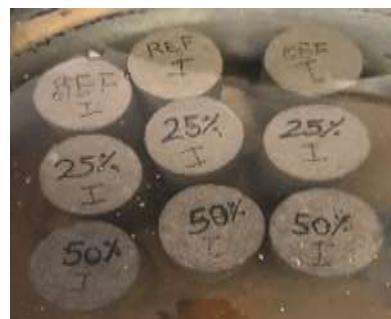


Figura 6: ensaio de moldagem e cura do corpo de prova.

Fonte: Autor.

2.5 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Realizaram-se três ensaios de compressão simples, um para cada uma das idades estabelecidas para a cura dos corpos de prova moldados, de acordo com a norma ABNT NBR 5739: 2018 – Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. A retificação e o rompimento dos corpos de prova foram realizados em prensa hidráulica no mesmo laboratório utilizado para a pesquisa, conforme evidenciado na Figura 7.



Figura 7: Prensa hidráulica utilizada nos ensaios de resistência à compressão simples.

Fonte: Autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico presente na Figura 8 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples do concreto de referência e do concreto com substituição da brita 1 por granito preto São Gabriel no percentual de 25%.

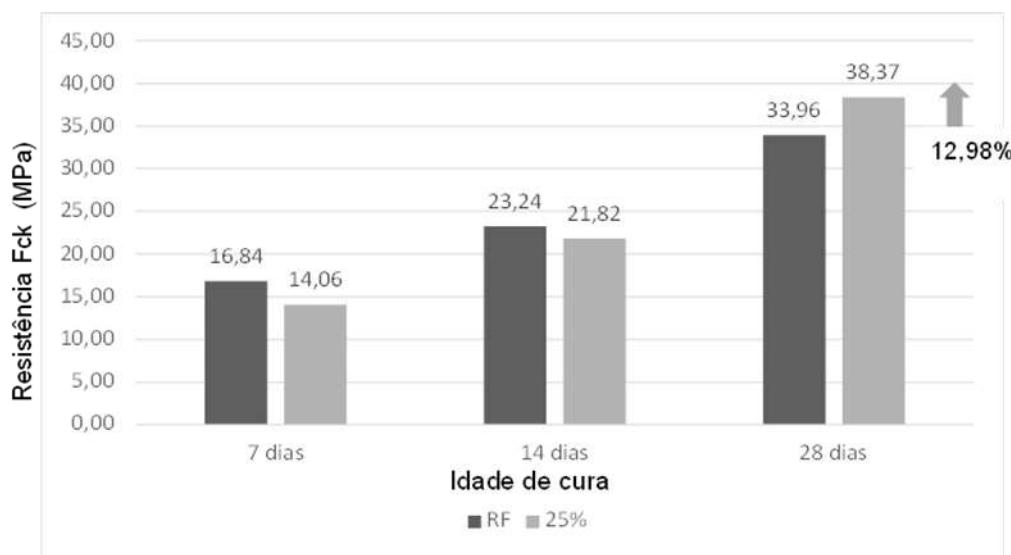


Figura 8 - Ensaio de compressão (MPa) – Ref x 25%.

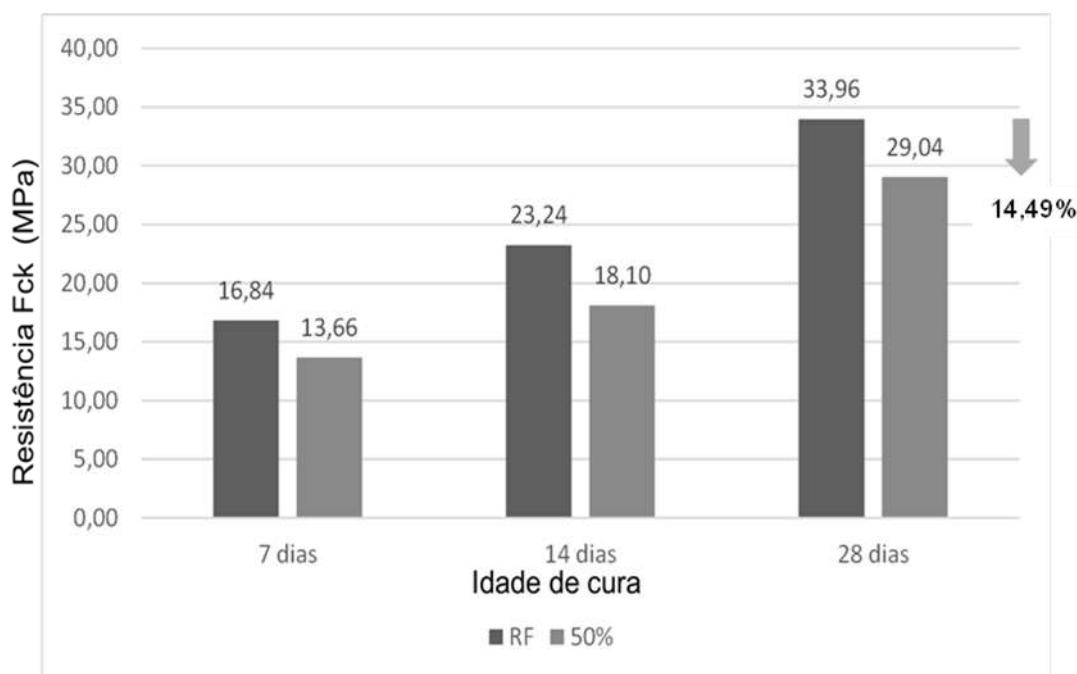
Fonte: Autor

Segundo a Figura 8, observa-se que, aos 7 dias de cura, o ensaio de compressão simples do concreto de referência, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), apresentou uma resistência de 16,84 MPa. Por outro lado, a resistência do concreto com 25% de granito em substituição parcial do agregado graúdo alcançou apenas 14,06 MPa. Aos 14 dias de cura dos corpos de prova, o ensaio de compressão simples revelou resistências aumentadas, sendo de 23,24 MPa para o concreto de referência e 21,82 MPa para o concreto com 25% de granito em substituição parcial do agregado graúdo.

Os resultados obtidos aos vinte e oito dias de cura evidenciaram uma maior resistência de 38,38 MPa no concreto com 25% de resíduo de granito em substituição ao agregado graúdo convencional, seguida pela resistência de 33,96 MPa apurada no concreto de referência.

Diante destes resultados, verifica-se que a resistência característica (f_{ck}) de 25 MPa foi alcançada e superada no ensaio com 25% de substituição parcial do agregado graúdo por granito, uma vez que essa resistência superou em 12,98% a resistência apurada no concreto de referência.

Adicionalmente, o gráfico apresentado na Figura 9 evidencia os resultados dos ensaios de resistência à compressão simples do concreto de referência e do concreto com substituição de 50% da brita 1 por granito preto São Gabriel.

**Figura 9 - Ensaio de compressão (MPa) – Ref x 50%.**

Fonte: Autor.

Como observado no gráfico da Figura 9, aos 7 dias de cura, o ensaio de compressão simples revelou uma resistência de 16,84 MPa no concreto de referência e 13,66 MPa no concreto com 50% de granito em substituição parcial ao agregado graúdo.

Aos 14 dias de cura dos corpos de prova, o ensaio de compressão simples mostrou uma resistência ainda inferior à resistência característica, tanto para o concreto de referência, que atingiu 23,24 MPa, quanto para o concreto com 50% de granito em substituição parcial ao agregado graúdo, que apresentou uma resistência de 18,10 MPa.

Vale mencionar que Alhadas (2008) constatou que a resistência à compressão do concreto é afetada pela escolha dos agregados graúdos de diferentes origens mineralógicas. O estudo utilizou calcário, que possui uma origem geológica semelhante ao mármore.

Os resultados obtidos aos 28 dias de cura evidenciaram uma maior resistência de 33,96 MPa no concreto de referência, enquanto a resistência do concreto com 50% de granito em substituição parcial foi de 29,04 MPa.

Como visto, a resistência alcançada pelo concreto com adição de 50% de granito, apesar de ter sido inferior em 14,49% à do concreto de referência, ainda superou a resistência característica. Segundo Neville (2016), a aderência entre a pasta de cimento e o agregado é melhorada com o uso de agregados

mais porosos, o que facilita a penetração das partículas e fortalece a ligação. Isso pode aumentar a resistência na zona de transição.

Com base nos resultados verificados, pode-se concluir que o ensaio de compressão simples apresentou resistência superior à característica nos dois concretos com uso de granito, sendo a melhor performance verificada no concreto com adição de 25% de granito.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil é um dos segmentos industriais que mais causam danos ao meio ambiente, seja pela extração desenfreada de recursos naturais, pelo uso inadequado desses materiais ou pelo descarte inadequado. Neste contexto, insere-se o descarte de milhões de toneladas de resíduos de granito em grandes pátios das indústrias de beneficiamento de rochas, que ainda não possuem um destino apropriado definido.

Ao utilizar os rejeitos de granito como substituto do agregado graúdo (brita 1) na produção de concreto, demonstra-se que sua adição é tecnicamente viável e uma opção promissora para incorporar esse material em um novo ciclo produtivo. Isso contribui para a redução dos impactos ambientais e garante sustentabilidade para as gerações futuras.

Desta maneira, este estudo propôs o reaproveitamento de rejeito de granito preto São Gabriel como substituto parcial do agregado graúdo na produção de concreto, demonstrando que essa substituição pode resultar em ganhos de resistência mecânica. A pesquisa revelou que, aos 28 dias de idade, a substituição promoveu um desempenho superior ao f_{ck} de 25 MPa nas duas substituições testadas. O maior aumento foi verificado na substituição de 25% do granito, que atingiu 12,98% a mais que o concreto de referência. Por outro lado, o concreto com substituição de 50% apresentou uma queda de 14,49% em relação ao concreto de referência.

Diante dos resultados obtidos, esta pesquisa contribui para o desenvolvimento de estudos alternativos para uma construção sustentável, mediante o aproveitamento de rejeitos de granito preto São Gabriel oriundos do beneficiamento da rocha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESC. Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil. - Publicações Técnicas. Disponível em: www.abesc.org.br. Acesso: março de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – Guia básico de utilização do cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118: Projetos de estruturas de concreto, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9935: Agregados – Terminologia, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9775: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5753: Cimento Portland – Ensaio de Pozolanicidade para cimento Portland pozolânico, 2016.

BARTHOLOMEI, M. B. Estudo de Concreto Autoadensável com a Utilização de Materiais da Região de Manaus e Resíduo de Vidro como Modificador de Viscosidade. Manaus, 2013.

HELENE, P. R. L. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. Tese (Livre Docência em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

INSTITUTO DE PESQUISA E TECNOLOGIA, Laboratório de Materiais de Construção Civil – Relatório de Ensaio 995 420-203, 2009. Disponível em <https://marbrasa.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Laudo-IPT-Granito-Preto-Sao-Gabriel.pdf>, (acessado em 12 abr. 2023)

SILVEIRA C. S.; NETO B. D.; Cadastro das pedreiras de rochas ornamentais do estado da Bahia. Superintendência de Geologia e Recursos Minerais. Salvador/Ba, Abr/1996.

Portal do concreto. Disponível em: www.portaldoconcreto.com.br, 2014 (acessado em 16 mar.2014).

Capítulo 9



10.37423/240709183

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS NA REGIÃO DE ROSÁRIO-MA DE ACORDO COM A NORMA NBR 15270:2023

João Paulo Nazar Sousa

Universidade CEUMA

André Pinto Moraes

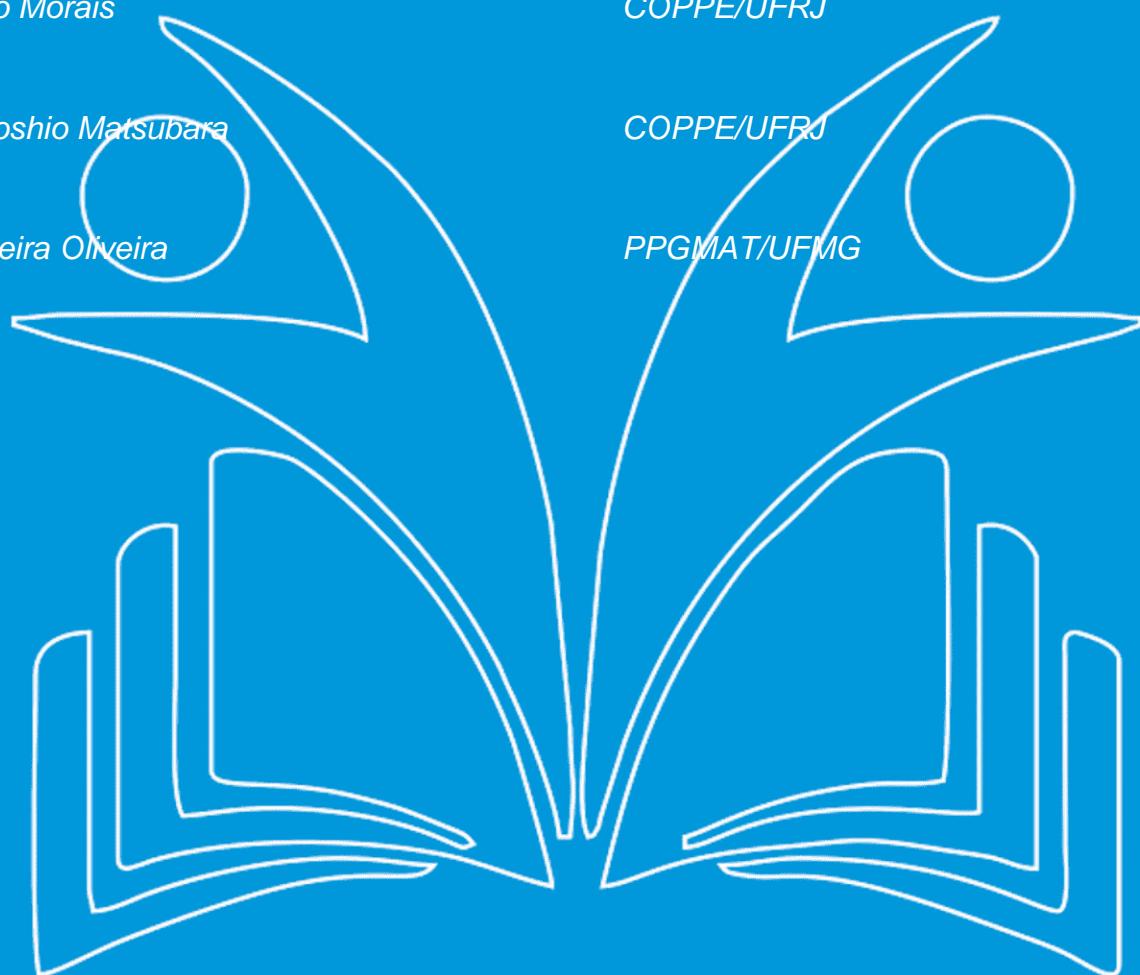
COPPE/UFRJ

Gustavo Yoshio Matsubara

COPPE/UFRJ

Felipe Ferreira Oliveira

PPGMAT/UFMG



Resumo: Com o objetivo de alcançar uma melhor qualidade na execução de serviços na construção civil, é de grande relevância a utilização de materiais que atendam as especificações normativas em vigor. No Brasil, a portaria nº 558/2013 do INMETRO estabelece que a venda de produtos cerâmicos deve estar limitada às indústrias que atendam aos critérios de regulamentação técnica por ela estabelecidos. Todavia, é possível encontrar no mercado materiais que não atendem a esses critérios. O alto índice de absorção de água e baixa resistência à compressão são características responsáveis por diversas manifestações patológicas encontradas em obras de construção civil, como fissuras e infiltrações. Tendo isso em vista, o trabalho realizado na cidade de Rosário -MA, visa avaliar se os blocos cerâmicos produzidos por três indústrias de blocos cerâmicos de vedação da região de Rosário - MA atendem os requisitos estabelecidos pela norma NBR 15270. Foram avaliadas as características gerais, geométricas, propriedades físicas e mecânicas de tijolos cerâmicos de três indústrias selecionadas levando em consideração a quantidade de venda mensal das indústrias como critério de escolha. Constatou-se que nenhuma das três indústrias selecionadas atendem completamente os requisitos estabelecidos pela NBR 15270-1. As indústrias 1 e 2 foram reprovadas nas características geométricas e propriedades mecânicas e a indústria 3 foi reprovada nas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Bloco cerâmico; NBR 15270; Cerâmica vermelha; Verificação das propriedades.

1 INTRODUÇÃO

O bloco cerâmico é um material feito a partir da argila e possui uma forma prismática com aberturas na horizontal ou na vertical, podendo elas serem de forma circular ou prismática. É um material utilizado na construção civil como componente básico em construções de alvenaria de vedação ou estrutural e proporciona diversas vantagens como velocidade de execução, bom isolamento térmico, etc.

Por ser um componente importante na fase de execução da obra, deve-se garantir que o material ofereça uma boa qualidade. Entretanto, atualmente, é possível encontrar blocos que não atendem aos requisitos estabelecidos pela NBR 15270, a norma técnica que regulamenta e estabelece os critérios para que o bloco cerâmico possa ser utilizado como elemento de vedação. A utilização de blocos que não atendem à norma quanto às suas características visuais, geométricas, físicas e mecânicas pode resultar em problemas, como o uso excessivo de argamassa para revestimento, dificuldades com a modulação das paredes e a ocorrência de fissuras e trincas.

Na cidade de Rosário, no interior do Maranhão, existem diversas indústrias dedicadas à fabricação de tijolos cerâmicos, e a cidade é considerada um dos principais polos cerâmicos do estado. O processo produtivo desse material, na maioria das vezes, é realizado de forma empírica, e muitos fabricantes desconhecem a existência de uma norma técnica que especifique os critérios a serem atendidos para que o tijolo produzido tenha melhor qualidade.

O trabalho realizado na cidade de Rosário teve como objetivo avaliar se os blocos cerâmicos produzidos na região atendem aos requisitos estabelecidos pela norma NBR 15270. Os resultados dos testes foram apresentados às indústrias avaliadas, tornando-as cientes das características de seus materiais, possibilitando a realização de correções e melhorias nas características dos blocos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INDÚSTRIA CERÂMICA

O tijolo cerâmico é classificado como material de cerâmica vermelha, uma categoria que inclui materiais de coloração avermelhada derivados da argila, como telhas, tubos, lajotas, entre outros. Segundo Macedo et al. (2008), o setor de cerâmica corresponde a cerca de 1% do PIB brasileiro, sendo a cerâmica vermelha responsável por 40% desse valor. Ainda de acordo com o autor, este setor consome 70 milhões de toneladas por ano, distribuídas entre indústrias de pequeno porte em todo o

Brasil, proporcionando centenas de milhares de empregos. A Tabela 1 apresenta os dados do setor de cerâmica vermelha no Brasil.

Tabela 1- dados do setor de cerâmica vermelha no Brasil.

PRODUTO	Nº APROXIMADO DE EMPRESAS	% DE PRODUÇÃO APROXIMADO POR ANO
Blocos / Tijolos	4346	63%
Telhas	2547	36%
Tubos	10	0,1%

fonte: ANICER (2020).

A Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2022) aponta as regiões Sul e Sudeste como as mais desenvolvidas nesse setor industrial, devido a diversos fatores como densidade demográfica, maior atividade industrial e agropecuária, melhor infraestrutura e melhor distribuição de renda. Consequentemente, a maior parte das indústrias desse setor está concentrada nessas regiões. No entanto, é importante destacar que outras regiões brasileiras também vêm apresentando um notável grau de desenvolvimento. Por exemplo, a região Nordeste teve um aumento na demanda por materiais cerâmicos, especialmente na construção civil, o que levou à implantação de novas indústrias voltadas para esse setor na região.

Cabral Junior et al. (2008) afirmam que o setor ceramista possui uma estrutura empresarial diversificada, variando entre pequenos empreendimentos familiares, como olarias, empresas de pequeno a médio porte, que enfrentam deficiências na gestão e nos maquinários, e empreendimentos de médio a grande porte, que apresentam uma escala de produção e tecnologia mais avançada.

De acordo com Mafra (1999), o setor ceramista apresenta uma competitividade muito reduzida, devido à simplicidade das indústrias que o compõem. Isso faz com que os empresários deixem de buscar melhorias e não invistam no desenvolvimento de novas tecnologias para aprimorar a produção. Da mesma forma, os consumidores dos materiais produzidos pela indústria ceramista não exigem especificações definidas, comprometendo a qualidade dos produtos. O Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE, 2010) aponta que, no estado do Maranhão, existem 120 empresas dedicadas à produção de materiais de cerâmica vermelha, gerando cerca de 7.500 empregos diretos.

Cabral Junior et al. (2012) relatam que o valor estimado de produção e consumo de argila ultrapassou 150 milhões de toneladas por ano em 2005, atingindo 180 milhões de toneladas em 2008. O mesmo autor afirma que, ao compararmos a produção da indústria de cerâmica vermelha e das matérias-primas associadas a essa área, observamos uma significativa diferença em relação a países desenvolvidos como a Espanha, que é um dos maiores produtores de cerâmica vermelha na Europa,

com um consumo de 30 milhões de toneladas por ano de argila, e os Estados Unidos, com um consumo anual de 20 milhões de toneladas. Isso demonstra o grande perfil construtivo e o mercado robusto da construção civil no Brasil, colocando-o como um dos maiores consumidores de argila para fins cerâmicos no mundo, superado apenas pelos imensos mercados da China e da Índia.

2.2 TIJOLO CERÂMICO

Conforme Fernandez et al. (2013), o tijolo de cerâmica é um dos materiais mais antigos utilizados construção civil e foi fundamental para o desenvolvimento de diversas civilizações como a da Mesopotâmia, Egito e Roma, sendo os romanos os principais responsáveis pelo aperfeiçoamento e desenvolvimento das técnicas de uso desse material. A Cerâmica Lorenzetti (2017) relata que nos primórdios da utilização desse material, os blocos cerâmicos chegavam a pesar cerca de 15 kg cada e sua secagem era realizada com a exposição da peça ao sol, posteriormente com o passar do tempo, houve a substituição para elementos cerâmicos mais parecidos com o que conhecemos hoje. No ano de 1954, na cidade de Zurique (Suíça), houve a construção do primeiro edifício projetado com muros de alvenaria devidamente desenhados de forma racional, a edificação tinha 20 andares e seus muros de alvenaria tinham aproximadamente 32 cm de espessura, o que proporcionou um bom isolamento térmico.

De acordo com Lemos (1989), a primeira cerâmica mecanizada brasileira pertencia a Antônio Carlos de Sampaio Peixoto e estava localizada na cidade de Campinas. Já estava em atividade em 1867, ano em que recebeu a visita de D. Pedro II. As máquinas utilizadas pela fábrica eram movidas a vapor e forneciam tijolos para inúmeras cidades e fazendas vizinhas, inclusive para Minas Gerais.

A Associação Nacional de Indústrias Cerâmicas (ANICER, 2020) apresenta dados sobre o setor ceramista brasileiro. Segundo esses dados, existem cerca de 5.600 cerâmicas e olarias no Brasil, com uma produção anual de 4.675.095 blocos cerâmicos.

No mercado, é possível encontrar uma grande variedade de blocos cerâmicos, com diversas formas e tamanhos. No entanto, os mais comuns são os de 2 furos (Figura 1), 4 furos (Figura 2), 6 furos (Figura 3) e 8 furos (Figura 4), todos podendo ter furos circulares ou prismáticos. A Figura 1 ilustra os diferentes tipos de blocos disponíveis no mercado.



Figura 1 - Tijolo de 2 furos.

Fonte: Cerâmica Santa Catarina (2019).



Figura 2 - Tijolo de 4 furos.

Fonte: Tijotelhas (2018).



Figura 3 - tijolo de 6 furos.

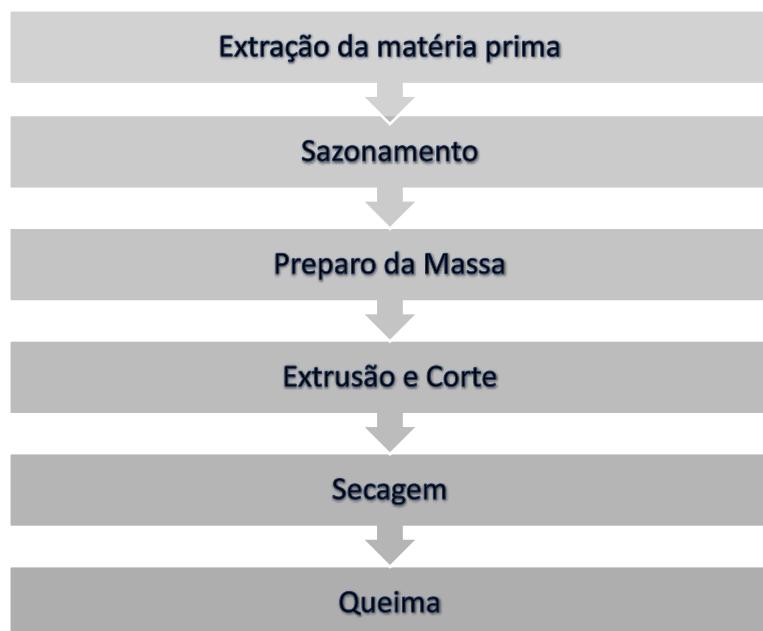
Fonte: Panorama Home Center (2016).



Figura 4 - tijolo de 8 furos.

Fonte: Cerâmica RBR (2020).

Para que se obtenha o bloco cerâmico, é necessário passar por diversos processos que vão desde a extração da matéria prima das jazidas de argila até a queima. O fluxograma 1 mostra a sequência de fabricação do bloco cerâmico.

Fluxograma 1. Processos de fabricação do bloco cerâmico.

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

2.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO

2.3.1 MATÉRIA PRIMA

A matéria-prima utilizada para a fabricação dos blocos cerâmicos é a argila. Segundo Cabral Junior (2008), o termo argila é utilizado para classificar um material inorgânico que possui granulometria fina, partículas de poucos micrômetros e que, na presença de certa quantidade de água, apresenta um comportamento plástico. Esse autor também menciona que os argilominerais são os principais componentes da argila e que, nos tipos mais comuns, a formação ocorre por folhas tetraédricas de silício, octaédricas de alumínio e, em menor quantidade, de magnésio e/ou ferro. A cor avermelhada dos materiais de cerâmica vermelha após a queima se deve à presença de óxido de ferro na composição da argila, em uma quantidade superior a 4%.

Para cada material cerâmico que se deseja obter, há um tipo específico de matéria-prima. Portanto, é imperativo ter conhecimento de alguns fatores que podem influenciar na qualidade do produto final, como o teor de argila, a umidade e a composição granulométrica. Diante disso, é necessário estudar a matéria-prima quanto à granulometria e às características químicas para determinar se ela é adequada ao produto que se deseja obter. Contudo, poucas empresas realizam esses estudos e

ensaios; a escolha da matéria-prima muitas vezes baseia-se apenas na experiência do produtor (BASTOS, 2003).

Bastos (2003) também menciona que, no Brasil, a extração de argila ocorre a céu aberto, em jazidas (Figura 5), sendo que quase sempre as empresas possuem suas próprias jazidas. A extração é realizada por meio de escavadeiras e o material é transportado por caminhões basculantes até o depósito da empresa.



Figura 5 - Jazida de argila.

Fonte: Materioteca sustentável (2015).

Ao chegar ao depósito, que geralmente fica localizado ao lado da cerâmica, o material é estocado a céu aberto e passa pelo processo de sazonamento. Esse processo consiste na exposição da argila aos agentes atmosféricos, como sol e chuva, permitindo que o material sofra mudanças químicas. Isso proporciona uma melhorar na plasticidade e a trabalhabilidade da massa cerâmica.

O processo de sazonamento pode variar entre 6 meses a 1 ano e deve garantir a operacionalização da produção mesmo em épocas de chuva, quando a extração e o transporte ficam prejudicados. Por esse motivo, é necessário garantir que a quantidade de argila extraída e armazenada seja suficiente para atender à produção (PEREIRA, 2006).

2.3.2 PREPARO DA MASSA

Após o período de sazonamento, inicia-se a fase de fabricação do bloco cerâmico, que envolve vários processos para a obtenção do produto final. De acordo com Santos (2006), a Trituração é importante pois garante uma melhor homogeneização e consiste na redução dos grumos a pequenos fragmentos.

Após a Trituração, a argila é conduzida ao misturador, onde ocorre a umidificação da massa. Geralmente, é utilizado um misturador horizontal (Figura 6) para essa etapa. A água deve ser adicionada no centro, e nunca nas laterais do misturador, para facilitar a umidificação. Pode-se utilizar água quente, pois ela acelera a absorção pela massa e pode ser reutilizada pela bomba de vácuo.

Feita a Trituração e a homogeneização da massa, esta é transferida para o laminador (Figura 7), onde ocorre o esmagamento da massa entre dois cilindros que funcionam em velocidades diferentes para garantir melhor atrito. Isso proporciona um bom adensamento e a eliminação de bolhas de ar ou aglomerados que possam ter permanecido na massa (BACCELI, 2010).



Figura 6 - Misturador.

Fonte: LS Medeiros (2022).



Figura 7 – Laminador.

Fonte: Casa da cerâmica (2022).

2.3.3 EXTRUSÃO E CORTE

A fase de extrusão, conforme Santos (2006), é um método utilizado para dar conformação ao bloco cerâmico e envolve a utilização de uma máquina chamada maromba (Figura 8), que força a passagem da massa por uma boquilha (Figura 9), responsável por dar forma às peças.

Logo após a conclusão do processo de extrusão, com a massa cerâmica já comprimida e no formato desejado, o material passa pelo processo de corte. A máquina de corte, equipada com arames, realiza o corte automático do produto, eliminando a necessidade de trabalho manual nesta fase (Figura 10).

O corte ocorre no sentido vertical, alternando de cima para baixo e de baixo para cima. Após o corte, as peças são levadas para a secagem (BACCELI, 2010).



Figura 8 - Maromba.

Fonte: NATREB (2013).



Figura 9 - Boquilha.

Fonte: Boquilhas Crisda (2021).



Figura 10 - Cortadeira.

Fonte: Mecânica Bonfanti S/A (2016).

2.3.4 SECAGEM

Vieira et al. (2003) comentam que podem surgir defeitos durante a secagem das peças que só são detectados após a queima, tornando essa etapa bastante delicada e complexa. O processo de secagem consiste na eliminação da água adicionada durante o processo de conformação das peças, necessária para obter uma massa mais plástica.

Segundo Alves Junior (2016), a secagem dos blocos pode ocorrer de duas formas: secagem natural e secagem artificial. A secagem natural ocorre em meio atmosférico, aproveitando a ventilação e a

temperatura do ambiente para secar as peças. Os blocos são colocados em galpões, expostos ao ar livre, e a secagem leva de 7 a 15 dias, dependendo da umidade das peças e da temperatura ambiente.

Ainda de Alves Junior (2016), a secagem artificial ocorre em ambientes com temperatura controlada e deve ser realizada com bastante cautela. Se mal executada, pode resultar em defeitos no produto final. A secagem não pode ocorrer de forma muito rápida, pois isso pode causar retração diferencial, resultando em trincas no produto. Por outro lado, se for muito lenta, torna-se economicamente inviável. Após o processo de secagem, os blocos são transportados para os fornos, onde ocorrerá a queima.

2.3.5 QUEIMA

Vasquez (2005) descreve o processo de queima como o processo mais importante, pois é nessa etapa que o bloco passa por transformações químicas e físicas que irão garantir que a peça obtenha as características necessárias para o uso.

O autor citado anteriormente destaca que o fator temperatura deve ser o principal cuidado a se tomar para evitar que algumas peças queimem mais que outras. Existem vários tipos de fornos que podem ser utilizados realizar a queima dos blocos e são classificados em intermitentes e contínuos.

O autor descreve os fornos intermitentes como fornos de câmaras individuais e em baterias, onde os blocos ficam fixos durante todo o processo. Gera-se o calor fora da câmara, havendo a circulação do mesmo entre as pilhas de blocos até a chaminé, entretanto, a queima não é uniforme e muitas vezes pode acarretar no descarte de algumas peças justamente por falta de uniformidade de queima.

Já os fornos contínuos consistem em uma série de câmaras, que quando está com fogo, o calor é levado para todas as outras havendo assim um pré-aquecimento e consequentemente na economia de combustível, combustível esse que pode ser lenha, gás, serragem, etc.

3 DEFINIÇÕES E REQUISITOS CONFORME A NORMA NBR 15270-1

A NBR 15270-1 (2023) especifica os requisitos gerais para a utilização de blocos cerâmicos. Segundo a norma, os blocos devem ser fabricados a partir de material argiloso e queimados em altas temperaturas. Cada bloco deve conter informações do fabricante, como CNPJ, razão social ou nome fantasia da empresa, lote ou data de fabricação, e telefone para contato ou endereço eletrônico.

A NBR 15270-2 especifica os ensaios necessários para avaliar a conformidade dos blocos cerâmicos utilizados para vedação, com fins de caracterização, aceitação ou rejeição. Os ensaios são os seguintes:

- a) Para avaliação das características geométricas:
 - a. Valores das dimensões efetivas;
 - b. Espessura dos septos e paredes externas do bloco;
 - c. Desvio em relação ao esquadro;
 - d. Planeza das faces;
 - e. Área bruta (não obrigatório).
- b) Para avaliação das características físicas:
 - a. Massa seca (não obrigatório);
 - b. Índice de absorção de água.
- c) Para avaliação das características mecânicas:
 - a. Resistência à compressão dos blocos;
 - b. Diretrizes para seleção de métodos de ensaio para determinação de características especiais (não obrigatório);
 - c. Índice de absorção inicial (não obrigatório).

A NBR 15270-1 (ABNT, 2023) regulamenta e especifica os critérios em relação as características físicas dos blocos, a mesma diz que os blocos devem apresentar o formato de um prisma reto e respeitar os limites dimensionais especificados na tabela 2.

São especificadas as tolerâncias dimensionais quanto à altura, largura e comprimento, que são de ± 5 mm para a avaliação individual do bloco e de ± 3 mm para a média das dimensões efetivas.

A espessura das paredes externas do bloco de vedação deve ser de no máximo 7 mm e a espessura. O desvio em relação ao esquadro e a flecha verificada na planeza das faces devem ser de no máximo 3 mm.

Referente aos critérios para avaliação das características físicas do produto, a NBR 15270-1 (ABNT, 2023) diz que o índice de absorção de água não deverá ser inferior a 8% nem superior a 25%.

Por fim, resistência mecânica à compressão dos blocos de vedação deve ser de no mínimo 1,5 MPa para blocos com aberturas da horizontal e 3 MPa para blocos com abertura na vertical (ABNT NBR 15270-1, 2023).

O ensaio de resistência à compressão consiste em medir a força necessária para deformar, por compressão, um corpo-de-prova. A compressão é um esforço axial, que tem a tendência de provocar o encurtamento do corpo submetido a esse esforço.

Tabela 2 - dimensão de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação.

Dimensões L x H x C Módulo Dimensional M = 10 cm	Dimensões de fabricação cm			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M	11,5	11,5	24	11,5
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M		14	24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M			39	19
(3/2) M x (2) M x (2)	14	19	19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2)			24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M			29	14
(2) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19

Fonte: NBR 15270-1 (2023).

4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os materiais que foram utilizados durante a pesquisa foram os blocos de vedação fabricados em três diferentes indústrias na região de Rosário - MA.

Através de um levantamento realizado pelo pesquisador na cidade de Rosário, foi constatado que existem atualmente 11 indústrias cerâmicas em funcionamento na cidade, partindo disso, foram selecionadas 3 destas indústrias, utilizando a venda mensal de blocos como critério de seleção, onde as três industrias selecionadas foram as que apresentaram as maiores estimativas de vendas mensais. As indústrias serão chamadas de I1, I2 E I3 afim de preservar suas identidades.

A indústria I1 está no mercado a 10 anos e vende cerca de 250 mil blocos por mês (dados repassados pela empresa) para cidades como Rosário, Barreirinhas, Bacabeira, São Luís.

A indústria I2 está a 22 anos no mercado de blocos cerâmicos e vende por volta de 210 mil blocos por mês (dados repassados pela empresa) para cidades como Rosário, Humberto de Campos, Bacabeira, Santa Rita e São Luís.

Já a indústria I3 existe a 11 anos e realiza mensalmente uma venda aproximada de 240 mil blocos por mês para cidades de Rosário, Bacabeira, Barreirinhas, Santo Amaro, Santa Rita, São Luís e São José de Ribamar.

Os blocos que foram utilizados para a realização da pesquisa possuem as dimensões, informada pelas fábricas, de 9x14x19 cm, com 6 furos na horizontal (Figura 11), (Figura 12), (Figura 13). Essas empresas foram escolhidas por serem as 3 empresas que vendem mais blocos mensalmente na região.



Figura 11 - blocos I1.

Fonte: o autor (2023).



Figura 12 - blocos I2.

Fonte: Autor (2002).



Figura 13 - blocos I3.

Fonte: o autor (2023).

Os blocos foram coletados, diretamente das fábricas localizadas na cidade de Rosário. A inspeção dos blocos e os ensaios ocorreram entre os dias 14 e 25 de outubro de 2022, no laboratório de materiais da Universidade CEUMA.

Foi adotada a amostragem simples de 19 blocos de cada indústria para a realização da inspeção geral, que foram extraídas de lotes com 1.000 a 100.000 unidades, como recomendado pela NBR 15270-1 (ABNT, 2023). Após a coleta do material, foi feita a identificação dos blocos, suas características dimensionais e visuais, defeitos e irregularidade, na qual os blocos foram escolhidos por não apresentarem tais defeitos. Foram identificados de formas numérica (Figura 14).



Figura 14 - blocos identificados.

Fonte: o autor (2023).

Para a realização dessa pesquisa, foram realizados todos os ensaios obrigatórios citados no referencial teórico desta pesquisa.

4.1 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

As características geométricas foram determinadas primeiramente, com a aferição das medidas das faces. A NBR 15250-2 (ABNT, 2023), recomenda que as dimensões efetivas de largura (L), altura (H) e comprimento (C) sejam obtidas conforme a Figura 15.

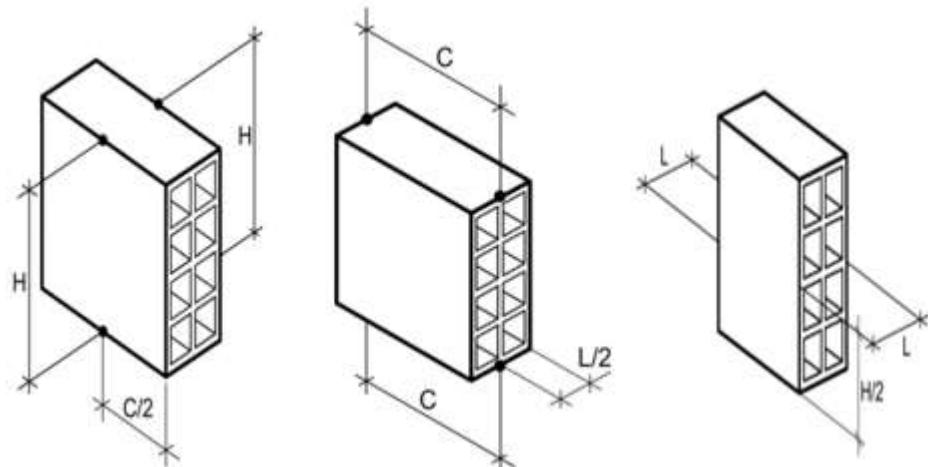


Figura 15 - locais para as medições dos blocos.

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2023).

Foram aferidos os valores individuais, em milímetro, das faces de cada um dos blocos e o valor da média das dimensões consideradas, por meio do cálculo da média aritmética dos valores individuais. Para realização da medição, utilizou-se uma trena (Figura 16).



Figura 16 - medição do comprimento do bloco cerâmico.

Fonte: o autor (2023).

Para medir os septos e paredes externas dos blocos foi utilizado um paquímetro e ocorreu nos pontos indicados na Figura 17, como indicado pela NBR 15270-2 (ANBT, 2023).



Figura 17 - posições para realização das medições dos septos e paredes externas.

Fonte: NBR 15270 (ABNT, 2023).

A Figura 18 mostra a medição de uma das paredes externas de um dos blocos coletados, enquanto a Figura 19 ilustra a medição do septo de um bloco cerâmico.



Figura 18 - medição das paredes externas de um dos blocos.

Fonte: Autor (2023).



Figura 19 - medição do septo de um dos blocos.

Fonte: Autor (2023).

O desvio em relação ao esquadro é obtido pela medida entre uma das faces destinadas ao assentamento e a maior face destinada ao revestimento do bloco, conforme ilustrado na Figura 20. A Figura 21 mostra a medição do desvio em relação ao esquadro de um dos blocos.

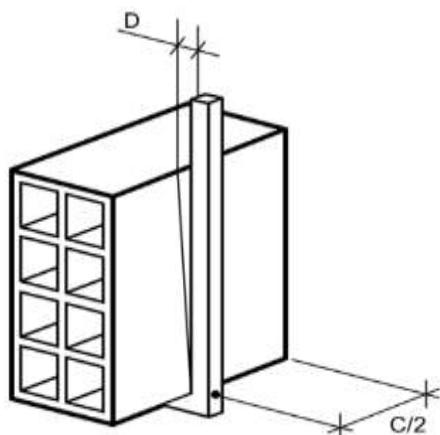


Figura 20 - desvio em relação ao esquadro.

Fonte: NBR 15270-2 (ABNT, 2023).



Figura 21 - medição do desvio em relação ao esquadro.

Fonte: Autor (2023).

Outra medida exigida pela ABNT é a planeza das faces, determinada pela flecha formada na diagonal e a face destinada ao revestimento, conforme ilustrado na Figura 22. A medição da planeza da face de um dos blocos pode ser visualizada na Figura 23.

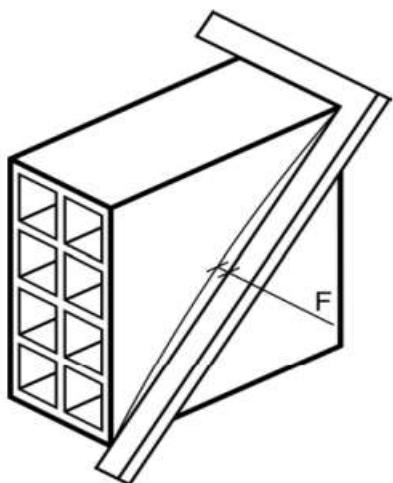


Figura 22 - planeza das faces.
Fonte: NBR15270-2 (ABNT, 2023).



Figura 23 - medição da planeza das faces de um dos blocos.
Fonte: Autor (2023).

4.2 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Utilizou-se uma balança com precisão de 5g e uma estufa com temperatura ajustável a $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ para a determinação da massa seca (m_s) e do índice de absorção de água (AA). Foram utilizadas 6 amostras como corpos de prova, assim como recomenda a NBR 15270-1 (ANBT, 2023).

Os blocos foram limpos para remover partículas soltas e, em seguida, submetidos à secagem em estufa (Figura 24). A pesagem dos blocos foi realizada em intervalos de 1 hora, até que duas pesagens consecutivas do mesmo bloco apresentassem uma diferença máxima de 0,25%. A pesagem deve ocorrer imediatamente após a retirada da estufa, não excedendo um tempo de 15 minutos, e o peso deve ser expresso em gramas. Seguindo essas recomendações da NBR 15270-2 (ABNT, 2023), foi realizada a pesagem dos blocos para obtenção da massa seca (m_s) (Figura 25).



Figura 24 - Blocos cerâmicos na estufa para secagem.
Fonte: o autor (2022).



Figura 25 - Pesagem dos blocos.
Fonte: o autor (2022).

Logo após a obtenção dos valores da massa seca, os blocos foram mergulhados em um tanque preenchido com água em temperatura ambiente, com volume suficiente para garantir a total imersão dos blocos por um período de 24 horas (Figura 26).

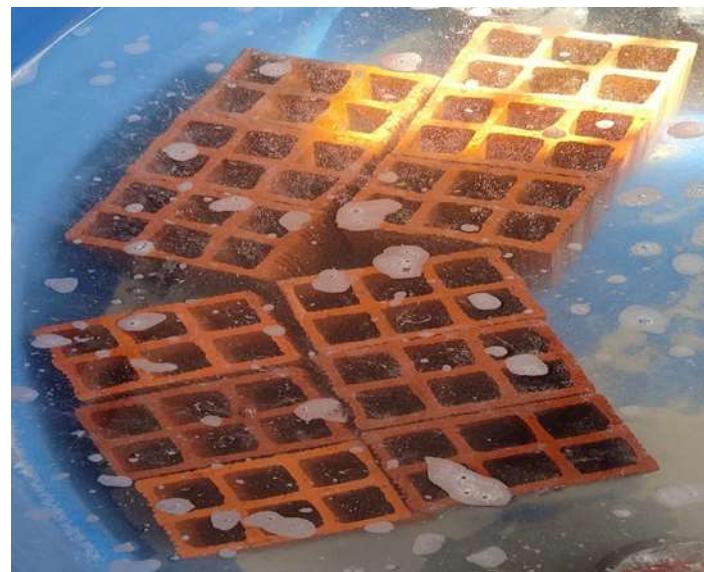


Figura 26 - Blocos submersos em água.
Fonte: Autor (2022).

Passado o período de 24 horas, os blocos foram retirados da água e submetidos a uma nova pesagem para a obtenção do valor da massa úmida (μ_u), que deve ocorrer com os blocos saturados e o valor

da pesagem expresso em gramas. O índice de absorção de água (AA) individual de cada corpo-de-prova é determinado pela equação (1) e expresso em porcentagem:

$$\text{AA}(\%) = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad (1)$$

4.3 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

A característica mecânica obrigatória dos blocos cerâmicos de vedação é a resistência à compressão. Para realizar o ensaio, foi utilizada uma prensa que permitia a leitura das cargas de ruptura. Os corpos de prova foram dispostos de modo que a carga fosse aplicada na direção do esforço que o bloco deve suportar durante o seu uso.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão, os blocos foram limpos e suas faces passaram por um capeamento com uma pasta de cimento para regularização, com espessura não superior a 3 mm (Figura 27). Após a secagem da pasta de cimento, os blocos foram imersos em água por um período de 6 horas (Figura 28), pois o ensaio deve ser realizado com o bloco saturado, conforme recomendado pela NBR 15270-2 (ABNT, 2023).

Pode-se observar na figura 29, o ensaio de resistência mecânica à compressão, mostrando o bloco antes da realização da prensagem (a), durante a compressão (b) e após o seu rompimento (c). Os valores da resistência à compressão dos blocos são expressos em Megapascals (MPa) e com aproximação decimal. O valor é obtido pela divisão do pico de carga resistida pelo bloco, expressa em newtons (N) pela área bruta da face de trabalho de cada bloco, expressa em milímetro quadrados (mm^2).



Figura 27 - Blocos capeados.
Fonte: Autor (2022).



Figura: 28 - Blocos capeados imersos em água.
Fonte: Autor (2022).

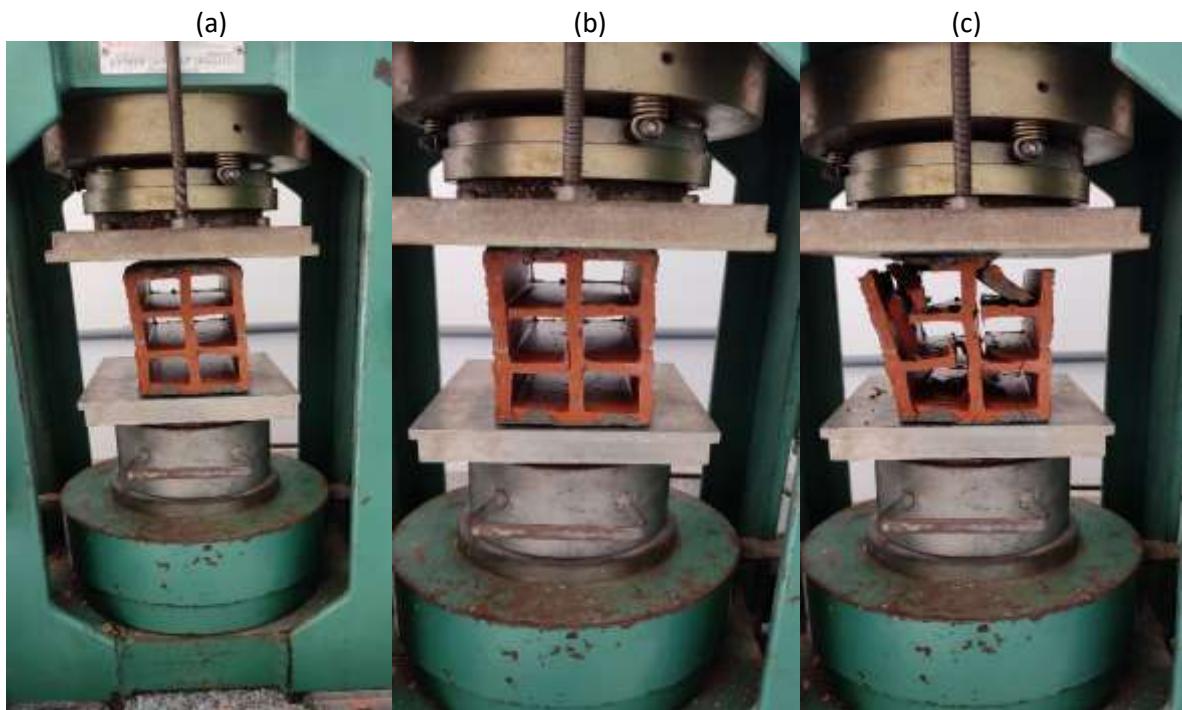


Figura 29 - Ensaio de resistência à compressão dos blocos.
Fonte: Autor (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os blocos cerâmicos de vedação coletados nas três indústrias não apresentavam trincas ou qualquer outra deformidade que pudesse impedir seu uso nos ensaios, sendo, portanto, aprovados na fase de inspeção. No entanto, os blocos das três indústrias apresentavam uma anomalia destacada por setas na Figura 30, que apontam alguns septos deformados.

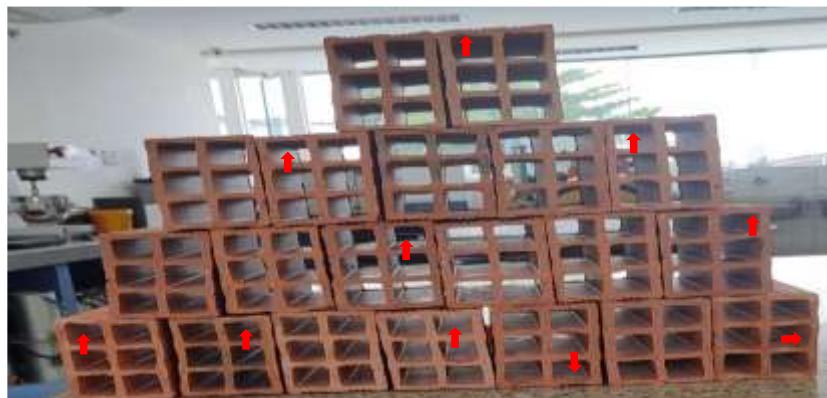


Figura 30 - Deformação nos septos dos blocos de uma das indústrias.
Fonte: Autor (2022).

Essas deformidades podem ter origem no corte dos blocos cerâmicos durante a fase de extrusão ou em defeitos na forma. Com o tempo, essas deformações podem se agravar, resultando em trincas nas paredes externas e rompimento dos septos.

Para a verificação das dimensões efetivas dos blocos, foram adotadas as medidas de 90x140x190 mm, conforme informado pelas três indústrias. As medidas encontradas estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado do ensaio dimensional

INDÚSTRIA 1				INDÚSTRIA 2				INDÚSTRIA 3			
Nº	L (mm)	H (mm)	C (mm)	Nº	L (mm)	H (mm)	C (mm)	Nº	L (mm)	H (mm)	C (mm)
1	88	132	187	1	89	137	182	1	93	139	193
2	86	130	185	2	89	132	174	2	93	139	185
3	87	130	188	3	88	138	189	3	91	140	191
4	88	128	190	4	90	135	180	4	95	138	188
5	89	130	190	5	90	135	185	5	93	140	192
6	90	132	188	6	89	135	180	6	91	140	190
7	88	132	184	7	88	136	187	7	90	135	187
8	89	135	189	8	88	135	180	8	90	140	187
9	89	130	185	9	89	135	186	9	94	138	180
10	89	130	190	10	89	136	180	10	92	140	190
11	88	131	190	11	88	137	180	11	93	135	186
12	87	132	189	12	88	135	182	12	92	140	185
13	88	130	188	13	87	136	180	13	93	139	182
14	88	132	190	14	88	136	183	14	94	139	190
15	87	132	185	15	89	135	188	15	93	140	188
16	88	130	186	16	90	132	187	16	92	140	188
17	85	132	185	17	88	135	184	17	94	140	190
18	88	129	187	18	88	135	180	18	92	139	190
19	89	129	185	19	85	135	180	19	92	139	189

Fonte: Autor (2022).

Foi constatado, de acordo com os dados observados na tabela 3, que apenas a indústria 3 atende a tolerância de ± 5 mm no valor individual de cada bloco e de ± 3 mm na média. A NBR 15270-2 (ABNT, 2023), especifica no valor de 3 unidades para o número de rejeição por lote.

De acordo com Batista et al, (2008), o processo de secagem pode influenciar nas dimensões dos blocos cerâmicos. O fenômeno é chamado de encolhimento, que acontece de forma simultânea com o transporte de umidade e se faz de forma mais intensa em materiais cerâmicos com umidade inicial

muito alta e dependendo das condições de secagem, pode provocar deformações e rachadura nas peças cerâmicas.

Os valores aferidos das medidas das paredes externas e dos septos estão descritos na tabela 3 e é possível observar que todas as três indústrias atentem a exigência mínima de 7mm para as paredes externas dos blocos cerâmicos de vedação.

Tabela 4 - Resultado das medições das paredes externas e septos.

INDÚSTRIA 1			INDÚSTRIA 2			INDÚSTRIA 3		
Nº	Espessura paredes externas (mm)	Espessura septos (mm)	Nº	Espessura paredes externas (mm)	Espessura septos (mm)	Nº	Espessura paredes externas (mm)	Espessura septos (mm)
1	7,3	7	1	7,2	7,2	1	7,2	7,5
2	8	7,3	2	7,4	7,2	2	7,5	7,8
3	7	8,3	3	7,3	6,9	3	7,6	7
4	7,2	7	4	7,2	7	4	7	7
5	7,4	6,9	5	7	7,4	5	7,3	7,2
6	7	7,1	6	7	7	6	7	7,2
7	7,5	7,2	7	7,3	7,5	7	7,5	7
8	7	7,5	8	7	7,4	8	7,4	7
9	7	7,5	9	7	7	9	8	7,4
10	7	8	10	7,3	7	10	8	7
11	7,5	7,2	11	7,5	7	11	7,4	7
12	7,2	7,3	12	7,2	7	12	7,2	7,2
13	7,8	7	13	7,5	7,2	13	7,2	6,9
14	7,1	7	14	7,4	7,4	14	7,4	7
15	8	6,9	15	7	7	15	7	7,2
16	7,7	6,9	16	7	7	16	7,3	7,4
17	7,7	7	17	7,5	7	17	7,3	7
18	7,5	7,2	18	7	8	18	7,2	7,2
19	6,9	7	19	7	7	19	7	7

Fonte: o autor (2022).

Em seguida, foi medido o desvio em relação ao esquadro e a planeza das faces dos blocos cerâmicos.

Os valores estão descritos na tabela 5. Pode-se observar que apenas as indústrias 2 e 3 atenderam a exigência de no máximo 3 mm para desvio em relação ao esquadro e de máximo 3 mm para a planeza das faces, uma vez que a norma utilizada para a realização da pesquisa especifica o valor de 3 unidades não conformes para a rejeição do lote.

Tabela 5 - Resultado a medição do desvio em relação ao esquadro e da planeza das faces

INDÚSTRIA 1			INDÚSTRIA 2			INDÚSTRIA 3		
Nº	Desvio (mm)	Flecha (mm)	Nº	Desvio (mm)	Flecha (mm)	Nº	Desvio (mm)	Flecha (mm)
1	0	2,8	1	1,7	2	1	1,2	0
2	0	2,7	2	1	1,9	2	1	2
3	3,3	4,6	3	2,3	1	3	1	2

4	5	4,6	4	2,1	1	4	0	0
5	0	0	5	0	2	5	0	0,5
6	0	3	6	4,7	2	6	1	1
7	0	3,7	7	1	3	7	0	1
8	7	3	8	0	0	8	1	0
9	0	2,6	9	0	1,8	9	2,3	3
10	1,7	2	10	1,5	1	10	0	0
11	1,2	2,5	11	0	2	11	1,5	1
12	3	1	12	1	0	12	0	0
13	0	1,6	13	1	1,5	13	2	1
14	1	3	14	1	2	14	1,2	1
15	1,5	3,7	15	4	3	15	1	1
16	0	2,95	416	1	2	16	0,5	0,5
17	1,1	4	17	4,2	2	17	0	1
18	3,6	3	18	0	2	18	1	0,5
19	0	0	19	2,4	2	19	1,5	2

Fonte: Autor (2022).

O índice de absorção de água (AA) que foi calculado na realização do ensaio está descrito na tabela 6, como o valor encontrado para cada corpo-de-prova. É possível observar que todos os blocos atendem ao critério da NBR 15270-1 (ABNT,2023) que estabelece que o índice de absorção de água (AA) deve estar entre 8% e 25%. Uma alta absorção de água pelos blocos cerâmicos de vedação pode resultar na diminuição da resistência da alvenaria, além de possibilitar fissuras, rachaduras e descolamento ou esfarelamento do reboco. Por último, realizou-se o ensaio de resistência mecânica à compressão dos blocos, onde os resultados estão na Tabela 7.

Tabela 6 - Resultado do ensaio de absorção de água.

INDÚSTRIA 1			INDÚSTRIA 2			INDÚSTRIA 3					
Nº	m _s (g)	m _u (g)	AA (%)	Nº	m _s (g)	mu (g)	AA (%)	Nº	m _s (g)	m _u (g)	AA (%)
1	1500	1700	13,33	1	1600	1810	13,12	1	1750	2000	14,28
2	1500	1740	16	2	1570	1750	11,46	2	1710	1960	14,61
3	1510	1690	11,92	3	1590	1800	13,20	3	1760	1990	13,07
4	1520	1750	15,13	4	1550	1700	9,67	4	1790	2050	14,52
5	1530	1750	14,38	5	1580	1790	13,29	5	1780	2040	14,60
6	1490	1700	14,1	6	1540	1670	8,44	6	1760	2020	14,77

Fonte: Autor (2022).

Tabela 7 - Resultado do ensaio de resistência mecânica a compressão dos blocos.

INDÚSTRIA 1				INDÚSTRIA 2			
Nº	Área bruta (mm ²)	Carga aplicada (N)	Res. à compressão (MPa)	Nº	Área bruta (mm ²)	Carga aplicada (N)	Res. à compressão (MPa)
7	16720	24124	1,44	7	16280	15200	0,93
8	16720	29321	1,75	8	16020	7060	0,44
9	16544	24026	1,45	9	16632	10983	0,66
10	16920	19024	1,12	10	16830	30596	1,82

11	16720	25889	1,55	11	16198	10983	0,68
12	16356	20495	1,25	12	15660	9316	0,59
13	16910	24320	1,44	13	15840	26183	1,65
14	16095	34519	2,14	14	16650	26576	1,60
15	16643	20593	1,24	15	15486	21084	1,36
16	15910	32165	2,02	16	16456	11669	0,71
17	16465	24712	1,50	17	16732	31479	1,88
18	16821	35402	2,10	18	16200	7256	0,45
19	16192	40011	2,47	19	16020	17651	1,10

Cont. **tabela – 7.**

INDÚSTRIA 3			
Nº	Área bruta (mm ²)	Carga aplicada (N)	Res. à compressão (MPa)
7	17205	15886	0,92
8	17860	17357	0,97
9	16744	25203	1,51
10	17108	21084	1,23
11	17670	20692	1,17
12	17020	25105	1,48
13	17949	15200	0,85
14	16200	22653	1,40
15	17763	10689	0,60
16	18240	17357	0,95
17	17298	12944	0,75
18	17017	28145	1,65
19	16830	17357	1,03

Fonte: Autor (2022).

Nenhuma das amostras submetidas ao ensaio de resistência mecânica à compressão apresentou conformidade com a norma técnica, que especifica uma exigência mínima de 1,5 MPa para os blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal. A norma estabelece que, caso haja três unidades não conformes, o lote deve ser rejeitado.

Pilz et al. (2015) apontam que fatores como a argila utilizada, que pode variar de acordo com a região de extração, e o processo de queima dos blocos, no qual eles passam por transformações químicas e físicas, podem influenciar na resistência final dos blocos cerâmicos utilizados para vedação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil tem se desenvolvido significativamente com a utilização de novas tecnologias para aprimorar os processos construtivos. Com esses avanços, o bloco cerâmico de vedação deixou de ser a primeira escolha para alvenaria em grandes construções prediais, embora ainda seja amplamente

utilizado em construções de pequeno porte, como casas e escolas. A cidade de Rosário, no interior do Maranhão, conta com 11 indústrias de blocos cerâmicos, oferecendo aos consumidores várias opções de escolha.

As três indústrias selecionadas para os ensaios não atenderam completamente a todos os requisitos especificados pela NBR 15270, norma técnica que regulamenta e estabelece os critérios para que os blocos de cerâmica sejam utilizados como materiais de vedação. Entretanto, as indústrias 1 e 2 foram aprovadas nos ensaios de características geométricas e propriedades físicas, enquanto a indústria 3 foi reprovada apenas no ensaio das características mecânicas.

Em relação a geometria, o que diz respeito as medidas do comprimento largura e altura do bloco, foi possível concluir que que apenas a indústria 3 atende a tolerância de ± 5 mm no valor individual de cada bloco e de ± 3 mm na média. Já no que tange a espessura das paredes e aos septos observa-se que apenas as indústrias 2 e 3 atenderam a exigência de no máximo 3 mm para desvio em relação ao esquadro e de máximo 3 mm para a planeza das faces. Em relação ao parâmetro físico de absorção de água conclui-se que todos os blocos atendem ao critério da NBR 15270-1 (ABNT,2023) que estabelece que o índice de absorção de água (AA) deve estar entre 8% e 25%, assim, todas as industrias atendem esse critério.

Em relação ao critério mecânico, a conclusão é de que nenhuma das amostras submetidas ao ensaio de resistência mecânica à compressão apresentou conformidade com a norma técnica, que especifica uma exigência mínima de 1,5 MPa para os blocos cerâmicos de vedação com furos na horizontal. Este último fato merece especial atenção tendo em vista que o desempenho mecânico do bloco está diretamente relacionado com a segurança.

É importante ressaltar que a ausência de estudo das propriedades da matéria-prima, a falta de fiscalização no processo de fabricação dos blocos e a ausência de controle nas etapas de produção refletem diretamente na qualidade do produto final, podendo causar prejuízos aos consumidores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM (Associação Brasileira de Cerâmica), 2022. Disponível em: <<https://abceram.org.br/consideracoes-gerais/>>. Acesso realizado em: 03/06/2022.

ALVES JUNIOR, Rubens et al. Efeito de variáveis e tipos de secagem na eficiência de secagem de blocos cerâmicos de vedação. 2016.

ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica), 2018. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/anicer/setor/>>. Acesso realizado em: 27/09/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-2: componentes cerâmicos: parte 2: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural: terminologia e requisitos. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS. ABNT NBR 15270-1-Componentes cerâmicos-Bocks de argila e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. 2023.

BACCELLI JÚNIOR, Gilberto. Avaliação do processo industrial da cerâmica vermelha na região do Seridó-RN. 2010.

BASTOS, Frederico Assis et al. Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto. 2003.

BATISTA, Valmir Rodrigues; NASCIMENTO, J. J. S.; LIMA, A. G. B. Secagem e queima de tijolos cerâmicos maciços e vazados incluindo variações dimensionais e danos estruturais. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 3, n. 1, p. 46-61, 2008.

CABRAL JUNIOR, M. et al. A indústria de cerâmica vermelha e o suprimento mineral no Brasil: desafios para o aprimoramento da competitividade. Cerâmica Industrial, v. 17, n. 1, p. 36-42, 2012.

CABRAL JUNIOR, Marsis et al. RMIs: argila para cerâmica vermelha. CETEM/MCTI, 2008.

CERÂMICA LORENZETTI. Blocos cerâmicos: história, origem e vantagens para sua obra, 2017. Disponível em: <https://blog.ceramicalorenzetti.com.br/blocos-ceramicos-historia-origem-e-vantagens-para-sua-obra/>. Acesso realizado em: 28/09/22.

E. técnico de estudos econômicos do Nordeste ETENE, “Informe setorial cerâmica vermelha,” ETENE, 2010.

FERNANDES, F.; LOURENÇO, Paulo B.; CASTRO, F. Caracterização de tijolos antigos. 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios (3 ENCORE), p. 26-30, 2013.

LEMOS, Carlos A.C. Alvenaria Burguesa: breve história da arquitetura residencial de tijolos em São Paulo a partir do ciclo econômico liderado pelo café. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1989.

MACEDO, R. S. et al. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. Cerâmica, v. 54, p. 411-417, 2008.

MAFRA, A. T. Proposta de indicadores de desempenho para a indústria de cerâmica vermelha. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999. 126p.

PEREIRA, Manoel Alfredo et al. Determinação de parâmetros da qualidade para a avaliação de recobrimentos superficiais de telhas cerâmicas. 2006.

PILZ, Silvio Edmundo et al. Verificação da qualidade dos blocos cerâmicos conforme NBR 15270 comercializados em Santa Catarina. Revista de Engenharia Civil Imed, v. 2, n. 2, p. 19-26, 2015

SANTOS, Juçara Elizabeth de Castro dos. Avaliação do controle estatístico de processo das indústrias cerâmicas da Região Metropolitana de Curitiba com base nos índices de capacidade. 2006.

VÁSQUEZ, Gilberto Antonio Gorrichátegui. Avaliação da conformidade dos blocos cerâmicos produzidos em algumas cerâmicas no Rio Grande do Norte. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

VIEIRA, Carlos Maurício Fontes; FEITOSA, Hygina Sales; MONTEIRO, Sérgio Neves. Avaliação da secagem de cerâmica vermelha através da curva de Bigot. Cerâmica Industrial, v. 8, n. 1, p. 42-46, 2003.

Capítulo 10



10.37423/240709184

ESTUDO DE CASO DE PATOLOGIAS EM ESTUTURAS DE CONCRETO ARMADO

ANDRE PINTO MORAIS

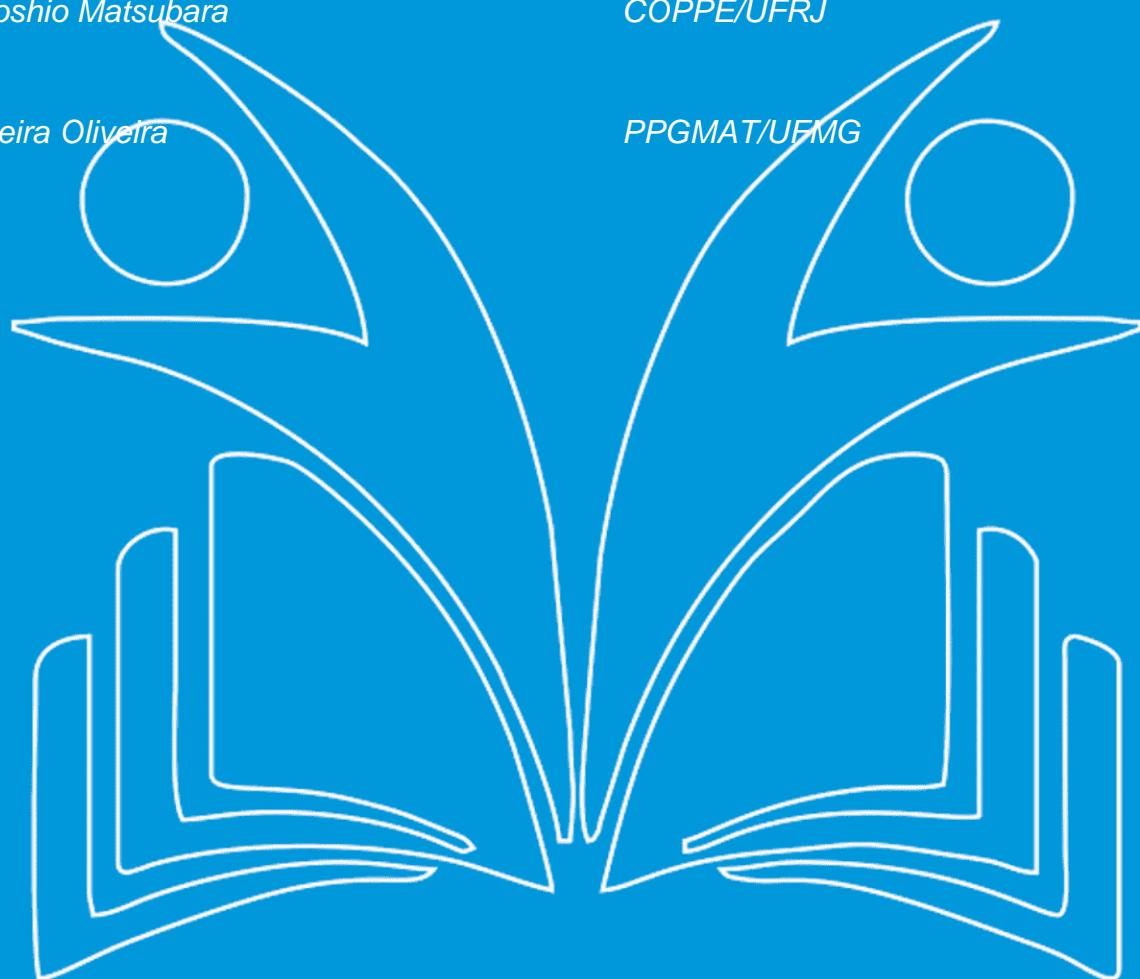
COPPE/UFRJ

Gustavo Yoshio Matsubara

COPPE/UFRJ

Felipe Ferreira Oliveira

PPGMAT/UFMG



Resumo: Para este trabalho, foram escolhidos três casos de manifestações patológicas: o Edifício Solar das Palmeiras, o Edifício Modrian e o Centro de Processamento de Dados-CEMAR, todos localizados no município de São Luís-MA. Foram desenvolvidos estudos de caso aplicando a metodologia difundida por Lichtenstein, que divide o processo em três etapas: levantamento de subsídios, através de vistoria do edifício, identificando a natureza e origem das patologias; diagnóstico da situação, buscando entender e interpretar os fenômenos através das relações de causa e efeito que caracterizam cada patologia; e definição de conduta, ou seja, a descrição do reparo a ser executado para resolver o problema. As edificações analisadas possuem características distintas. Os edifícios Solar das Palmeiras e Modrian são prédios residenciais que, com o passar do tempo, começaram a apresentar manifestações patológicas, agravadas pela falta de manutenção preventiva ao longo dos anos. Já no Edifício Centro de Processamento de Dados-CEMAR, a causa das patologias foi a utilização indevida por parte dos usuários, que fez com que a estrutura funcionasse de maneira diferente da projetada. A definição de conduta para as respectivas recuperações foi proposta de forma a satisfazer todos os requisitos técnicos de cada caso e, ao mesmo tempo, ser viável e já utilizada há algum tempo na região. Conclui-se que inspeções periódicas asseguram maior durabilidade das edificações, apontando prioridades para os reparos necessários ao cumprimento da vida útil prevista.

Palavras-Chave: Patologia da Construção; Reparo; Durabilidade; Concreto Armado.

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos antigos, a humanidade se preocupou com a segurança das estruturas que habitava, desde as cavernas e abrigos de pedras e madeira até as atuais estruturas de concreto e aço. Inicialmente, a segurança das estruturas era analisada através da observação do seu comportamento; caso a segurança não fosse garantida, procurava-se outra caverna ou construía-se outro abrigo.

Nos dias atuais, com a ajuda da ciência e das técnicas construtivas, é possível diagnosticar patologias e propor soluções que assegurem a segurança das estruturas. Cánovas (1988) define a patologia das estruturas como a área da engenharia que estuda os mecanismos, sintomas, causas e origens dos defeitos das obras. Em alguns casos, é possível diagnosticar patologias apenas pela observação visual. Entretanto, em outros casos, o problema é mais complexo, necessitando a verificação do projeto, a investigação das cargas a que a estrutura foi submetida, a análise detalhada da execução da obra e, inclusive, como a patologia reage diante de determinados estímulos. Dessa forma, é possível identificar a causa desses problemas e corrigi-los para que não se manifestem novamente.

2. METODOLOGIA

Fachim (2005) afirma que toda pesquisa científica tem início com o método observacional. Este método baseia-se em processos de natureza sensorial, como produto do processo em que se empenha o pesquisador no mundo dos fenômenos empíricos.

2.1 CRITÉRIOS PARA DELIMITAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O trabalho foi realizado em três edificações de São Luís – MA. O critério de escolha de ambientes para estudo foi o da presença evidente de manifestações de patologias e também por meio de relatos iniciais de pessoas ligadas aos ambientes.

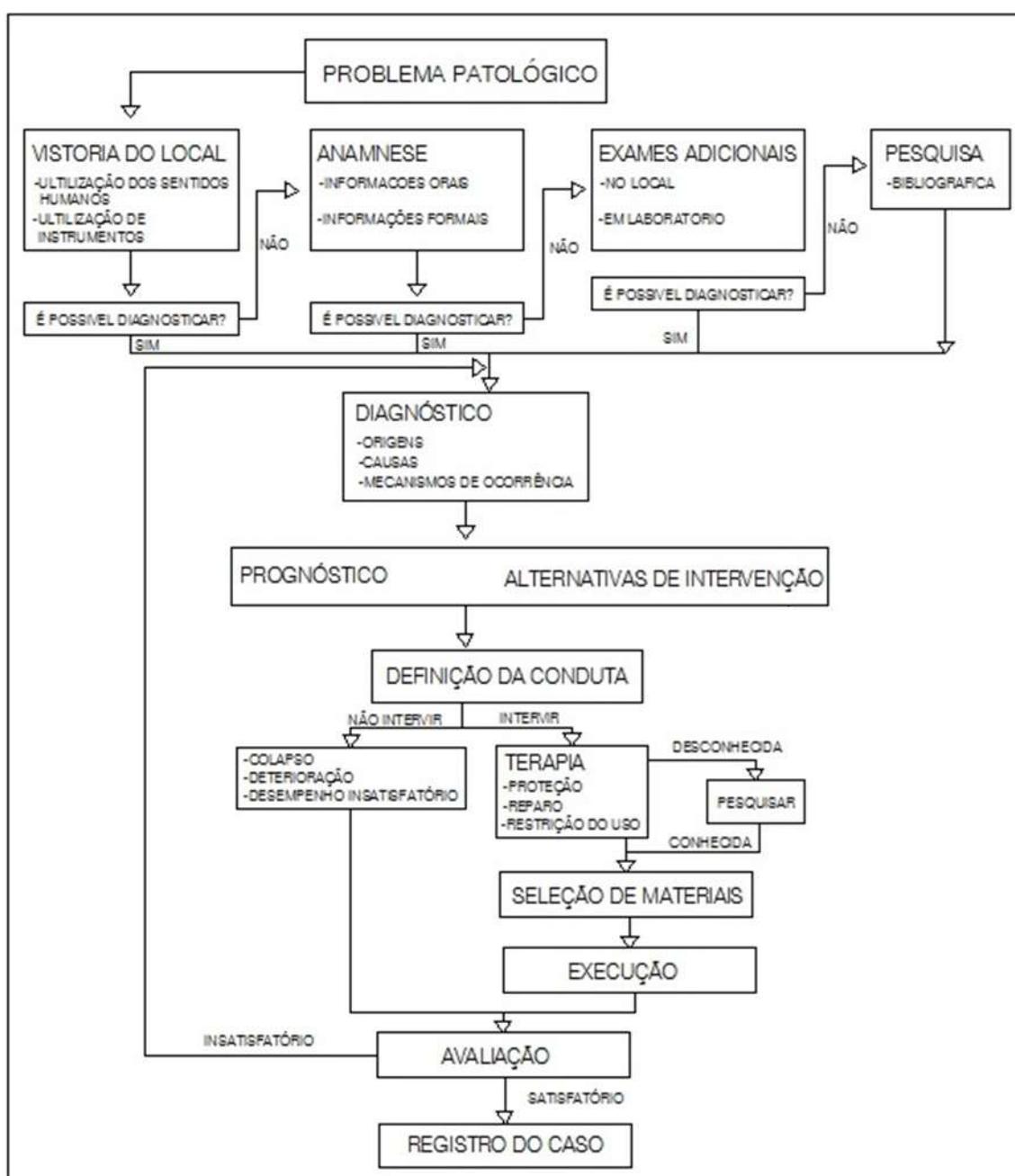
2.2 MÉTODO DE ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é uma pesquisa detalhada que estuda um fenômeno dentro do seu real contexto, na qual se fundamenta em fontes para que beneficiem o desenvolvimento das suposições teóricas acarretando-as para a coleta e apreciação de dados e que para se executar um estudo de caso de qualidade são fundamentais seis fontes de evidências: a) a documentação, b) os registros em arquivos, c) as entrevistas, d) a observação direta, e) a observação participante e os f) artefatos físicos.

2.3 MÉTODO PARA LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Para diagnosticar os problemas patológicos no presente estudo de caso foi utilizada a metodologia de Lichtenstein que é um instrumento que auxilia na identificação das patologias e a vinculação de suas causas. A metodologia proposta por Lichtenstein (1985) comprehende três partes distintas: i) o levantamento de subsídios; ii) o diagnóstico da situação e iii) a definição de conduta. O desenvolvimento do método está explicitado na Figura 1.

Figura 01 – Método para levantamento e diagnóstico de manifestações patológicas



Fonte: Lichtenstein (1985)

2.3.1 LEVANTAMENTO DE SUBSÍDIOS

O levantamento de subsídios é a etapa onde as informações essenciais e suficientes para o entendimento completo das manifestações patológicas são organizadas. Estas informações são obtidas através de três formas: vistoria do local, levantamento do histórico do problema e do edifício e o resultado das análises (LICHENSTEIN, 1985).

Para atender os objetivos propostos, realizou-se o levantamento de três edificações. Além disto, foram efetuados registros fotográficos das patologias detectadas, pesquisa bibliográfica relacionada a cada um dos problemas encontrados.

2.3.2 DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO

O diagnóstico da situação, segundo Lichtenstein (1985), é a compreensão dos fenômenos, buscando identificar as relações de causa e efeito que normalmente caracterizam uma patologia. Cada subsídio, segundo este autor, obtido na vistoria do local, na anamnese ou nos exames complementares deve ser interpretado no sentido de compor um quadro de entendimento de como trabalham as edificações, como reage à ação dos agentes agressivos, porque surgiu e como se desenvolveu o problema patológico.

Neste diagnóstico, o processo de entendimento de um problema patológico pode ser descrito como o de geração de hipóteses ou modelos e o seu respectivo teste. Portanto, Lichtenstein (1985) afirma que o processo de diagnóstico constitui na contínua redução da incerteza inicial pelo progressivo levantamento de dados.

Esta progressiva redução da incerteza é acompanhada por uma redução do número possível de hipóteses, até que se chegue numa correlação satisfatória entre o problema observado e um diagnóstico para este problema.

2.3.3 DEFINIÇÃO DE CONDUTA

A definição de conduta, segundo Lichtenstein (1985), é a etapa que tem como objetivo prescrever o trabalho a ser executado para resolver o problema, incluindo a definição sobre os meios (material, mão-de-obra e equipamentos) e a previsão das consequências em termos do desempenho final.

Desta forma, adotando este método, pretende-se que o estudo das patologias possa ser desenvolvido até a fase desta definição, com a sugestão de soluções possíveis para as patologias analisadas.

3. DADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os estudos de caso das patologias, com informações sobre as ocorrências analisadas dentro da estrutura proposta, com descrição e análise de três casos conforme a metodologia de Lichtenstein (1985), detalhada para cada ocorrência.

3.1 EDIFÍCIO RESIDENCIAL SOLAR DAS PALMEIRAS

I. Levantamento de Subsídios

No primeiro caso analisado, apresenta-se o edifício residencial Solar das Palmeiras, construído em 1978, com oito pavimentos, em concreto armado, localizado na Avenida São Carlos, bairro Olho D'água, São Luís-MA, como apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fachada do Edifício Solar das palmeiras



Fonte: Próprio Autor

Encontraram-se três tipos de patologias, a primeira e a segunda relativa à corrosão nas armações dos pilares (em maior ou menor intensidade), e a terceira referente à corrosão nas armaduras das vigas.

Na Figura 3, é ilustrado o primeiro tipo de patologia, que afeta dois pilares com acentuada oxidação na armadura longitudinal. Esse problema fez com que o cobrimento e o revestimento soltassem, expondo a armadura e tornando-a vulnerável a diversas intempéries.

Figura 3– Pilar apresentando forte oxidação das armaduras



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 4 mostra-se um pilar em um estado não tão avançado de corrosão da armação. Em condição semelhante encontram-se outros pilares que se encontram com moderada oxidação na armação longitudinal. No entanto, nota-se uma trinca no revestimento do elemento em questão, o que indica que as barras já aumentaram seu volume, indicando corrosão nas mesmas.

Figura 4– Outro pilar apresentando início evidente de oxidação da armadura



Fonte: Próprio Autor

Na figura 5, apresenta-se uma das várias vigas que apresenta patologia similar à encontrada nos pilares.

Figura 5– Viga do Pavimento Térreo apresentando concreto desagregado



Fonte: Próprio Autor

II. DIAGNÓSTICO

A deterioração da estrutura deveu-se a pouca espessura e à falta de uniformidade do cobrimento das armaduras, tendo alguns locais com barras quase expostas, e que aliado à porosidade do concreto e à ausência de conservação e manutenção preventiva, leva ao estado em que encontram-se estes elementos. A despassivação (e consequente oxidação) da armação deveu-se à falha do cobrimento, inadequado para estruturas próximas ao mar e sujeitas ao alto grau de carbonatação, encontrando-se toda a armadura despassivada e assim exposta à oxidação.

III. DEFINIÇÃO DE CONDUTA

Antes de iniciar o reparo, todas as vigas que se apoiam no pilar a ser recuperado devem ser escoradas, com pelo menos três escoras alinhadas, separadas entre si por 40 cm.

Os pilares, onde o concreto está apresentando alta degradação e exposição da armadura oxidada, deverão ser redimensionados para a adição de uma armação para reforço.

A armação do pilar deve passar por tratamento químico e físico. O tratamento químico consiste na aplicação de um revestimento inibidor de corrosão em toda a armadura (inclusive a nova), seguido por aplicação de adesivo estrutural a base de epóxi. Em relação ao tratamento físico, toda a superfície

do pilar, desde a fundação ate o teto, deverá ser lixada mecanicamente e aplicada uma camada de cinco milímetros de uma argamassa polimérica para revestimento.

Além do tratamento da armação, o novo concreto deve se obtido pela adição de brita granítica nº 0 e uma argamassa autonivelante e expansiva, ter fator água/cimento no máximo de 0,5 e abatimento do tronco de cone (slump test) de 12 cm, para tanto usar aditivos plastificantes no concreto.

As intervenções em vigas deverão ser criteriosamente estudadas após o tratamento inicial a fim de determinar a profundidade necessária para o reparo. De maneira geral, todo o concreto que apresentar desagregação deverá ser removido até o limite de corte, limite este caracterizado por um concreto com resistência aceitável.

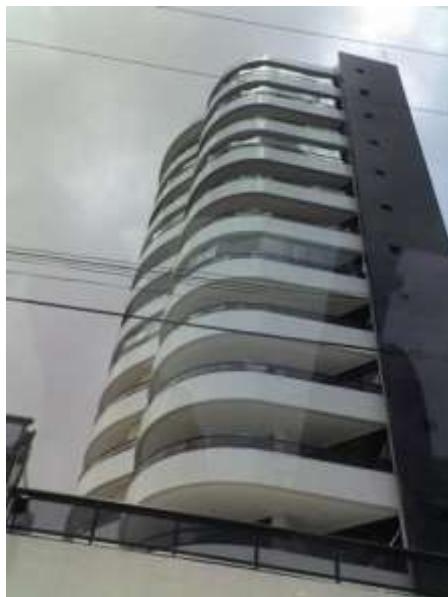
A recuperação não deverá ser efetuada simultaneamente em pilares adjacentes. Toda a estrutura do pilotis deverá ser revestida com argamassa especial e com serviços controlados para garantir a proteção e a durabilidade não fornecida pelo cobrimento precário.

3.2 EDIFÍCIO RESIDENCIAL MODRIAN

I. Levantamento de Subsídios

No segundo caso em estudo, apresenta-se o edifício residencial Modrian, construído em 2000, com doze pavimentos, em concreto armado, localizado na Rua Maracaçumé, bairro Ponta do Farol, São Luís-MA, apresentado na Figura 6.

Figura 6– Fachada do Edifício Modrian



Fonte: Próprio Autor

No segundo estudo de caso, encontrou-se três tipos de patologias, a primeira é relativa à corrosão nas armações das lajes da garagem, a segunda se refere à infiltração das paredes deste mesmo pavimento, e a terceira diz respeito à execução inadequada de uma junta de dilatação na quadra poliesportiva. Na figura 7 apresenta-se o primeiro tipo de patologia, na qual se trata de um quadro de corrosão numa laje, em estado intermediário, mas que devida às infiltrações, em um futuro bem próximo pode apresentar uma significativa piora.

Figura 7– Laje da garagem em estado inicial de corrosão



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 8 ilustra-se o segundo tipo de patologia, neste caso as paredes da garagem apresentaram infiltrações, devido às paredes que se encontram sem proteção de pintura impermeabilizante, já possuindo pintura danificada e observa-se ainda ausência de proteção na área externa (sem reboco, pintura e em nível inferior ao do terreno adjacente).

Figura 8 - Paredes da garagem apresentando infiltração



Fonte: Próprio Autor

O terceiro tipo de patologia encontrado nessa edificação está ilustrado na figura 9, e diz respeito ao tratamento da junta de dilatação térmica, pois o pavimento da quadra poliesportiva foi executado sem junta, cobrindo a junta estrutural e por consequência encontra-se trincada devido a movimentações térmicas.

Figura 9 – Trinca de movimentações térmicas devido à execução indevida da junta de dilatação



Fonte: Próprio Autor

II. Diagnóstico

A deterioração da estrutura deveu-se à pouca espessura do cobrimento das armaduras, o que somado à ausência de conservação e manutenção leva fatalmente ao estado em que se encontram alguns elementos. O fenômeno da carbonatação por motivos óbvios torna-se ainda mais evidente na garagem.

A estabilidade da estrutura tanto particular (peça a peça) como global ainda não está comprometida, no entanto esse quadro pode modificar-se em curto prazo porque os efeitos de oxidação das armaduras têm velocidade de propagação acelerada.

O item 7.4 da NBR 6118 (2023) impede a execução dos cobrimentos usados no projeto, no entanto a execução data do ano 2000 e foi concebido segundo a NBR6118 (1978) que não previa esse rigor quanto à durabilidade das estruturas.

III. Definição de Conduta

O primeiro passo a ser efetuado antes do reparo das lajes deve ser o escoramento da periferia (distante 20 cm da poligonal em volta da região a ser reparada). Estas escoras além de estarem alinhadas, deverão ter distância de 40 cm entre si.

As intervenções nas lajes deverão ser criteriosamente estudadas, após o tratamento inicial, a fim de determinar a profundidade necessária para o reparo. De maneira geral, todo o concreto que apresentar desagregação deverá ser removido até o limite de corte, limite este caracterizado por um concreto com resistência aceitável.

Os locais onde o concreto encontra-se avariado e a armadura íntegra deverão ser recuperados com retirada do material desagregado, limpeza da armadura e apicoamento de toda a superfície. Deverá então ser aplicado o revestimento inibidor de corrosão em toda a armadura, e imediatamente depois deve ser feita a recuperação com a argamassa polimérica para revestimento.

A etapa final da recuperação se constitui em lixar toda a superfície aparente de lajes, vigas e pilares, para aplicar uma camada de 5mm de uma argamassa polimérica para revestimento. Aconselha-se revestir todas as peças aparentes da garagem.

Apesar de não serem elementos estruturais, as alvenarias da garagem devem também ser revestidas com elementos cerâmicos, evitando que a junção da umidade com o gás carbônico dos escapamentos venha a atacar o fraco revestimento existente.

Para a recuperação dos pontos de infiltrações nas paredes internas da garagem será feito um tratamento especial. Primeiro, a pintura deve ser raspada, o reboco comprometido retirado e um revestimento semi-flexível, impermeabilizante e protetor aplicado. Segundo, a pintura deve ser refeita ou um novo revestimento cerâmico com massa reforçada por produto impermeabilizante aplicado (opção com impacto financeiro maior, porém de manutenção mais baixa). Caso a opção do lado interno seja o revestimento cerâmico, fazer o reboco do lado externo com reforço de produto impermeabilizante.

Para a patologia referente à junta de dilatação térmica, a pavimentação no local que atualmente obstrui a junta deve se removida, para que esta receba o tratamento adequado. O tratamento da junta consiste na aplicação de um selante elástico, de forma contínua, evitando entrada de ar.

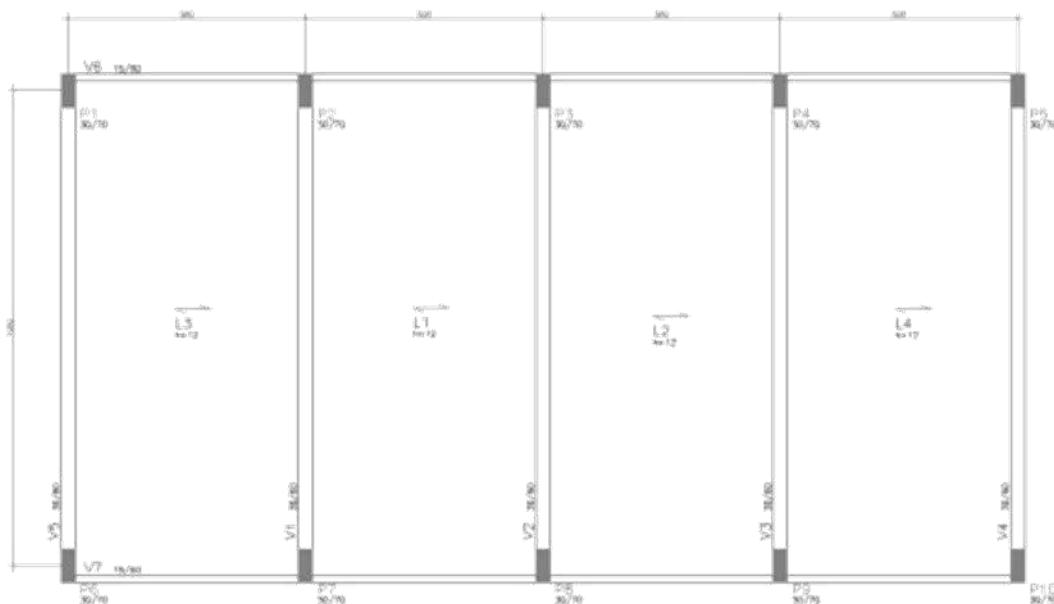
A recuperação não deverá ser efetuada simultaneamente em pilares adjacentes. Toda a estrutura do pilotis deverá ser revestida com argamassa especial e com serviços controlados para garantir a proteção e a durabilidade não fornecida pelo cobrimento precário.

3.3 CENTRO DE PROCESSAMENTO DE DADOS - CEMAR

I. Levantamento de Subsídios

Neste terceiro caso apresentado, apresenta-se um edifício das Centrais Elétricas do Maranhão, constituído por três painéis de quatro lajes conforme a Figura 10, dois destinados a piso e um a forro. Compõem-se de pórtico espacial múltiplo com vigas de 30x60cm apoiada em pilares 30x70cm, apoiando lajes pré-moldadas com enchimento em blocos cerâmicos.

Figura 10 – Planta do Teto da Área Afetada



Fonte: Próprio Autor

O principal sintoma detectado é a grande deformação das lajes. No entanto, o que levou à desocupação de parte da construção foi a soltura de pedaços dos blocos cerâmicos, colocando pessoas e equipamentos em risco.

Na figura 11 ilustra-se o exemplo de patologia, na qual se tratar de um quadro de deformação excessiva da laje por conta da sobrecarga.

Figura 11 – Laje apresentando flecha exagerada



Fonte: Próprio Autor

II. Diagnóstico

A deterioração da estrutura deveu-se ao uso indevido do edifício, que no projeto foi previsto para ser um escritório e acabou sendo utilizado pelos usuários como depósito de papel.

No projeto consta como especificação as lajes pré-moldadas com sobrecarga de 250 kgf/m², sendo uma carga permanente de 50 kgf/m² (que deverá ser adicionada ao peso próprio da laje) e uma carga accidental de 200 kgf/m², conforme NBR 6120 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações, da ABNT –, para lajes destinadas a funcionamento de escritórios.

A laje pré-moldada é do tipo “volterrana” com vigota b8 (com 8 cm de altura), armadas com 2Φ6.3 e 1Φ5.0 mm (0,84 cm²), conforme com blocos cerâmicos inertes de 30cm e capeamento de 4 cm, conforme indicado na figura 12.

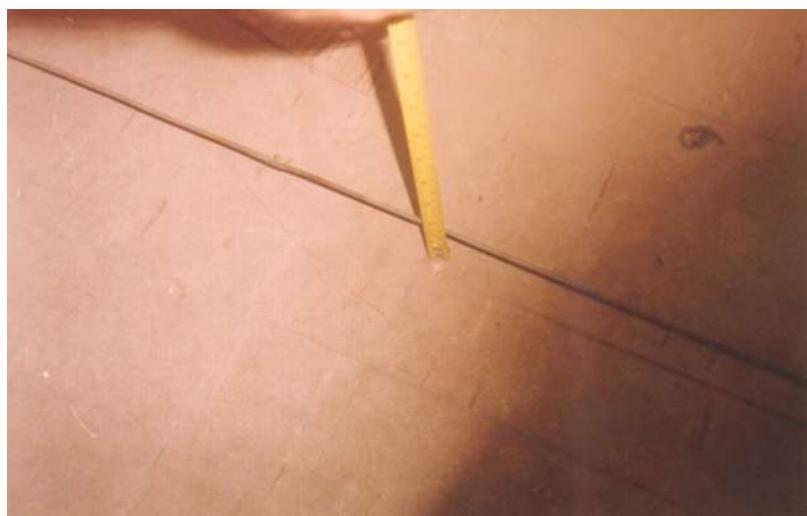
Figura 12 – Abertura efetuada em uma vigota da laje a fim de determinar a armação existente



Fonte: Próprio Autor

A laje do piso do segundo pavimento, teto do térreo, estava sendo usada como depósito de papel em caixas empilhadas até uma altura de aproximadamente 2,50m do piso. Pode-se notar na Figura 13 a presença de uma deflexão linear (flecha) de 3,5 cm, medida simplesmente com linha e trena, no centro da laje extrema (caso mais desfavorável, devido à descontinuidade da laje). Verificou-se que tais deformações exageradas aparecem apenas nas lajes, estando as vigas íntegras. Estas deformações não deveriam ultrapassar os 1,5 cm para que as condições de Estado Limite de Serviço (ELS) da norma fossem atendidas.

Figura 13– Medição simples da flecha da laje mais danificada



Fonte: Próprio Autor

Não foram detectadas fissuras nas lajes, nem na região de momentos positivos nem nas de negativos. Apesar de não ter sido feitas inspeções na parte superior da laje, a existência de armadura negativa sobre os apoios foi considerada, pois a sua inexistência seria causa de severa fissuração na região dos apoios. Pode-se assim tratar o painel de lajes como uma sucessão de lajes contínuas.

Em face ao acima exposto procede-se a uma verificação da estabilidade da laje considerando a carga permanente e dois casos de cargas accidentais: aquele indicado no projeto e aquele efetivamente usado na estrutura.

A condição mais desfavorável para as peças em flexão são as lajes extremas. De acordo com a figura 14 nos dará um momento fletor máximo de 320 kgf.m/m ou 96 kgf.m/vigota. Em tal verificação foi encontrado um coeficiente de segurança de 3,64, muito superior aos 1,4 exigidos pela norma NBR 6118 da ABNT.

Primeira verificação:

Figura 14 – Análise referente às Cargas Permanentes

Carga Permanente	
Peso Próprio	110 (Kgf/m ²)
Outras Permanentes*	50 (Kgf/m ²)
Total	160 (Kgf/m ²)
Momento Máximo	0,08*160*5,00 ² =320 (Kgf.m/m)
Momento Máximo por vigota	96 (Kgf.m/vigota)

Fonte: Próprio Autor

Outras permanentes são cargas referente a revestimentos, forro, dutos de ar-condicionado e etc.

Na figura 15 obteve-se um momento fletor máximo de 820 kgf.m/m ou 246 kgf.m/vigota. Foi encontrado um coeficiente de segurança de 1,42>1,4 o que confirma o dimensionamento do projeto.

Segunda verificação:

Figura 15 – Análise referente às Cargas de Projeto

Cargas de Projeto		
Cargas Permanentes	160	(Kgf/m ²)
Cargas Acidentais	250	(Kgf/m ²)
Total	410	(Kgf/m ²)
Momento Máximo	$0,08*410*5,00^2=820$	(Kgf.m/m)
Momento Máximo por vigota	246	(Kgf.m/vigota)

Fonte: Próprio Autor

De acordo com Guerrin, o peso específico do papel plano empilhado é de 1100 kgf/m³ e que em tais circunstâncias usa-se um índice de vazios de 0,6, neste caso foi identificado uma pilha de 2,5 m.

Na figura 16, apresenta-se um momento fletor máximo de 3260 kgf.m/m ou 1086 kgf.m/vigota. Para tal solicitação a laje entra em deformação plástica, não atendendo as condições impostas pela norma e com deformações (devido ao estado plástico) não mais recuperáveis.

Terceira verificação:

Figura 16 – Análise referente às Cargas de Utilização

Cargas de Utilização		
Cargas Permanentes	160	(Kgf/m ²)
Cargas Acidentais	1650	(Kgf/m ²)
Total	1810	(Kgf/m ²)
Momento Máximo	$0,08*1810*5,00^2=3260$	(Kgf.m/m)
Momento Máximo por vigota	1086	(Kgf.m/vigota)

Fonte: Próprio Autor

Como foi acima exposto, a estrutura existente sofreu solicitações acima da sua capacidade, tendo a carga total sido 4,41 vezes aquela prevista em projeto, o que levou a estrutura ao Estado Limite de Ruína (ELR) previsto na norma, durante a presença dessas ações. Este estado crítico de tensões fez com que os blocos cerâmicos, que não deveriam sofrer tensões, viessem a ser solicitados a compressão nos locais de momento negativo, com compressão na face inferior da laje, causando seu esmagamento, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Visão dos blocos cerâmicos, face inferior da laje junto ao apoio



Fonte: Próprio Autor

III. Definição de Conduta

A laje deverá ser descarregada o mais breve possível, pois a continuação da sobrecarga poderá ocasionar acréscimo nas deformações das lajes, ocasionando uma posterior ruptura. Uma vez que as lajes já se encontram plastificadas, a sua volta ao estado original de deformação será irreversível.

A eliminação desta sobrecarga é imprescindível para que o sistema estrutural volte a funcionar conforme projetado, uma vez que este pavimento não se encontra condenado, e as vigas e pilares encontram-se íntegros. Não correndo risco de ruptura brusca.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho analisou manifestações patológicas de três estudos de caso: Edifício Solar das Palmeiras, Modrian e centro de processamento de dados-CEMAR, localizados no município de São Luís-MA. Para tanto, considerou-se as seguintes etapas: foi realizada vistoria do local, a fim de identificar a natureza e origem das patologias. A próxima etapa realizada foi o diagnóstico da situação, que consiste em entender as patologias de cada caso, caracterizando as relações de causa e efeito que constituem as manifestações patológicas. Finalmente, indicou-se a definição de conduta para cada caso em estudo.

O estudo conseguiu atingir os objetivos propostos na medida em que se mostrou adequada à aplicação do método de Lichtenstein, escolheu-se o método pelo fato de ser amplamente difundido no meio técnico e possui vários exemplos práticos para pesquisa. Para os edifícios Solar das Palmeiras e Modrian, a principal patologia encontrada foi corrosão, que por ser um processo acelerado, com o

passar do tempo se intensifica de maneira não linear, ocasionando então gastos cada vez maiores com a recuperação. No centro de processamento de dados-CEMAR, verificou-se deformações excessivas nas lajes, devido a negligência por parte dos usuários, que acabou por gerar um sobrecarga não prevista em projeto.

A definição de conduta para os três casos, foi planejada levando-se em consideração as causas do problema, nos dois primeiros exemplos procurou-se sanar todos os problemas, e no terceiro caso, procurou-se controlar a deformação, devido ao grande ônus financeiro que um reparo definitivo nas lajes causaria a companhia. Observou-se que os estudos realizados buscaram avaliar, caracterizar e diagnosticar a intensidade dos danos em diferentes tipos de edificações, sendo fundamentais para o processo de construção e uso dos edifícios. Destacou-se que mesmo com a crescente melhora dos materiais de construção de um modo geral e modificação dos processos construtivos, não têm tornado as obras livres de patologias. Para tanto torna-se essencial o papel da fiscalização pois através de um controle rígido, com intuito de se obter estruturas mais eficientes, confiáveis e duráveis. Mostra-se a necessidade de ações preventivas, de forma a minimizar a ocorrência de falhas, o que tende a melhorar a qualidade do resultado das edificações, otimizando a aplicação de recurso nos mais variados tipos de obras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIAZZI, J. P. Patologia da construção: abordagem e diagnóstico.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Santa Maria.

ABNT. NBR-6118/NB1-2001. Projeto de estruturas de concreto. ABNT –Associação Brasileira de Normas Técnicas.

FACHIM, O. Fundamentos de Metodologia. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

GUERRIN, A. Tratado de Concreto Armado. Vol. 4 ed. Bisordi. São Paulo.

FERNÁNDES CÁNOVAS, M. Patologia e terapia do concreto armado. Tradução de M. Celeste Marcondes, Carlos Wagner Fernandes dos Santos, Beatriz Cannabrava. São Paulo: Pini, 1988.

LICHENSTEIN, N. B. Patologia das Construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações: São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1985.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, 1985.

Red Rehabilitar, Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto. Reparo, Reforço e Proteção. São Paulo, 2003.

RIPPER, T; MOREIRA DE SOUZA, V. C. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. São Paulo, Pini, 1998.

SOUZA, VICENTE CUSTÓDIO e RIPPER, THOMAZ. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo: Editora Pini, 1998.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo.

Pini, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1989.

Capítulo 11



10.37423/240709186

AVANÇOS NA UTILIZAÇÃO DE RFID NO CONTROLE DE QUALIDADE DE GRÃOS DE SOJA

Emili Everz Golombiéski

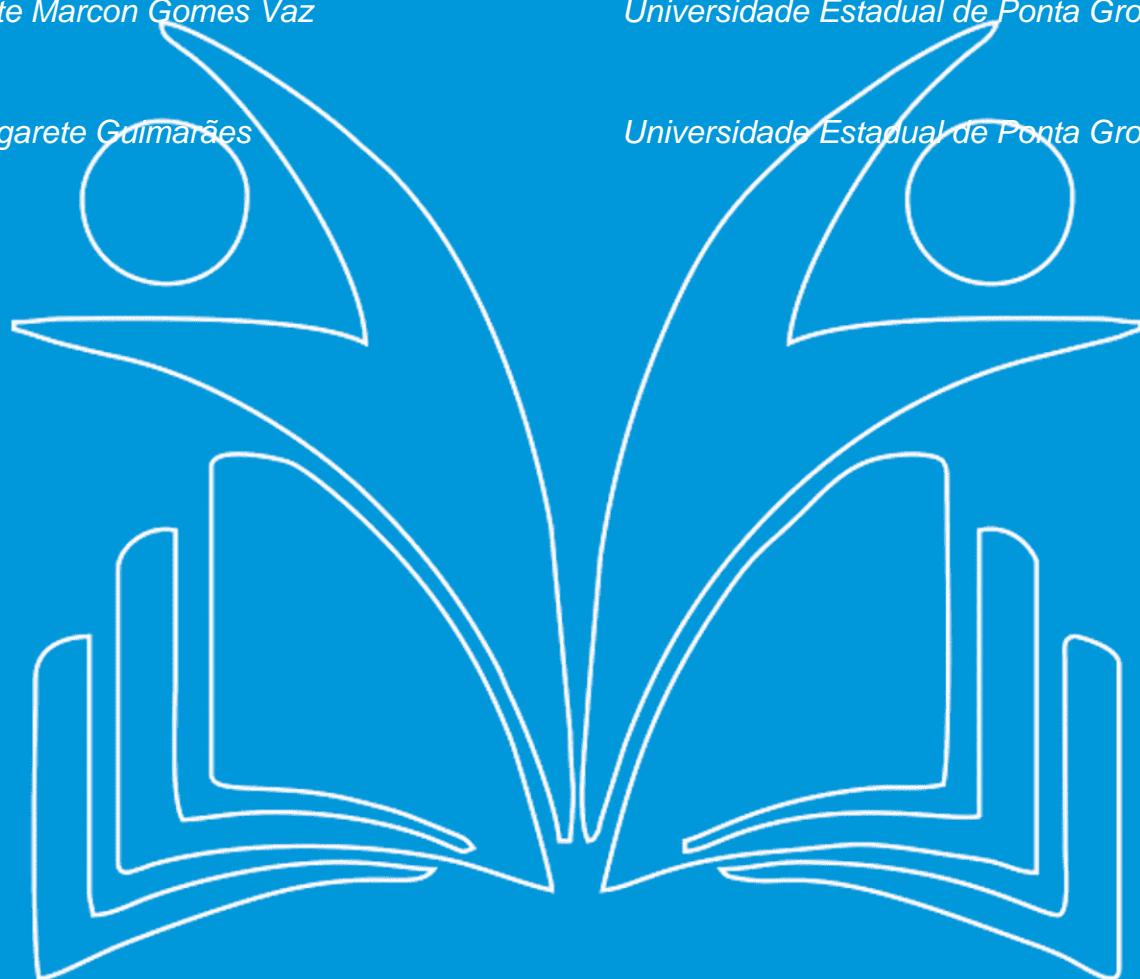
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Maria Salete Marcon Gomes Vaz

Universidade Estadual de Ponta Grossa

Alaine Margarete Guimarães

Universidade Estadual de Ponta Grossa



Resumo: Este capítulo apresenta os avanços na utilização de RFID no controle de qualidade de grãos de soja. O objetivo é compreender o uso de RFID na rastreabilidade de grãos de soja, buscando elevar sua qualidade. Esse trabalho é relevante para ampliar o conhecimento sobre a aplicação de RFID, contribuindo para aprimorar a rastreabilidade e aumentar a qualidade dos grãos de soja. A revisão abrange diversas fontes acadêmicas e práticas, destacando como a tecnologia RFID pode ser integrada aos processos de produção, armazenamento e distribuição de soja. Além disso, analisa os benefícios econômicos e operacionais proporcionados pela implementação dessa tecnologia, como a redução de perdas, o aumento da transparência na cadeia de suprimentos e a melhoria na satisfação dos consumidores. Conclui-se que a adoção do RFID pode representar um diferencial competitivo para os produtores brasileiros de soja, alavancando a qualidade do setor.

Palavras-chave: RFID. Controle de Qualidade. Grãos de Soja. Rastreabilidade.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produtos agrícolas de alta qualidade e a necessidade de garantir a segurança alimentar têm impulsionado a adoção de tecnologias inovadoras na indústria agrícola. Nesse contexto, a rastreabilidade dos produtos se destaca, permitindo que os consumidores tenham acesso a informações sobre a origem e a qualidade dos alimentos que consomem. A tecnologia de Identificação por Radiofrequência (RFID) surge como uma solução promissora para atender a essas exigências, oferecendo uma maneira eficiente de monitorar e rastrear grãos de soja ao longo de toda a cadeia produtiva.

A rastreabilidade dos grãos de soja desempenha um papel fundamental na indústria agrícola, considerando a importância do Brasil como uma potência na produção desse alimento (USDA, 2023). A identificação por radiofrequência (RFID) tem se destacado como uma tecnologia eficaz para melhorar a rastreabilidade e controle da qualidade dos grãos de soja ao longo da cadeia produtiva. A utilização da tecnologia RFID permite que cada lote de grãos de soja seja monitorado desde a sua origem (plantio) até o consumidor final. A rastreabilidade ajuda a identificar quaisquer problemas de qualidade ou contaminação, facilitando ações corretivas imediatas.

A tecnologia RFID permite a identificação automática de objetos por meio de etiquetas que emitem sinais de rádio, possibilitando a coleta de dados de localização e as condições dos grãos. Essa tecnologia pode ser integrada aos processos de produção, armazenamento e distribuição, proporcionando uma visão abrangente e em tempo real da qualidade dos grãos de soja. Além disso, a RFID pode ajudar a reduzir perdas, aumentar a eficiência operacional e melhorar a satisfação do consumidor, tornando-se um diferencial competitivo para os produtores.

Além da melhoria na qualidade, a rastreabilidade dos grãos de soja por RFID oferece benefícios em termos de eficiência logística. O monitoramento contínuo reduz o tempo e os custos associados ao transporte e armazenamento, otimizando a gestão da cadeia produtiva. Além disso, contribui para a transparência nas operações agrícolas. Consumidores e parceiros comerciais podem acessar informações sobre a origem e o processamento dos grãos, aumentando a confiança e a credibilidade do produto.

A implementação de sistemas de rastreabilidade, baseados em RFID, é um passo para a conformidade com normas e regulamentos internacionais. Países importadores de soja frequentemente exigem documentação precisa sobre a origem e o manuseio dos produtos agrícolas. A rastreabilidade

aprimorada dos grãos de soja beneficia os produtores e consumidores e tem um impacto positivo no meio ambiente. A capacidade de monitorar a cadeia produtiva ajuda a identificar práticas agrícolas sustentáveis e a minimizar o desperdício de recursos.

A tecnologia RFID integrada aos sistemas de rastreabilidade permite a coleta e análise de dados em tempo real. Essas informações são valiosas para a tomada de decisões estratégicas, ajudando os agricultores a ajustar suas práticas e aumentar a produtividade de forma mais eficiente. A rastreabilidade dos grãos de soja é fundamental em casos de recall de produtos. Se houver um problema de contaminação ou defeito, essa tecnologia permite rastrear rapidamente os lotes afetados, reduzindo o impacto negativo para consumidores e empresas.

A adoção da tecnologia RFID na agricultura promove a inovação e a modernização do setor. Empresas e pesquisadores estão continuamente desenvolvendo novos métodos para integrar essa tecnologia com outras ferramentas digitais, como a Internet das Coisas (IoT) e a análise de big data.

A produção agrícola em larga escala torna essencial o estabelecimento de mecanismos eficientes de rastreabilidade, que garantam a origem e a qualidade dos grãos, além de atender às exigências dos consumidores e às regulamentações governamentais. Nesse contexto, a tecnologia RFID tem sido amplamente explorada como uma solução para melhorar a rastreabilidade dos grãos de soja, permitindo a identificação e o registro dos produtos ao longo de toda a cadeia produtiva.

Diversos estudos têm investigado a aplicação da tecnologia RFID na rastreabilidade de grãos de soja, buscando identificar os benefícios e desafios associados a essa abordagem. Destaca-se o trabalho de Santos et al. (2019), que apresenta uma análise detalhada da implementação da tecnologia RFID na rastreabilidade dos grãos de soja, desde a colheita até a distribuição.

Além disso, Silva et al. (2019) destaca a importância da RFID na rastreabilidade de grãos de soja, demonstrando as vantagens dessa tecnologia na melhoria dos processos de controle da qualidade e rastreamento dos grãos. Outro trabalho relevante é o de Oliveira et al. (2020), que investiga a integração da tecnologia RFID com sistemas de informação para melhorar a rastreabilidade dos grãos de soja, fornecendo dados confiáveis e em tempo real sobre a origem e qualidade dos grãos. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o uso da tecnologia RFID na rastreabilidade de grãos de soja.

Por meio de uma revisão sistemática, busca-se fornecer uma visão abrangente sobre o potencial dessa tecnologia na melhoria dos processos de rastreabilidade e controle da qualidade dos grãos de soja,

contribuindo para a segurança alimentar, a conformidade com regulamentações e a satisfação dos consumidores.

Neste contexto, este capítulo objetiva apresentar os avanços na utilização de RFID no controle da qualidade de grãos de soja, discutindo benefícios econômicos e operacionais da implementação dessa tecnologia, bem como os desafios a serem superados para adoção em larga escala. A análise abrange fontes acadêmicas e práticas, destacando como a RFID pode ser integrada aos processos agrícolas e quais são as tendências para sua aplicação.

A relevância deste trabalho reside na necessidade de ampliar o conhecimento sobre a aplicação de RFID na rastreabilidade de grãos de soja, contribuindo para o aprimoramento da qualidade e segurança dos produtos agrícolas, e fornecendo informações para pesquisadores, profissionais e produtores, para adoção de tecnologias para transformação da indústria agrícola e atendimento de demandas do mercado.

METODOLOGIAS

Para alcance dos objetivos, foi realizado um levantamento da literatura científica relacionada ao tema, incluindo artigos, conferências e trabalhos relevantes. Os estudos foram selecionados com base em critérios pré-definidos, considerando a aplicação da tecnologia RFID no controle da qualidade dos grãos de soja. A análise e síntese dos artigos selecionados foram conduzidas para extração de informações sobre os objetivos, metodologias, resultados e conclusões alcançadas.

Para garantir a relevância e a qualidade dos artigos selecionados, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão abrangeram pesquisas publicadas em periódicos revisados por pares, que abordassem a aplicação da tecnologia RFID na rastreabilidade de grãos de soja. Além disso, foram considerados artigos que discutissem os benefícios e desafios da implementação da RFID na cadeia produtiva da soja, com foco em publicações datadas entre 2015 e 2023, assegurando a atualidade das informações. Por outro lado, foram excluídos estudos que não tratassem diretamente da tecnologia RFID ou da rastreabilidade de grãos de soja, bem como aqueles que não estivessem disponíveis em texto completo ou que não tivessem passado por revisão por pares. Também, foram desconsideradas publicações que não apresentassem dados empíricos ou análises relevantes.

A análise dos dados foi realizada de forma qualitativa, com foco em aspectos, como as aplicações práticas da tecnologia RFID na rastreabilidade de grãos de soja, os benefícios econômicos e operacionais da sua implementação, os desafios enfrentados na adoção da tecnologia e as tendências

e inovações relacionadas à RFID na agricultura. As informações coletadas foram organizadas em tabelas e gráficos, facilitando a visualização e a comparação dos dados. Essa organização permitiu uma análise mais clara e intuitiva dos resultados, além de destacar as principais contribuições de cada artigo.

A partir da análise dos estudos, foram identificados os benefícios e desafios associados à implementação da tecnologia RFID nesse contexto. Além disso, foram exploradas as tendências e direções na aplicação da RFID no controle da qualidade dos grãos de soja, considerando as pesquisas mais recentes e as lacunas identificadas.

Os resultados da análise foram sintetizados em uma discussão abrangente, destacando os principais achados e suas implicações para a indústria agrícola. A revisão foi estruturada para fornecer uma visão clara e concisa sobre o estado atual da pesquisa em RFID e sua aplicação na rastreabilidade de grãos de soja, além de identificar lacunas que podem ser exploradas em pesquisas futuras. Essa abordagem metodológica contribui para o entendimento do potencial da tecnologia RFID e oferece informações para a melhoria dos processos de controle da qualidade dos grãos de soja na indústria agrícola.

Esta abordagem metodológica permitiu uma visão abrangente das vantagens, desafios e tendências da Tecnologia RFID. As informações obtidas permitem a compreensão do potencial da RFID no contexto agrícola e podem contribuir para o aprimoramento dos processos de controle da qualidade dos grãos de soja na indústria agrícola.

Para apresentar os resultados, foram criados tabelas e gráficos que sintetizam as principais características e contribuições de cada trabalho analisado. Essas visualizações facilitam a comparação entre os estudos, destacando os pontos fortes e as áreas de melhoria. As tabelas oferecem uma visão clara e organizada dos dados coletados, enquanto os gráficos ajudam a identificar tendências e padrões de forma mais intuitiva e visual. Dessa forma, as informações são apresentadas de maneira mais acessível e compreensível, auxiliando pesquisadores e profissionais do setor a tomar decisões com base nas evidências disponíveis.

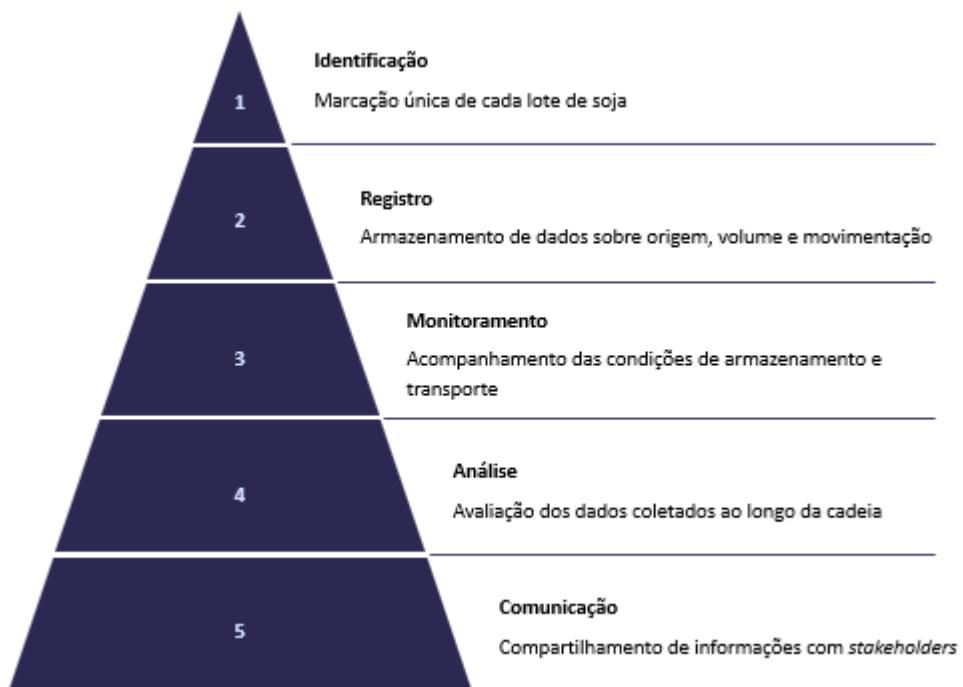
REVISÃO DA LITERATURA

A rastreabilidade da soja envolve cinco etapas fundamentais: identificação, registro, monitoramento, análise e comunicação. Cada uma dessas etapas desempenha um papel na garantia da transparência e da qualidade ao longo do ciclo de vida do produto. A etapa de identificação é responsável por marcar os grãos de soja com informações essenciais que permitirão seu rastreamento. Em seguida, o registro

de dados é realizado, assegurando que todas as informações pertinentes sejam armazenadas de forma segura e acessível. O monitoramento contínuo é necessário para acompanhar o progresso dos grãos através da cadeia de suprimentos, garantindo que os dados sejam atualizados em tempo real e que quaisquer desvios possam ser identificados rapidamente.

A análise dos dados coletados durante as etapas anteriores permite uma compreensão aprofundada do desempenho do sistema de rastreabilidade e a identificação de áreas para melhoria. Por fim, a comunicação é essencial para assegurar que todas as partes interessadas, incluindo produtores, distribuidores e consumidores, estejam informadas sobre a origem e a qualidade dos grãos de soja. A comunicação eficaz fortalece a confiança no sistema de rastreabilidade e promove práticas agrícolas sustentáveis e transparentes. Cada uma dessas etapas contribui para a manutenção da integridade dos produtos e para a confiança dos consumidores no mercado (Figura 1).

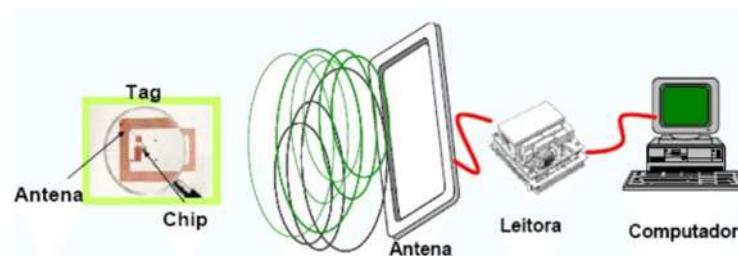
Figura 1. Etapas da Rastreabilidade de Soja.



Fonte: As autoras.

Puhlmann(2015) caracterizou RFID como uma tecnologia de identificação que utiliza radiofrequência para capturar dados e permite que um *transponder* seja lido sem a necessidade de campo visual direto, inclusive através de objetos de diversos materiais, como madeira, plástico e papel. Para que ocorra a comunicação por RFID, são necessários dois componentes principais: o *transponder*, conhecido como RFTag ou simplesmente Tag, e um leitor com antena, que pode funcionar como gravador se for necessário escrever novos dados no *chip* do *transponder* (Figura 2).

Figura 2. Etapas da Comunicação RFID.



Fonte: Puhlmann(2015).

A utilização da tecnologia de identificação por radiofrequência (RFID) na rastreabilidade de grãos de soja tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas. A escolha da tecnologia RFID adequada é essencial para o sucesso da rastreabilidade de soja. Fatores como alcance de leitura, taxa de leitura, frequência de operação (Figura 3), confiabilidade e custo devem ser cuidadosamente analisados para atender às necessidades específicas da cadeia logística da soja.

Figura 3. Fatores para escolha da Tecnologia RFID.



Fonte: As autoras.

Dentre os estudos analisados, Santos et al. (2019) realizaram uma análise da implementação da tecnologia RFID na rastreabilidade dos grãos de soja, abrangendo desde a colheita até a distribuição. Os resultados dessa pesquisa revelaram várias vantagens. A RFID possibilita a identificação precisa dos grãos, garantindo que cada lote possa ser rastreado com exatidão ao longo de toda a cadeia produtiva.

Além disso, a tecnologia permite o registro detalhado de informações sobre os grãos, como data e local de colheita, condições de armazenamento e movimentação ao longo da cadeia de suprimentos. Com isso, é possível influenciar na tomada de decisão, proporcionando maior eficiência na gestão dos recursos e na otimização dos processos logísticos. Outro benefício destacado é a capacidade de detectar qualquer inconsistência ou problema, como contaminação ou deterioração dos grãos, permitindo ações corretivas imediatas. A adoção da RFID facilita a conformidade com regulamentos de segurança alimentar e aumenta a confiança dos consumidores nos produtos rastreados (Tabela 1).

Tabela 1. Influência das métricas na tomada de decisão.

Métrica	Importância	Informação
Nível de Estoque	Alta	Ajuste de compras e programação de entregas
Rastreamento de Lotes	Alta	Identificação rápida de problemas de qualidade
Eficiência Logística	Média	Otimização de rotas e redução de custos de transporte

Fonte: As autoras.

Os registros promovem maior transparência, com todas as informações sobre os grãos disponíveis para consulta a qualquer momento. Essa transparência garante a confiança dos consumidores e dos parceiros comerciais na qualidade e na origem dos produtos. Outro benefício destacado é a eficiência na cadeia produtiva. A tecnologia RFID reduz a necessidade de processos manuais e minimiza a ocorrência de erros humanos, acelerando o fluxo de informações e melhorando a coordenação entre os diferentes elos da cadeia produtiva. Isso resulta em uma gestão mais ágil e eficiente dos grãos de soja, desde o plantio até o consumidor final.

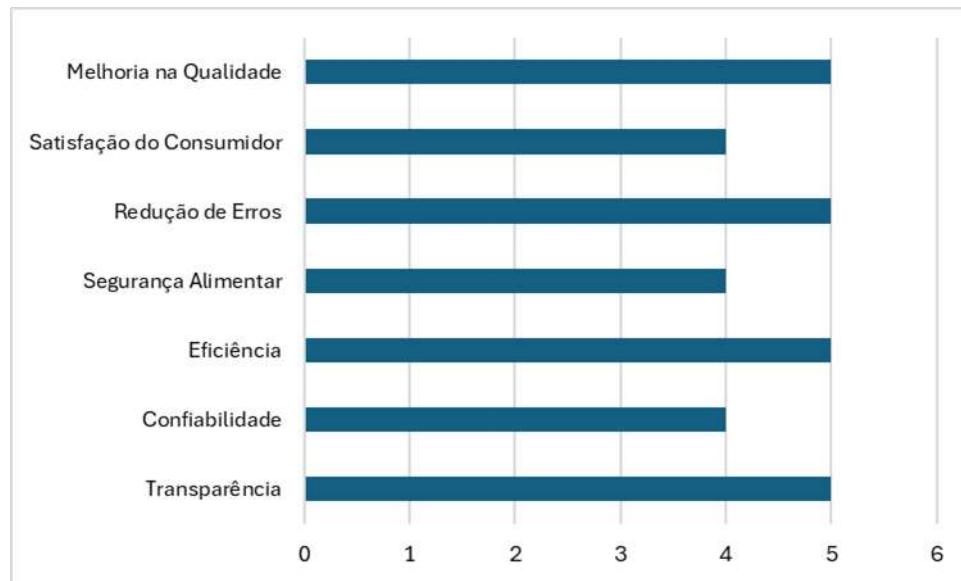
A tecnologia contribui para o controle da qualidade, permitindo a rastreabilidade dos grãos e auxiliando na detecção precoce de possíveis problemas, como contaminação ou deterioração dos produtos. Silva et al. (2019) ressaltaram a importância da RFID na rastreabilidade de grãos de soja, demonstrando que RFID agiliza os processos de controle, reduzindo erros humanos e proporcionando rastreamento eficiente e preciso dos grãos.

Essa melhoria nos processos de controle contribui diretamente para garantia da qualidade e da segurança dos produtos. Com RFID, é possível monitorar todo o trajeto dos grãos, desde a produção até a distribuição, permitindo uma visibilidade completa e contínua ao longo da cadeia de

suprimentos. Essa capacidade de rastreamento facilita a identificação rápida e precisa de quaisquer problemas, garantindo aplicação de medidas corretivas tomadas de maneira oportuna para evitar a propagação de produtos comprometidos. Consequentemente, RFID melhora a eficiência operacional e reforça a confiança dos consumidores e dos parceiros comerciais na qualidade e na segurança dos grãos de soja rastreados.

Foram investigados os principais impactos, incluindo aspectos como transparência, confiabilidade, eficiência, segurança alimentar, redução de erros, satisfação do consumidor e melhoria na qualidade dos produtos. Cada um desses fatores foi avaliado em uma escala de 1 a 5, refletindo a importância e a eficácia de RFID na otimização dos processos agrícolas (Figura 4). A transparência, por exemplo, foi fundamental para garantir que os consumidores tenham acesso a informações claras sobre a origem e a qualidade dos grãos, enquanto a confiabilidade e a eficiência são essenciais para aumentar a produtividade e reduzir perdas. Esses resultados evidenciam como a adoção de RFID melhora a gestão da produção e fortalece a confiança do consumidor, contribuindo para um sistema alimentar mais seguro e sustentável.

Figura 4. Principais impactos do RFID apresentados pelos estudos.



Fonte: As autoras.

Oliveira et al. (2019) investigaram a integração de RFID com sistemas de informação. Os resultados revelaram que a integração permite o monitoramento em tempo real da origem e qualidade dos grãos de soja, fornecendo dados confiáveis e precisos para tomadas de decisão ao longo de toda a cadeia produtiva. Essa capacidade de monitoramento em tempo real garante que todas as etapas do

processo, desde a produção até a distribuição, sejam acompanhadas, permitindo a detecção imediata de qualquer irregularidade ou problema.

A capacidade de tomar decisões com base em dados confiáveis proporciona uma vantagem competitiva, permitindo que as empresas respondam rapidamente a mudanças e garantam a integridade e a qualidade dos grãos de soja. Dessa forma, RFID integrada com sistemas de informação se mostra uma ferramenta poderosa para otimizar a rastreabilidade e o controle da qualidade, promovendo uma gestão eficaz e estratégica no setor agrícola.

Zhang et al. (2019) exploraram a aplicação de RFID na rastreabilidade de grãos de soja, destacando a importância de rastrear e registrar informações ao longo da cadeia produtiva. Os resultados evidenciaram que RFID aprimora a precisão e a eficiência do rastreamento, contribuindo para a segurança alimentar e o cumprimento das regulamentações. Além disso, a tecnologia facilita a identificação da origem dos grãos, auxiliando na garantia de autenticidade e evitando fraudes. Nesse contexto, os estudos analisados evidenciam a relevância de RFID na rastreabilidade de grãos de soja.

A RFID contribui para o controle da qualidade, a transparência na cadeia produtiva e a confiança do consumidor nos produtos de soja. No entanto, é fundamental que as empresas e instituições do setor agrícola avaliem os custos e benefícios da adoção de RFID, considerando as especificidades de cada contexto. É importante ressaltar que, apesar dos benefícios da tecnologia RFID, sua implementação pode apresentar desafios. Dentre eles, destacam-se os custos de infraestrutura e a necessidade de treinamento e capacitação dos profissionais envolvidos. Esses desafios devem ser considerados durante o processo de adoção de RFID na rastreabilidade de grãos de soja.

A análise comparativa dos custos e benefícios associados à adoção dessa tecnologia (Tabela 2), destacam os investimentos iniciais necessários quanto aos retornos financeiros esperados ao longo do tempo. Os custos incluem a aquisição de equipamentos, instalação, treinamento e manutenção, enquanto os benefícios abrangem a redução de perdas, aumento na eficiência logística e melhoria na satisfação do consumidor. Essa análise permite uma visão do potencial retorno sobre o investimento, evidenciando a viabilidade de RFID como uma ferramenta para os produtores que buscam aprimorar seus processos e garantir a qualidade de seus produtos.

Tabela 2. Custos x Benefícios esperados.

Categoria	Descrição	Custo (R\$)	Benefício (R\$)
Custos Iniciais	Aquisição de equipamentos RFID	R\$ 50.000	
	Instalação e configuração	R\$ 10.000	
	Treinamento de funcionários	R\$ 5.000	
Custos Operacionais	Manutenção de equipamentos	R\$3.000/ano	
	Atualização de software	R\$2.000/ano	
Benefícios Diretos	Aumento na eficiência logística		R\$30.000/ano
	Redução de perdas e desperdícios		R\$20.000/ano
	Melhoria na qualidade do produto		R\$15.000/ano
Benefícios Indiretos	Aumento na satisfação do consumidor		R\$10.000/ano
	Melhoria na imagem da empresa		R\$5.000/ano
Total		R\$ 80.000	R\$ 80.000/ano

Fonte: As autoras.

A análise das informações revela que a implementação de um sistema RFID, apesar dos custos iniciais elevados, é financeiramente viável e vantajosa a longo prazo. Os benefícios anuais, tanto diretos quanto indiretos, superam os custos, proporcionando um retorno positivo sobre o investimento. Além disso, a melhoria na eficiência logística, na redução de perdas e na qualidade do produto, juntamente com o aumento da satisfação do consumidor e a melhoria na imagem da empresa, contribuem para uma operação mais eficiente e uma melhor percepção no mercado.

Além dos estudos mencionados, outros trabalhos têm contribuído para a compreensão da aplicação de RFID na rastreabilidade de grãos de soja. Wu et al. (2020) investigaram a implementação de RFID na cadeia produtiva de soja, enfatizando a coleta de dados precisos para a rastreabilidade dos grãos. Os resultados demonstraram que a tecnologia RFID permite o registro e monitoramento contínuo dos grãos ao longo de todas as etapas, melhorando a eficiência e a confiabilidade da rastreabilidade.

Chen et al. (2021) explorou a integração da tecnologia RFID com técnicas avançadas de identificação e rastreamento de grãos de soja. Os pesquisadores desenvolveram um sistema inteligente que utiliza RFID para rastrear e monitorar os grãos de soja em tempo real. Os resultados indicaram que essa abordagem possibilita uma rastreabilidade precisa e automatizada, facilitando a identificação de problemas e melhorando a qualidade dos grãos.

Wang et al. (2022) investigaram os benefícios de RFID na rastreabilidade de grãos de soja em pequenas propriedades agrícolas. O estudo evidenciou que RFID é uma solução viável mesmo em contextos de menor escala, proporcionando uma melhor visibilidade e controle sobre os grãos produzidos.

Na Tabela 3, é apresentado um comparativo dos diferentes aspectos das pesquisas sobre rastreabilidade na cadeia produtiva de grãos de soja. Os estudos são relevantes para a segurança alimentar, abordando diversos desafios como implementação, custos e complexidade dos sistemas. A análise permitiu identificar as principais vantagens e desvantagens de cada abordagem, proporcionando uma visão abrangente sobre as melhores práticas para garantir a rastreabilidade.

Os impactos potenciais na eficiência operacional e na sustentabilidade da cadeia produtiva, foram discutidos e destacada a importância de rastreabilidade eficaz para a manutenção da integridade e qualidade dos produtos ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Esses estudos destacaram a necessidade de investimentos em tecnologia e infraestrutura, bem como a capacitação dos profissionais envolvidos, para superar as barreiras existentes e alcançar um sistema de rastreabilidade robusto e confiável.

Tabela 3. Comparativo dos estudos sobre rastreabilidade na cadeia produtiva de grãos de soja.

Aspecto	Santos et al. (2019)	Silva et al. (2019)	Oliveira et al. (2020)	Wu et al. (2020)	Chen et al. (2021)	Wang et al. (2022)
Foco Principal	Rastreabilidade dos grãos de soja	Rastreabilidade e controle de qualidade	Integração RFID com sistemas de informação	Implementação da RFID na cadeia produtiva	Sistema inteligente para rastreamento	Rastreabilidade em pequenas propriedades
Benefícios Destacados	Melhoria na rastreabilidade	Vantagens na qualidade dos produtos	Dados confiáveis em tempo real	Registro contínuo dos grãos	Rastreabilidade precisa e automatizada	Melhor visibilidade e controle
Desafios Abordados	Implementação e custos	Necessidade de adaptação	Integração com sistemas existentes	Coleta de dados precisos	Complexidade do sistema	Viabilidade em pequena escala
Metodologia	Revisão sistemática	Revisão sistemática	Revisão sistemática	Estudo de caso	Desenvolvimento de sistema	Estudo de caso
Contribuições para o Setor	Aumento da transparência	Melhoria na satisfação do consumidor	Eficiência na gestão de dados	Eficiência e confiabilidade	Identificação de problemas	Controle sobre a produção
Relevância para a Segurança Alimentar	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Fonte: As autoras.

Os estudos analisados compartilham a semelhança de abordar a tecnologia RFID como uma solução eficaz para a rastreabilidade de grãos de soja, destacando benefícios comuns, como melhorias na qualidade, eficiência e segurança alimentar. No entanto, diferenciam-se pelo foco em aspectos específicos da implementação de RFID. Por exemplo, alguns estudos concentram-se na integração de RFID com sistemas de informação, enquanto outros investigam a viabilidade em pequenas propriedades ou desafios relacionados à coleta de dados precisos. Esse quadro comparativo ajuda a

visualizar as principais características e contribuições de cada trabalho, facilitando a comparação e compreensão das diferentes abordagens e resultados apresentados.

A implementação da RFID permite a rastreabilidade individualizada dos grãos, possibilitando aos agricultores rastrear a origem e qualidade de seus produtos de forma eficiente. Esses estudos adicionais ressaltam a importância da tecnologia RFID na rastreabilidade de grãos de soja, destacando seus benefícios em termos de coleta de dados precisos, automação dos processos e melhoria da qualidade dos produtos.

Ao considerar os avanços, é possível visualizar o potencial contínuo da tecnologia RFID na otimização da cadeia produtiva de grãos de soja, fornecendo informações valiosas para os produtores, processadores e consumidores interessados na qualidade e origem dos grãos.

RFID contribui para o controle da qualidade, para transparência na cadeia produtiva e para a confiança do consumidor nos produtos de soja. No entanto, é fundamental que as empresas e instituições do setor agrícola avaliem os custos e benefícios da adoção da tecnologia RFID, considerando as especificidades de cada contexto.

CONCLUSÕES

Este capítulo abordou a importância da tecnologia RFID na rastreabilidade de grãos de soja, destacando os benefícios da sua implementação na cadeia produtiva. Os resultados demonstram que RFID melhora a transparência e a eficiência dos processos e fortalece a confiança do consumidor, contribuindo para a segurança alimentar.

A capacidade de rastrear a origem e a qualidade dos grãos de forma precisa é um avanço para a indústria agrícola, especialmente em um cenário onde a demanda por produtos de alta qualidade e com garantias de segurança está em crescimento. A rastreabilidade atende às exigências regulatórias e se torna um diferencial competitivo em um mercado cada vez mais exigente.

Apesar dos avanços, a adoção da tecnologia RFID enfrenta desafios como perspectivas de pesquisas futuras. Questões como os custos de implementação em diferentes regiões, a necessidade de infraestrutura adequada e o treinamento de profissionais são aspectos que requerem atenção. Estudos adicionais podem explorar modelos de custo-benefício mais detalhados, que ajudem os produtores a entender melhor o retorno sobre o investimento em RFID.

A análise de casos de sucesso em diferentes contextos pode fornecer informações sobre as melhores práticas e estratégias de implementação, permitindo que pequenos e médios agricultores se beneficiem dessa tecnologia.

A pesquisa pode ser expandida, visando investigar o impacto de RFID em outras culturas agrícolas. A diversidade de produtos agrícolas apresenta uma oportunidade para entender como a tecnologia pode ser adaptada e aplicada em diferentes realidades. Por exemplo, a rastreabilidade de frutas, vegetais e grãos menores pode apresentar desafios distintos.

A comparação entre diferentes culturas pode revelar informações sobre a eficácia da tecnologia em contextos variados, contribuindo para a melhoria da rastreabilidade em toda a indústria agrícola.

Outro aspecto que merece atenção em trabalhos futuros é a integração da RFID com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a análise de big data. A combinação dessas tecnologias pode abrir novas possibilidades para otimizar ainda mais a cadeia produtiva, permitindo um monitoramento em tempo real e uma gestão mais eficiente dos recursos.

A utilização de sensores IoT, em conjunto com RFID, pode proporcionar dados em tempo real sobre as condições dos grãos, como temperatura e umidade, permitindo intervenções rápidas e precisas para garantir a qualidade do produto. A análise de big data pode, por sua vez, ajudar a identificar padrões e tendências que podem permitir a tomada de decisões estratégicas em toda a cadeia produtiva.

É fundamental que pesquisas futuras considerem a perspectiva do consumidor e suas expectativas em relação à rastreabilidade e à qualidade dos produtos. Compreender como a transparência e a confiança influenciam as decisões de compra pode ajudar os produtores e as empresas a alinhar suas estratégias de marketing e comunicação, promovendo maior aceitação de RFID no mercado. Pesquisas que investiguem a percepção do consumidor sobre a rastreabilidade e a autenticidade dos produtos podem fornecer informações para o desenvolvimento de campanhas de marketing eficazes, enfatizando os benefícios da tecnologia RFID.

Finalmente, a sustentabilidade é um tema a ser considerado nas pesquisas sobre a RFID na rastreabilidade de grãos de soja. A tecnologia pode contribuir para práticas agrícolas sustentáveis, permitindo um uso eficiente dos recursos e reduzindo o desperdício. Estudos que explorem a relação entre a adoção da RFID e a sustentabilidade na agricultura podem oferecer uma visão sobre como a tecnologia pode ser uma aliada na busca por um sistema alimentar mais responsável e consciente.

A continuidade das pesquisas sobre RFID na rastreabilidade de grãos de soja e em outras áreas agrícolas é essencial para o avanço do conhecimento e para a promoção de práticas sustentáveis e eficientes na indústria alimentícia. A intersecção entre tecnologia, sustentabilidade e as demandas do consumidor representa um campo fértil para futuras pesquisas, podendo contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos e para a construção de um sistema alimentar transparente, confiável e sustentável.

A RFID é uma ferramenta tecnológica e um catalisador para a transformação da agricultura, com o potencial de impactar a cadeia produtiva e, consequentemente, a sociedade como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMBRAPA. Soja: Principais números da safra brasileira 2020/2021. Recuperado de [https://www.embrapa.br/]. 2021.

Oliveira, R. F., Santos, A. B., & Silva, L. C. Integration of RFID and information systems for soybean grain traceability: Challenges and perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105373. 2020.

PUHLMANN, H. Introdução à tecnologia de identificação RFID. 2015.

SANTOS, A. B., SILVA, L. C., & OLIVEIRA, R. F. Application of RFID technology in soybean grain traceability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 160, 157-165. 2019.

SILVA, L. C., SANTOS, A. B., & OLIVEIRA, R. F. RFID technology for soybean grain traceability: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104861. 2019.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Foreign Agricultural

Service (FAS). Brazil Soybean Production and Exports to Reach Record Levels in 2023. Disponível em: [https://www.fas.usda.gov/data/brazil-soybean-production-and-exports-reach-rec-ord-levels-2023](https://www.fas.usda.gov/data/brazil-soybean-production-and-exports-reach-record-levels-2023). Acesso em: 19 jul. 2024.

WANG, H., WANG, F., YU, Z., & LI, Y. Development of soybean traceability system based on RFID technology in small-scale farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106272. doi:10.1016/j.compag.2022.106272. 2022.

WU, J., CHEN, S., ZHANG, Y., CHEN, L., & JIANG, Z. Implementation of RFID technology in soybean supply chain. *Journal of Food Engineering*, 282, 110005. 2020.

+

Capítulo 12



10.37423/240709194

ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE DISPERSÃO DO CANAL RÁDIO MÓVEL NAS FAIXAS DE 2,5 GHZ E 5,86 GHZ EM ALTA VELOCIDADE

Fabiano Assumpção

Universidade Federal Fluminense

Leonardo Gonsioroski

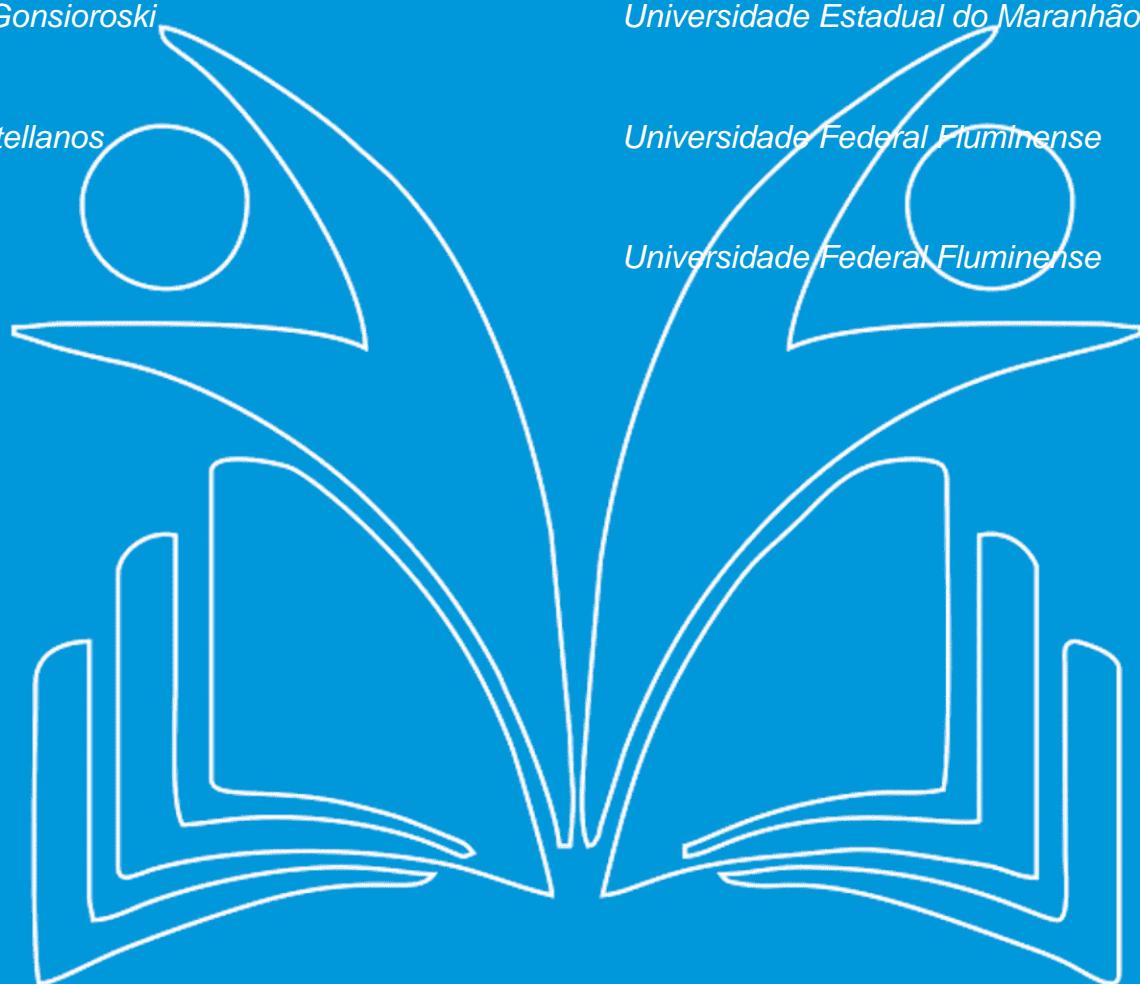
Universidade Estadual do Maranhão

Pedro Castellanos

Universidade Federal Fluminense

Leni Matos

Universidade Federal Fluminense



Abstract: This paper deals with the characterization of a radio mobile channel in an urban environment, Rio de Janeiro, Brazil, for both 2.5 GHz and 5.86 GHz bands, providing the results and analysis of time and frequency dispersion parameters for future works. It is worth to emphasize that the measurements occurred at high speed, approximately 100 km/h.

Keywords: *Broadband communication; Multipath channels; OFDM; Radio propagation; Time-varying channels.*

I. INTRODUCTION

With the improvement and development of telecommunication services, we can notice that the world has become highly globalized. Over the last few years, there was an increasing demand to mobile services, which drives the rise of new technologies for the transmission/reception of services (voice, audio, images and data) by various means and decreases the costs involved in the development of hardware and software.

Mobile networks have evolved to meet the demand for greater mobility, flexibility, connection speed, security and convergence of services as well as support properly telephony through Voice over IP (VoIP) technology and high definition video streams, reach places with difficult access. Nowadays, with the development of wireless devices (notebooks, printers, and especially smart devices), the mobile broadband access has been made available to 56.4 people, per 100 in the world [1]. In Brazil, in March 2018, there were around 235.7 million people with an active mobile broadband access [2].

LTE networks, fourth generation or 4G, have emerged to meet the requirements of current demand for services and still supports mobility connections with speeds up to 350 km/h [3]. ANATEL elaborated a timetable to establish deadlines where the LTE system (Long Term Evolution) should be already installed and operating. Throughout 2013, the installation of the systems in six capitals would begin, which would soon be tested at major events such as World Cup. In 2015, all capitals with more than 500 thousand inhabitants, theoretically, should operate with the 4G network and, by the end of 2016, all cities with more than 200 thousand inhabitants should also have this technology, finalizing the process until 2017 [4].

The LTE spectrum band was allocated by IMT in 3 bands: 450 - 470 MHz, 700 - 800 MHz and 2300 - 2700 MHz, which can be allocated in carriers of 1.4 to 20 MHz, with 15 kHz spacing between them, supporting FDD, TDD and half-duplex FDD and interoperability with other access technologies [5]. In Brazil, LTE started with the band 7 in 2600 MHz. On September 30, 2014, the band 28 was auctioned, where the LTE 4G would also start to operate at 700 MHz, with FDD.

LTE was designed to support rates greater than 100 Mbps (downlink) and 50 Mbps (uplink) using a 2x2 MIMO scheme and 20 MHz bandwidth. This ensures optimal spectral efficiency and connection latency time less than 100 milliseconds. In addition it has metrics such as resource requirements, priority in the routing queue, packet delay time, and packet loss rate to choose the best traffic route [5].

Thus, the need for studies in the LTE operating ranges is fundamental for a better understanding the mobile radio channel's behavior, of the 4G signal, in order to improve the design of the wireless communication systems. To achieve the performance goals imagined for this technology, it was necessary to evolve and improve some radio interface technologies, among them: the technology of multiple carriers, multiple antennas and application of packet-switched network. Multicarrier counteracts the effects of the real radio channel, characterized by being dispersive and time variant. It consists of dividing the channel bandwidth into a number of parallel sub-channels with bandwidth such that each sub-channel is not frequency selective, obtaining a flat spectral gain. Such technique minimizes inter-symbol interference by making the symbol period large enough that, when compared to the delays introduced by the channel, we can assume that the delays are insignificant (about 10% of the duration of the symbol) [6].

Among these techniques, the Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) highlights, which dispose overlapping and orthogonal sub-channels between them, thus avoiding the need to use a guard interval between carriers, to After conducting a channel pre-scan, the central operating frequencies, 2.5 GHz and 5.86 GHz, were chosen to avoid interferences.

In order to optimize time and obtain data in both prevent interference between the carriers, optimizing the use frequencies in the same measurement campaign, two of the spectrum and allowing the implementation of low transmission setups have been installed on the terrace of a complexity receivers. It also extinguishes the inter-symbol residential building, using directional antennas above 50 m interference, using a cyclic prefix (copy of the last G samples of the symbol), which is removed in the receiver, allowing analysis of the signal without interference.

The mobile radio channel is characterized by both from the ground. Two reception setups were inside the mobile unit with the receiving antennas mounted on the top. Figure 2 depicts the block diagram of the transmission (up) and the reception system (down).

Temporal and spectral parameters, which act differently on the signals transmitted in narrowband or wideband. It is important The GPS, connected to coordinates, velocity and a computer, collected the synchronization information to determine them in order to reach maximum spectral efficiency and robustness to fades occurred in the propagation of the OFDM systems.

In works [7], [8], [9], [10], [11] and [12], we can observe studies about the behavior of the mobile radio channel, but there is still much more to explore in order to expand the information that helps systems design that supports access with high speed mobility and different frequency ranges. In the present

work, the transmission was a 20 MHz bandwidth OFDM signal, widely used in LTE, using the 2.5 and 5.86 GHz carriers and with the receiver unit moving at 100 km/h obtained in each survey. During the measurements, the entire length within the region of the main lobe of the transmission antennas in Linha Amarela was crossed, starting the measurements about 500 m away from the transmission setup up to about 3.0 km away. In order to obtain as many valid data as possible, it acquired several OFDM signals.

Approximately. This paper follows with Section II, which describes the transmission and reception systems used, as well as the measurement environment. Section III describes the dispersion parameters, Section IV presents the results and Section V provides the conclusions.

II. MEASUREMENT ENVIRONMENT AND SETUP

A. Environment

The measurements performed by the receiver, which was inside a car moving at high speed on an expressway named Linha Amarela, in Rio de Janeiro, Brazil, occurred during a weekend, early in the morning, such that the traffic was weak and the speed could keep 100 km/h approximately.

Figure 1 illustrates a photo of the transmitting view and the area is predominantly composed of two-floor houses, with few higher buildings and some regions with higher ground. There are two tall buildings blocking the line of sight between the mobile unit and the transmitting station, causing diffraction, refraction and reflections on the various obstacles in which the signal hits, reaching the receiver in the form of multipath.



Fig. 1. Transmitting antenna view.

B. Measurement setup

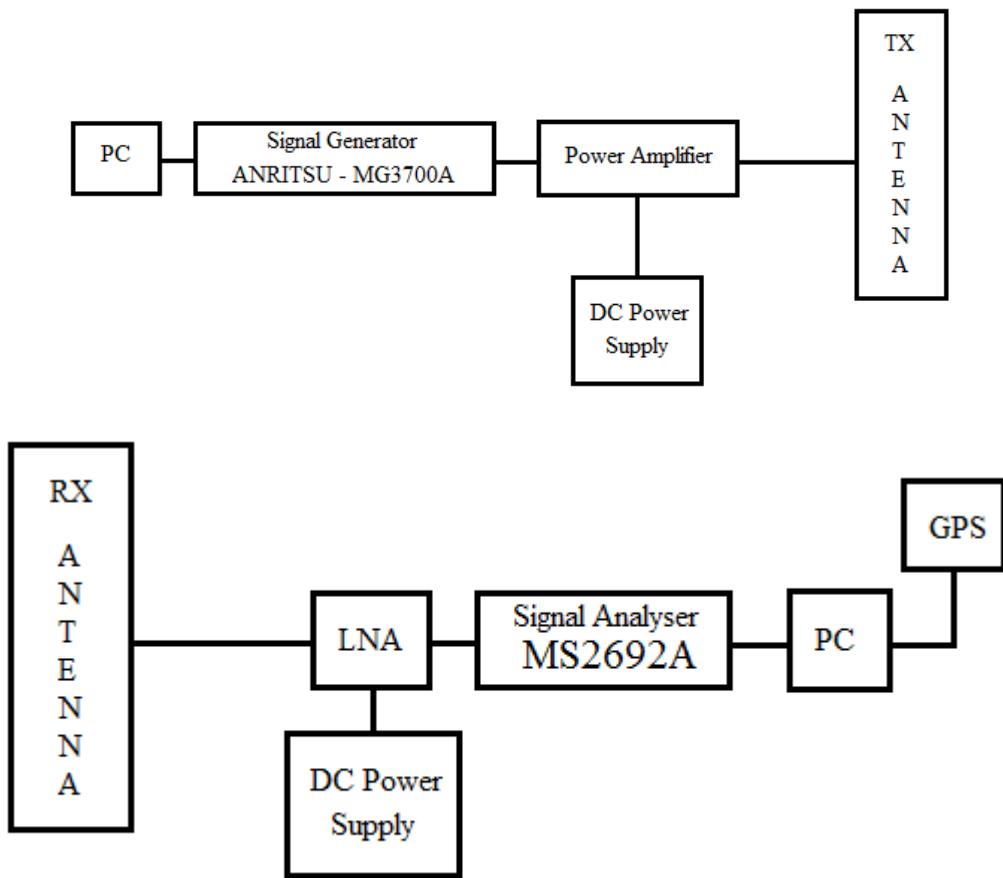


Fig. 2. Transmission and reception setup.

Data acquired lasted about 50 minutes uninterrupted, and the car with the receiving antennas ran the proposed route 3 times in each of the two avenue's directions. In addition, during the measurements, there was no wind and the weather was sunny, with scattered clouds. Data collected when the mobile unit was traveling through secondary or low-speed routes were eliminated in the post-processing of the data.

C. Test Signal

The OFDM signal used has 20 MHz of bandwidth and its acquisition rate was 50 MSample/s. For its generation, an FFT was used with 1024 carriers, 800 of them are useful and 224 are null, with a 2 times oversampling factor, therefore when performing the FFT of the signal in the time domain the symbol of OFDM passes to 2048 carriers. Finally, a cyclic prefix of 1/16 added 128 samples, so each OFDM symbol has 2176 samples [13]. The duration period of the OFDM symbol is:

$$T_{OFDM} = N/SR \quad (1)$$

This period equals to 43.52 microseconds for $N = 2176$ samples and $SR = 50$ MSample/s. Therefore, each subcarrier is spaced in 0.02 microseconds, which represents the multipath resolution of the transmitted OFDM signal. In other words, the probing performed with this signal is able to identify multipath whose minimum difference is up to 6 m.

In the modulation, a pseudo-random sequence was used as information signal with 1023 bits length and a 50 MSample/s sampling rate [13]. Thus, the data samples correspond to a pseudo-random sequence. This choice was due to the autocorrelation of the received signal with the original presenting a correlation peak at the instant where the original sequence and the received sequence are aligned.

D. SOUNDING TECHNIQUE

There are several techniques for collecting a known signal transmitted by the channel, which must be characterized. The choice of technique depends on the intended application, the environment where the sounding will occur, if narrow or wide band transmission is used and whether the desired characterization is in the time or frequency domain.

For this work, it was performed a broadband survey in frequency domain that eliminates the need to generate the pseudorandom sequence in the receiver, as it is needed in Swept-Time Delay Cross Correlation (STDCC) technique [7].

The use of multicarrier, which has been widely used in recent works [11] and [12], is efficient for outdoor broadband channel survey, since it is more robust to multipath.

III. DISPERSION PARAMETERS

The time parameters are associated to the time dispersion and the frequency selectivity in the wideband signals. In order to achieve maximum spectral efficiency and robustness to propagation fades in OFDM systems, the most important propagation characteristics to be observed are the maximum Doppler shift and delay spread, and in cellular systems, the cell size. Practically, if only short slots of time or short distance are taken the channel can be considered WSSUS (Stationary in Wide Sense in time domain with Uncorrelated Scattering in the delay domain) and the channel function can be written in the different domains [14] that are related by FFT as depicted in Figure 3.

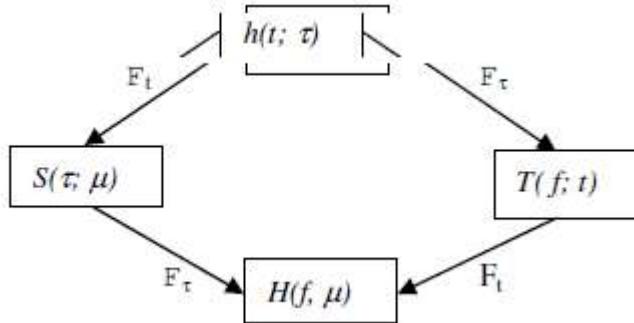


Fig. 3. Relation between the channel functions of WSSUS channels.

The power delay profile, named PDP, is obtained off line by processing the correlation of the received signal $s(t)$ as proved in [14], when an impulsive input signal is applied for transmission, i.e., $s(t)$ is the impulse response of the stationary channel, characterized by $h(t, \tau)$. As this function is complex one, the PDP, $P_h(t_i)$, is:

$$P_h(t, \tau_i) = h(t, \tau) \cdot h^*(t, \tau) \quad (2)$$

In their discrete expressions, the parameters are as [14]:

Mean Delay ($\bar{\tau}$): is the average time of occurrence between replicas of multipath that arrive at the receiver, leaving from the transmitter at the same instant of time:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \tau_i P_k(\tau_i)}{\sum_{i=0}^{N-1} P_k(\tau_i)} \quad (3)$$

Here N is the number of valid multipath in the power delay profile $P_h(t_i)$, occurring in the delays of the multipath τ_i .

Delay spread (s_T): represents the standard deviation of the p.d.f. (probability density function) that characterizes the arrival time of the multipath that arrive at the receiver, coming from the impulse at $t = 0$. Its estimation is important, since the duration of each symbol must be much longer than the delay spread, in order to prevent inter-symbol interference when no equalizers are used.

$$\sigma_T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (\tau_i - \bar{\tau})^2 P_k(\tau_i)}{\sum_{i=1}^{N-1} P_k(\tau_i)}} \quad (4)$$

Coherence band (B_c): frequency band in which the correlation between the amplitudes of the spectral components is greater than 90% or considering a less rigid definition, greater than 50%. Since the time scattering of the channel is responsible for the variation in the amplitudes of the spectral components of the transmitted signal, the channel coherence band has an inverse relationship with

the delay spread. Rappaport [15] have established (5) and (6) for a measured outdoor channel, respectively for 90% and 50% correlation:

$$B_c = \frac{1}{50\sigma_t} \quad (5)$$

$$B_c = \frac{1}{5\sigma_t} \quad (6)$$

Although they are often used to calculate the relationship between the coherence band and the delay spread, it does not fit for many environments.

The coherence band is determined from the function $R_T(f; t)$, which represents the correlation of the signal in the frequency, over time, and it can be determined from the function of the channel $T(t, f_i)$. This function is the DFFT of $h(t, \tau_i)$ along the delay variable. Shenoi [16] defines the correlation of periodic or non-periodic deterministic functions as (7), as well as, an estimate for non-deterministic signals.

$$[R_T(\Omega)]_p = \sum_{n=1}^{N-p} [T]_n \cdot [T]_{n+p}^* \quad (7)$$

In (7), $[T]_n$ is the vector containing the samples of the function of $T(t, f_i)$, N is the number of discrete samples used in the probing and p is the position index of the correlation vector, ranging from 0 to $N-1$ and representing the spacing between consecutive discrete frequencies (Δf) of $T(t, f_i)$ function. When $f=0$ and $p=0$, the correlation is maximum and it decreases as the spacing between frequencies increases, in other words, as p increases.

The frequency parameters have relation to Doppler scattering mainly due to the mobility of the receiver. The most important are:

Mean Doppler shift (d_D):

$$d_D = \frac{\sum_{i=1}^{M-1} \mu_i P_H(\mu_i)}{\sum_{i=0}^{M-1} P_H(\mu_i)} \quad (8)$$

In (8), $P_H(\mu)$ is the Doppler profile for some frequency and it is calculated by the DFFT of R_T in the time domain.

Doppler spread (σ_D): is the standard deviation of the Doppler shift's p.d.f, meaning the spectral spread of the rate of variation of mobile channel, in time domain

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{M-1} (\mu_i - d_D)^2 P_H(\mu_i)}{\sum_{i=0}^{M-1} P_H(\mu_i)}} \quad (9)$$

IV. PROCESSING AND RESULTS

During the measurements, the signal vector analyzer acquired the samples of the in-phase (I) and quadrature (Q) components of the signal received and stored at a rate of 50 MSample/s. In post processing, OFDM symbols were chosen from each set of 8000 samples captured by storing one OFDM symbol per second, however, because of the channel losses, some received OFDM symbols could not be identified.

The channel sounding was in broadband using the multicarrier technique, with 20 MHz test signal, and an OFDM modulated PN sequence. From (2) the delay profiles were calculated.

After calculating the delay profile, the CFAR (Constant False Alarm Rate) technique was used to verify if each signal peak encountered actually represents a multipath component coming from a spreader or if it is only an unwanted spurious generated by a noise and falsely interpreted as multipath [17]. Used for radar systems, this technique applies well in the detection of noise in multipath profiles, presenting good results for urban and suburban environments [7] and [17].

According to Souza [17], this technique considers that if three delay profiles are taken in practically the same place, the impulsive noise will hardly be present in all or two of them. To find the valid delays, a noise threshold must be established firstly, defined by the difference between the maximum power of the entire delay profile and the median of this profile, plus its standard deviation. The power of the PDP analyzed must be greater than the noise threshold as well as the delay power of the front and rear profiles. In addition, in the same profile there must be at least one of the delays, the previous or the later, in view of the aforementioned requirement. Thus, a valid multipath must simultaneously meet the two conditions mentioned above.

When applying the CFAR technique, the delays profiles were filtered, thus obtaining the valid delays represented in red in Figure 4 and the noise threshold is the green line.

From the cleaned PDPs, the mean delay and delay spread, for both sounded frequencies were calculated and they are in Table I and in Figure 5 they are showed along the measured route for 2.5 GHz. In this, the calculated values of delay spread predominate below 1.45 microseconds. The same happens in 5.86 GHz, characterizing a soft urban channel [11].

Delay spreads obtained are consistent with values discussed in the literature [10], [11] and [13] obtained in outdoor environments and they seem minor in the higher frequency, but it must be

remembered that the transmitted power was the same in both frequencies, therefore weaker multipath could not be detected in 5.86 GHz frequency.

TABLE I. MEAN DELAY AND DELAY SPREAD.

Frequency (GHz)	Mean delay (μs)		Delay Spread (μs)	
	Min.	Max.	Min.	Max.
2.5	0.02	9.52	0.0152	4.36
5.86	0.02	9.96	0.0149	3.71

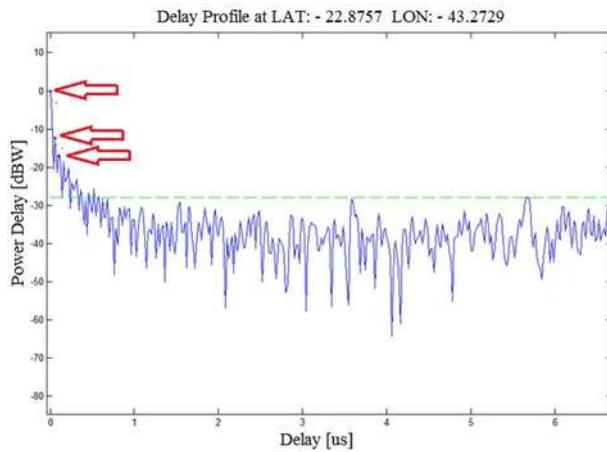


Fig. 4. Example of valid multipath for a 2.5 GHz system profile.

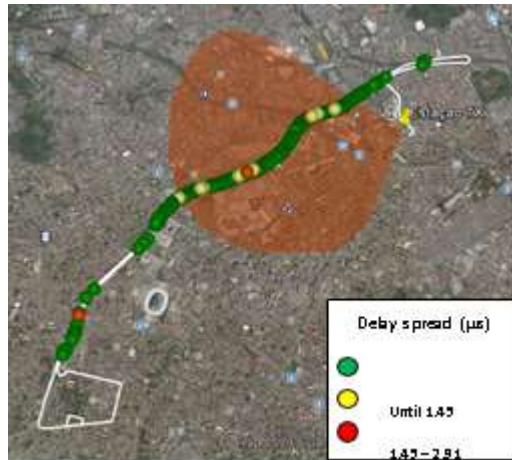


Fig. 5. Values of delay spread along *Linha Amarela* for 2.5 GHz.

The DFFT in the delay domain of each PDP generates the function $T(f, t)$ that describes variation in frequency over time. From this, it is possible to calculate the coherence band of the channel and Figure 6 illustrates an example of the frequency response, in a time instant, showing the coherence band near 4 kHz for 50% of correlation between spectral components in the

2.5 GHz band. It is always true that delay spread and coherence band have an inverse relation [7], but it depends on the sounded channel. It is observed that only in this frequency and for 50% of correlation it was possible to verify a practically constant relation between coherence band and delay spread as (10) and it is described by:

$$B_C = \frac{1}{3\sigma_T} \quad (10)$$

Table II provides the range of values for correlation in both measured bands and Table III, the Doppler parameters for the sounded channel. The coherence band implies in transmission rates no more than 4.6 Mbps if no resource is used in order to improve it, like equalization, for example. The Doppler shifts confirm to be larger at the higher sounded band, three times approximately, since it increases linearly with the frequency.

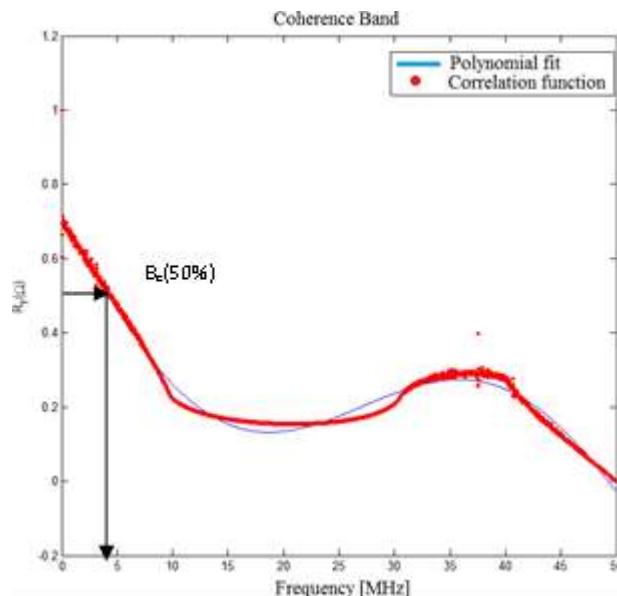


Fig. 6. Example of an instantaneous frequency response for 2.5 GHz.

TABLE II. COHERENCE BAND.

Frequency (GHz)	Correlation	Coherence Band (kHz)	
		Min.	Max.
2.5	50%	15.31	4639.9
	90%	2.85	6.79
5.86	50%	14.48	4401.8
	90%	2.36	6.44

The desynchronization of multicarrier will occur due to the spreading of Doppler.

TABLE III. MEAN DOPPLER AND DOPPLER SPREAD.

FREQUENCY (GHz)	MEAN DOPPLER (Hz)		DOPPLER SPREAD (Hz)	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
2.5	-33.13	30.12	134.75	165.46
5.86	-82.8	93.45	307.06	382.06

I.

V. CONCLUSIONS

The main objective of the present work was to characterize the broadband urban channel over the influence of Doppler shift, that is, for a mobile unit at high speed in the 2.5 GHz and 5.86 GHz band. In order to obtain the data, two transmission systems mounted for both frequency bands with the simultaneous sounding of the mobile radio channel permitted to optimize the time required to carry out the measurements.

After processing, the results of delay spread along the sounded avenue were predominantly until 1.45 μ s, as seen in Figure 5, consistent with results found for less dense urban environments [10]. Although the delay spread values for the

5.86 GHz range appear to be smaller than 2.5 GHz, this does not mean that such scaling is lower in the latter range. In fact, the signal received in the 5.86 GHz band has smaller level than the signal received in the other band because it suffers more attenuation, therefore, fewer valid multipath captured. They are, in general, the first multipath that arrive in the receiver. It is worth to say that higher power should be used in the higher band such that the same multipath could be detected in both frequency bands and a comparison in frequency could be made. In this case, the calculated values for coherence band would show larger variation with the carrier frequencies.

Finally, Doppler spread results confirm interference between the subcarriers since they vary from one hundred to three hundreds of hertz. With the Doppler shift and spread in hand, it will be possible to use these measurements in order to simulate a correction in the subcarriers in order to decrease the inter-carrier interference, and it will be published soon.

VI. REFERENCES

- [1] ITU. World Telecommunications / Global ICT Indicators Database: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2017/ITU_Key_2005-2017_ICT_data.xls>
- [2] Anatel – Mobile Telephony – Access < <http://www.anatel.gov.br/dados/destaque-1/283-brasil-tem-236-2-milhoes-de-linhas-moveis-em-janeirode-2018> >accessed in July 14, 2018.
- [3] Khan, Farooq; *LTE for 4G Mobile Broadband*, Cambridge UniversityPress, 2009.
- [4] ANATEL. Equipamentos 4G. <Disponível em: <http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalNivelDois.do?codItemCanal=1856>>
- [5] S. Sesia, I. Toufik, M. Baker; "LTE – The UMTS Long Term Evolution from Theory to Practice". Chichester, West Sussex,2011.
- [6] J.G. Andrews, A. Gosh, and R. Muhamed, *Fundamentals of WiMAX:Understanding Broadband Wireless Networking*, Prentice Hall, 2007,449 p.
- [7] L. J. Matos and G. L. Siqueira; "Time and Frequency Dispersion Parameters Measurements at 1.88 GHz in a Vegetated Channel", *Journal of Comm. and Information Systems, JCIS*, v. 24, No. 1, pp. 24-29, 2009.
- [8] M. A. G. Santos, W. D. T. Meza, L. J. Matos and G. L. Siqueira; "Coverage in a Suburban Area for the 5.8 GHz Frequency Band". In: IMOC 2013, 2013, Rio de Janeiro. International Microwave and Optoelectronic Conference, 2013.
- [9] C. V. R. Ron. and L. A. R. S. Mello. Propagation measurements at 3.5 GHz in a dense urban area. In: Fourth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2010, Barcelona. Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), 2010. v. 1. p. 1-4.
- [10] U. R. Villanueva, G. L. Siqueira, L. J. Matos, L. H. Gonsioroski and P. V. G. Castellanos; "Propagation Channel Characterization in the 2.48 GHz Frequency Band in Urban Area", In: SBrT 2015, 2015, Juiz de Fora.
- [11] W. D. T. Meza, G. L. Siqueira, L. J. Matos; "Channel characterization in the 5.8 GHz band in a suburban area", *Journal of Microwave, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, JMOb*, v. 13, No. 1, June 2014.
- [12] P. A. Pinna, L. J. Matos, P. V. G. Castellanos, C. E. O. Vargas, G. L. Siqueira, F. V. S. Coelho; "Avaliação experimental da capacidade de canal radio móvel urbano na faixa de 700 MHz", MOMAG 2016, Porto Alegre, 2016.
- [13] L. H. G. Furtado, L. A. R. Silva Mello, C. R. Rodriguez, L. J. Matos;"Characterization of a Mobile Urban Radio Channel with an Improved Multicarrier Sounding Technique". *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, v. 14, p. SI-158-SI- 167, 2015.
- [14] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, 2nd. Ed., 2000.

- [15] T. S. Rappaport; *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall, 1996.
- [16] K. Shenoi; *Digital Signal Processing in Telecommunications*. Prentice Hall PTR, New Jersey, 1995.
- [17] E. Souza, V. Jovanovic, C. Daigneault; “Delay spread measurements for the digital cellular channel in Toronto”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, v. 43. No 4, pp. 837-847, 1994.

ENGENHARIA: SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME XI



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[@editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



EDITORAS CONHECIMENTO LIVRE